

# ВІМ-МОДЕЛІРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

## BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE

Материалы IV Международной  
научно-практической конференции

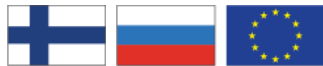
Proceedings of  
IV International Conference

BIMAC 2021

ВІМ-МОДЕЛІРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

BIMAC  
2021

Конференция организована в рамках проекта  
«BIM-ICE – Интеграция BIM в высшее и профессиональное образование»  
(BIM-ICE – BIM Integration in Higher and Continuing Education)  
Программы приграничного сотрудничества поддержки  
совместных проектов по внешним границам ЕС  
«Юго-Восточная Финляндия – Россия 2014 – 2020»



CBC 2014-2020  
SOUTH-EAST FINLAND - RUSSIA



**Интеграция BIM в высшее  
и профессиональное  
образование**



ППС 2014-2020  
Россия - Юго-Восточная Финляндия  
Финансируется из средств ЕС,  
России и Финляндии

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

# **ВІМ-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

Материалы IV Международной  
научно-практической конференции

## **BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE**

Proceedings of IV International Conference

**BIMAC 2021**

Санкт-Петербург  
2021

УДК 69+004.9

*Рецензенты:*

M. Sc. Tech., M. Sc. Soc., dean *K. Taivalanti*  
(LAB University of Applied Sciences, Finland);  
д-р техн. наук, профессор *А. М. Гримитлин* («АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД»)

**ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры :**  
материалы IV Международной научно-практической конференции /  
под общ. ред. А. А. Семенова. – Санкт-Петербургский государствен-  
ный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург :  
СПбГАСУ, 2021. – 552 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1134-0

DOI: 10.23968/VIMAC.2021

В сборнике представлены статьи участников IV Международной научно-практической конференции «ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры» (VIMAC 2021), проходившей в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в 2021 году.

Авторами сделан обзор современных достижений и представлены результаты, полученные в области ВІМ-моделирования применительно к задачам строительного профиля, касающимся вопросов проектирования, строительства и эксплуатации зданий, а также образования, нормативно-правовой базы и экономических аспектов вопроса.

*Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ*

*Редакционная коллегия:*

канд. техн. наук, доцент *А. А. Семенов* (председатель);

канд. техн. наук, доцент *С. В. Бовтеев*;

канд. техн. наук, доцент *Г. Б. Захарова*;

канд. техн. наук *С. В. Ланько*;

канд. техн. наук *Ю. В. Столбихин*;

канд. техн. наук, доцент *И. И. Суханова*;

канд. экон. наук *С. П. Ширшиков*;

*И. А. Евсиков*;

*Ю. Н. Згода*;

*Н. В. Козак*;

*Т. Лехтовита*;

*Д. В. Нижегородцев*;

*И. Н. Чиковская*

Секретарь:

канд. техн. наук *Л. П. Москаленко*

ISBN 978-5-9227-1134-0

© Авторы статей, 2021

© Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет, 2021

© Дизайн обложки И. А. Евсиков

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.001

**Romanovich Marina**, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

*E-mail: m.romanovich.spbstu@yandex.ru, ORCID: 000-0003-1608-2883*

**Albehadili Karrar Abbas**, master student

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

*E-mail: civilkarrar@yahoo.com, ORCID: 0000-0003-3011-6314*

**Ali Yusuf Mohamed**, master student

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

*E-mail: engyusufmohamed132@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8777-1961*

### **BENEFITS AND CHALLENGES OF IMPLEMENTING BIM IN THE AEC INDUSTRY IN IRAQ**

Building Information Modeling (BIM) is considered a fundamental tool in the architecture, engineering and construction industry. BIM is the future of the AEC industry. Utilizing digital engineering tools such as BIM in the construction industry helps to detect economic and social benefits by enhancing productivity, improving visualization, and ensuring better communication. In spite of the enormous improvement of BIM application in the AEC business, there are many challenges that make the selection of this new technology a lot harder.

The focus of this paper is to investigate the current extent of adopting the BIM technology in Iraq. Furthermore, this paper aims to identify the benefits of using BIM and the most common obstacles for applying BIM in the AEC industry in Iraq.

For the purpose of this study, we prepared an online survey and sent out 85 invitations. There are numerous factors that prevent or at least discourage the use of BIM in construction projects. Resistance to change and lack of government support are among the most important of these factors.

The survey results showed that the most common tools preferred by BIM users in Iraq are AutoCAD, STAAD.Pro, and Primavera p6. Finally, the results indicate that the BIM state in Iraq is not satisfactory because most of the people involved have less than 3 years of experience working with the BIM technology.

*Keywords:* AEC industry, Iraqi construction industry, information technology, Building Information Modeling (BIM), BIM benefits and challenges.

## **1. Introduction**

While the construction industry is one of the most significant industries in the world, it suffers from poor communication, low productivity, and time and cost overruns [1]. The success of building projects can be ensured by more collaboration between different disciplines, such as sharing accurate, continuous, and real-time information among project teams to overcome conflicts and keep the project within the time and budget constraints. Poor communication and data management costs the construction industry about USD 15.8 bn per year, 3–4 % of total turnover [2].

Currently, designers, engineers, and contractors are using BIM tools in their projects (Luthra 2010). The construction industry adopted the BIM technique in the 1990s, starting with some advanced countries such as the USA and UK. The National Institute of Building Sciences (NIBS) in the USA defines BIM as follows “BIM utilizes cutting-edge digital technology to establish a computable representation of all the physical and functional characteristics of a facility and its related project/life-cycle information, and is intended to be a repository of information for the facility owner/operator to use and maintain throughout the life cycle of a facility” [3].

The construction industry in Iraq is currently using modern technologies at an insufficient rate, which leads to failure to complete construction projects, especially major ones, within the deadlines and budget required. The AEC industry in Iraq is experiencing issues with the adoption of information and communication technology (ICT) in projects [4]. The Iraqi construction companies are using too little of BIM’s true potential compared to developed countries. Most companies in Iraq use 2D drawings in CAD programs and the Critical Path Method (CPM) to calculate project time [5]. BIM is a huge evolution in the AEC industry in comparison with the CAD system, as it gives us the opportunity to work with smart elements, in addition to helping to take control over the project resources, schedule, and quality, and many other benefits. BIM is the future of the AEC industry. BIM plays a significant role in the AEC industry through the adoption of smart software by all members of the project team: architectural engineers, civil engineers, and MEP engineers.

The main aim of this study is to identify the current status of using the BIM technique in the construction industry in Iraq. We will explore

the benefits and challenges of applying this technology, as well as find out the future expectations for the BIM technology in Iraq.

## 2. Benefits of utilizing BIM in the AEC industry

The BIM implementation in the AEC industry gives us a lot of benefits and opportunities through the different phases of the project, from the starting and planning phases to the operation phase.

BIM first came to Iraq after 2003, and it has since been applied in a number of construction projects, especially in the south of Iraq, which has been enjoying steady safety levels. Some of the notable projects where BIM was applied were carried out by private companies in many fields. They include: the Najaf Hospital, the Basra Main Stadium (Fig. 1) having 65,000 seats, and the Al Minaa Stadium having 30,000 seats. These projects were implemented by Iraqi companies and the American architects from 360 Architecture [6]. BIM provides many benefits for improving the quality of the final product within a project model [6]. BIM has been adopted for large and important construction projects in Iraq because of its benefits, as it helps to reduce or eliminate design problems during the project planning stage, which leads to cost and time savings [6].

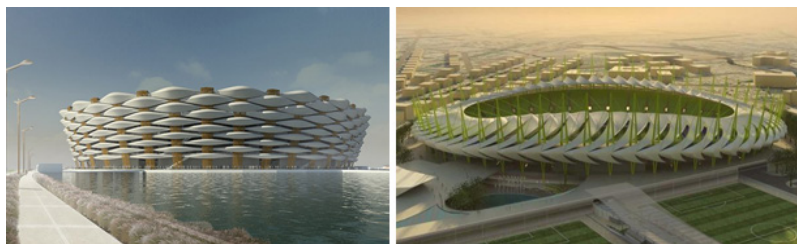


Fig. 1. Basra main stadium and Al Minaa soccer stadium (360 Architecture) [7]

The BIM technology has another important benefit: it can simulate the virtual model before it is built and implemented on the ground. BIM can analyze various scenarios depending on the building's performance during its life cycle. This means that a BIM-based project can be used virtually multiple times, giving maintenance managers the ability to re-engineer their process and thus achieve the better integration of various stakeholders, schedules, plans, and databases into construction projects.

Finally, based on study [8], we can name seven benefits of applying BIM starting with waste elimination and better feedback, and ending with team empowerment and the ability to see the whole picture, as shown in Fig. 2. By utilizing the BIM technology, the stakeholders can achieve the best results and have a better impact on providing resources to the project team.

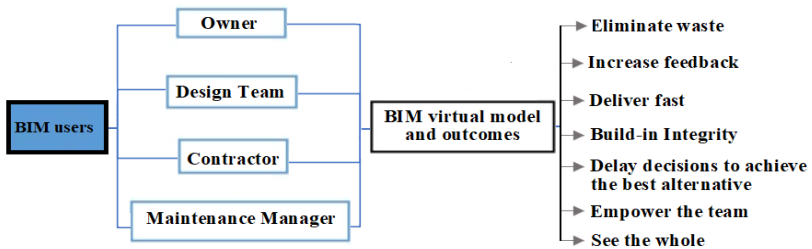


Fig. 2. Benefits of integrating stakeholders with BIM technology [8]

### 3. BIM implementation challenges

It is quite obvious that all projects tend to be unique and each company has its own criteria and capacity for implementing and using BIM. Furthermore, each country has its own specific rules, regulations, and culture. Thus, challenges associated with using BIM will differ between companies. Many studies identified BIM challenges in different countries, as shown in Table 1.

Table 1

**Challenges faced by the adoption of the BIM technology in the construction industry**

Challenges	References
High cost of BIM software and hardware	[5], [9], [10], [11]
High cost of training staff to use the BIM tools	[9], [10], [11], [12]
Lack of support from the government	[10], [11]



*End of Table 1*

Challenges	References
Lack of experience	[9], [10], [11], [12]
Lack of demand from the owner	[10], [11], [12], [13]
Resistance to change	[9], [10], [11], [12], [13]

The UK is known as the global leader in implementing BIM. The most common problems in the UK are cultural issues, followed by management, legal, and financial issues. We have compiled a short review of these three types of important issues. They have been arranged according to what we perceive as their importance; it differs from the frequency of mentions in research articles:

- Legal challenges:

Despite the fact that BIM's technical issues have been actively considered over the recent years, and considerable energy has been spent on working in this field, the "maturity of the legal body of BIM as well as its contractual configuration is more unsophisticated than its technical aspects" [14]. This weakness has a special effect on contractual terms and there is a challenge that limits the scope of legal issues related to BIM implementation. Therefore, an appropriate foundation for implementing BIM should be added to project contract clauses.

- Cultural challenges:

Many of the articles that we studied refer to cultural challenges. These challenges serve as the background for other problems, and solving them would be a big step towards addressing other issues interfering with BIM implementation. Cultural challenges include many aspects, the main ones being resistance to change, lack of cooperation between project stakeholders, and the absence of a real BIM-based example.

- Financial challenges:

Financial and investment issues are the defining factors in any project. In relation to BIM, these issues become even more important. Implementing any new technology requires an initial investment. Most of the investments required to implement BIM are spent on purchasing

software and hardware, training personnel, and hiring specialists. The main challenge is to justify and explain these costs to project stakeholders.

#### **4. Methods**

In order to collect our data, we adopted the survey method. The results of this survey will help to spread the BIM technology in Iraq by providing a clear understanding of its nature and challenges at the BIM accreditation level.

According to the survey participants, the easiest way to share their opinions was via an online survey, so we designed an online survey using Google Forms and sent it out by email to professionals in the Iraqi construction industry. Firstly, we acquired information about the survey respondents such as their profession and years of experience in the AEC industry. The second step in the survey was related to the use of the BIM technology, including: experience with using the BIM technology, common software used in BIM, and the benefits and challenges associated with implementing BIM. There were 85 invitations sent out, and 40 surveys were completed successfully over the course of 30 days.

#### **5. Results**

Based on our survey, we observed that most of the respondents were professionals in the field of civil engineering (58,3 %). The second highest number of participants were architects (20,8 %), followed by mechanical engineers (12,5 %) and electrical engineers (8,3 %) (Fig. 3).

Besides, the results of the survey showed how many years of experience the respondents had in the construction industry (Fig. 4). Only 19 % had more than 15 years of experience in the construction industry, while 28 % of participants had between 11 to 15 years. However, the highest percentage (36 %) had 6 to 10 years and the lowest percentage (17 %) had less than 5 years of experience in the construction industry.

Let us move on to the distribution of the respondents in terms of experience with BIM in Iraq. The survey notes that the BIM adoption process is still at its early stage in the country. Only 8 % of the respondents had more than 6 years of experience with BIM, followed by 20 % who had 4–6 years of experience working with BIM, while 72 % had less than 3 years of experience, as shown in Fig. 5.

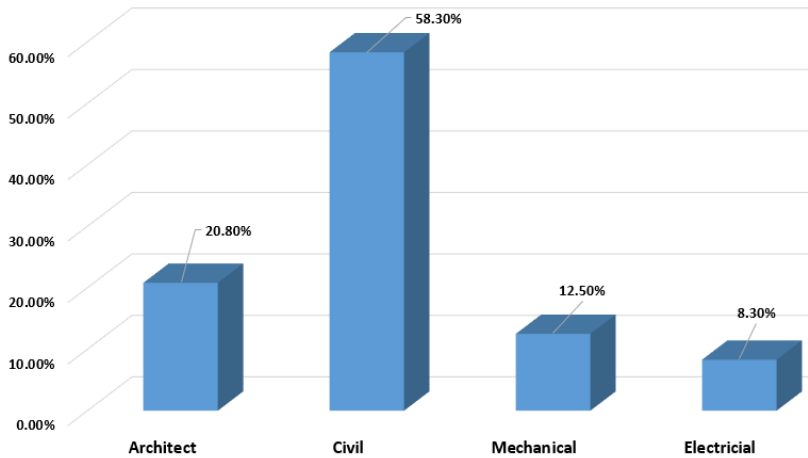


Fig. 3. Types of experts at construction companies

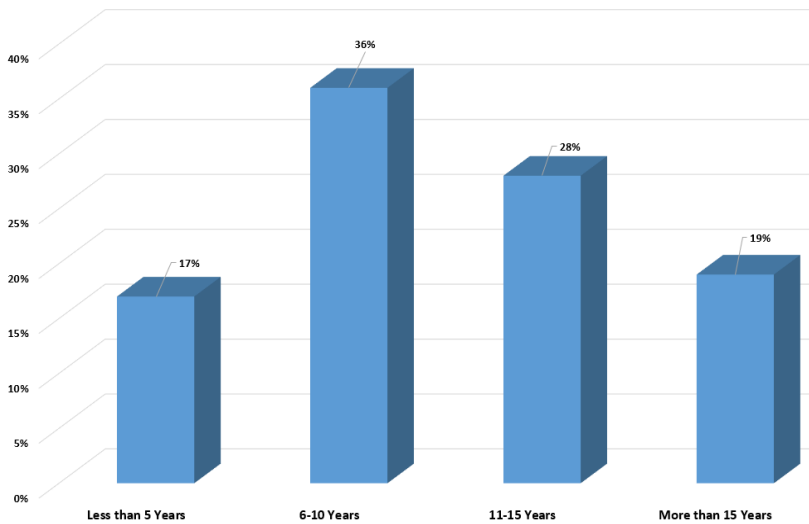


Fig. 4. Experience in the construction industry

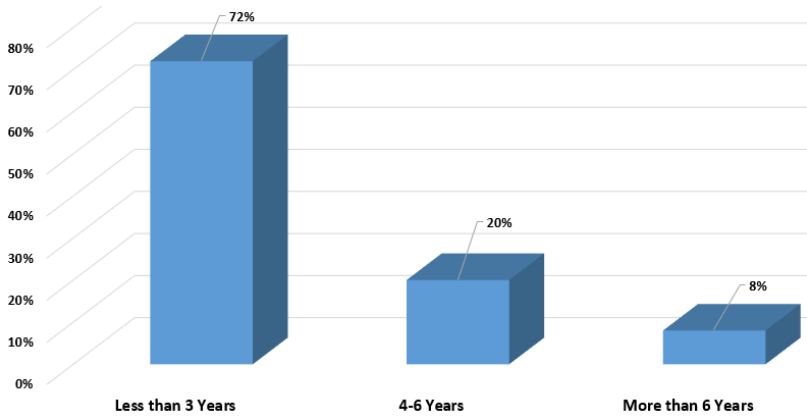


Fig. 5. BIM experience in Iraq

The results of the survey also helped us discover which tools were most commonly used in construction projects in Iraq. AutoCAD is the most commonly used tool in Iraq, followed by Staad.Pro. Primavera p6 ranked 3rd in the survey. There also were other tools used by a smaller number of participants, such as Robot, Navisworks, and others, as shown in Fig. 6.

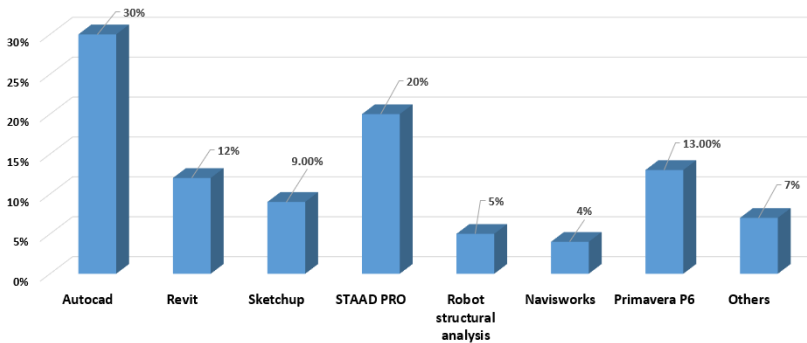


Fig. 6. BIM tools and other tools used by the respondents

To achieve the objective of the study, we had to investigate the benefits and challenges associated with BIM adoption in Iraq. The respondents were asked to select five options to answer the question about the benefits and challenges that had the most significant impact on the widespread adoption of BIM in Iraq, as shown in Figs. 7 and 8.

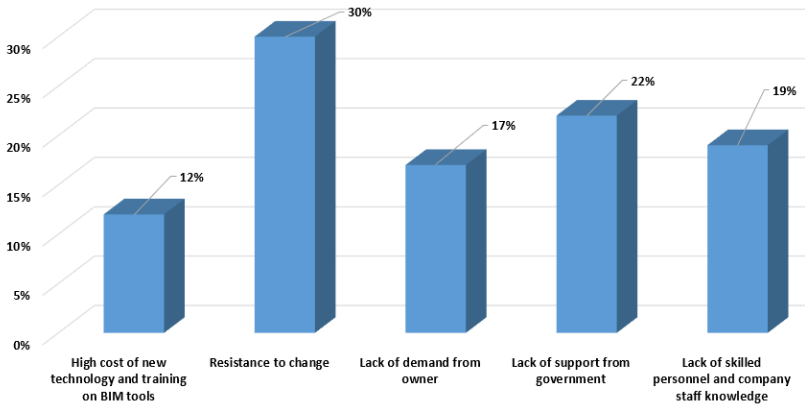


Fig. 7. Challenges of BIM adoption in Iraq

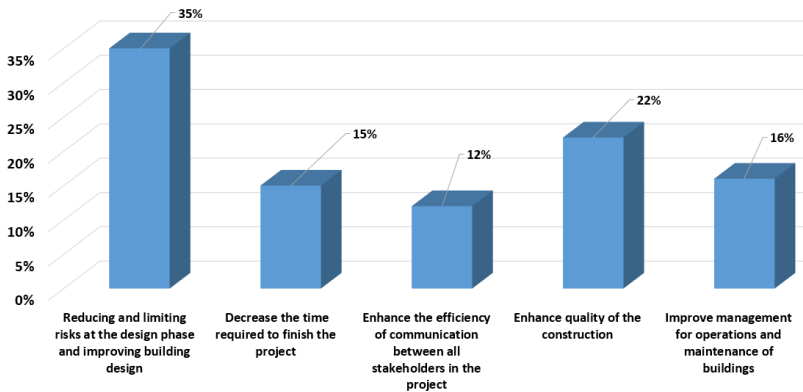


Fig. 8. Benefits of BIM adoption in Iraq

## **6. Conclusion and recommendations**

The BIM technology has many benefits. On the other hand, it is faced with many challenges, as shown in this paper. The Sports City in Basra, the Al Minaa stadium, and the Najaf Hospital were all built with funding from the Iraqi government, which allowed for enhancing project quality by using the BIM technology to reduce the time and cost required for the project, as well as to obtain the best model for the project and reveal the conflicts between the project components at an early stage.

This study has provided significant insights into the current state of BIM adoption in Iraq. The survey results show that the most common tools used by BIM users in Iraq are AutoCAD, STAAD.Pro, and Primavera p6. In addition, the study found that BIM adoption in Iraq is lacking because the majority (92 %) of the respondents had no more than 6 years of experience with using the BIM technology.

The results helped to identify and rank the five most crucial challenges preventing the adoption of BIM in Iraq. According to the respondents, resistance to change comes first, followed by lack of support from the government, lack of personnel skills and knowledge, lack of demand from the owner, and the high cost of the new technology and training on BIM tools. Moreover, this study investigates the most significant benefits of BIM. Specifically, reducing risks at the design phase ranks first, followed by enhancing construction quality, improving facility management, decreasing the time required to finish the project, and enhancing the efficiency of communication between the stakeholders in the project.

The study recommends holding several conferences and seminars to improve the level of BIM knowledge. The government should also involve both foreign companies and local companies in implementing more BIM projects within the construction industry in order to facilitate an exchange of knowledge and experience between construction professionals.

## **References**

1. Becerik-Gerber B., Rice S. The Perceived Value of Building Information Modeling in the US Building Industry // Journal of Information Technology in Construction. 2010. Vol. 15. P. 185–201.

2. Gallaher M.P., O'Connor A.C., Dettbarn J.L. Jr., Gilday L.T. Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry. 2004. NIST GCR 04-867. DOI: 10.6028/nist.gcr.04-867.
3. East E.W. Construction operations building information exchange (Cobie): Requirements definition and pilot implementation standard. DTIC Document, 2007. 195 p.
4. Jung Y., Gibson G.E. Planning for computer integrated construction // *Journal of Computing in Civil Engineering*. 1999. Vol. 13. P. 217–225.
5. Memon Z.A., Memon N.A., Chohan A.H. The Use of Information Technology Techniques in the Construction Industry of Pakistan // *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 2012. Vol. 31, No. 2. P. 271–280.
6. Schumacher J., Otani R.K. Advanced computational modeling in multidisciplinary design // *Proc. Structures Congress 2012: 20th Analysis and Computation Specialty Conf.* 2012. P. 231–244.
7. Hamada H.M., Haron A., Zakiria Z., Humada A.M. Factor Affecting of BIM Technique in the Construction Firms in Iraq // *MATEC Web Conf.* 2017. Vol. 103. P. 03003. DOI: 10.1051/mateconf/201710303003.
8. Eastman C. *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.* US: John Wiley & Sons, 2011. 624 p.
9. Dawood N., Sikka S. Development of 4D based performance indicators in construction industry // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2009. Vol. 16, No. 5. P. 438–458. DOI: 10.1108/09699980910988357.
10. Kassem M., Brogden T., Dawood N. BIM and 4D planning: a holistic study of the barriers and drivers to widespread adoption // *Journal of Construction Engineering and Project Management*. 2012. Vol. 2, No. 4. P. 1–10. DOI: 10.6106/JCEPM.2012.2.4.001.
11. Kiani I., Sadeghifam A.N., Ghomi S.K., Marsono A. Barriers to implementation of Building Information Modeling in scheduling and planning phase in Iran // *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2015. Vol. 9, No. 5. P. 91–97.
12. Abubakar M., Ibrahim Y., Kado D., Bala K. Contractors' Perception of the Factors Affecting Building Information Modelling (BIM) Adoption in the Nigerian Construction Industry // *Computing in Civil and Building Engineering*. 2014. Orlando, Florida, United States, 2014. DOI: 10.1061/9780784413616.022.
13. Ahmed S.M., Emam H.H., Farrell P. Barriers to BIM/4D Implementation in Qatar // *1st International Conference of CIB Middle East & North Africa Conference*. Abu Dhabi, UAE, 2014. P. 533–547.
14. Abdirad H. *Advancing in Building Information Modeling (BIM) Contracting: Trends in the AEC/FM Industry* // *AEI 2015*. Milwaukee, USA, 2015. P. 1–12. DOI: 10.1061/9780784479070.001.

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.002

**Roumyeh Mohamad Louay**, master student

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

*E-mail: rumieh.m@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0003-0951-5943*

**Badenko Vladimir Lvovich**, Dr. of Sci. Tech., Professor

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

*E-mail: badenko\_vl@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-3054-1786*

## **INTEGRATING BIM AND GIS TO MOVE TOWARDS CIM**

The building and construction industry has witnessed many developments over the past few years. The most important of these developments is the use of Building Information Modeling (BIM). BIM technologies have contributed to the development of this industry significantly. So far, they have been used at the level of individual buildings and projects. Nowadays, the continuous need for development is forcing the transition to BIM on a wider level to include cities, through integration with other systems, mainly Geographical Information Systems (GIS). The integration between BIM and GIS will contribute to obtaining digital models for cities, or so-called City Information Modeling (CIM). CIM will contribute significantly to supporting the decision-making process, in addition to developing urban planning processes for cities. Furthermore, the CIM models will form the base for creating digital twins in order to conduct smart cities projects. In this research paper, we will explain how to take advantage of the overlap and integration between BIM and GIS in order to create a CIM model for a small region, as exemplified by Nizhny Novgorod in the Russian Federation. The area studied includes four main properties (a school, a garage, and two residential properties).

*Keywords:* Building Information Modeling (BIM), Geographical Information Systems (GIS), City Information Modeling (CIM), construction industry, smart city, digital twin.

### **Introduction**

Building Information Modeling (BIM) is one of the most important technologies that have significantly contributed to changing the features of the construction industry. This technology has been used in various types of projects, but its use on a wider scale, including cities, remains limited. Today, because of the integration of BIM with Geographical Information Systems (GIS), it has become possible



to create models for cities or regions, which will contribute to City Information Modeling (CIM).

The rapid development in this area has put the world's cities in front of a set of new challenges. The question is how to best use the technologies and methods so that they may provide more useful services to society, in addition to making the lives of citizens more comfortable and safe [1, 2]. BIM can be considered the main technology used for creating 3D models that contain information on all assets. However, the location accuracy of these assets' models is often not taken into account [3]. GIS maps constitute one of the important sources of input for BIM, by providing a two-dimensional representation of buildings and assets based on their footprint or vertical representation. This, in turn, contributes to facilitating the process of creating three-dimensional models for these assets [4]. On the other hand, BIM models represent one of the richest databases with all the information related to the physical assets during the various stages of their life cycle, from planning to the operational stage. Furthermore, GIS models effectively contribute to enhancing the urban planning processes, which makes the process of merging BIM and GIS highly relevant [5]. The integration between BIM and GIS, or so-called GeoBIM, has been represented in the titles of many studies over the recent period [6–8]. The BIM-GIS integration has been used in different contexts, such as managing and monitoring historical assets [9–13] as well as managing facilities in order to improve their performance [14, 15]. Furthermore, GeoBIM is also used for managing and monitoring infrastructure projects (like roads) based on LiDAR [16]. In addition, there are some studies on using the BIM-GIS integration in construction management [17]. This integration between BIM and GIS was also used for the spatial analysis of a university campus. Performing this analysis required identifying the input needed for GIS; and GIS contributed effectively to facilitating this process [18]. A group of researchers confirmed, through a study that they carried out, that GeoBIM plays an important role in creating smart cities, by replacing the two-dimensional models usually used in real estate organizations and departments with three-dimensional models of assets. This will contribute effectively to enhancing the urban planning process for smart cities [19].

On the other hand, it is obvious that the integration of BIM and GIS faces some challenges. Some researchers have determined, based on a study they conducted, that the data used must be closely related to the specific goal of integration because the presence of additional unrelated data will impede the integration process [20]. Others indicate that the lack of experience in integrating BIM and GIS is a challenge as well [21, 22]. Based on the above, researchers have determined that it is necessary to automate the integration process in order to avoid potential user errors caused by a lack of experience. The full automation of this process, however, is still a great challenge [23]. Incidentally, using this BIM-GIS integration will make it possible to monitor and analyze how the facilities change [24]. In addition, many studies have indicated the need to understand the integration between BIM and GIS because of its great positive impact [25–27]. It should also be noted that when the term BIM is used, it often refers to the design stage of a building's life cycle [28]. The “as-built BIM” and “as-is BIM” terms are also used for existing buildings. In this case, laser scanning technologies are widely applied [29, 30].

The aim of this research paper is to develop a method for using the integration between BIM and GIS to create a CIM system that will improve the decision-making process and urban planning, as well as form a base for a city digital twin (CDT) to reach the goal of creating smart cities.

## **Methods**

It is clear in this paper that we are dealing with the effect of the integration between BIM and GIS that is represented by a real-life case study, which makes our method a mixture of both quantitative and qualitative methods.

In order to carry out our research and get accurate results, we decided to divide the process into specific stages.

Stage 1. At this stage, we need to collect all information and data related to the area in question, including elevations, topographical information, buildings' boundaries, facades, etc., by using GIS, Google Maps, and Yandex Maps.

Stage 2. It is mandatory to create a central Revit file by using all input data we have collected, in addition to making separate Revit files for each property and link their coordinates and locations to the central file to make sure that each building's location is pinpointed correctly.

Stage 3. At this stage, we need to use all the input data we have collected to build the basic LOD 100 model of our assets in Autodesk Revit 2021.

Stage 4. At this stage, after we have improved the LOD 100 model, we need to create detailed models by using the facade pictures available in Google and Yandex Maps.

Stage 5. This stage represents the final step in our work, where we need to create one file with all the models we created in Autodesk Revit. To do this, we add all models to one file by using Autodesk Navisworks Manage 2021. Navisworks will help us to connect our model with other regions' models to build CIM. We summarize our research stages in Fig. 1.

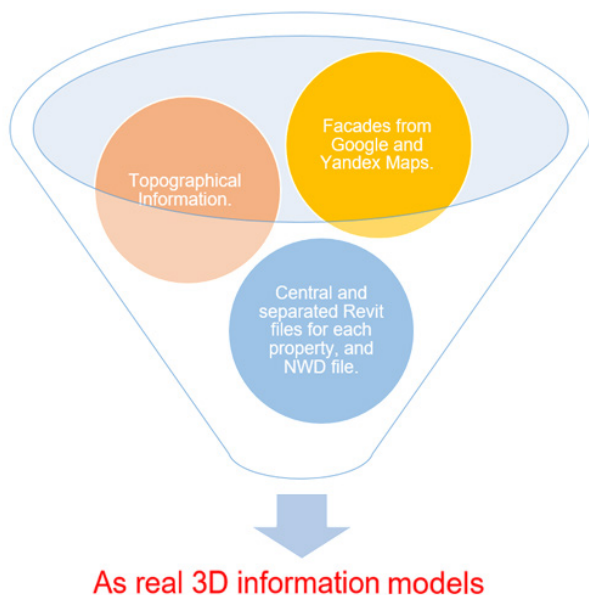


Fig. 1. Summary of the research stages

## **Results and discussion**

In this section, we will clarify the final results that we obtained for the target area, based on all the input data that we obtained over the stages mentioned in the previous section. We will also discuss the results of each specific stage. As a result of our work, we obtained five Revit files: the central file that includes all the previously mentioned buildings that we studied, in addition to the separate files for each property. All these files share the same coordinates with the central file, which in turn represents the coordinates of the target area. In the following figures, we can see the final results obtained.

The first step made according to our method was to collect the required data about the target area in Nizhny Novgorod. In Figs. 2, 3, and 4, we can see the photos and facades of the area explored in the study. In Fig. 5, we can see the central file, as well as the LOD 100 3D models for all the assets in the area.

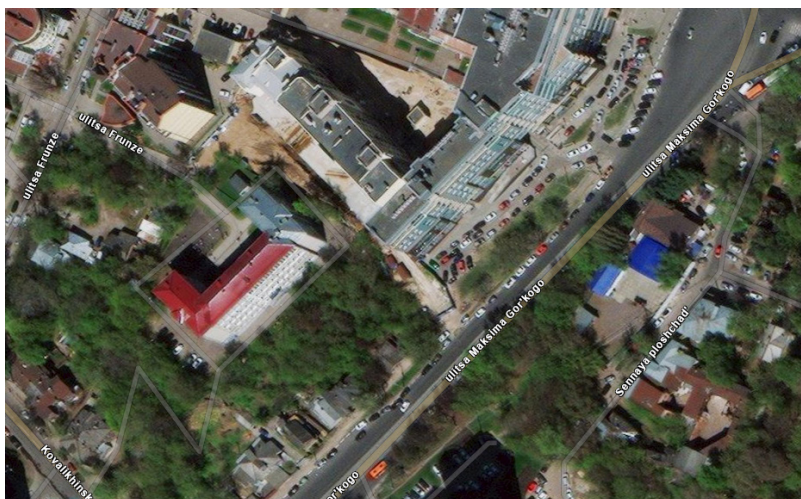


Fig. 2. Target area in the Imagery Hybrid GIS Map



Fig. 3. Target area's boundaries in the Topographic GIS Map

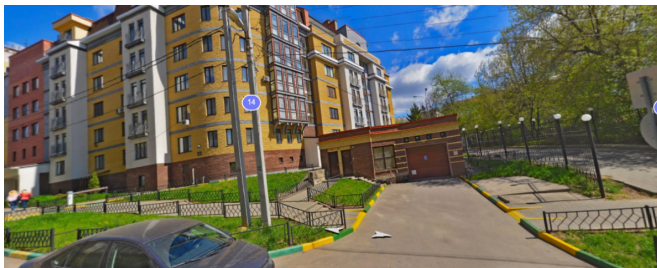


Fig. 4. Buildings' facades

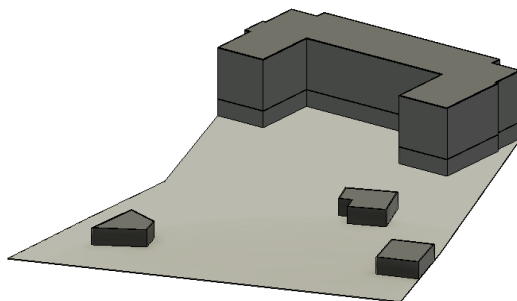


Fig. 5. 3D view of the buildings in LOD 100

In Fig. 6, we can see the 3D models of the aforementioned buildings. Fig. 7 shows the plan of the target area that we created by using Autodesk Navisworks 2021. Fig. 8 demonstrates the final 3D representation of the target area as an Autodesk Navisworks file.



Fig. 6. 3D models of the buildings

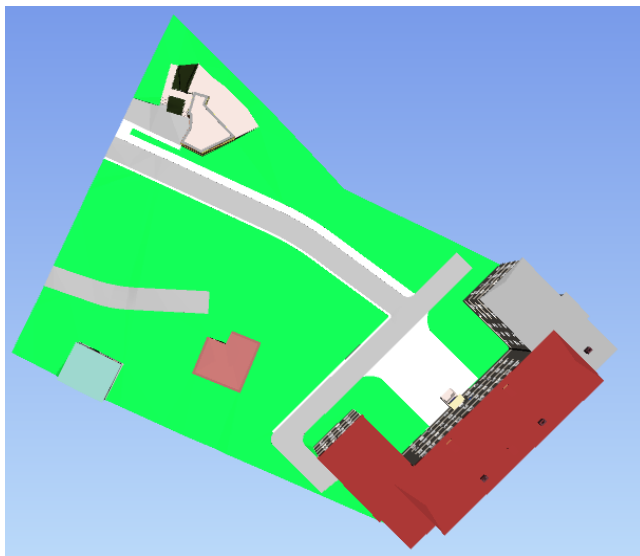


Fig. 7. Vertical representation of the target area

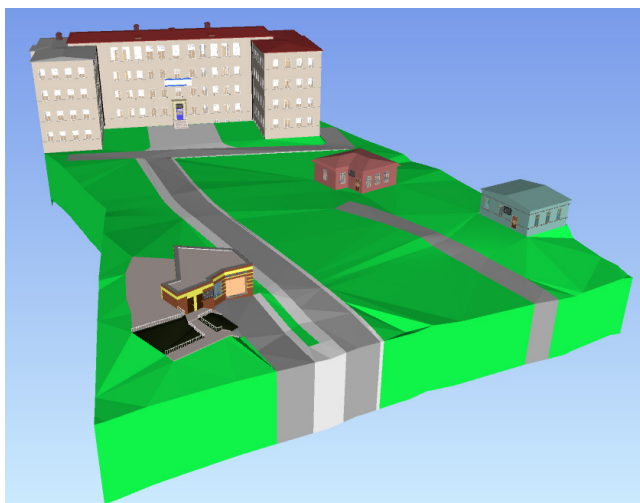


Fig. 8. Final 3D representation of the target area



## **Conclusions**

1. Our study shows that we finally obtained a 3D information model of an area that is very similar to its real counterpart. This model will contribute to improving the decision-making process, in addition to making it easier and more efficient to determine the boundaries of real estate and urban planning areas, because in this case, we are dealing with 3D models and not with the 2D drawings or objects that are currently supported.

2. It is certain that the creation of such models will contribute effectively to the creation of CIM, or city information models, which in turn will lead to the creation of smart cities.

3. We believe that these models can then be used for creating digital twins of the physical assets, which will contribute to simulating any change that affects these assets. Furthermore, it is possible to use digital twins for analyzing and managing the expected risks in order to avoid them or mitigate their effects as much as possible.

4. One of the weaknesses that we encountered during the execution of this study was the lack of information about the interiors of the target properties, as they were located in another region.

## **Acknowledgments**

The authors would like to thank Vysotskiy Consulting for providing the necessary data about the target area, which greatly contributed to this research paper.

## **References**

1. Maiolo M., Pirouz B., Bruno R., Palermo S.A., Arcuri N., Piro P. The role of the extensive green roofs on decreasing building energy consumption in the mediterranean climate // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, No. 1. P. 359. DOI: 10.3390/su12010359.

2. Bevilacqua P., Bruno R., Arcuri N. Green roofs in a Mediterranean climate: energy performances based on in-situ experimental data // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 152. P. 1414–1430. DOI: 10.1016/j.renene.2020.01.085.

3. Arroyo Ohori K., Diakité A., Krijnen T., Ledoux H., Stoter J. Processing BIM and GIS Models in Practice: Experiences and Recommendations from a GeoBIM Project in the Netherlands // *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2018. Vol. 7, No. 8. P. 311. DOI: 10.3390/ijgi7080311.

4. Diakite A.A., Zlatanova S. Automatic geo-referencing of BIM in GIS environments using building footprints // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2020. Vol. 80. P. 101453. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101453.
5. Liu X., Zhai X., Liu D., Sun Y. Different CO<sub>2</sub> absorbents-modified SBA-15 sorbent for highly selective CO<sub>2</sub> capture // *Chemical Physics Letters*. 2017. Vol. 676. P. 53–57. DOI: 10.1016/j.cplett.2017.03.048.
6. Garramone M., Moretti N., Scaioni M., Ellul C., Re Cecconi F., Dejacco M.C. BIM and GIS integration for infrastructure asset management: a bibliometric analysis // *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. VI-4/W1-2020. P. 77–84. DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-77-2020.
7. Noardo F., Ellul C., Harrie L., Devys E., Arroyo Ohori K., Olsson P., Stoter J. EuRoSDR GeoBIM project a study in Europe on how to use the potentials of BIM and GEO data in practice // *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-4/W15. P. 53–60. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W15-53-2019.
8. Noardo F., Wu T., Arroyo Ohori K., Krijnen T., Tezerdi H., Stoter J. GeoBIM for digital building permit process: learning from a case study in Rotterdam // *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. VI-4/W1-2020. P. 151–158. DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-151-2020.
9. Rechichi F. CHIMERA: A BIM+GIS system for cultural heritage // *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2020. Vol. XLIII-B4-2. P. 493–500. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-493-2020.
10. Tsilimantou E., Delegou E.T., Nikitakos I.A., Ioannidis C., Moropoulou A. GIS and BIM as Integrated Digital Environments for Modeling and Monitoring of Historic Buildings // *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, No. 3. P. 1078. DOI: 10.3390/app10031078.
11. Günay S. Geographical information systems as a tool for 3D visualization of lost architectural heritage // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. IV-2/W6. P. 69–75. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-2-W6-69-2019.
12. Murphy M., Pavia S., Cahill J., Lenihan S., Corns A. An initial design framework for virtual historic Dublin // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-2/W11. P. 901–907. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-901-2019.
13. Ruffino P.A., Bocconcino M.M., del Giudice M., Osello A. From the elaboration process of point cloud to information systems both for planning and design management of cultural heritage // *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*/2019. Vol. XLII-2/W11. P. 1031–1038. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W11-1031-2019.

14. Chen Q., Chen J., Huang W. Method for Generation of Indoor GIS Models Based on BIM Models to Support Adjacent Analysis of Indoor Spaces // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol. 9, No. 9. P. 508. DOI: 10.3390/ijgi9090508.
15. Vach K., Holubec P., Dlesk A. New trends in GIS and BIM for facility management in the Czech Republic // ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2018. Vol. 42, No. 5. P. 135–138. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-135-2018.
16. Barazzetti L., Previtali M., Scaioni M. Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR // Infrastructures. 2020. Vol. 5, No. 7. P. 55. DOI: 10.3390/infrastructures5070055.
17. Han Z.H., Wang Z.K., Gao C., Wang M.X., Li S.T. Application of GIS and BIM Integration Technology in Construction Management // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 526, No. 1. P. 012161. DOI: 10.1088/1755-1315/526/1/012161.
18. Syed Mustorpha S.N.A., Wan Mohd W.M.N. A BIM oriented model to a 3d indoor GIS for space management – a requirement analysis // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 385, No. 1. P. 012046. DOI: 10.1088/1755-1315/385/1/012046.
19. Janečka K. Standardization supporting future smart cities – a case of BIM/ GIS and 3D cadastre // GeoScape. 2019. Vol. 13, No. 2. P. 106–113. DOI: 10.2478/geosc-2019-0010.
20. Badenko V., Samsonova V., Volgin D., Lipatova A., Lytkin S. Airborne LIDAR Data Processing for Smart City Modelling // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 70. P. 245–252. DOI: 10.1007/978-3-030-42351-3\_21.
21. Liu X., Wang X., Wright G., Cheng J., Li X., Liu R. A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS) // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2017. Vol. 6, No. 2. P. 53. DOI: 10.3390/ijgi6020053.
22. Karan E.P., Irizarry J., Haymaker J. BIM and GIS Integration and Interoperability Based on Semantic Web Technology // Journal of Computing in Civil Engineering. 2016. Vol. 30, No. 3. P. 04015043. DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000519.
23. Schneider G.F. Automated ontology matching in the architecture, engineering and construction domain – A case study // CEUR Workshop Proceedings. 2019. Vol. 2389. P. 35–49.
24. Templin T., Brzezinski G., Rawa M. Visualization of Spatio-Temporal Building Changes Using 3D Web GIS // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 221, No. 1. P. 012084. DOI: 10.1088/1755-1315/221/1/012084.
25. Mishra S.P., Nayak S.P., Mishra S., Siddique M., Sethi K.C. GIS and Auto Desk Modeling for Satellite Cities around Bhubaneswar // International

Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019. Vol. 8, No. 11. P. 297–306. DOI: 10.35940/ijitee.K1328.0981119.

26. Ismail M.H., Ishak S.S.M., Osman M. Role of BIM+GIS checker for improvement of technology deployment in infrastructure projects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 512, No. 1. P. 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/512/1/012038.

27. Beck F., Borrmann A., Kolbe T.H. The need for a differentiation between heterogeneous information integration approaches in the field of “BIM-GIS integration”: a literature review // ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2020. Vol. VI-4/W1-2020. P. 21–28. DOI: 10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-21-2020.

28. Badenko V., Fedotov A., Zotov D., Lytkin S., Volgin D., Garg R.D., Min L. Scan-to-BIM methodology adapted for different application // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. 2019. Vol. XLII-5/W2. P. 1–7. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W2-1-2019.

29. Bolshakov N., Badenko V., Yadykin V., Celani A. As-built BIM in real estate management: the change of paradigm in digital transformation of economy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 940, No. 1. P. 012017. DOI: 10.1088/1757-899X/940/1/012017.

30. Volk R., Stengel J., Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs // Automation in Construction. 2014. Vol. 38. P. 109–127. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.

УДК 004.9

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.003

**Захарова Галина Борисовна**, канд. техн. наук, доцент,  
ведущий научный сотрудник  
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет)  
E-mail: zgb555@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4939-1914

Zakharova Galina Borisovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor,  
Leading Researcher  
(Ural State University of Architecture and Art)

## КАК BIM ПЕРЕРАСТАЕТ В CIM И В ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ГОРОДА

### HOW BIM GROWS INTO CIM AND THE CITY'S DIGITAL TWIN

Сделаны акценты в определениях BIM и CIM, Building и City Information Modeling соответственно, которые подчеркивают их аналогию на разных уровнях обобщения: уровень зданий, сооружений и объектов инфраструктуры и уровень градостроительных единиц и городских пространств. Показано, как в рамках принятой на государственном уровне концепции умного города формируется фундамент для развития технологии CIM, которая является многофункциональной интегрированной системой управления, цель которой – повысить общую эффективность городского хозяйства и создать безопасные, доступные и комфортные условия для жизни граждан. Представлен язык CityGML для трехмерного моделирования городов и приведены рейтинг и примеры цифровых двойников городов.

*Ключевые слова:* BIM, CIM, GIS, умный город, цифровой двойник, GML, CityGML.

In this study, we focus on the definitions of BIM and CIM, Building and City Information Modeling, respectively, emphasizing their similarities at different levels of generalization: the level of buildings, structures and infrastructure facilities, and the level of urban planning units and urban spaces. We show how, within the boundaries of the smart city concept, adopted at the government level, a foundation is being formed for the development of the CIM technology, which is a multifunctional integrated management system, aimed at increasing the overall efficiency of the city economy and creating a safe, affordable and comfortable

living environment for the local community. We demonstrate the CityGML language for 3D modeling of cities and review and rate the examples of digital twins of various cities.

*Keywords:* BIM, CIM, GIS, smart city, digital twin, GML, CityGML.

BIM – в дословном переводе «информационное моделирование зданий» является процессом, относящимся не только к зданиям и сооружениям, он также охватывает различные объекты инфраструктуры: мосты и дороги, порты и железные дороги, станции метро и инженерные сети. В конечном итоге целый город можно рассматривать как интеграцию информационных моделей его компонентов. Соединение этих моделей на основе пространственных координат через GIS (Geographical Information system) приводит к новому понятию – CIM (City Information Model), информационной модели города. Дополненная через интернет вещей IoT (Internet of Things) данными о состоянии и функционировании объектов в реальном режиме времени Big Data, информационная модель перерастает в цифровой двойник города – Digital Twin, киберпространство, наложенное на физическую реальность. В этой модели все сферы городской жизни становятся прозрачными и управляемыми. Это и есть умный город Smart City, который формируется на основе технических и программных решений различного назначения.

Цель данной статьи – показать эволюцию и взаимосвязь современных ИТ-решений, комплексное применение которых позволит сформировать эффективную систему управления городскими ресурсами, реализуя тем самым безопасные, доступные и комфортные условия для жизни.

Информационное моделирование строительного объекта основано на идее непрерывного использования цифровых моделей разного назначения и уровня на протяжении всего жизненного цикла этого объекта, начиная с концептуального и рабочего этапов проектирования до строительства, эксплуатации и демонтажа. BIM обеспечивает непрерывный информационный поток между всеми участниками процесса, что приводит к повышению эффективности за счет сокращения трудоемкого и подверженного ошибкам повторного ввода информации вручную, как это было

в традиционных подходах. BIM позволяет существенно снизить количество ошибок в проектной документации и сократить время проектирования, сроки координации и согласования документации, что в конечном итоге ведёт к снижению затрат на реализацию проекта и дальнейшую эксплуатацию строительного объекта.

CIM – это комплекс технологий и разнообразных данных, который сочетает в трехмерном пространстве детализацию BIM и мощь GIS, интегрируя информацию по ландшафту, зданиям и инфраструктуре. В некоторых публикациях можно встретить такую формулу: BIM + GIS = CIM. CIM отличается от BIM объектами моделирования, здесь это не здания, сооружения и объекты инфраструктуры, а градостроительные единицы и городские пространства. В модели необходимо учитывать высотность и плотность застройки, наличие объектов социальной инфраструктуры, парковочные места и многие другие аспекты городской информации. Модель может интегрировать множество разнородных источников, создавая интегрированные и совместимые наборы данных. Подобно развитию BIM необходимо создавать библиотеки элементов, что будет повышать эффективность каждой последующей оцифровки территории. Разные приложения и разные задачи используют свои наборы параметров: для GIS ЖКХ это энерго- и теплотребление, для управления транспортом для прогнозирования пассажиропотоков нужны сведения о количестве жителей в конкретных домах. CIM является многофункциональной интегрированной системой управления, ее цель – добиться мультисервисного сотрудничества, достичь полного спектра горизонтального и вертикального управления, повысить общую эффективность городского управления.

Рынок информационного моделирования территорий в России только начинает развиваться, отсутствует необходимая нормативно-правовая база для соответствующих контрактов. Предстоит процесс создания универсальной парадигмы оцифровки территорий. Можно предположить, что подобно тому как в 2014 году катализатором развития BIM послужил Приказ Минстроя России «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного

и гражданского строительства», для динамичного запуска СИМ также появится соответствующий директивный документ. Однако уже сейчас в рамках ведомственного проекта «Умный город» Минстроя РФ, который реализуется в составе национального проекта «Жильё и городская среда» и национальной программы «Цифровая экономика РФ» проведена большая экспертная работа по формированию концепции и ключевых терминов, целей и принципов умного города, что развивается в одном ключе с СИМ.

В «Стандарте умного города» (подписан в марте 2019 г., опубликован на сайте Министерства и на интернет-портале «Умный город» <https://russiasmartcity.ru/>) в разделе «Городское управление» в п. 2 «Цифровой двойник города» сформулированы базовые и дополнительные требования до 2024 г., среди которых поэтапное внедрение государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности, внедрение сервисов для анализа и сопоставления фактических данных об объектах недвижимости с данными кадастровой карты муниципальных образований, интеллектуальные транспортные модели, модели схемы обращения с отходами, модели систем водоснабжения и водоотведения, тепло-, электроснабжения, внедрение единой диспетчерской службы города, обладающей электронной базой актуальных сведений о параметрах функционирования города, работа которой синхронизирована со всеми экстренными службами, отвечающими за работу городской инфраструктуры.

Надо сказать, что понятие цифрового двойника пришло из промышленности, где под двойником понимается компьютерная модель объекта, функционирующая в реальном режиме времени. Приведенная выше трактовка в некоторой степени соответствует этому определению.

В декабре 2020 г. утвержден документ «Концепция проекта цифровизации городского хозяйства «Умный город», где описаны основные термины, цели реализации, вызовы, с которыми сталкиваются города при внедрении технологий, ожидаемые эффекты от внедрения, преимущества умного города для жителей, бизнеса и государства. Документ подготовлен с учетом международного опыта, текущих вызовов и актуальных трендов.



В «Концепции» даны такие определения как городская среда, сервисы, пространственное развитие и многое другое, в данном контексте отметим и частично детализируем понятия умного города, его архитектуры и цифрового двойника. **Умный город** – это подход к развитию города, использующего цифровые инструменты для повышения уровня жизни, качества услуг и эффективности управления при обязательном удовлетворении потребностей настоящего и будущих поколений во всех актуальных аспектах жизни. **Архитектура умного города** – это базовая организация его элементов, таких как информационные системы и платформы, базы данных, автоматизированные рабочие места, которые связаны с окружением стандартами и правилами работы с данными. Архитектура предполагает трёхуровневую организацию:

1) базовый комплекс иерархических моделей: информационных (данные), физических (датчики, сети, хранилища) и логических (взаимосвязь систем и внутренних процессов);

2) обеспечивающий уровень, это сервисы по сопровождению и контролю сроков и качества услуг;

3) непосредственно сами электронные сервисы и услуги для физических и юридических лиц.

И наконец, **цифровой двойник** – это виртуальный прототип реального городского объекта или процесса, суть которого в непрерывном сборе данных, стандартизации данных и отношений элементов, их визуализации и комплексном анализе.

Умное городское управление обеспечивает скоординированную работу государственных органов. Объектами управления являются городское планирование (цифровые двойники и сбор и аналитика различных данных, платформы сценарного моделирования градостроительных проектов), государственные услуги, синхронизация работы разных служб и ведомств. Открытое правительство опирается на цифровые платформы для вовлечения граждан в решение вопросов городского развития.

Как отмечают специалисты, одним из способов начать двигаться в сторону CIM [1, 2] является платформа Autodesk Infracore. Она показала свою эффективность для решения задач концептуального проектирования объектов инфраструктуры. Программа

позволяет загружать исходные данные в самых разнообразных форматах, а при отсутствии данных модели городских объектов можно оперативно отобразить, применяя открытые картографические базы и сервисы. Программа имеет богатый набор инструментов по аналитике загрязненности воздуха и почвы, геологическим условиям, энергоэффективности, степени износа существующей застройки и др. Реалистичная 3D-визуализация позволяет пользователям видеть проекты так, как они выглядят в реальном мире, и оценивать получаемые решения.

Программное обеспечение американской компании Esri (Environmental Systems Research Institute, Inc.) [3], основоположника и мирового лидера рынка геоинформационных систем, закрывает многие потребности пользователей в возможностях трехмерной графики в GIS. Система ArcGIS Esri это мощная платформа для анализа и оформления геоданных. Она имеет несколько типов трехмерных слоев, веб-средства просмотра 3D-изображений и даже готовые шаблоны для создания 3D-городов (<https://github.com/Esri/3d-cities-template>), включая инструменты, скрипты и приложения и соответствующие сценарии применения. Результатом стратегического сотрудничества компаний Autodesk и Esri, о котором было объявлено в конце 2017 года на конференции Autodesk University в Лас-Вегасе, стало то, что мировые лидеры в области ВМ и GIS объединили свои компетенции и предложили пользователям мощь двух технологий, чтобы у градостроителей была возможность видеть всю картину целиком и проектировать более устойчивые города и инфраструктуру [4].

Для унифицированного обмена пространственными данными между различными информационными системами разработан язык географической разметки GML – Geography Markup Language Encoding Standard (<https://www.ogc.org/standards/gml>) для передачи и хранения географической информации, смоделированной в соответствии с концептуальной структурой, используемой в серии международных стандартов ISO 19100. Стандарт GML используется в геосервисах, предоставляющих доступ к данным и содержит универсальный набор средств для описания пространственного положения объектов с учетом их топологических отношений.

Ассоциация Open Geospatial Consortium разработала язык CityGML (<https://www.ogc.org/standards/citygml>), предназначенный для трехмерного моделирования городов. Язык представляет собой инструмент для описания городских объектов, причем не только зданий и сооружений, но и рельефа местности, растительности, гидрологии, дорог, тротуаров, тропинок, мостов и туннелей. CityGML предусматривает пять различных уровней детализации, каждый со своей структурой описания городских объектов: LOD0 – 2D контуры зданий; LOD1 – блоки, плоская кровля; LOD2 – текстуры, реальная кровля; LOD3 – сложные архитектурные элементы; LOD4 – модели интерьера. Предполагается, что CityGML-файл, описывающий населенный пункт, содержит в себе информацию по всем пяти уровням одновременно.

Работа в GIS, дополненная инструментами CIM, при использовании больших данных от интернета вещей IoT, поступающих с многочисленных датчиков, внедрённых во все компоненты городской среды, приводит к понятию цифрового двойника умного города. За счет интеграции технологий BIM, GIS, CIM и IOT может быть достигнуто всестороннее, в том числе визуальное, представление множества данных из ряда источников, построена интеллектуальная библиотека моделей принятия решений, создана система управления моделями, что обеспечивает поддержку принятия решений для всего процесса планирования, строительства и управления умным городом.

Цифровые двойники собирают информацию о работе городских систем в режиме реального времени и анализируют большие данные средствами искусственного интеллекта. Составлен рейтинг лучших 10 цифровых двойников городов мира на январь 2020 года [5]: Сингапур, Амаравати, Бостон, Ньюкасл, Джайпур, Хельсинки, Роттердам, Стокгольм, Ренн и Антверпен. Они созданы с использованием разработок таких мировых лидеров как Dassault Systemes (платформа 3DExperience), Bentley Systems (сервис OpenCities Planner) и других. На рис. 1 – реальная фотография и цифровая модель г. Сингапур [6]. Виртуальный Сингапур – это цифровой двойник Сингапура, построенный на топографических данных, а также на динамических данных в реальном времени.

Цифровой двойник индийского города Амаравати [7, 8] послужил основой умного города, спроектированного с нуля архитекторами Foster + Partners и Сурбана Джуронг. По цифровой копии можно заранее спрогнозировать рост населения, что актуально для городов в Индии. Первоначальный 3D-прототип города, построенный с использованием программного обеспечения Smart World Pro компании Cityzenith был представлен на ежегодном общем собрании Всемирного экономического форума в Давосе в 2019 году.



Рис. 1. Сингапур реальный и виртуальный

По данным компании MarketsandMarkets™ [9], рынок разработок в сфере цифровых копий городов ежегодно будет прирастать в среднем на 38 %, а к 2023 году объем рынка может достигнуть \$15,7 млрд.

Итак, были рассмотрены современные ИТ, реализуемые в виде управляемых платформ «Умный город». Интеграция технических и программных решений различного назначения, таких как BIM, GIS, CIM, IoT, позволит сформировать эффективную систему управления городскими ресурсами и повысить конкурентоспособность российских городов.

Город – это сложный и динамичный организм: миллионы людей, дома, дороги, предприятия, школы, парки. Изменение каждого аспекта влияет на другие, поэтому планирование и управление – сложная работа. Но если есть инструмент в виде цифрового двойника, который может ответить на вопрос «что будет, если...», т. е. моделировать различные сценарии до их физической реализации, это поможет решать все задачи более эффективно.

## Литература

1. Жуков А.В. Информационная модель – основа «Умного города», или что дает Autodesk InfraWorks для Smart City. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=19594](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19594) (дата обращения: 05.03.2021).
2. Ширинян Е. От BIM к CIM: можем ли мы говорить об информационном моделировании города? URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=19872](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19872) (дата обращения: 05.03.2021).
3. 3D GIS. Возможности ArcGIS. URL: <https://www.esri-cis.ru/ru-ru/arcgis/about-arcgis/3d-gis/overview> (дата обращения: 05.03.2021).
4. Землянская А. BIM + ГИС: будущее всех инфраструктурных проектов. 2018 г. URL: [https://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=20000](https://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20000) (дата обращения: 05.03.2021).
5. 10 цифровых двойников городов 2020 г. URL: <https://realty.rbc.ru/news/5e297b079a79478024d54ff6> (дата обращения: 05.03.2021).
6. Matthew Wall. Virtual cities: Designing the metropolises of the future. January 18, 2019. URL: <https://www.bbc.com/news/business-46880468#> (дата обращения: 05.03.2021).
7. Sue Weekes. The rise of digital twins in smart cities. Special Reports: January 06, 2019. URL: <https://www.smartcitiesworld.net/special-reports/special-reports/the-rise-of-digital-twins-in-smart-cities> (дата обращения: 05.03.2021).

8. Carly Minsky. Digital twins give urban planners virtual edge January 29, 2020. URL: <https://www.ft.com/content/15851b06-1b6f-11ea-81f0-0c253907d3e0?shareType=nongift> (дата обращения: 05.03.2021).

9. Digital Twin Market worth \$48.2 billion by 2026 // The report MarketsandMarkets URL: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/digital-twin.asp> (дата обращения: 05.03.2021).

**УДК 69.055:004.9**

**DOI:** 10.23968 / BIMAC.2021.004

**Менейлюк Александр Иванович**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

*E-mail:* [meneylyuk@gmail.com](mailto:meneylyuk@gmail.com), *ORCID:* 0000-0002-1007-309X

**Никифоров Алексей Леонидович**, канд. техн. наук, ассистент  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

*E-mail:* [nikiforov.aleksey@yahoo.com](mailto:nikiforov.aleksey@yahoo.com), *ORCID:* 0000-0001-7002-7055

Meneylyuk Aleksandr Ivanovich, Dr. of Sci. Tech., Head of Department  
(Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)  
Nikiforov Aleksey Leonidovich, PhD of Sci. Tech., assistant  
(Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture)

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ ШАБЛОНОВ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВОМ И ВІМ**

### **MANAGING CONSTRUCTION WITH THE HELP OF CONSTRUCTION MANAGEMENT TEMPLATES AND BIM**

Статья содержит анализ резервов оптимизации инвестиционно-строительной деятельности. Определено, что эти резервы недостаточно используются в современном строительном производстве. Для использования резервов оптимизации была разработана концепция «шаблон управления строительством», основанная на возможностях современных программных продуктов. Описаны основные положения концепции «шаблон управления строительством». Она представлена как информационный инструмент в составе принципиальной и функциональной схем использования информационных средств при управлении в строительстве. Разработана схема управления знаниями руководителем строительного проекта. Показаны индикаторы и пути

повышения эффективности взаимодействия руководителя строительного проекта с заинтересованными сторонами.

*Ключевые слова:* информационное моделирование зданий, руководитель строительного проекта, шаблон управления строительством, организация строительства, инжиниринг.

This article analyzes the potential for optimizing investment and construction activities. We determine that this potential is underutilized in the modern construction industry. In order to use the potential properly, we develop the concept of a “construction management template”, based on the capabilities of modern software. We also describe the main principles of the “construction management template” concept. It is presented as an information tool that is part of the conceptual and functional processes of using information tools in construction management. We also design a template for controlling the construction project manager’s knowledge. We show the indicators and ways of increasing the efficiency of interactions between the construction project manager and stakeholders.

*Keywords:* Building Information Modeling, construction project manager, construction management template, construction management, engineering.

Анализ информационных источников показал, что можно выделить ряд резервов повышения эффективности строительного производства:

- научная организация труда и управления (НОТиУ);
- системный и процессный подходы [1–2];
- управление проектами [3–4];
- инжиниринг [5];
- BIM (информационное моделирование строительства), производственное и финансовое моделирование [6–7].

Рассмотренные концепции управления недостаточно используются в практике современных строительных предприятий. Необходимо концепция, которая объединит указанные резервы эффективности в технологию управления с использованием информационных программ – «шаблон управления строительством».

Целью статьи является определение концепции «шаблон управления строительством» как средства организации строительства с привлечением руководителей строительных проектов. Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Анализ резервов оптимизации инвестиционно-строительной деятельности.

2. Определение концепции «шаблон управления строительством».

3. Описание организации строительства при использовании разработанной концепции.

Строительная деятельность является проектно-ориентированной. Представляется рациональным упорядочить управление в соответствии с процессами «Руководства по управлению проектами», применив один из основных принципов системы менеджмента качества (документарную фиксацию управленческих воздействий) совместно с традиционным решением научной организации труда и управления в строительстве – технологической картой. Для этого необходимо: расширить понятие «технологическая карта» до понятия «шаблон управления строительством»; сформировать базу знаний предприятия на основе шаблонов управления строительством; на основании данных шаблонов формировать модели операционной деятельности организации (взаимосвязанные модели продукта и процессов проекта); осуществлять документарную выдачу заданий и принятия конечного результата с помощью моделей (рис. 1).

Представленная схема (рис. 1) показывает, что с помощью информационных моделей возможно по-новому упорядочить следующие уровни управления, как «организация» и «руководство». В частности, современный уровень развития информационных средств позволяет:

– формировать и работать с моделями любой степени детализации. Это дает возможность повысить точность и оперативность управленческих воздействий, сэкономить время управленцев на выполнение планирования и контролю. Итак, это – возможность сэкономить усилия управленцев для реализации уровня «лидерство»;

– создавать комплексные взаимосвязанные модели продукта и процессов строительного проекта. Это приводит к новой интерпретации понятия научной организации труда и управления путем формирования и использования шаблонов управления строительством.



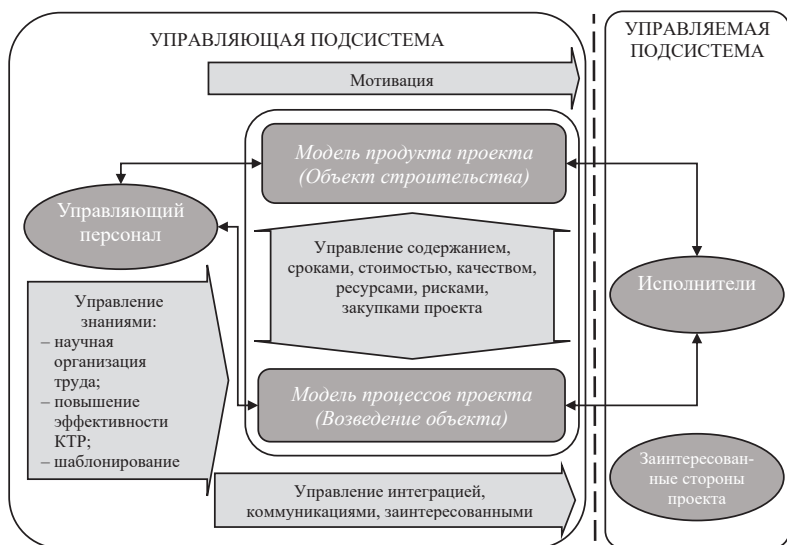


Рис. 1. Принципиальная схема использования информационных средств при управлении в строительстве

На рис. 2 показана функциональная схема использования информационных средств в строительстве (объединенная стрелка от «первичного отчета» и «отчета о достоверности» означает взаимную согласованность этих документов). Она разработана на основании принципиальной схемы, приведенной на рис. 1. Функциональная схема формализует основные пути документооборота строительной компании. В качестве документа на данной схеме принят носитель информации (бумажный или электронный), в котором однозначно зафиксирована ответственность за представленные данные. Разработанная схема (рис. 2) показывает, что основными элементами системы «Управление в строительстве с помощью информационных технологий» являются: справочник шаблонов управления строительством (построен на принципах управления знаниями и научной организации труда и управления) и модели продукта и процессов проекта (вмещает версии продукта и процессов проекта «целевой план», «оперативный план» и «факт»). Модель процессов проекта

при этом включает финансовые процессы и результаты. Эффективность реализации представленной функциональной схемы (рис. 2) зависит от следующего: степени разработанности справочника шаблонов управления строительством, последовательности в фиксации и реализации ответственности работников за информацию в указанных документах.

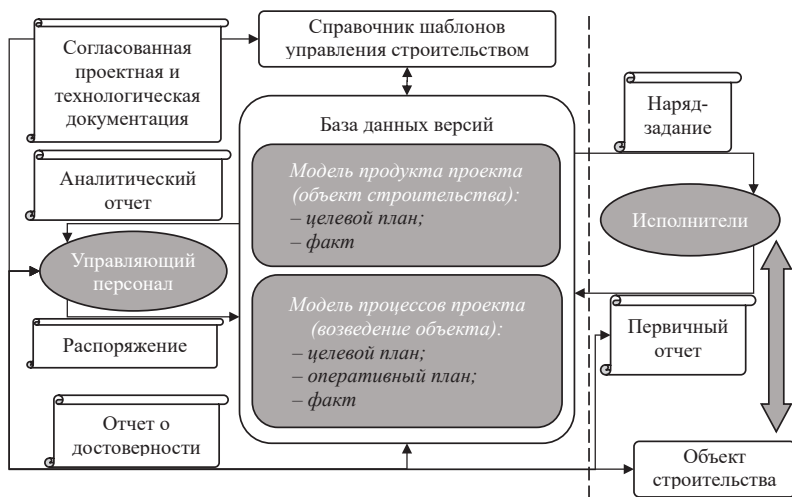


Рис. 2. Функциональная схема использования информационных средств при управлении в строительстве

Шаблон управления строительством (ШУС) – это строительная информационная модель, содержащая данные по планировочным, конструктивным, технологическим, организационным, эксплуатационным и экономическим решениям в виде объемной параметрической части здания или сооружения и связанного с ней ресурсного графика работ.

С коммерческой точки зрения, ШУС является наглядным и надежным источником информации при продажах и при клиентском сопровождении как для инвестора (консолидированного или распределенного), так и для основных заинтересованных

сторон инвестиционно-строительного процесса – руководителя строительного проекта, генерального проектировщика, генерального подрядчика. Демонстрация продукта и процессов инвестиционно-строительной деятельности в план-фактном измерении на всех этапах жизненного цикла позволяет развивать и поддерживать мотивацию к участию всех заинтересованных сторон. Точность и объективность данных дает возможность повысить взаимное доверие и ценность участия в проекте. Альтернативным путем коммерческого развития является создание и использование инновационного продукта. ШУС является моделью, позволяющей выявлять плановую и фактическую эффективность инноваций, за счет чего возможно развивать коммерческую деятельность.

С управленческой точки зрения, ШУС позволяет формализовать операционную составляющую бизнес-модели. За счет этой формализации снижается необходимость сконцентрироваться на администрировании и организации производства. Из-за этого повышается качество управления и появляется возможность уделить больше внимания лидерству и стратегии, неформальным факторам управления.

С архитектурно-конструктивной точки зрения использование ШУС включает все преимущества использования BIM, с технологической – использование принципов НОТиУ.

С эксплуатационной точки зрения сочетание архитектурно-конструктивной и технологической составляющей позволяет рассчитывать эффективность инвестиционно-строительной деятельности за все время жизненного цикла здания на основе комплексной модели – совокупности ШУС.

Заинтересованные стороны при использовании концепции «шаблон управления строительством» можно разделить на три группы: внешние участники (государственные органы контроля, инвесторы, потребители), управляющая сторона (руководитель строительного проекта), управляемые стороны (разработчики ШУС, подрядчики и поставщики). Анализ рис. 3 обосновывает выделение этих сторон. На этом рисунке приняты следующие условные аббревиатуры:

1. BIM (Building Informational Modelling) – строительное информационное моделирование.

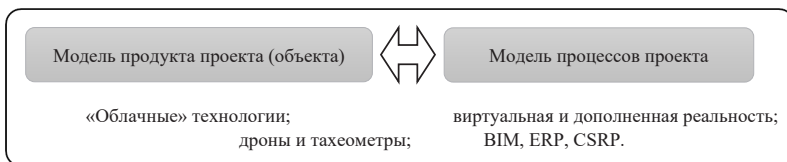
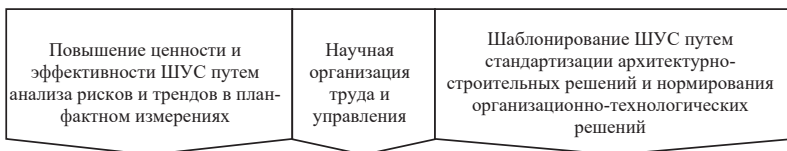
2. ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия.

3. CSRP (Customer Synchronized Relationship Planning) – клиенто-ориентированное планирование взаимодействий).

- государственные органы
- инвестор; потребители стр. продукции

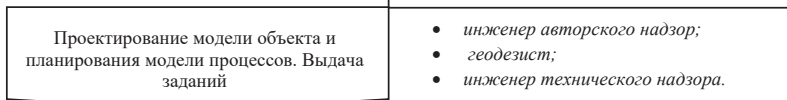


- *Руководитель строительного проекта: коммерсант / руководитель / BIM-менеджер.*



- проектировщик;
- сметчик, технолог.

Контроль реализации моделей объекта и процессов



- подрядчик / исполнитель работ;
- поставщики.

объект строительства

Рис. 3. Принципиальная схема управления знаниями при использовании инжинирингового подхода и концепции «шаблон управления строительством»

Также, анализ рис. 3 показывает, что роль руководителя строительного проекта при использовании ШУС является тройной:

- с одной стороны, руководитель строительного проекта должен управлять знаниями инвестиционно-строительного процесса. Для упрощения эта роль обозначена на рисунке «BIM-менеджер»;

- с другой стороны, руководитель строительного проекта должен работать над поощрением внешних участников в ходе проекта – то есть постоянными продажами и клиентским сервисом. Для упрощения эта роль обозначена на рисунке «коммерсант»;

- с третьей стороны, руководитель строительного проекта должен управлять инвестиционно-строительным процессом – осуществлять лидерство, организацию, администрирование проекта. Для упрощения эта роль обозначена на рисунке «руководитель».

Как видно из рисунка, взаимодействие руководителя строительного проекта с подрядчиками и поставщиками проводится через модели продукта и процессов проекта – совокупность ШУС. В этом ему помогает команда проекта, которой он делегирует ряд функций управления:

- разработку модели продукта – проектировщику; разработку модели процессов – сметчику или технологу строительного производства;

- выдача заданий проходит автоматизировано при налаженной работе разработчиков модели;

- контроль реализации моделей проходит с привлечением инженеров авторского надзора и геодезистов – для контроля соответствия модели продукта и фактически выполненной здания: с привлечением инженеров технического надзора – для контроля технологической дисциплины, объемов работ и использованных ресурсов, то есть для контроля соответствия модели процессов и фактически выполненных работ.

Для выполнения вспомогательных функций (материально-технического и производственно-технического обеспечения, финансового мониторинга и т. д.) могут привлекаться дополнительные специалисты согласно организационной структуры инвестиционно-строительного процесса. Они должны пользоваться первичной информацией, содержащейся в ШУС.

### **Выводы:**

1. Анализ информационных источников показал, что для совместного использования резервов повышения эффективности строительства актуальна разработка концепции «шаблон управления строительством».

2. Разработанная концепция «шаблон управления строительством» позволяет повышать эффективность строительства по многим направлениям; сохранять плановые и фактические показатели строительного производства и сравнивать их.

3. Организация строительства с помощью моделей продукта и процессов инвестиционно-строительных проектов дает возможность наладить контроль руководителя строительного проекта со стороны заказчика.

### **Литература**

1. Скрипко Л.Е. Процессный подход в управлении качеством. СПб: СПбГУЭФ, 2011. 105 с.

2. Управление для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества (ISO 9004: 2009, IDT): ДСТУ ISO 9004: 2012. [введено 2012-11-28]. Киев: Минэкономразвития Украины, 2013. 45 с.

3. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Pennsylvania: Project Management Institute Inc., 2017. 762 p.

4. Кононенко И.В., Агаи А. Формирование обобщенного свода знаний по управлению проектами // Управление развитием сложных систем. 2016. № 27. С. 44–53.

5. Вахович И.В., Молодид А.А., Терещенко Л.В. и др. Профессия инженера-консультанта // Строительное производство. 2017. Т. 2, № 63/2. С. 16–20. URL: <https://ndibv-building.com.ua/index.php/Building/issue/view/8/PDF4> (дата обращения: 02.04.2021).

6. Волков А. Как не стать осликом Иа, или как ВІМ может наладить стройку. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17182](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17182) (дата обращения: 02.04.2021).

7. Хмель Ф.И., Плеша М.И. Обзор информационно-программного обеспечения труда менеджера // Вестник Львовской коммерческой академии. Серия экономическая. 2013. Вып. 40. С. 124–134. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca\\_ekon\\_2013\\_40\\_17](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_ekon_2013_40_17) (дата обращения: 02.04.2021).

УДК 697.112

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.005

**Михальков Дмитрий Владимирович**, канд. техн. наук, доцент

(Белорусско-Российский университет)

*E-mail: mikhalkovdv@yandex.by*

**Шкильнюк Максим Александрович**, ассистент

(Белорусско-Российский университет)

*E-mail: eeld9696@gmail.com*

Mikhalkov Dmitry Vladimirovich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor

(Belarusian-Russian University)

Shkilniuk Maksim Aleksandrovich, assistant

(Belarusian-Russian University)

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ НАРУЖНОЕ ОГРАЖДЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

### **CALCULATING HEAT LOSSES THROUGH EXTERIOR ENCLOSURES IN MODERN SOFTWARE COMPLEXES**

Определение тепловых потерь применяется в процессе проектирования зданий и сооружений для определения соответствия ограждающих конструкций современным нормам по тепловой защите. При этом автоматизация расчетов позволяет значительно сократить время проектирования. В статье проведена оценка соответствия величины тепловых потерь при ручном расчете и в программном комплексе Autodesk Revit. Вычисления проведены на примере простейшего здания, определены величины отклонения значений. Определено, что расчетный комплекс требует точного ввода исходных данных и корректировки параметров для определения результатов в программе.

*Ключевые слова:* BIM, теплотехнический расчет, тепловые потери, теплопроводность, автоматизация расчетов.

Heat loss calculation is part of designing buildings and structures. It is used for determining the compliance of enclosures with modern standards for thermal performance. The automation of such calculations can significantly reduce design time. This article compares the manual heat loss calculations and the heat loss calculations made in Autodesk Revit. Based on the calculations using a simple building as an example, we have determined value deviations. Our study shows

that the computing complex requires accurate input of the initial data and proper parameter adjustment in order to obtain the correct results.

*Keywords:* BIM, heat engineering calculation, heat losses, thermal conductivity, calculation automation.

Проведение теплотехнического расчета наружных ограждающих конструкций в процессе проектирования зданий позволяют сконструировать строительную конструкцию с учетом обеспечения тепловой защиты здания. Для обеспечения требуемых параметров микроклимата необходимо подобрать достаточную толщину слоев стеновой строительной конструкции при обеспечении требуемой конструктивной прочности. При этом бездумное увеличение толщины не является положительным вследствие увеличения толщины стены и увеличения затрат на строительство. Таким образом можно говорить о том, что проведение такого расчета является важным этапом проектирования. Не менее важным является автоматизация любого этапа проектирования, что на сегодняшний день позволяют обеспечить расчетные комплексы. Следовательно, можно говорить о том, что сходимость результатов расчетов в соответствии с действующими нормативными документами является важным этапом адаптации расчетного комплекса к процессу проектирования [1, 2].

В данной работе было принято решение провести сравнение варианта ручного определения и расчета в Autodesk Revit для здания площадью 36 м<sup>2</sup>. Для проведения расчетов было взято достаточно простое здание с целью исключения появления дополнительных ошибок. При этом необходимо учитывать, что требования нормативных документов разных стран могут отличаться, следовательно, необходимо вводить определенные корректирующие коэффициенты, оптимизировать и дополнять вводимые исходные данные, дополнительно настраивать программный комплекс для привязки последовательности определения к требованиям действующих нормативных документов [3–6].

При проведении ручного расчета необходимо руководствоваться требованиями действующего в Беларуси нормативного документа [3] с внесенными изменениями и дополнениями.



Характеристики конструктивных элементов приведены в таблице (табл. 1), результаты ручного расчета приведены в таблице (табл. 2).

Таблица 1

**Строительные характеристики рассчитываемых конструкций**

Характеристика конструкций и конструктивных элементов					Теплопотери, Вт
№	Наименование	Ориентация	Размеры, м	Площадь, м <sup>2</sup>	
1	Наружная стена	Север	6×3	17	895,356
2	Наружная стена	Юг	6×3	15	718,2
3	Наружная стена	Восток	6×3	18	948,024
4	Наружная стена	Запад	6×3	17	854,658
5	Оконный проем	Север	1×1	1	149,226
6	Оконный проем	Запад	1×1	1	142,443
7	Дверной проем	Юг	1,5×2	3	61,56
8	Плита пола	–	32,00	32	857,28
9	Плита пола	–	4,00	4	52,44
10	Плита перекрытия	–	36,00	36	615,6

Теплопотери через все ограждающие конструкции при ручном расчете в соответствии с [1] составили 5294,787 Вт.

Таблица 2

Результаты ручного расчета

Температура внутри помещения $t_{внт}, ^\circ\text{C}$	№	Удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$	$(t_{в} - t_{п})/t,$ $^\circ\text{C}$	Теплопотери $Q, \text{Вт}$	Добавочные теплопотери, $\text{Вт}$	Общие теплопотери, $\text{Вт}$	Итого, $\text{Вт}$
20	1	0,84	57	813,96	1,1	895,356	5294,787
	2	0,84	57	718,2	1	718,2	
	3	0,84	57	861,84	1,1	948,024	
	4	0,84	57	813,96	1,05	854,658	
	5	2,38	57	135,66	1,1	149,226	
	6	2,38	57	135,66	1,05	142,443	
	7	0,36	57	61,56	1	61,56	
	8	0,47	57	857,28	1	857,28	
	9	0,23	57	52,44	1	52,44	
	10	0,3	57	615,6	1	615,6	

При определении теплопотерь в Autodesk Revit необходимо в первую очередь задаться свойствами рассчитываемых конструкций [5]. Задается структура конструкции, материалы, толщина слоев. Физические характеристики материалов Revit выбирает из базы исходя из выбранного материала, их можно откорректировать вручную.

Для правильного расчета необходимо задать условие, при котором Revit будет автоматически рассчитывать объём помещения, также необходимо привязаться к географическому расположению здания, задать тип здания. Пример задания параметров приведен на рисунке (рис. 1).

После задания всех характеристик здания уже возможно провести вычисления и получить сокращенный или полный отчет по расчету теплопотерь здания. Пример результата приведен на рисунке (рис. 2).

Суммарные теплопотери при расчете в Revit составили 5269 Вт. Отличие от результатов ручного расчета минимальны. Это в достаточной степени обосновано, так как при расчете была принята простейшая конструкция однослойной стены и достаточно подробно заданы остальные исходные данные.

Следующим этапом проведено определение тепловых потерь для однослойной стены из легкого бетона. При ручном расчете второго варианта конструкции стены (легкий бетон) теплопотери составили 6148,84 Вт, а при расчете в Autodesk Revit для этого варианта потери составили 5760 Вт, что позволяет говорить о достаточно серьезных расхождениях в полученных результатах на не большом простом здании.

Далее была изменена конструкция стены на многослойную, была принята легкобетонная газосиликатная стена, утепленная минеральной ватой и оштукатуренная с двух сторон. Результаты определения теплопотерь строительных конструкций составили 3179,97 Вт при ручном расчете и 2990 Вт при расчете в программном комплексе. При этом можно считать, что расхождение результатов по многослойной конструкции стены в третьем варианте весьма значительно.



Компоненты	Охлаждение		Отопление	
	Нагрузки (Вт)	В процентах от полной величины	Нагрузки (Вт)	В процентах от полной величины
Стена	357	23.50%	3,582	67.99%
Окно	523	34.38%	259	4.91%
Дверь	42	2.74%	400	7.60%
Крыша	0	0.00%	0	0.00%
Световой люк	0	0.00%	0	0.00%
Перегородка	0	0.00%	0	0.00%
Инфильтрация	26	1.70%	1,028	19.50%
Освещение	212	13.92%		
Мощность	302	19.88%		
Количество человек	59	3.88%		
Службное пространство	0	0.00%		
<b>Всего</b>	<b>1,521</b>	<b>100%</b>	<b>5,269</b>	<b>100%</b>

Рис. 2. Результаты расчета в Revit

Невозможно отрицать, что при правильном использовании программного комплекса можно добиться значительного упрощения расчета теплопотерь для здания любой сложности и размеров.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Расчетные значения тепловых потерь при проектировании объекта строительства, полученные при определении в программных комплексах, в целом, соответствуют полученным вручную. Однако необходим точный и полный подбор и указание параметров хода определения и исходных данных для формирования точного расчета.

2. Полученные и приведенные в публикации значения теплопотерь строительных конструкций говорят об увеличении расхождения результатов, полученных вручную и в программном комплексе, в зависимости от значительного количества факторов: конструкции наружных ограждающих конструкций и их параметров, количества слоев, указанных расчетных параметров и т. д. При этом можно отметить, что программный комплекс Autodesk Revit при проведении расчетов зачастую занижает величину тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции.

3. Результаты можно использовать в качестве оценочного расчета в связи с тем, что за достаточно небольшой промежуток времени с относительно малыми трудозатратами возможно получение данных, позволяющих в целом оценить уровень тепловой защиты здания.

4. Применение при проектировании автоматизированных расчетов следует признать целесообразным при проведении дополнительного контроля правильности полученных значений тепловых потерь.

5. Изучение порядка определения тепловых потерь строительных конструкций при проведении обучения целесообразно при параллельном изучении последовательности расчета ручным способом.

### **Литература**

1. Усенко В.В., Суханова И.И. Определение тепловых потерь через наружное ограждение в современных программных комплексах // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийск. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 152–155.

2. Усенко В.В. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций в программе Revit // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы: сборник статей Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 3. Пермь: НИЦ Аэтерна, 2018. С. 144–146.
3. ТКП 45-2.04-43-2006. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования. Минск: Минстройархитектуры, 2006. 47 с.
4. СП 50-13330-2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: ФГУП ЦПП, 2012. 82 с.
5. ГОСТ Р 54851-2011. Конструкции строительные ограждающие неоднородные. М.: Стандартинформ, 2011. 22 с.
6. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*. М.: ФГУП ЦПП, 2012. 105 с.

УДК 004.9+528.8+72

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.006

**Яхина Елена Петровна**, канд. пед. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: eyakhina@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2809-2886*

Iakhina Elena Petrovna, PhD of Sci. Ped., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ОБЗОР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В РЕСТАВРАЦИИ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В РОССИИ**

### **REVIEW OF USING LASER SCANNING TECHNOLOGY IN THE RESTORATION AND RECONSTRUCTION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS IN RUSSIA**

В статье проанализирован большой массив проектов по лазерному сканированию объектов культурного наследия регионального и федерального значения. В числе прочих результатов определена доля проектов, завершившихся созданием трехмерной модели и комплексной информационной

модели (ВІМ). Кроме того, выявлены география, цель и количество проектов по годам начиная с 2000-х, продолжительность, объем и тип выполненных работ, трудности, с которыми столкнулись специалисты по лазерному сканированию, а также оборудование и наиболее популярные форматы хранения цифровых моделей. По результатам исследования сделан обобщающий вывод о развитии технологии в российских реалиях и краткий прогноз на ближайшие годы.

*Ключевые слова:* 3D-сканирование, проекты по реставрации и реконструкции, объекты культурного наследия, технологии лазерного сканирования, цифровые модели.

The article analyzes a wide array of projects involving laser scanning of cultural heritage objects of regional and federal significance. Among other results, we determine the share of projects that resulted in the creation of a 3D model and an integrated information model (BIM). In addition, our study reveals the location, goal and number of projects, sorted by year starting from the 2000s, as well as the duration, amount and type of work performed, the difficulties faced by laser scanning specialists, the equipment used, and the most popular formats for storing digital models. Based on the results of the study, we make a generalized conclusion regarding the development of this technology in Russia, and make a short forecast for the coming years.

*Keywords:* 3D scanning, restoration and reconstruction projects, cultural heritage objects, laser scanning technologies, digital models.

Российские исследователи все чаще говорят о перспективах использования лазерного сканирования в отношении памятников архитектурного наследия [1–4]. Несмотря на высокую востребованность лазерного сканирования в архитектуре, агрегированные данные о применении технологии в России отсутствуют. С одной стороны, это объясняется тем, что архитектурная сфера не занимает лидирующее положение в ряду других областей науки, техники и промышленности. Согласно отчету Global Market Insights (GMI), применение технологии в архитектуре и проектировании до 2024 года при сохраняющемся росте все же будет уступать ее использованию в промышленном производстве, космической и оборонной промышленности, здравоохранении. При этом спрос на российском рынке назван одним из драйверов роста рынка лазерного сканирования в мире. С другой стороны, так как лазерное сканирование в основном проводят коммерческие



компания, техническая информация о проекте зачастую остается нераскрытой.

В рамках данной статьи была поставлена цель – изучить опыт применения технологии лазерного сканирования в области сохранения культурного наследия на примере российских проектов по реставрации и реконструкции, главным образом в Москве и Санкт-Петербурге. Поскольку в последние годы основным источником сведений для реставрации и реконструкции все чаще становится информационная модель здания (BIM) [5], то при анализе была выявлена доля проектов, завершившихся созданием трехмерной модели и комплексной информационной модели.

В работе были использованы данные из открытых источников: порталы открытых данных органов власти, свободная энциклопедия «Википедия» и официальные сайты компаний, оказывающих услуги по лазерному сканированию архитектурных объектов. Всего для анализа были взяты 10 компаний из Москвы и Санкт-Петербурга: московские – НГКИ (36,8 %), Trimetari (9 %), «СоюзГипрозем» (3,9 %), «Акрополь Гео» (1 %), «Геодезия и проектирование» (2,9 %), «Йена Инструмент» (0,9 %); петербургские – «Фотограмметрия» (31,8 %), «Кубарта» (3 %), «Бента» (5,8 %), 3DScan (4,9 %). Ядро полученного массива данных (68,6 %) составили лидеры российского рынка лазерного сканирования: НГКИ и «Фотограмметрия», работающие с момента появления 3D-сканеров в России, то есть с начала 2000-х годов.

В итоговую таблицу вошли 155 проектов, описанных с помощью 16 параметров: компания (исполнитель), регион, год постройки, объекты культурного наследия, год проекта, цель проекта, полевой этап (дни), обработка данных (дни), общее время проекта (дни), количество сканов, площадь (кв. м), предмет работы (что было отсканировано), тип работы (лазерное сканирование или смешанный тип), оборудование, результат, трудности.

Большинство исследованных проектов были реализованы в Москве и Санкт-Петербурге (77 %). И это неудивительно, так как офисы двух лидирующих компаний отрасли находятся в этих городах. Однако ошибкой было бы считать, что деятельность

компаний замкнута на месте своего нахождения. Крупные участники рынка получают заказы в других регионах, а иногда и за границей (в Египте, Израиле, ОАЭ и др.).

При анализе времени постройки (рис. 1) было выявлено, что значительная часть объектов относится к периоду начиная с XVIII века и позже. Это хорошо демонстрирует рассеянный график, на котором также видно, что среди отреставрированных – несколько средневековых памятников (4 %). Самая многочисленная группа – здания, построенные в XIX и XX веках (73 %).

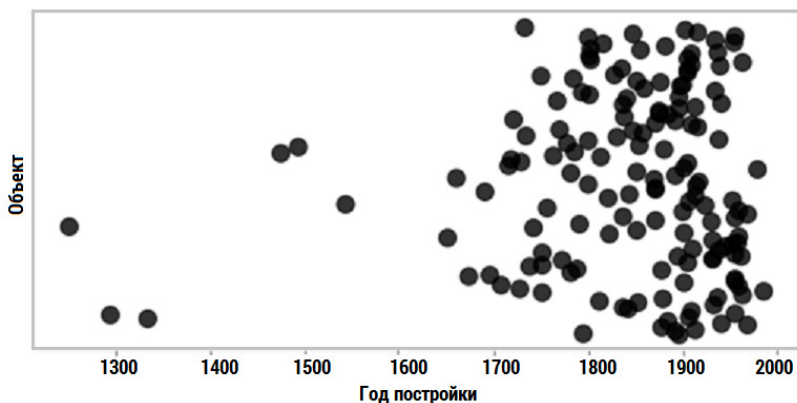


Рис. 1. Год постройки объектов

В подавляющем большинстве случаев (93 %) работы по лазерному сканированию выполнялись на территории объектов культурного наследия: федерального значения – 53 %, регионального значения – 32 %, выявленных памятников – 8 %. Малая часть проектов (7 %) не была связана с сохранением официально признанных объектов культурного наследия.

Результаты последнего десятилетия отражают неравномерный прирост числа проектов с падением в 2012, 2017 и 2020 годах. При этом уровень активности в прошлом году упал практически до значения 2012 года (7 проектов против 6).

Максимальное количество работ по лазерному сканированию объектов культуры зафиксировано в 2018 и 2019 годах (19 и 20 соответственно).

Две трети проектов (68 %) были связаны с реставрацией объекта, 23 % – его реконструкцией. Незначительная доля проектов (9 %) имела другие цели: видеомэппинг, обследование, модернизацию, дизайн, ремонт, проектирование коммуникаций, благоустройство территории, создание похожего объекта, научное исследование и др.

Проведенный анализ показал, что фасады реставрировались чаще других частей здания (46 %). Примерно в четверти случаев (23 %) обмеры лазерным сканером проводились во всем здании (предмет работы точнее не определен), реже на кровле (11 %) и чердаке (3 %), во внутренних помещениях и интерьере (по 10 %). В объектив сканирующих устройств попадали детали интерьера и декор, лестницы, живопись, фрески, иконостас, окна и двери, прилегающая территория, беседки, фонтаны, гроты, башни, тоннели метро, технические помещения, оборудование, инженерные коммуникации и др.

Чаще всего 3D-сканирование выполнялось на немецком оборудовании в основном от компании Leica (79 %), реже – Zoller & Fröhlich (13 %).

В модельном ряду Leica самым популярным оказался 3D-сканер Leica ScanStation P20 (30 %), чуть менее востребованным – Leica ScanStation P40 (24 %). Leica RTC360 и Leica BLK360 совокупно использовались в 15 % случаев.

Примерно в равной степени применялось оборудование американских производителей FARO Technologies и Trimble Navigation (32 %). Небольшую часть проектов сопровождали устройства Callidus (2 %), Surphaser (1 %) и Konica Minolta (1 %) (рис. 2).

Поскольку в трети проектов (32 %) использовалось не только лазерное сканирование, но и другие методы, например, аэро съемка, обмеры тахеометром, фотограмметрия, то в списке оборудования можно обнаружить беспилотные летательные аппараты (дроны), тахеометры и зеркальную фотокамеру. В некоторых проектах

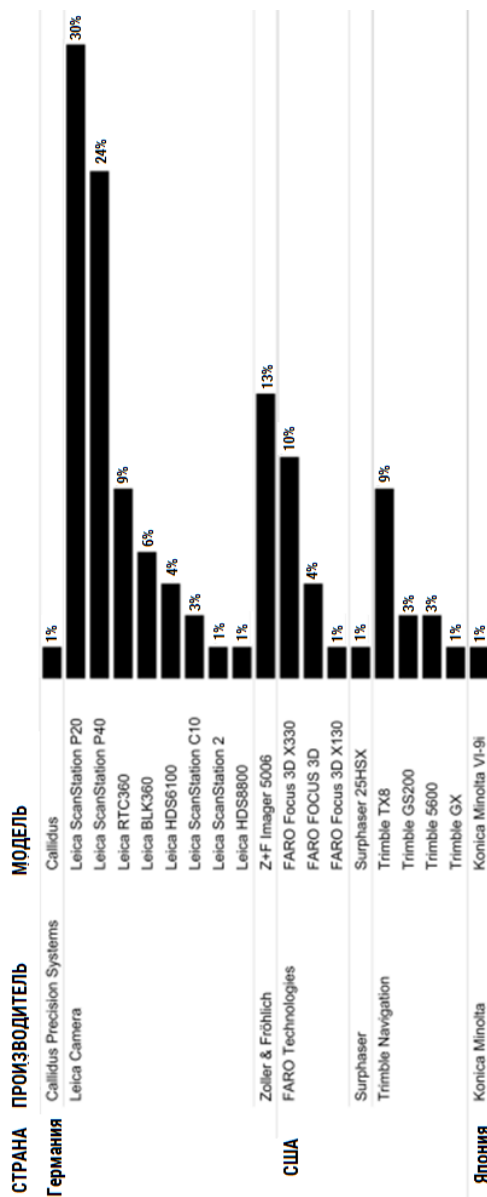


Рис. 2. Лазерные сканеры, использованные в проектах

даже при наличии многофункционального устройства для фиксации сложных выпуклых поверхностей потребовалось профессиональное фотооборудование. Например, в проекте по сканированию фонтана «Золотой колосс» на ВДНХ, помимо сканера Leica ScanStation P20 со встроенной камерой (получено 20 сканов), использовался фотоаппарат, на который было сделано 5000 снимков.

Минимально на выполнение архитектурных обмеров уходило 2 дня: 1 день на съемку и 1 день на обработку данных. Самый продолжительный проект (Бадаевский пивоваренный завод в Москве) занял 9,5 месяцев (287 дней), из которых три месяца специалисты сканировали объект и более полугодом обрабатывали данные. В проекте было получено 5500 сканов, что близко к максимальному значению – 6000 сканов, сделанных во время работ в Московском метрополитене. Самым масштабным проектом по площади оказалось сканирование фасадов Главного штаба сухопутных войск в Москве. В общей сложности сканер зафиксировал 85 000 квадратных метров.

Почти половина (49 %) проанализированных проектов закончились созданием обмерной документации, которая включала поэтажные планы, чертежи кровли, разрезы и сечения, чертежи интерьеров, элементов фасадов и др. В 12 % случаев заказчику потребовались ортофотопланы и ортофотоизображения. Современные цифровые модели на основе облаков точек были востребованы в большинстве проектов (57 %). При этом для одних было достаточно получить «сырое» облако точек (19 %) и самостоятельно доработать его, для других нужны были готовые трехмерные модели: точечные (41 %) и сетчатые (mesh) модели (4 %). В редких случаях (4 %) полученные лазерные обмеры были интегрированы в информационную модель (BIM). Технологии BIM были реализованы для Бадаевского пивоваренного завода, Гостиницы на Петровке, Торгового дома Камилла Депре – в Москве, для Новой Голландии, Государственной консерватории им. Н.А. Римского-Корсакова – в Санкт-Петербурге, а еще в проекте реконструкции Южного вокзала в Калининграде. Следует отметить, что наряду с трехмерными моделями в единичных случаях заказчик получал панорамы TrueView и 3D-тур.

Самыми популярными форматами, использованными при создании трехмерных моделей, были *dwg* и *rcp* (40 % и 32 % соответственно). В редких случаях применялись форматы *rvt* и *spf* (по 4 %), а в 20 % проектов исполнитель не конкретизировал формат, указав только на использование AutoCAD, вероятно, подразумевая под этим формат *dwg*.

Каждый пятый проект (19 %) был сопряжен с плохими погодными условиями (чаще с холодом). Проблемные ситуации в четверти проектов (27 %) были связаны с затрудненным доступом к объекту или его частям. По этой причине съемка куполов двух соборов (Сретенского в Рязанской области и Успенского в Ивановской области) производилась с воздуха с помощью дрона. Другими вызовами при лазерном сканировании объектов были: ветхое состояние (14 %), обилие декора (14 %), люди в здании (11 %), ночное время съемки (5 %), а также срочность выполнения заказа, поток машин, высокие деревья и бюрократические проволочки (14 % совокупно).

Анализ российского опыта применения технологии лазерного сканирования в области сохранения объектов культурного наследия показал, что, начиная с 2000-х годов, в Москве и Санкт-Петербурге, а также в Московской и Ленинградской областях наблюдается неравномерный рост числа проектов. В общих чертах это соответствует глобальному тренду рынка лазерного сканирования, который, согласно прогнозу GMI, продолжит положительное движение в ближайшие несколько лет.

Российские компании активно используют интеллектуальные системы для создания трехмерных моделей (точечных и сетчатых) и информационных моделей (ВМ). Регионами, наиболее интенсивно затронутыми новой технологией, являются Москва и Санкт-Петербург. При этом чаще других реставрации и реконструкции подлежат здания XIX и XX веков. В подавляющем большинстве случаев в проектах используется оборудование немецкой компании Leica.

Поскольку технология лазерного сканирования не достигла последней стадии своего развития, сопровождающейся наращиванием возможностей и одновременно ее удешевлением [6],

с учетом реставрационных планов на региональном и федеральном уровнях можно предположить, что в последующие годы она расширит охват применения в архитектурной сфере, в том числе за счет возможного уменьшения стоимости оборудования и проектов в целом.

### **Литература**

1. Новик Ю.С., Губеладзе О.А. Перспективы использования лазерного сканирования для обследования памятников архитектурного наследия // Современные исследования. 2018. № 4(8). С. 141–144.
2. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование. Новосибирск: СГГА, 2009. 261 с.
3. Шамарина А.А., Мезенина К.О. Методика наземного лазерного сканирования и обработки данных при обследовании объектов историко-культурного наследия // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 2. С. 45–62. DOI: 10.15593/2409-5125/2016.02.03.
4. Gura D., Shevchenko G., Rogozin A. The Use of Laser Scanning in the Design and BIM // Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. USA, CA, San Francisco: B&M Publishing, 2016. P. 322–327. DOI: 10.15350/L\_26/8/22/22.
5. Захарова Г.Б. Информационное моделирование исторических зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской научно-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 83–88.
6. Рьельский И.А., Грибок М.В., Еремченко Е.Н., Панин А.Н. Лазерное сканирование и обеспечение пространственными данными в эпоху цифровой экономики // Вестник науки и образования. 2020. № 12(90). С. 45–55. DOI: 10.24411/2312-8089-2020-11202.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ** **ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ** **ЗДАНИЙ**

**УДК 691.328.1**

**DOI: 10.23968/ВМАС.2021.007**

**Астафьева Наталья Серафимовна**, канд. экон. наук, доцент  
(Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E–mail: natalia.astafeva@inbox.ru*

**Филатова Юлия Сергеевна**, магистрант  
(Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E–mail: filatov\_28@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8764-9392*

**Садовский Александр Дмитриевич**, магистрант  
(Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E–mail: alekssadovskij@yandex.ru*

Astafeva Natalia Serafimovna, PhD of Sci. Ec., Associate Professor  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Filatova Yulia Sergeevna, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Sadovsky Alexander Dmitrievich, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ** **НА ТЕПЛОЗАЩИТУ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ** **ЗДАНИЯ**

### **ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF ENCLOSING** **STRUCTURES ON THE BUILDING'S THERMAL** **PERFORMANCE AND ENERGY EFFICIENCY**

Данная статья посвящена рассмотрению сборных железобетонных конструкций на предмет энергоэффективности. Рассмотрен пример многоэтажного жилого дома с внешними стенами из трёхслойных панелей. Анализ объекта выполнен с помощью программного обеспечения Autodesk Revit и его расширений Revit Insight, а также облачного сервиса Green Building Studio. Приведены достоинства данного типа строительных конструкций.



Для оценки выбран утеплитель – техноэндвич бетон. Были заданы характеристики здания и расчётные условия. С учётом применения данного типа утеплителя в результате проектирования и оценки здания был присвоен класс энергоэффективности и даны рекомендации по его повышению.

*Ключевые слова:* сборные железобетонные конструкции, энергоэффективность, жилое здание, конструкции, теплоизоляция.

This article reviews the energy efficiency of pre-cast reinforced concrete structures. We use a multi-story residential building with external walls made of three-layer panels as an example. This object was analyzed using Autodesk Revit and Insight, as well as the Green Building Studio cloud service. The study demonstrates the advantages of this type of building structures. For our assessment, we selected technosandwich concrete as insulation material. The building parameters and design conditions were preset. Taking into account the use of this type of insulation, the building's design and assessment resulted in assigning an energy efficiency class and providing recommendations for its improvement.

*Keywords:* pre-cast reinforced concrete structures, energy efficiency, residential building, structures, thermal insulation.

В настоящее время в рыночных условиях перед заказчиками возникает потребность не только в оценке очевидных преимуществ того или иного материала и типа конструкций, но и более детальное изучение всех доступных вариантов. Оценка отечественных и зарубежных типов строительных конструкций при помощи соответствующих автоматизированных методов и программных комплексов поможет сделать объективный выбор, основываясь на эффективности различных материалов строительных конструкций.

В последние годы интерес к отрасли сборного строительства сильно возрос. Инженеры и инвесторы заинтересованы в возведении качественного, безопасного и комфортного жилья [1–3]. На современном этапе развития строительства и экономики в России целесообразно с точки зрения энергоэффективности и экологичности дальнейшее изучение и применение сборных железобетонных конструкций. Это обуславливается рядом преимуществ данного типа строительных конструкций. К ним относятся:

- 1) снижение затрат на строительство, ремонт и содержание зданий и сооружений за счёт сокращения накладных расходов, упрощения монтажа;

2) высокий контроль качества и технического уровня строительства;

3) увеличение скорости строительства, рост производительности, и как следствие, снижение энерго- и трудозатрат;

4) повышение огнестойкости здания и срока эксплуатации;

5) снижение металлоёмкости конструкций;

6) возможность проведения монтажных работ круглый год;

7) экологичность материалов, так как возможна переработка для повторного их использования. В данном случае сталь идёт на переплавку, а отходы бетона вторично используются в качестве заполнителя для обычных бетонов или в дорожно-транспортном строительстве как балласт [4].

Вследствие неоспоримых достоинств данный тип зданий быстро становится стандартом массового жилищного строительства. Однако, материал и конструкции также необходимо оценивать и с точки зрения энергоэффективности, так как сбережение энергии, рассматривается как одна из важнейших проблем современности.

Целью данной статьи является оценка энергоэффективности жилого дома с использованием сборных железобетонных конструкций с утеплителем из техносэндвич бетона.

Данный утеплитель представляет собой каменную вату из горных пород и спрессованную в виде плит. Техносэндвич бетон не горюч, хорошо поглощает звук и характеризуется низкой теплопроводностью.

Характеристики многоквартирного жилого дома, используемого для анализа, представлены в табл. 1.

*Таблица 1*

**Характеристики многоквартирного жилого здания**

Адрес здания	Ленинградская область, г. Луга, Медведское шоссе
Этажность, количество секций	10 этажей, 1 секция

Окончание табл. 1

Количество квартир	63
Размещение в застройке	Отдельно стоящее
Наружные стены	Сборные трёхслойные железобетонные панели, выполненные АО «Гатчинский ССК» (рис. 1)
Сумма площадей этажей	3742 м <sup>2</sup>
Высота здания	31,2 м
Общая площадь жилых помещений	1623,7 м <sup>2</sup>

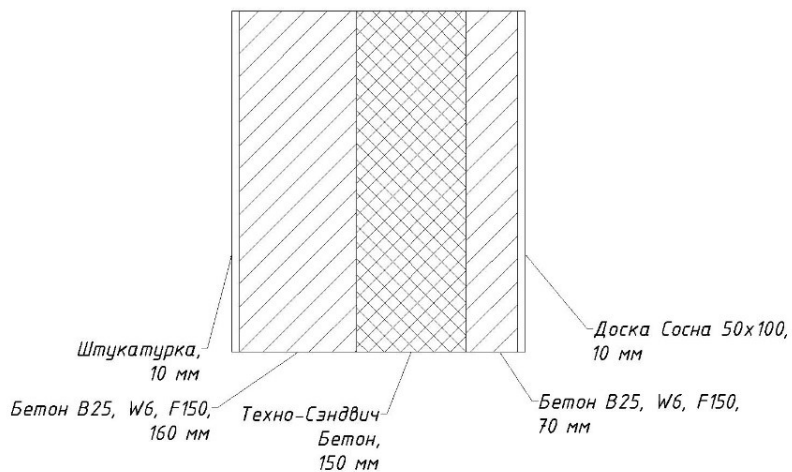


Рис. 1. Конструкция трехслойной стеновой панели

С помощью свободной распространяемой версии программного комплекса Autodesk Revit создана трехмерная модель здания (рис. 2), а энергетическая модель (рис. 3) – благодаря расширению Revit Insight.



Рис. 2. Трехмерная модель здания в Autodesk Revit

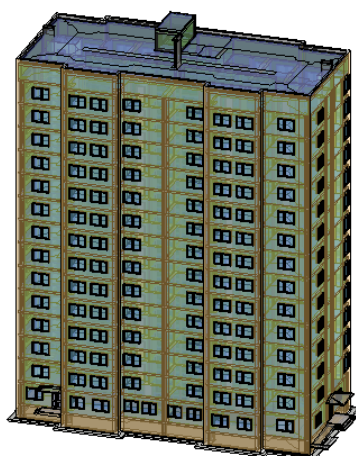


Рис. 3. Энергетическая модель здания в Revit Insight

Также выполнен энергетический расчет с помощью программы Insight и Green Building Studio, результаты которого приведены на рис. 4, 5.

Исходя из полученных данных, площадь остекления и свойства светопрозрачных конструкций напрямую влияют на дневное освещение, а также на обогрев и охлаждение. Таким образом, рекомендуется использовать защищающие от солнца конструкции, помогающие снизить потребление энергии.

На основе теплотехнического расчета ограждающих конструкций и расчета энергоэффективности здания жилого здания в соответствии с требованиями нормативных документов [5–8], был сформирован энергетический паспорт здания. Основные показатели представлены в табл. 2.

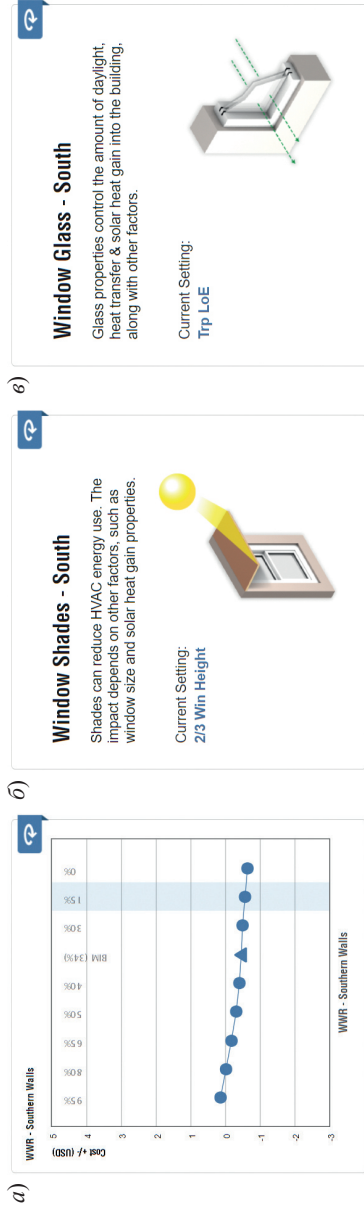


Рис. 4. а) Доля остекленности фасадов здания по южной стороне; б) свойство и тип защищающих от солнца конструкций; в) свойство и тип светопрозрачной конструкции

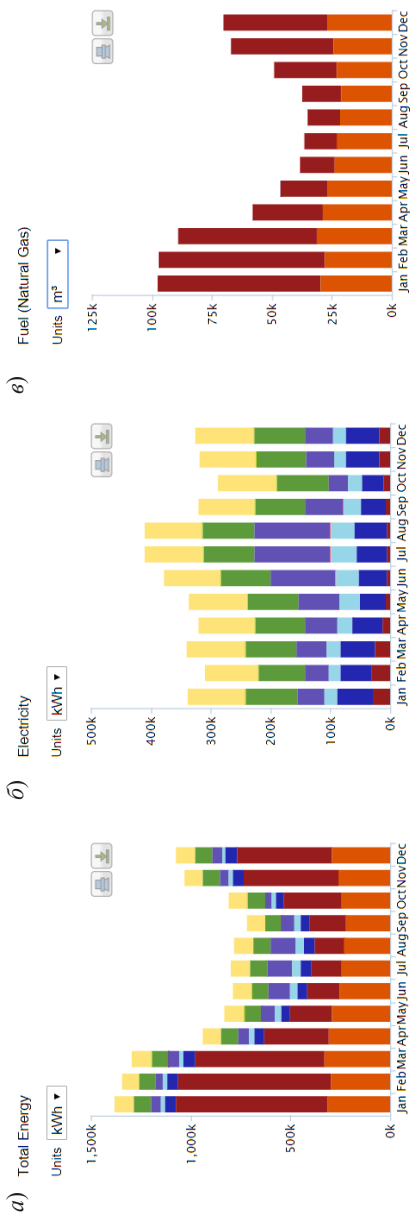


Рис. 5. а) Диаграмма полного энергопотребления здания по месяцам, кВт·ч; б) диаграмма электрического потребления здания по месяцам, кВт·ч; в) диаграмма потребления природного газа в качестве топлива для функционирования систем здания, м³

Таблица 2

**Комплексные показатели расхода тепловой энергии  
и энергетические нагрузки здания**

Показатель	Обозначение показателя и единицы измерения	Значение показателя
Расчетная удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q^p$ , Вт/(м <sup>3</sup> ·°C)	0,15
Нормируемая удельная характеристика расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q^{np}_{от}$ , Вт/(м <sup>3</sup> ·°C)	0,30
Удельный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$q$ , кВт·ч/(м <sup>2</sup> ·год)	49,53
Расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период	$Q^{год}_{от}$ , кВт·ч/(год)	175 723,39
Общие теплопотери здания за отопительный период	$Q^{год}_{общ}$ , кВт·ч/(год)	277 642,96

В зависимости от полученных данных назначен класс энергоэффективности здания А, что превышает установленный нормами минимальный класс энергоэффективности В.

Исходя из результатов расчета параметров энергоэффективности и заполнения энергетического паспорта здания, предлагаемая тепловая изоляция ограждающих конструкций, сопротивлении теплопроводности которых не соответствует нормативному.

Таблица 3

Сравнение пеноизола с традиционными теплоизоляторами

Теплоизолятор	Степень плотности, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	Пористость	Срок эксплуатации, лет	Диапазон рабочих температур
Пеноизол	8–28	0,03–0,047	открытая	70	–60 + 90 °С
Базальтовая минеральная вата	55–175	0,032–0,048	открытая	5	–60 + 450 °С
Жесткий пенополиуретан	40–160	0,019–0,040	закрытая	30	–200 + 150 °С
Пробковая плита	220–240	0,050–0,060	закрытая	3	–30 + 90 °С
Пенобетон	250–400	0,145–0,160	открытая	10	–30 + 120 °С



Целесообразно вложения средств на утепление дома, так как применяя хороший качественный утеплитель позволит сэкономить до 40 % тепловой энергии. Для улучшения показателей энергопотребления, снижения воздействия на окружающую среду, улучшения качества внутренней среды здания, рекомендуется заменить утеплитель на более современный – пеноизол.

Данный материал в жидком виде закачивается в полости стен и перекрытий, что позволяет добиться лучших результатов в энергосбережении. Также, при горении и разложении он не выделяет никаких токсинов, к тому же при его заливке под большим давлением нивелируется появление усадки материала в процессе сушки. Пеноизол может применяться во всех строительных конструкциях. В табл. 3 представлено сравнение пеноизола с традиционными теплоизоляторами.

## **Литература**

1. Lopez D., Froese T.M. Analysis of Costs and Benefits of Panelized and Modular Prefabricated Homes // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 145. P. 1291–1297. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.166.
2. Said H.M., Chalasani T., Logan S. Exterior prefabricated panelized walls platform optimization // *Automation in Construction*. 2017. Vol. 76. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.01.002.
3. Lopes G.C., Vicente R., Azenha M., Ferreira T.M. A systematic review of Prefabricated Enclosure Wall Panel Systems: Focus on technology driven for performance requirements // *Sustainable Cities and Society*. 2018. Vol. 40. P. 688–703. DOI: 10.1016/j.scs.2017.12.027.
4. Фахратова М.А., Кужин М.Ф., Таушунаев Ш.А. Организация и использование дроблёного бетона в качестве заполнителя в производстве бетонных и железобетонных изделий // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2018. № 1(1001). С. 29–31.
5. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.
6. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99. М.: Стандартинформ, 2019. 101 с.
7. РМД 23-16-2019 Санкт-Петербург Рекомендации по обеспечению энергетической эффективности жилых и общественных зданий. СПб, 2019. 158 с.
8. ГОСТ Р 54851-2011 Конструкции строительные ограждающие неопорные. М.: Стандартинформ, 2012. 38 с.

**УДК 004.94**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.008

**Баженов Александр Александрович**, канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный горный университет)  
*E-mail:* z4m62@yandex.ru, *ORCID:* 0000-0001-6602-7765

Bazhenov Aleksandr Aleksandrovich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(St. Petersburg State Mining University)

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

### **INFORMATION TECHNOLOGIES IN ROAD CONSTRUCTION**

В статье обобщается опыт использования BIM-технологий при строительстве автомобильных дорог. Кратко характеризуются основные программные продукты, их особенности, достоинства и недостатки. Приведены обоснования ускорения внедрения BIM-технологий в строительстве дорог, а также, мостов, тоннелей, путепроводов и тому подобных искусственных сооружений. Сделана попытка наметить и обосновать дальнейшие направления развития данных технологий в дорожном строительстве. Кратко рассмотрен экономический эффект от внедрений BIM-технологий. Упомянуты выгоды, приносимые внедрением BIM-технологий. Выполнено сравнение BIM-технологий в строительстве дорог и жилых и промышленных зданий.

*Ключевые слова:* дорога, моделирование, строительство, проектирование, сооружение.

This article summarizes the experience of using BIM technologies in the construction of roads. The main software products, their features, advantages and disadvantages are described in brief. The article also justifies the reasons for accelerating the implementation of BIM technologies in road construction, as well as in the construction of bridges, tunnels, overpasses, and similar artificial structures. An attempt is made to outline and justify further directions for the development of these technologies in road construction. The economic effect of implementing BIM technologies is briefly considered. Furthermore, the article mentions the benefits of implementing BIM technologies. The use of BIM technologies in road construction is compared with that in the construction of residential and industrial buildings.

*Keywords:* road, modeling, construction, design, structure.

Строительство является одной из крупнейших сфер экономической деятельности в современной Российской Федерации, на которую приходится порядка 6 % валового внутреннего продукта страны. В настоящее время развитие строительной отрасли неразрывно связано с развитием BIM-технологий [1]. С использованием данных технологий в России были построены многие важнейшие стройки последних лет. Среди них – крупные стадионы, высотные здания и многие другие [2].

В то же время, если в возведении зданий и сооружений, несмотря на определенные проблемы, расширяется область применения этих технологий, то в возведении дорог и искусственных сооружений эти технологии применяются значительно реже. В данной статье сделана попытка поднять вопрос использования BIM-технологий в проектировании дорог и искусственных сооружений [3].

Первые попытки автоматизации проектирования дорог можно отнести к 60-м годам. Пионером в этом деле выступила Великобритания. После 2000-го года специалисты-строители получили в свои руки новый и более эффективный подход – BIM (Building Information Modelling, информационное моделирование сооружений). Благодаря этому подходу стало возможным поднять производительность труда при проектировании, а вместо набора чертежей, (бумажных, а позже электронных) использовать комплексные информационные модели, включающие в себя всю информацию об объекте проектирования [4, 5].

Дорожно-строительные работы имеют коренные отличия от работ по возведению зданий и сооружений. Они отличаются большой трудоёмкостью, сложностью, высокой стоимостью, необходимостью учитывать многие факторы.

Применение BIM-технологий для зданий на этапе проектирования и строительства позволяет сэкономить до трети бюджета, а на этапе эксплуатации – ещё выше (рис. 1, 2) [6]! На первый взгляд, внедрение BIM-технологий должно идти опережающими темпами, но этот процесс тормозится фактом нехватки специалистов, имеющих опыт работы с этими технологиями с одной стороны и одновременно с проектированием дорог – с другой.



Рис. 1. Составляющие успеха при внедрении ВМ

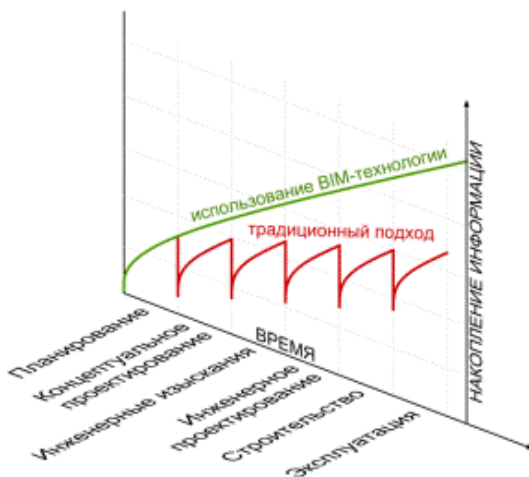


Рис. 2. Потеря информации при традиционном подходе

Моделирование автомобильных дорог имеет следующие коренные отличия:

- здание имеет меньшие размеры на фоне дороги или, в большинстве случаев, моста. Из-за этого, например, температурные деформации того же моста будут больше, чем у большинства зданий;
- другие, нетемпературные деформации, прежде всего колебательность. Смоделировать их возможно, но опыт данной работы в нашей стране недостаточен;
- характер нагрузок. Если здание можно считать конструкцией, работающей только на сжатие, то мост или путепровод работают уже на изгиб, что смоделировать уже сложнее. Сделать модель ферменной конструкции может быть ещё труднее. Вообще, в рамках приёмов моделирования для создания модели поведения мостов и путепроводов могут применяться разве что моделирование поведения арочных конструкций.

В то же время, при создании модели дорог и искусственных сооружений задача облегчается тем, что в меньшей степени возникает необходимости учитывать вертикальную нагрузку, что облегчает данный процесс.

Пример концептуальной модели дороги на этапе планирования приведён на рис. 3 [7].



Рис. 3. Концептуальная модель дороги на этапе планирования в IndorCAD 10

## **Выводы**

1. Применение информационного моделирования обещает быть весьма эффективным при проектировании автомобильных дорог и искусственных сооружений.
2. Процесс внедрения ВМ-моделирования тормозится отсутствием опыта данной работы. Это справедливо для всех сторон – работодателей, работников, студентов, вузов.

## **Литература**

1. Голдобина Л.А., Орлов П.С. ВМ-технологии и опыт их внедрения в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 263–272. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.263.
2. Талапов В.В. Основы ВМ: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
3. Баженов А.А. Перспективы применения ВМ-технологий в современной строительной отрасли // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 40–44. DOI: 10.23968/ВМАС.2019.006.
4. Репин С.В., Зазыкин А.В. Информационные технологии в управлении эксплуатацией зданий и сооружений // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийск. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 57–61.
5. Баженов А.А. Проблемы применения ВМ-технологий в современной строительной отрасли // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийск. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 62–64.
6. Баранник С.В. Применимость ВМ-технологий в дорожной отрасли // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1(4). С. 24–28. DOI: 10.17273/CADGIS.2015.1.3.
7. Петренко Д.А., Субботин С.А. ВМ-решения «ИндорСофт» для проектирования и эксплуатации автомобильных дорог. URL: <https://dorogniki.com/stati/bim-resheniya-indorsoft-dlya-proektirovaniya-i-ekspluatacii-avtomobilnyx-dorog/> (дата обращения: 01.04.2021).

**УДК 658.5:624.05**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.009

**Бовтеев Сергей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* sergeibovteev@gmail.com, *ORCID:* 0000-0002-2765-9329

Bovteev Sergei Vladimirovich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

### **PRACTICE OF APPLYING 4D MODELING IN CONSTRUCTION**

Рассмотрены актуальность применения 4D-моделирования в практике строительства на современном этапе, а также предпосылки появления 4D-моделирования, в том числе появление концепции «Виртуальное проектирование и строительство». Дан краткий обзор современного программного обеспечения 4D-моделирования, применяемого в России. Рассмотрены разные варианты ответственности за формирование 4D-моделей строительства, их преимущества и недостатки. Представлены некоторые практические аспекты 4D-моделирования строительства на основе современного программного обеспечения SYNCHRO Pro, Autodesk Navisworks и Powerproject BIM, а также показаны эффекты применения 4D-моделей в строительстве.

*Ключевые слова:* BIM, 4D-моделирование, VDC, управление сроками проекта, информационное моделирование строительства, визуализация строительства.

This article considers the relevance of using 4D modeling in construction practice at the present stage, as well as the prerequisites for the emergence of 4D modeling, including the emergence of the virtual design and construction concept. We provide a brief overview of modern 4D modeling software used in Russia. The article considers different types of responsibility for the formation of 4D construction models, along with their advantages and disadvantages. We review some practical aspects of 4D construction modeling, based on modern software like SYNCHRO Pro, Autodesk Navisworks, and Powerproject BIM, and show the effects of using 4D models in construction.

*Keywords:* BIM, 4D modeling, VDC, project time management, construction visualization.

Применение BIM технологий в настоящее время стало уже привычным для большинства организаций. Очень часто обсуждаются вопросы использования BIM в проектировании, при формировании 3D-моделей строящихся зданий и сооружений, таким образом BIM позволяет ответить на вопрос «Что нужно строить?», повысить качество проектной документации, избежать ошибок, сократить сроки проектных работ. Вместе с тем технологии информационного моделирования в строительной практике далеко не ограничиваются только проектированием, не менее эффективно они показывают себя и на этапе строительства объекта, где отвечают уже на вопрос «Как нужно строить?». Однако материалов о применении технологий информационного моделирования именно в строительстве уже не так много.

Интерес к применению BIM технологий для повышения эффективности строительного производства появился в нашей стране около десяти лет назад [1]. Предпосылками для такого интереса послужили:

- развитие компьютерной техники: рост производительности процессоров, повышение размеров и разрешения мониторов, снижение стоимости аппаратного обеспечения;
- появление и развитие специализированного программного обеспечения;
- появление нового поколения проектировщиков, предпочитающих компьютерное моделирование разработке чертежей с помощью кульмана;
- успех применения технологий информационного моделирования в ряде зарубежных стран, прежде всего Великобритании, США и Сингапура.

Сравнительная доступность компьютерной техники и программного обеспечения естественным путём привела лиц, задействованных в строительной отрасли, к достаточно простой мысли о том, что намного эффективней вначале разработать и «проиграть» процесс строительства объекта на компьютере для поиска



оптимального варианта организации работ, предотвращения ошибок, оценки рисков, а уже затем перейти к реальному строительству.

Мартин Фишер и Джон Кунц (Стэнфордский университет, США) ещё в 2001 году предложили концепцию Virtual Design and Construction (VDC) или «Виртуальное проектирование и строительство» [2], применяемую на практике и совершенствуемую от проекта к проекту. Первыми странами, внедряющими данную концепцию, стали США, Швеция, Норвегия, Швейцария, Сингапур и Перу. Несмотря на то, что эта методология намного шире, чем просто 4D- и 5D-моделирование, именно её появление и распространение привело к началу использования 4D-моделей в практике строительного производства.

Как уже упоминалось выше, интерес к 4D-моделированию строительства в нашей стране появился в начале 2010-х годов. Например, в работах А. М. Эльшейха [3, 4] можно найти предложения по автоматизации построения 4D-моделей с помощью программного обеспечения MS Excel, MS Project и Autodesk Navisworks, а также предложения по осуществлению контроля рабочих пространств в трехмерном визуальном режиме в целях определения потенциальных конфликтов и их предотвращения до начала строительного-монтажных работ. Пересечения рабочих пространств А. М. Эльшейх предложил определять на 4D-моделях, формируемых за счет синхронизации ID-кода 3D-компонента здания и ID-кода работы календарного графика. В работе [3] уже упоминается понятие «4D календарный график».

4D-моделирование было бы невозможным без использования специализированного программного обеспечения, в частности [5]:

– **SYNCHRO Pro**. До 2018 года программное обеспечение разрабатывалось компанией Synchro Software (Великобритания), затем компания была приобретена корпорацией Bentley Systems. SYNCHRO Pro включает мощный модуль календарного планирования, функциональные возможности которого сопоставимы с таким известным обеспечением как Oracle Primavera P6, что делает возможным использовать для календарного планирования и 4D-моделирования одно и то же программное средство;

– **Autodesk Navisworks** – программа, изначально разработанная для синхронизации разных 3D-моделей одного объекта и поиска коллизий, позволяет разрабатывать 4D-модели на основе 3D-моделей и календарных графиков. Программа содержит модуль TimeLiner, разрабатывающий только простые линейные графики, поэтому функционал модуля крайне ограничен;

– модуль **Powerproject BIM**, расширяющий возможности программного обеспечения календарного планирования и контроля строительных проектов Powerproject (ранее – Asta Powerproject) – разработка компании Elecosoft (Великобритания). Powerproject представляет собой мощное средство планирования сроков строительства, применение дополнительного модуля 4D-моделирования Powerproject BIM предоставляет возможности визуализации принятых организационно-технологических решений в этой же среде.

Ряд исследователей предлагают использовать для 4D-моделирования иные программы, например, Autodesk Revit [6], мотивируя это возможностью отказа от приобретения дополнительного программного обеспечения. Действительно, такие распространенные в нашей стране программные средства календарно-сетевое планирования как Microsoft Project, Oracle Primavera P6 или Spyder Project, не предусматривают возможности формирования 4D-моделей и, тем самым, требуют приобретения дополнительного дорогостоящего программного обеспечения. Мало того, календарные графики, выполненные в среде Spyder Project, не могут быть загружены в известные программы 4D-моделирования и требуют применения дополнительного «промежуточного» программного продукта.

Выбор программного обеспечения 4D-моделирования зависит от развернутой в строительной организации системы планирования и управления проектами, а также от детализации проработки 4D-моделей.

За формирование и поддержку 4D-моделей могут нести ответственность следующие **участники строительного проекта** (рис. 1):

– проектировщик может разрабатывать 4D-модели как расширение функционала 3D-моделирования. Для этого проектной организации необходимо сформировать календарно-сетевой график строительства в специализированной среде. То есть вместо

«традиционного» проекта организации строительства проектировщик выпускает цифровой ПОС или 4D ПОС;

– специалист по планированию («планировщик») организации застройщика или генподрядчика. 3D-модель выступает в качестве исходных данных, специалист по планированию получает функцию 4D-моделирования дополнительно к функции календарно-сетевому планированию. Хорошо понимая свой график, такой специалист синхронизирует с ним 3D-модель. В этом случае необходимо качественно подготовить техническое задание на разработку 3D-модели с учетом необходимости разработки 4D-модели, а также предусмотреть возможность оперативной доработки 3D-модели по результатам календарного планирования, в частности нарезки 3D-элементов на части;

– выделенный специалист по 4D-моделированию организации застройщика или генподрядчика. При этом 3D-модели и календарно-сетевые графики выступают в качестве исходных данных для 4D-модели, поэтому необходимо детально подготовить технические задания на их разработку и предусмотреть возможность необходимой доработки в ходе 4D-моделирования либо силами исполнителей, либо собственными силами. Например, в 4D-модели может потребоваться отрисовка котлована, который не будет отражен в проектной документации, поэтому специалист по 4D-моделированию должен уметь добавить в 3D-модель усеченную пирамиду, моделирующую котлован. Специалист должен справляться с базовыми функциями 3D-моделирования, уметь редактировать календарный график, а также работать в связке с технологами для возможности разработки 4D-технологических карт.

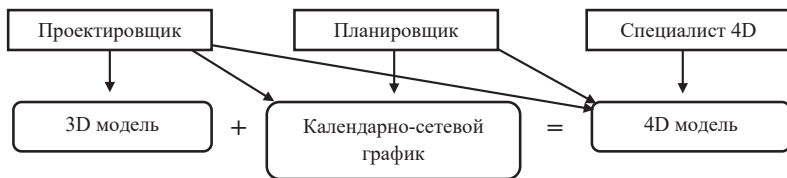


Рис. 1. Варианты ответственных за функцию 4D-моделирования

Как показывает опыт автора статьи, максимального эффекта от разработки 4D-моделей можно достичь, если функция 4D-моделирования сосредоточена в руках застройщика или инжиниринговой организации, самостоятельно выполняющих функции технического заказчика и генерального подрядчика. В таких случаях можно обеспечить как выдачу технических заданий на проектные работы, изначально предполагающих дальнейшую разработку 4D-моделей, так и максимальную заинтересованность в использовании 4D-моделей в процессе осуществления строительных работ.

Минимизировать трудоемкость и сложность разработки 4D-моделей становится возможным, если заранее предусмотреть:

- нарезку 3D-элементов в соответствии с делением объекта на захватки;
- кодирование 3D-элементов в соответствии с заранее установленными правилами;
- кодирование работ календарно-сетевым графиком строительства для последующей автоматической синхронизации графика и 3D-модели.

Рекомендуется девелоперским и инжиниринговым организациям, занимающимся внедрением 4D-моделирования, разработать правила классификации элементов 3D-модели и работ календарно-сетевым графиком для автоматизации работ по 4D-моделированию строительства объекта.

Вместе с тем рекомендуется активно применять **следующий функционал программного обеспечения 4D-моделирования:**

1. Разрезка элементов 3D-моделей на части произвольной формы для возможности разделения объекта строительства на захватки.
2. Деление многослойного 3D-элемента (например, бетонной стены с утеплителем) с образованием нескольких вертикальных областей для возможности учёта монтажа разных слоёв конструкций в разное время.
3. Отображение различных рабочих операций разным цветом или разной прозрачностью на 4D-модели.
4. Движение строительных машин и техники, заданное с помощью 3D-пути или аниматора.

5. Направление развития рабочего процесса. Можно синхронизировать одну работу сразу с несколькими 3D-элементами (например, сваями) и показать направления развития рабочего процесса от одной оси к другой.

6. Сечения или прозрачность необходимо применять в случае 4D-моделирования внутренних работ. Так как наружные конструкции скрывают от внешнего наблюдателя то, что выполняется внутри, следует применять сечения или инициировать прозрачность внешних конструкций.

7. Выгрузка анимации в видеофайл необходима в тех случаях, когда просмотр 4D-модели осуществляется участниками строительства.

Профессиональное применение перечисленного выше функционала, разработка корпоративных правил и методов работы с 4D-моделированием, привлечение проектировщиков и технологов к обсуждению организационно-технологических схем и методов строительства объектов – эти и другие действия несомненно приведут к максимальному эффекту применения 4D-моделей в строительстве – снижению ошибок в организации строительства, поиску оптимальных вариантов выполнения строительно-монтажных работ, что поможет достичь сокращения сроков и снижения стоимости строительства. Например, в работе [7], представляющей реальный опыт 4D-моделирования строительства объектов в ООО «АЙКОМ», даны примеры использования 4D-моделей для поиска оптимальной очередности заливки бетонных плит в стеснённых условиях, а также применения 4D-моделирования для обозначения «динамических» опасных зон на 3D-модели.

Работа выполнена в рамках проекта BIM-ICE (<https://bim-ice.com/>), финансируемого за счет средств гранта Программы ПС «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020».

## **Литература**

1. What is Virtual Design and Construction? VDC definition. URL: <https://bimcorner.com/what-is-virtual-design-and-construction/> (дата обращения: 24.02.21).

2. Волков А.А. Современные и перспективные информационные технологии в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 9. С. 5–6.
3. Эльшейх А.М. 4D визуализация рабочих пространств в ходе строительства // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16671> (дата обращения: 31.03.2021).
4. Эльшейх А.М. Автоматизация планирования и формирования 4D графика строительства // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 6. С. 374–376.
5. Петроченко М.А., Шерстобитова П.А., Мацкина М.Л. ВМ 4D: Naviswork Manage и Synchro Soft // Управление проектами: идеи, ценности, решения: материалы I Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 152–157.
6. Болотин С.А. Формирование графика комплексной застройки территории с использованием Revit и Microsoft Project // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 53–58. DOI: 10.23968/ВМАС.2019.009.
7. 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. DOI: 10.36627/2075-1214-2020-4-4-276-284.

**УДК 697.1**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.010

**Васильева Мария Сергеевна**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* vasilieva.ms@edu.spbstu.ru, *ORCID:* 000-0003-1589-963X

**Терех Максим Дмитриевич**, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* m\_terekh@mail.ru, *ORCID:* 0000-0002-8725-5764

Vasileva Mariia Sergeevna, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)  
Terekh Maksim Dmitrievich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ЭНЕРГОМОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СОВРЕМЕННАЯ ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ**

### **ENERGY MODELING AS A MODERN METHOD OF IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS**

Использование энергомоделирования в строительной отрасли стало ответом на глобальный призыв к энергосбережению, рациональному использованию ресурсов и устойчивому развитию в современном мире. ВЕМ – это мощный инструмент, который позволяет осуществить прогноз энергопотребления здания, произвести оценку выбросов углекислого газа, подобрать мероприятия по повышению энергоэффективности здания.

В данной статье рассматривается назначение BIM и ВЕМ-технологий, проанализированы преимущества и недостатки использования цифровой модели в качестве основы для дальнейшего энергомоделирования, приведен перечень программ для ВЕМ-моделирования, а также рекомендации и последовательность действий при энергомоделировании. Оценена перспектива использования данных технологий в Российской Федерации.

*Ключевые слова:* энергомоделирование, BIM-технологии, ВЕМ-технологии, энергоэффективность, энергопотребление, BIM2ВЕМ.

The use of energy modeling in the construction industry has become a response to the global call for saving energy, using resources more rationally, and ensuring sustainable development in the modern world. Building Energy Modeling

(BEM) is a powerful tool that allows users to predict energy consumption, estimate carbon dioxide emissions, and select measures to improve the energy efficiency of a building.

This article discusses the purpose of BIM and BEM technologies, analyzes the advantages and disadvantages of using a BIM model as the basis for further energy modeling, and provides a list of BEM programs, as well as recommendations and an action plan for energy modeling. Finally, we evaluate the prospects of using these technologies in the Russian Federation.

*Keywords:* energy modeling, BIM technologies, BEM technologies, energy efficiency, energy consumption, BIM2BEM.

Жилищно-коммунальный сектор использует порядка 50 % процентов всего энергопотребления в России, кроме того, здания – это ключевой фактор выбросов углекислого газа. В связи с этим, необходимо найти разумные решения по строительству энергоэффективных зданий, которые бы обеспечивали бы: комфортное жилье граждан, рациональное использование ресурсов, внедрение передовых технологий с использованием альтернативных источников энергии. И технология BEM-моделирования хорошо зарекомендовала себя для решения этих задач.

Говоря об энергомоделировании, невозможно не упомянуть о BIM технологиях. BIM – это инструмент, позволяющий осуществлять связь, коммуникацию и обмен информацией между всеми участниками строительного процесса на протяжении всего жизненного цикла проекта. BIM-модель служит совместной базой данных для проведения дальнейших исследований, таких как стоимостной, энергетический и структурный анализы [1].

Значительный интерес представляет энергомоделирование или Building Energy Modeling (BEM). Энергомоделирование определяется как создание имитационной энергетической модели при помощи специального программного обеспечения. Данное программное обеспечение, в соответствии с потребностями здания, может прогнозировать ежемесячное потребление энергии, ежегодные затраты на энергию, ежегодные выбросы углекислого газа, сравнивать различные показатели энергоэффективности и подбирать наиболее экономичный вариант. Также BEM позволяет рассчитать строительные нагрузки и энергопотребление для определения теплотехнических



характеристик здания и инженерных систем, а также пиковые нагрузки для подбора оборудования и установок [2].

Считается, что энергомоделирование применяется в основном для «зелёной» сертификации. Однако, выделяется как минимум три направления применения ВЕМ:

1. Сертификация «зеленого» строительства.

Энергетическая модель здания используется в международных системах сертификации «зеленого» строительства. Наиболее распространенными и признанными являются международные системы сертификации LEED и BREEAM [3–5]. Однако, в России уже есть собственная отечественная разработка GREEN ZOOM, основанная на требованиях и современных рекомендациях, необходимых к исполнению для получения оптимального количества баллов в целях присвоения объектом сертификата [6].

2. Проектирование объектов гражданского и промышленного строительства.

3. Энергосервисные контракты.

Энергосервисная компания (ЭСКО) выбирает объект, проводит его обследование, анализирует и заключает контракт на реализацию мероприятий, направленных на повышение энергоэффективности объекта заказчика. Большинство энергоэффективных мер оказывают влияние друг на друга, и эффект от комплекса внедрённых мер не равняется сумме эффектов от каждого отдельного решения. Поэтому на этапе заключения энергосервисных контрактов энергомоделирование является незаменимым.

Наиболее важная информация, требуемая для создания энергомодели и проведения энергетического анализа это:

- 1) геометрия здания;
- 2) строительные характеристики здания;
- 3) фактическое потребление энергии;
- 4) климатические характеристики района строительства;
- 5) производительность системы ОВиК;
- 6) тепловые характеристики ограждающих конструкций.

Поэтому для снижения энергопотребления и выбросов парниковых газов, а также для проведения мероприятий по повышению энергоэффективности объекта необходимо применение

программных комплексов по энергомоделированию. Так, например, для зданий сложных форм определение величины теплопотуплений и теплопотерь через ограждающие конструкции без построения BEM-модели здания, детально учитывающей кривизну поверхностей, затенение, инерционность конструкций, приведет к существенной ошибке в определении нагрузок на системы отопления и охлаждения. Это приведет к принятию с запасом мощности оборудования, а, следовательно, к увеличению капитальной стоимости и неэффективному использованию оборудования [7, 8].

На сегодняшний день существует большое количество различного ПО для энергомоделирования зданий. При BIM2BEM подходе в роли основной 3D модели часто выступает Autodesk Revit, а именно инструмент Conceptual Energy Analysis (CEA), осуществляющий связь с онлайн аналитическим сервисом Autodesk® Green Building Studio. Сервис позволяет на ранних стадиях проектирования осуществлять расчет ежегодных энергетических затрат, помогая обеспечить оптимальное использование энергии. Однако, CEA больше подходит для сравнительного анализа, а не для точного расчета. Для более подробного анализа предлагается использовать такие программы как: IES VE, Autodesk® Ecotect® Analysis Software, eQuest, EnergyPlus.

В общем случае алгоритм действий при BEM моделировании на ранних стадиях проектирования следующий. Прежде всего определяется местоположение участка строительства, которое будет использоваться для связи с погодным файлом. После этого необходимо импортировать из BIM-модели данные о геометрии здания, конструктивных и теплотехнических характеристиках элементов и материалов. В зависимости от используемого ПО может понадобиться упрощение геометрии и некоторая корректировка данных. Для расчета должна быть верно определена геометрия помещений, правильно выделены тепловые зоны. На следующем этапе предоставляются данные об инженерных системах, также получаемые из 3D-модели. Если при импорте данных из BIM модели не возникло ошибок, то связь между BEM и BIM-моделями осуществлена корректно и можно запускать процесс энергомоделирования.

Ранее описана идеальная ситуация: когда ВЕМ-моделирование осуществляется в самом начале проектных работ. Однако, зачастую ВЕМ-модель недостаточно интегрирована в процесс проектирования и вовлекается в процесс уже на более поздних стадиях, когда проектные решения уже нельзя изменить. Это происходит из-за сложностей в увязке проектных решений между заказчиком, архитекторами и конструкторами, а также из-за ограниченных сроков и бюджета. В результате ВЕМ-модель становится малоэффективной, мероприятия по повышению энергоэффективности не реализуются, потребление энергии будущего проекта растет, повышаются трудовые и экономические затраты [2].

Как было отмечено ранее энергомоделирование чаще всего осуществляется на основе BIM-модели. Такая технология также получила название BIM2BEM подход или BIM-based BEM. Наиболее очевидным преимуществом BIM2BEM технологии по сравнению с традиционным энергомоделированием является быстрое и высокоточное создание энергомодели.

Однако, не всегда обмен данными между BIM- и BEM-моделями осуществляется правильно. Обмен информацией между 3D-моделью здания и энергомоделью в настоящее время опирается на открытые форматы обмена IFC и gbXML. Оба формата предоставляют собой средства хранения геометрии с атрибутивными данными; однако эта информация часто неточно экспортируется инструментом BIM или интерпретируется инструментом BEM. Например, неправильно могут быть расставлены тепловые зоны, потеряны элементы геометрии и свойства материалов (рис. 1). Зачастую это происходит из-за ошибок при построении 3D-модели.

Для корректного экспорта модели через gbXML и IFC форматы при проектировании необходимо соблюдать следующие правила: все элементы геометрии должны быть привязаны к правильному высотному уровню, стены должны иметь упрощенную геометрию (сложные формы и кривые участки разбиваются на более мелкие, линейные, толщина стены постоянна, профиль стены – оригинальный (неотредактированный), каждый участок стены должен быть расположен в пределах одного этажа). Также перед экспортом необходимо расставить помещения и удостовериться, что активирован

подсчет их площадей и объемов – это нужно для правильного распознавания тепловых зон [9, 10].

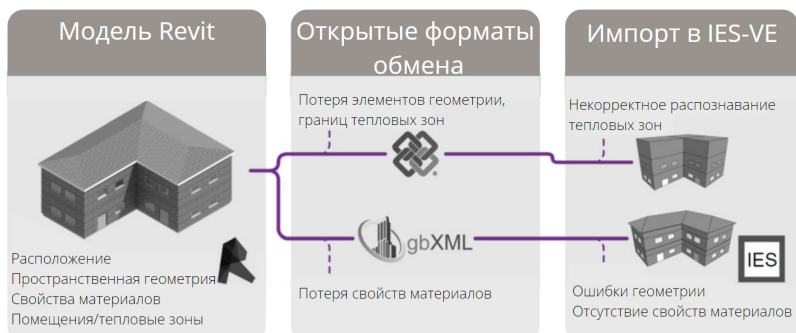


Рис. 1. Ошибки, возникающие посредством создания и передачи информации между Autodesk Revit и IES-VE через форматы gbXML и IFC

В случае, если передача данных между BIM-моделью и энергомоделью произошла некорректно, требуется вручную исправить модель до производства расчетов.

В Российской Федерации внедрение информационного моделирования было впервые поддержано на государственном уровне решением президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 28 марта 2014 г. «О применении инновационных технологий в строительстве» [11]. Однако использование BIM и BEM-технологий изыскательскими организациями все еще является добровольным. Согласно опросу проектных и изыскательских организаций из 74 регионов Российской Федерации, проведенному в апреле 2019 года, только 22 % из принявших участие в опросе используют в своей деятельности средства BIM – сообщает в своем отчете НОПРИЗ [12]. Однако зарубежный опыт показывает эффективность использования BIM и BEM технологий.

## **Заключение**

За последние годы в строительной отрасли существенно увеличилась необходимость в проведении мероприятий по повышению энергоэффективности зданий, снижению энергопотребления и экономических затрат. И зарубежный опыт показывает, что технология ВЕМ-моделирования хорошо зарекомендовала себя для решения этих задач.

ВЕМ-технологии имеют свои недостатки, но при правильном использовании ВЕМ становится эффективным инженерным инструментом, который позволяет принимать решения по уменьшению сроков и цены реализации строительного проекта и стоимости эксплуатации здания.

Важно помнить, что наиболее эффективных решений удастся достичь, когда ВЕМ-технологии применяются на начальных этапах проектирования.

В Российской Федерации применение BIM и ВЕМ-технологий остается добровольным, а, следовательно, редким. Для большего распространения этих технологий среди проектных организаций необходимо создание новых требований и законодательных актов, чтоб ускорить процесс внедрения цифровых, и в том числе энергоэффективных, технологий в повседневную жизнь.

## **Литература**

1. Gourlis G., Kovacic I. Building Information Modelling for analysis of energy efficient industrial buildings – A case study // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 68, Part 2. P. 953–963. DOI: 10.1016/j.rser.2016.02.009.
2. Gao H., Koch C., Wu Y. Building information modelling based building energy modelling: A review // *Applied Energy*. 2019. Vol. 238. P. 320–343. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.01.032.
3. Лубсанова Н.Б. О подходах к оценке экологичности проектов жилищного строительства // *Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент*. 2018. № 78(3). С. 30–35. DOI:10.18101/2304-4446-2018-3-30-35.
4. Каллаур Г.Ю., Гаврилова Т.Ю. Системы сертификации в области “зеленого” строительства // *Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: Материалы*

IX Международной научно-практической конференции. М.: РЭУ им. Плеханова, 2019. С. 345–350.

5. Kaewunruen S., Rungskunroch P., Welsh J. A digital-twin evaluation of Net Zero Energy Building for existing buildings // *Sustainability (Switzerland)*. 2018. Vol. 11(1). P. 159. DOI: 10.3390/su11010159.

6. Пакуть М.В. Энергомоделирование: метод повышения оценки качества зданий (на примере GREEN ZOOM) // *Синергия наук*. 2017. № 12. С. 857–863.

7. Бурцева В.С., Денисихина Д.М., Тесля Е.С. Энергетическая модель здания – шаг вперед в проектном процессе // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2013. № 12(179). С. 35–37.

8. Wu W., Skye H.M., Domanski P.A. Selecting HVAC systems to achieve comfortable and cost-effective residential net-zero energy buildings // *Applied Energy*. 2018. Vol. 212. P. 577–591. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.12.046.

9. Gerrish T., Ruikar K., Cook M., Johnson M., Phillip M. Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices // *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2017. № 24(2). P. 190–208. DOI: 10.1108/ECAM-11-2015-0181.

10. Spiridigliozzi G., Pompei L., Cornaro C., De Santoli L., Bisegna F. BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 609(7). P. 072075. DOI:10.1088/1757-899X/609/7/072075.

11. О применении инновационных технологий в строительстве от 28 марта 2014 года. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499085062> (дата обращения: 13.12.2020).

12. НОПРИЗ. Раздел «Цифровизация строительной отрасли» в проект Стратегии развития строительной отрасли до 2030 года. URL: <https://www.nopriz.ru/upload/iblock/892/TSifrovizatsiya-stroitelnoy-otrasli-dlya-Strategii.pdf> (дата обращения: 10.12.2020).

**УДК 624.07**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.011

**Ведерникова Алёна Андреевна**, старший преподаватель  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [parallelogram13@gmail.com](mailto:parallelogram13@gmail.com), *ORCID:* 0000-0002-9982-4688

**Федухина Наталья Владимировна**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [nfedukhina@gmail.com](mailto:nfedukhina@gmail.com)

Vedernikova Alena Andreevna, Senior Lecturer  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Fedukhina Natalia Vladimirovna, student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **РАЗРАБОТКА DYNAMO-SCRIPT ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗДЕЛА КР В AUTODESK REVIT**

### **DEVELOPING A DYNAMO SCRIPT FOR SPEEDING UP THE STRUCTURAL SECTION DESIGN PROCESS IN AUTODESK REVIT**

В статье рассматривается модель для оптимизации проектирования раздела «Железобетонные конструкции» в программном комплексе Autodesk Revit. Данное решение позволит автоматически создавать, расставлять и рассчитывать продольную арматуру в железобетонной балке прямоугольного сечения с помощью визуального программирования Dynamo. Применение разработанного алгоритма минимизирует временные затраты и рационализировать работу инженера-проектировщика. Подобные разработки являются актуальными в условиях широкого внедрения BIM-технологий в строительные компании. По результатам работы сформированы выводы и рекомендации, а также произведен сравнительный анализ с аналогичными программными решениями.

*Ключевые слова:* Dynamo-script, Autodesk Revit, информационное моделирование, BIM-технологии, проектирование, визуальное программирование, армирование железобетонной балки.

The article reviews a model for optimizing and speeding up the structural design process (in particular, with regard to RC structures) in Autodesk Revit. With the use of Dynamo visual programming, this solution will allow the user to automatically create, arrange, and calculate longitudinal reinforcement in a reinforced concrete beam with a rectangular cross-section. The developed algorithm minimizes time expenses and rationalizes the work of the design engineer. Such developments are relevant due to the large-scale implementation of BIM technologies in construction companies. Based on the study results, we form conclusions and recommendations and make a comparative analysis of similar software solutions.

*Keywords:* Dynamo script, Autodesk Revit, information modeling, BIM technologies, design, visual programming, RC beam reinforcement.

Проектирование зданий и сооружений посредством информационного моделирования (BIM) позволяет автоматизировать многие операции, а также дает возможность участникам строительного процесса взаимодействовать между собой. Такой подход сокращает время и затраты [1–4]. Неотъемлемой частью такой автоматизации является написание плагинов для используемых программ.

На данный момент BIM-технологии находятся на этапе внедрения в нашей стране и пока еще не стали повсеместным решением для проектирования, однако проводится активная государственная политика по внедрению информационного моделирования в строительную сферу. Это указывает на новизну, актуальность и перспективность разработок по усовершенствованию процессов проектирования с применением информационного моделирования [1].

Одним из распространенных программных решений в сфере BIM-технологий является Autodesk Revit. Адаптация этого инструмента под нужды конкретного участника проектирования осуществляется приложением Dynamo. Раздел конструктивные решения (КР), а в частности железобетонные конструкции, особенно сильно нуждается в подобных разработках [5].

Целью работы является ускорение процесса проектирования конструктивного раздела в части армирования железобетонных однопролетных конструкций (балок) в Autodesk Revit с помощью платформы визуального программирования Dynamo, использующего языка DesignScript и IronPython.



Для достижения поставленной цели авторами был разработан скрипт, функция которого заключается в создании геометрии продольной и поперечной арматуры в железобетонной балке и подборе типоразмера продольных стержней по расчету. Работа такого плагина осуществляется следующим образом: из пространства модели в Autodesk Revit выбирается балка, которую необходимо армировать, задается класс арматуры, прочность бетона, величина защитного слоя, удлинение продольных стержней за концы балки (длина анкеровки) и действующий изгибающий момент. Затем программа производит расчет, результаты которого вручную переносятся в соответствующий нод, устанавливающий стержни арматуры в балку. Остальные операции производятся автоматически.

Для реализации такого решения предлагается следовать данному алгоритму (рис. 1).

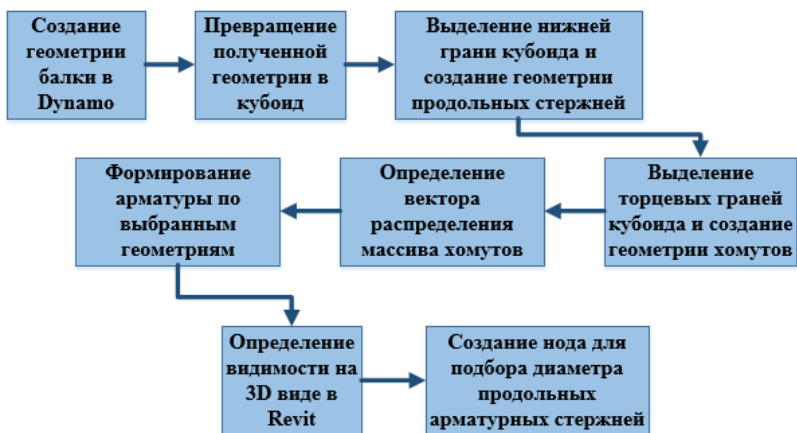


Рис. 1. Алгоритм разработки скрипта для подбора и расстановки арматуры в железобетонной балке

Особого внимания заслуживает последний пункт алгоритма. Именно этот нод позволяет автоматически подбирать типоразмер арматурных стержней. Он создается с помощью языка программирования IronPython.

Полученный нод имеет семь входов (рис. 2). На первый подается ширина балки, на второй – ее высота. Эти значения рассчитываются автоматически при запуске скрипта. Пользователю остается ввести информацию о классе арматуры, прочности бетона и величине изгибающего момента и подать ее соответственно на четвертый, пятый и шестой входы нода. Так же вручную подается на третий и седьмой входы величина защитного слоя бетона для верхней и нижней арматуры. По требованиям СП 16.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» минимальная величина защитного слоя бетона определяется по табл. 10.1 данного СП и зависит от условий эксплуатации конструкции.

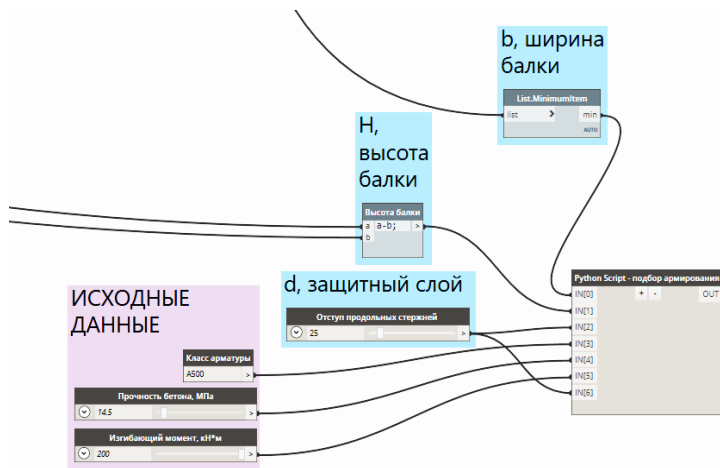


Рис. 2. Общий вида нода для подбора сечения арматурных стержней

После запуска скрипта, нод предоставляет решение в виде трех списков. Первый список содержит в себе данные о необходимом количестве стержней рабочей арматуры. Второй и третий – выводят данные о диаметре верхней и нижней арматуры соответственно. Эти значения переносятся в соответствующие ноды, которые уже непосредственно создают арматуру в модели балки.

Использование данной разработки позволяет расширить функциональные возможности, заложенные в программу Autodesk Revit, а также способствует существенному снижению временных затрат инженеров-проектировщиков на выполнение конструктивного раздела за счет сокращения однообразных операций и автоматизации некоторых расчетов. Этот плагин можно взять за основу для работы, избежав необходимости армировать «вручную» или создавать плагин «с нуля». Рассмотренная методика отвечает требованиям современной нормативно-технической документации.

В перспективе предполагается усовершенствовать плагин, добавив подбор сечения и шага хомутов, а также «научив» его выполнять проверку прочности, которая является обратной задачей к подбору сечений. Скрипт должен позволить проектировщикам отказаться от дополнительных расчетов и быстро выполнять все операции в рамках одной модели Revit.

Однако даже без таких дополнительных модификаций разработанный скрипт имеет ряд преимуществ перед аналогичными решениями. Например, в популярном программном обеспечении Tekla Structures можно создавать арматурные стержни, а затем импортировать их в Revit в формате IFC [6]. Это достаточно трудоемкий процесс, который требует предварительного проведения расчетов и подбора диаметра арматуры.

Также существует возможность передачи теоретически подобранной арматуры из ПК ЛИРА-САПР в Revit. В таком случае подобранная арматура отображается в Revit в виде эпюр, которые служат подложках для расстановки стержней [7]. Значительным недостатком такого решения является необходимость вручную устанавливать в модели все стержни.

Таким образом, разработка описанного плагина является актуальным направлением развития информационного моделирования на базе Autodesk Revit, так как значительно упрощает и ускоряет процесс разработки конструктивного раздела.

## **Литература**

1. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченко В.П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия наук. 2017. № 10. С. 529–549.

2. 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.
3. Анахин Н.Ю., Грошев Н.Г., Оноприйчук Д.А. ВМ технологии как основа современного объекта // Вопросы науки и образования. 2018. № 26(38). С. 29–31.
4. Ревенков Е.Д. Внедрение ВМ технологий в промышленное и гражданское строительство в России // Инновационные подходы в отраслях и сферах. 2018. № 11. С. 16–19.
5. Малофеев В.В., Веригин Ю.А. Сравнительный анализ и оценка ПК Autodesk Revit при разработке армирования железобетонных конструкций // Ползуновский альманах. 2019. № 2-1. С. 117–122.
6. Tekla Structures: официальный сайт. URL: [https://teklastructures.support.tekla.com/2020/ru/det\\_reinforcement\\_beam\\_reinforcement](https://teklastructures.support.tekla.com/2020/ru/det_reinforcement_beam_reinforcement) (дата обращения: 26.02.2021).
7. База знаний liraland: официальный сайт. URL: <https://help.liraland.ru/> (дата обращения: 26.02.2021).

УДК 69.003.12

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.012

**Вилисова Анастасия Дмитриевна**, аспирант

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина)

*E-mail: n\_yilisova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6357-9764*

**Миронова Людмила Ивановна**, д-р пед. наук, канд. техн. наук, профессор

(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина)

*E-mail: mirmila@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3675-6008*

Vilisova Anastasia Dmitrievna, postgraduate student  
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)  
Mironova Lyudmila Ivanovna, Dr. of Sci. Ped., PhD of Sci. Tech., Professor  
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

## **АНАЛИЗ СЦЕНАРИЕВ ВНЕДРЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЯХ**

### **ANALYSIS OF THE BIM TECHNOLOGY DEPLOYMENT SCENARIOS AT CONSTRUCTION COMPANIES**

Статья посвящена анализу сценариев внедрения BIM технологии в российских строительных компаниях. Актуальность выбранной темы связана с тем, что на практике данная технология используется в незначительном количестве строительных компаний РФ, при этом отсутствует единый подход к ее внедрению. В свою очередь, это тормозит переход к цифровизации строительной отрасли в условиях создаваемой в РФ цифровой экономики. Цель статьи – провести анализ существующих сценариев внедрения BIM, предложить наиболее перспективный сценарий на основании оценки результатов и ошибок от реализации. В качестве метода применен общенаучный метод, а именно анализ научно-методической литературы и нормативных документов по теме исследования. Практическая ценность работы заключается в выделении наиболее перспективного сценария реализации BIM для строительных компаний, которые желают перейти на информационное моделирование, чтобы сохранить свою значимость в структуре цифровой экономики.

*Ключевые слова:* BIM-технология, информационное моделирование зданий, сценарии внедрения BIM, цифровая экономика, результаты от реализации BIM, ошибки в реализации BIM.

This article is dedicated to analyzing the different scenarios of deploying BIM technology at Russian construction companies. This topic is highly relevant due to the fact that in practice, this technology is used at a small number of Russian construction companies, while there is no unified approach to its implementation. This slows down the digital transformation of the construction industry, which is part of the digital economy that is being created in the Russian Federation. The purpose of this article is to analyze the existing scenarios for BIM deployment and offer the most promising scenario based on the assessment of the results and errors associated with the process. The method used in the study is the general scientific method, namely the analysis of scientific and methodological literature and regulatory documents on the subject. The practical value of the study lies in identifying the most promising scenario for BIM deployment that will benefit construction companies that want to switch to information modeling in order to maintain their importance in the structure of the digital economy.

*Keywords:* BIM technology, Building Information Modeling, BIM deployment scenarios, digital economy, BIM deployment results, BIM deployment errors.

В рамках реализации в России государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 года № 1632-р, преследуется цель создания необходимых условий для развития цифровой экономики, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровой форме [1].

Совершенно очевидно, что при реализации указанной программы эффективное развитие различных сфер экономики возможно только в случае наличия соответствующей институциональной и инфраструктурной среды, цифровых платформ и технологий.

В настоящее время мы наблюдаем, как активно цифровые технологии проникают в различные сферы жизни и деятельности человека. Примером применения цифровых технологий в строительной сфере является технология ВІМ (от англ. Building Information Modeling – информационное моделирование зданий).

Однако, согласно данным Минстроя, в России ВІМ технологию используют в своей деятельности всего 5–7 % компаний от общего числа организаций в секторе строительства, по большей части в крупных городах и для реализации мегапроектов [2].

Данное обстоятельство определяет *проблему исследования*, которая определяется недостаточной проработанностью

существующих схем внедрения BIM-технологии в строительных организациях.

Ввиду того, что BIM-технологию на практике применяет лишь незначительное количество организаций, строительство, как индустрия, может потерять свою значимость в структуре экономики, уступив другим отраслям, которые активно практикуют применение цифровых технологий, стремительно развиваются и генерируют кардинально новые потребности и их решения.

На практике сегодня существует несколько различных сценариев внедрения BIM-технологии в строительных организациях и отсутствует единый подход к ее реализации. Данное обстоятельство определяет *актуальность темы* исследования.

*Цель статьи* – проанализировать существующие сценарии внедрения BIM в строительных компаниях, чтобы оценить их результаты и ошибки, и на основании этого предложить наиболее перспективный сценарий.

В исследованиях С.С. Бачуриной, Т.С. Голосовой [3], Н.А. Козлова, К.А. Поповой [4], Н. Диханова, К.К. Абрахмановой [5] показано, что распространение технологии информационного моделирования в инвестиционно-строительных проектах дает надежду на сокращение издержек, уменьшение сроков и стоимости, увеличение предсказуемости, прозрачности параметров объекта.

Технология BIM позволяет осуществить переход процессов в строительной сфере от «бумажного» вида к цифровому. При этом, с ее помощью строительство объекта осуществляется дважды: сначала в цифровом варианте (в виртуальном пространстве), затем в физическом варианте (на строительной площадке) [6].

В публикации [7] выделяется 2 сценария внедрения BIM. В первом случае внедрение осуществляется собственными силами строительной компании с помощью консалтинга со стороны, например, поставщика программного обеспечения, позволяющего автоматизировать процесс проектирования. Во втором случае внедрение проходит исключительно собственными силами строительной компании.

В публикации [8] выделяется 3 сценария внедрения BIM. В первом случае внедрение осуществляется с помощью привлечения

сторонней организации. Во втором случае процедура производится собственными силами организации с привлечением в штат нового специалиста. В третьем случае внедрение происходит собственными силами организации.

Проведенный анализ показал, что несмотря на наличие существенных преимуществ ВМ-технологии, на практике отсутствует единый сценарий ее внедрения.

Междисциплинарный характер статьи охватывает научные исследования на стыке экономики, информационных и коммуникационных технологий, а также инженерных наук (в части строительства). В связи с чем потребовался анализ широкого круга вопросов, затрагивающих основы внедрения ВМ-технологии в проектных организациях.

Для достижения цели исследования применен общенаучный метод, а именно, анализ научно-методической литературы и нормативных документов, посвященных аспектам цифровой экономики и вопросам применения ВМ-технологии.

В рамках проведенного исследования было проанализировано 4 сценария внедрения ВМ-технологии в строительных компаниях:

- *сценарий 1* – внедрение собственными силами компании;
- *сценарий 2* – внедрение собственными силами компании с учетом консалтинга со стороны поставщика программного обеспечения;
- *сценарий 3* – внедрение собственными силами компании с привлечением в штат нового специалиста;
- *сценарий 4* – внедрение сторонней организацией.

Рассмотрим результаты и ошибки [8] от реализации каждого из сценариев (табл. 1). Присвоим за каждый результат по 1 баллу, за каждую ошибку снимем по 0,5 балла, чтобы выявить наиболее перспективный сценарий по общей сумме баллов.

Анализ таблицы 1 позволяет сделать вывод о том, что наиболее перспективным с точки зрения влияния результатов и ошибок от реализации ВМ является *сценарий 4* – внедрение ВМ сторонней организацией (по показателю общей суммы баллов он набрал максимальный результат – 4,5 балла).



Таблица 1

## Анализ сценариев внедрения BIM-технологии

Результаты	Номера сценариев			
	1	2	3	4
Существующие наработки стандарта компании по двумерному проектированию интегрируются в трехмерное проектирование в BIM	1	1	1	1
Получена проектная модель для основных дисциплин*	1	1	1	1
Руководство получает рекомендации по изменению ключевых функций персонала, в случае такой необходимости	0	1	1	1
Сотрудники компании обучены для работы в BIM	0	0	1	1
Проработаны базовые технологии проектирования в BIM – это касается как внутридисциплинарной работы, так и междисциплинарного взаимодействия	0	0	0	1
Все специалисты компании приобретают такие компетенции в области работы с технологией BIM, которые позволяют им делиться знаниями и опытом с другими	0	0	0	1
<i>Сумма баллов за результаты</i>	2	3	4	6

Ошибки	Номера сценариев			
	1	2	3	4
Трехмерные модели, создаются, как правило, в пределах только одной-двух дисциплин	-0,5	-0,5	0	0
Сотрудники принимают участие в технических процессах внедрения BIM, при этом не освобождаются от текущей проектной деятельности	-0,5	-0,5	-0,5	0

Окончание табл. 1

Ошибки	Номера сценариев			
	1	2	3	4
Борьба за сокращение финансирования работ по внедрению	0	-0,5	-0,5	-0,5
Руководство отслеживает процесс внедрения по бумажной отчетности, а не по существу результатов	0	0	-0,5	-0,5
Выполнение работ по внедрению ВМ зависит от степени доверия между заказчиком и исполнителем	0	0	-0,5	-0,5
<i>Сумма баллов за ошибки</i>	-1	-1,5	-2	-1,5
<i>Общая сумма баллов за результаты и ошибки</i>	1	1,5	2	4,5

\* Под дисциплиной будем понимать направления работы компании (например, инженерные сети и архитектура).

Наименее перспективным с точки зрения влияния результатов и ошибок от реализации ВМ является *сценарий 1* – внедрение собственными силами компании (по показателю общей суммы баллов он набрал минимальный результат – 1 балл).

Таким образом, строительным компаниям, которые еще не используют, но желают применять в своей деятельности технологию информационного моделирования и сохранить значимость в структуре цифровой экономики РФ, рационально воспользоваться тем сценарием внедрения, который, по нашей оценке, имеет наибольший потенциал – внедрение ВМ сторонней организацией. Однако такой сценарий не лишен ошибок. Поэтому, привлекая внешних исполнителей к работам по внедрению ВМ, стоит заранее оценить и эффект от ошибок такого сценария.

Применение ВМ-технологии в строительных компаниях сегодня остается инициативной областью, поскольку в данной сфере отсутствует закрепленное государством требование об обязательном ее внедрении [8].

На практике строительные компании принимают решение о переходе на BIM только в том случае, если оно удовлетворяет потребностям всех участников инвестиционно-строительных проектов, при этом не учитывают, что такая необходимость обусловлена потребностями создаваемой в РФ цифровой экономики.

В статье проведен анализ современных сценариев внедрения BIM, которыми могут воспользоваться строительные компании в случае принятия решения о необходимости применения технологии информационного моделирования. Показаны результаты и ошибки, которые появляются в результате реализации таких сценариев. Таким образом, достигнута *цель исследования* – на основе проведенного анализа выявлен наиболее перспективный сценарий с точки зрения влияния результатов и ошибок – внедрение BIM сторонней организацией.

Результаты проведенного исследования позволяют надеяться, что совместными усилиями строительных и внедряющих компаний может быть заложена основа для начала массового применения перспективной технологии BIM в сегменте строительства.

### Литература

1. Распоряжение Правительства РФ от 28 июля 2017 года № 1632-р об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» URL: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 17.02.2021).
2. Вольф И. BIM в мире – обыденность, в России – пока эксклюзив // Отраслевой журнал «Строительство». 2020. № 5. С. 32–35.
3. Бачурина С.С., Голосова Т.С. Инвестиционная составляющая в проектах внедрения BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2016. № 2. С. 126–134.
4. Козлов Н.А., Попова К.А. Проблемы внедрения технологий BIM проектирования в России // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2016. №1(15). С. 18–21.
5. Диханов Н., Абрахманова К.К. Эффективность внедрения BIM-проектирования // Наука и инновационные технологии. 2016. № 1(1). С. 27–30.
6. Лушников А.С. Проблемы и преимущества внедрения BIM-технологий в строительных компаниях // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6(53). С. 252–256.
7. Куликова С., Талапов В. Внедрение BIM: проблема формализации процессов и учет возраста организации // САПР и графика. 2015. № 11(229). С. 6–9.
8. Чиковская И. Внедрение BIM – опыт, сценарии, ошибки, выводы // САПР и графика. 2013. № 8(202). С. 18–22.

**УДК 721.02+004.42**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.013

**Георгиев Николай Георгиев**, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* kolyageorgiev378@gmail.com, *ORCID:* 0000-0002-4967-1687

**Шумилов Константин Августович**, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* shkas@mail.ru, *ORCID:* 0000-0003-2079-6774

Georgiev Nicolay Georgiev, master student

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Shumilov Konstantin Avgustovich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **О КОМПЛЕКСНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПАКЕТОВ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В BIM**

### **ON THE COMPREHENSIVE APPLICATION OF VISUAL PROGRAMMING PACKAGES IN BIM**

Информационное моделирование зданий (BIM) появилось относительно недавно, но уже является одним из самых перспективных и востребованных направлений в современном проектировании и строительстве во многих странах. В данной статье описываются созданные авторами алгоритмы с применением пакета визуального программирования Dynamo-Revit и редактора Grasshopper, который интегрирован в среду моделирования Rhinoceros. При этом используются не только стандартные ноды (узлы) библиотек этих приложений, но и пользовательские узлы, созданные с использованием языка программирования Python. С помощью полученных алгоритмов появляется возможность создавать строительные конструкции различной формы с вариативной настройкой исходных данных. Также в статье описываются возможности применения данных пакетов в BIM.

*Ключевые слова:* BIM, визуальное программирование, скрипт, Dynamo, Grasshopper.

Building Information Modeling (BIM) appeared relatively recently, but it has already become one of the most promising and popular areas in modern design

and construction in many countries. This article describes the algorithms that the authors designed using the Dynamo-Revit visual programming package and the Grasshopper editor, which is integrated into the Rhinoceros modeling environment. The process uses not only the standard nodes from the libraries of these applications but also custom nodes, created with the Python programming language. With the help of the algorithms obtained, it becomes possible to create building structures of various shapes with variable source data settings. The article also describes the possibilities of using these packages in BIM.

*Keywords:* BIM, visual programming, script, Dynamo, Grasshopper.

В наши дни технологии BIM занимают ведущие места на мировом рынке в области проектирования зданий и сооружений. Основным результатом проектирования является получение информационной цифровой модели объекта, используемой на всех этапах жизненного цикла объекта [1]. Использование технологии BIM помогает оптимизировать процессы проектирования, выявления и исправления коллизий на всех этапах строительства и функционирования объекта. Такие модели получают намного большее информационное наполнение, доступное всем участникам проекта. Это приводит к более полному и адекватному восприятию объекта проектирования и пониманию того, как он будет выглядеть в будущем [2]. BIM-модели наполняются метаданными, что позволяет автоматизировать процесс формирования ведомостей и спецификаций, подготовки чертежей.

В оптимизации процесса эскизного проектирования могут существенно помочь средства визуального (параметрического) программирования. Визуальное программирование как подход заключается в том, что любую программу можно представить в виде цепочки компонентов, которые соединены друг с другом. Процесс визуального и традиционного программирования, по сути, являются одним и тем же, однако в визуальном программировании мы определяем инструкции для программы через графический (или «визуальный») пользовательский интерфейс. Вместо написания полного текста программы на каком-либо языке программирования, пользователь соединяет предварительно «упакованные» компоненты (ноды, узлы) друг с другом.

Существует множество сред визуального программирования. В данной статье будут рассмотрены две из них: среда визуального программирования *Dynamo* в паре с программным комплексом *Autodesk Revit* и редактор визуального программирования *Grasshopper*, интегрированный в среду моделирования *Rhinoceros*. Целью данной работы является разработка универсальных алгоритмов для моделирования строительных конструкций.

*Dynamo* – это приложение (плагин) для *Revit*, которое представляет собой среду для создания и запуска скриптов в адаптированной для инженера (не программиста) форме. *Dynamo* помогает значительно ускорить работу, автоматизируя и оптимизируя повторяющиеся процессы: построение сложной многоэтажной геометрии, оформление чертежей, внесение текстовых аннотаций, заполнение параметров, пакетную обработку и расстановку семейств, работу с таблицами, сметами [3]. Также автоматизируются инженерные расчеты: теплотехнический, гидравлический, балансировочный. Упрощается работа с базами данных *Excel*, *Access* и *MySQL*. Связь (импорт/экспорт) модели с другими программными комплексами, например, создание модели для расчета в ПК *ЛИРА*, *Сапфир*, *Tekla*.

Также с помощью параметрического программирования появляется возможность для создания сложной архитектурной и конструктивной геометрии с гибкой вариативной настройкой.

В рамках данной работы создан скрипт, с помощью которого пользователь может моделировать, например, башни различной формы и с различными исходными данными, такими как: тип основания, число этажей, длина стороны этажа или радиуса окружности (в зависимости от основания), высота этажа. Он представлен на рис. 1.

Также в *Dynamo*, помимо стандартных нодов, существует нод *Python Script*, в котором написан собственный код фрагмента алгоритма на языке программирования *Python*.

Если на практике в проектных организациях *Dynamo* чаще используется для решения задач автоматизации и оптимизации, то с плагином *Grasshopper* для *Rhinoceros* ситуация несколько иная [4]. Связка *Grasshopper-Rhinoceros*, больше взаимодействующая

с ArchiCAD, подходит для проектов с более сложной параметрической детализацией и продвинутым дизайном [5]. Она обладает более разнообразными компонентами, которые подойдут для архитекторов. Графическая платформа ARCHICAD является отличным BIM-решением, разработка которого принадлежит компании Graphisoft. С помощью процедур Rhino Import и Rhino Export можно обмениваться геометрией между Rhino и ARCHICAD, а также интерактивно управлять геометрией посредством изменения definition в Grasshopper.

В рамках данной работы в связке Grasshopper и Rhinoceros построена аналогичная башня, как и в связке Dynamo и Revit. Скрипт представлен на рис. 2.

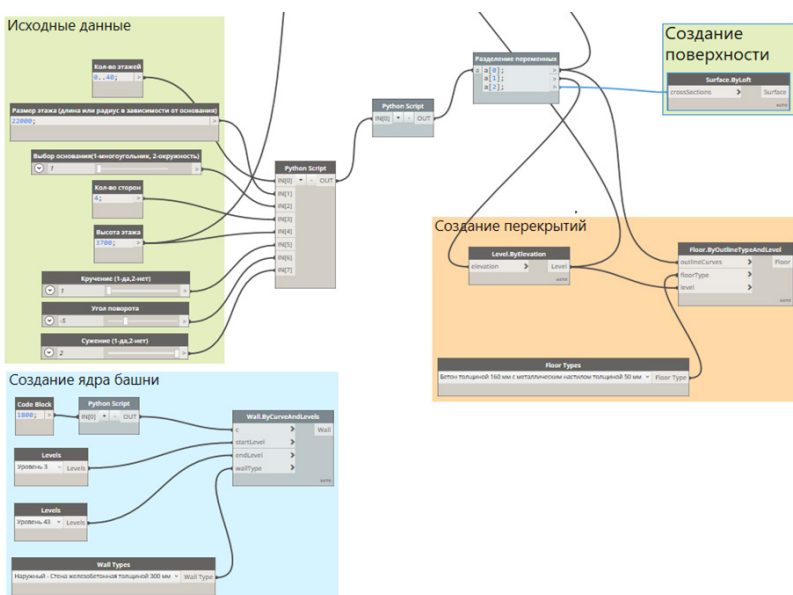


Рис. 1. Скрипт для построения различных строительных конструкций в Dynamo





На рис. 3 представлены результаты работы скриптов.

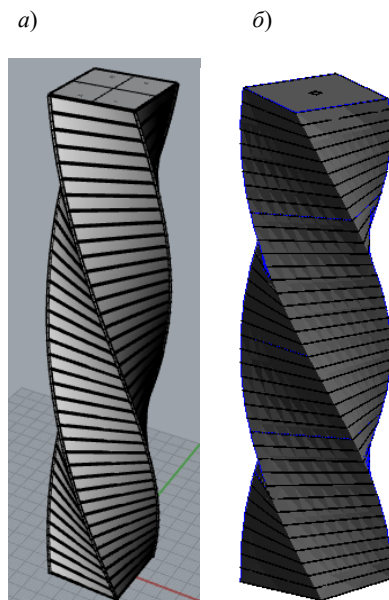


Рис. 3. Вид полученной башни:  
в Rhinoceros – (а), в Revit – (б)

Процессы моделирования рассмотренного объекта в обоих связках достаточно схожи. Их главное отличие заключается в том, что в Dynamo был написан код на языке программирования Python, который отвечал за построение башни. Он включал в себя различные функции, например, `Polygon.RegularPolygon` для построения многоугольника, который является основанием башни, а также `Geometry.Rotate`, которая отвечает за имитацию поворота этажей. Построение в среде Grasshopper было реализовано с использованием только встроенных узлов, но в нем также присутствует возможность написания собственного кода на языках программирования Python, C# и VBA, что предполагается использовать и проанализировать в дальнейшем.

В результате проделанной работы разработаны два скрипта для моделирования строительных конструкций в различных средах визуального программирования. Параллельная работа в пакетах визуального программирования позволяет выявить сильные стороны и проблемные места связок Dynamo-Revit и Rhino-Grasshopper, рационально использовать их преимущества для интерактивного моделирования различных видов сложных архитектурных и строительных объектов.

### **Литература**

1. Талапов В.В. ВІМ технологии в проектировании: что под этим обычно понимают. URL: <https://maistro.ru/articles/stroitelnye-konstrukcii.-proektirovanie-i-raschet/bim-tehnologii-v-proektirovanii-cto-pod-etim-obychno-ponimayut> (дата обращения: 28.01.2021).
2. Талапов В.В. «Основы ВІМ: введение в информационное моделирование зданий». М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
3. Официальный сайт Dynamo. URL: <http://dynamobim.org> (дата обращения: 21.01.2021).
4. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А., Спрыжков М.А. Анализ возможности внедрения в строительство технологии информационного моделирования зданий программами вида «ВІМ» // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2015. № 8(12). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25471008>.
5. Руководство по Grasshopper на русском языке. URL: <http://grasshopperprimer.com/ru/index.html> (дата обращения: 10.01.2021).

**УДК 69.059.1**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.014

**Гирия Лидия Владимировна**, канд. техн. наук, доцент

(Донской государственный технический университет)

*E-mail:* giryal@inbox.ru, *ORCID:* 0000-0001-8003-9551

**Трофимов Георгий Павлович**, магистрант

(Донской государственный технический университет)

*E-mail:* g.p.trofimoff@gmail.com, *ORCID:* 0000-0002-2348-4998

Girya Lidiya Vladimirovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Don State Technical University)

Trofimov Georgii Pavlovich, master student  
(Don State Technical University)

## **ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРАКТИКЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **USE OF BIM TECHNOLOGY IN BUILDING AND STRUCTURE OPERATION**

В данной статье рассматривается применение технологии информационного моделирования зданий и сооружений (BIM) именно на этапе эксплуатации. Автором проанализированы существующие преимущества применения данной технологии в процессе обслуживания и эксплуатации объектов строительства, а также трудности, которые могут возникать в практике использования BIM на этапе эксплуатации. Данная статья является вводной, так как вопрос представляется достаточно актуальным и требует дальнейшего всестороннего изучения. Однако, на основе рассмотрения существующих трудностей при внедрении технологии BIM в процесс эксплуатации, автор приводит вероятные пути их разрешения, что может послужить основой для дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* Эксплуатация зданий и сооружений, информационное моделирование, перспективы применения, BIM, программное обеспечение.

This research paper discusses the application of Building Information Modeling (BIM) at the stage of building and structure operation. The authors analyze the existing advantages of using this technology in the process of building and structure maintenance and operation, as well as the difficulties that may arise in the practice of using BIM at the operation stage. This paper is introductory,

as the subject in question is quite relevant and requires further comprehensive study. However, after reviewing the existing difficulties with implementing BIM technology during building operation, the authors share possible ways of resolving them, which can serve as the basis for further research.

*Keywords:* building and structure operation, information modeling, application prospects, BIM, software.

Не подлежит сомнению, что BIM-технологии в строительстве являются закономерным эволюционным этапом развития процесса проектирования и сопровождения строительства. В поручении Президента Российской Федерации от 19 июля 2018 года № Пр-1235 четко указано о «необходимости перехода к системе управления жизненным циклом объектов капитального строительства ... путем внедрения технологий информационного моделирования» [1]. За данным поручением последовал и федеральный закон «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 04 февраля 2019 года, что дает нам полное понимание текущей государственной политики в сфере BIM-моделирования.

Несмотря на некоторые трудности, процесс развития и внедрения BIM-технологий в России необратим [2]. Данная технология уже с успехом применяется на полном жизненном цикле зданий и сооружений, не только за рубежом, но и в нашей стране. И в перспективе объемы её применения будут только расти. Высокотехнологические здания и сооружения, наполненные современными системами мониторинга, жизнеобеспечения и коммуникаций сложны не только на этапах проектирования и возведения, особое место здесь занимает и последующая эксплуатация объекта. Эксплуатация и ремонт зданий – это очень важный и весьма затратный этап жизненного цикла здания, ведь расходы на содержание и текущий ремонт здания составляют 70 % от всех затрат в период его существования [3].

Применение информационных технологий на этапе эксплуатации объектов строительства, несмотря на ряд проблем, возникающих при их внедрении на практике, имеет множество неоспоримых преимуществ. BIM-модель, изначально созданная с расчетом на дальнейшее использование эксплуатирующими организациями

и содержащая полный набор цифровых данных, а также возможности для обработки этих данных в повседневной деятельности, может значительно усовершенствовать процесс эксплуатации любого здания или сооружения.

И, в первую очередь, данная цифровая модель облегчит работу непосредственно с имеющимися данными об объекте. Сегодня бумажная документация, которую ведет эксплуатирующая организация, может состоять из огромного множества томов, поэтому поиск и обработка той или иной информации зачастую является весьма непростой процедурой. И даже перевод всей документации в простую электронную форму не в полной мере облегчает эту задачу, ввиду разнородности и большого объема данных. Грамотно структурированная BIM-модель, в данном случае, может обеспечить сбор и обработку данных всеми участниками процесса, их централизованное хранение и своевременное обновление.

Вторым преимуществом технологии является возможность значительно повысить качество мониторинга технического состояния здания или сооружения. BIM-модель позволяет в реальном времени отслеживать сроки эксплуатации любого узла или элемента объекта, от несущих конструкций до инженерных систем, а так же их текущее состояние. Что, в свою очередь, позволяет в автоматическом режиме планировать работы по замене и реконструкции тех или иных частей здания и оборудования, а также видеть прямую взаимосвязь входящих заявок от потребителей услуг, их выполнения силами эксплуатирующей организации и текущим состоянием узлов и элементов. Именно мониторинг технического состояния является критическим фактором, влияющим не только на комфорт людей, использующих объект строительства, но и, главным образом, на их безопасность.

Рассматриваемая технология также имеет значительный потенциал для создания и координирования систем, имеющих в своем арсенале набор инструментов для мониторинга появляющихся в процессе эксплуатации трудностей экстренного характера, как, например, поломки оборудования и нарушения в работе инженерных систем. Дежурному специалисту подчас бывает трудно понять, что происходит, а ведь ему нужно быстро принять

определенные меры [4]. В подобной ситуации быстрый доступ к данным, особенно через мобильные устройства, который как раз и может быть обеспечен через внедрение ВІМ-технологий, сыграл бы ключевую роль.

Интересным примером внедрения ВІМ-технологии именно с целью мониторинга технического состояния является пилотный проект для диагностики мостовых сооружений на участке эстакады ЗСД (западный скоростной диаметр) по ул. Автомобильной в г. Санкт-Петербург, разработанный инженерной группой «Строй-проект» в 2016 году. В нем были реализованы такие этапы как:

- моделирование сооружения с детализацией до элементов конструкций;
- пространственная привязка модели сооружения;
- создание связанного с элементами сооружения архива документации;
- разработка системы наблюдения за техническим состоянием сооружения.

Здесь же мы видим и еще одно преимущество использования ВІМ-технологии на этапе эксплуатации, а именно: возможность обеспечивать навигацию на пространственно-сложных объектах.

Однако внедрение технологии информационного моделирования на этапе эксплуатации зданий и сооружений, несмотря на все преимущества, сталкивается с рядом серьезных трудностей. Для того чтобы постараться проанализировать существующие препятствия, следует разделить объекты строительства на три принципиально различные в данном отношении группы:

1. Крупные объекты нового строительства, изначально создаваемые с применением ВІМ-технологий на этапах проектирования и возведения.
2. Объекты нового строительства, создаваемые или недавно созданные при помощи традиционных методов проектирования.
3. Существующие здания и сооружения, эксплуатируемые длительное время.

Наиболее перспективно с точки зрения внедрения ВІМ-технологии в процесс эксплуатации выглядит первая группа объектов. Действительно, наличие актуальной цифровой модели здания

значительно упрощает запуск эксплуатации именно на их основе. Также важно понимать и то, что крупные и сложные объекты строительства несут в себе трудности не только для проектирования, но и для дальнейшей эксплуатации. И если BIM-моделирование позволяет решить эти трудности на первом этапе, то, соответственно, может быть применено и для второго. Однако и здесь внедрение информационной модели в эксплуатацию не происходит автоматически. Во-первых, BIM-модель здания еще на этапе проектирования должна создаваться с расчетом на её дальнейшее применение эксплуатирующей организацией, с внесением всех необходимых для данной цели параметров. А это не только усложняет, но и удорожает проект. И, во-вторых, сама эксплуатирующая организация должна быть готова к работе с этой моделью и выстраивать свою деятельность соответствующим образом.

Вторая категория объектов строительства, хоть и не имеет актуальной BIM-модели, однако в полной (или практически полной) мере соответствует проектной документации, имеющейся в наличии. Иными словами, здесь мы имеем документацию, отражающую все этапы строительства, и объект строительства, в который, ввиду малого срока эксплуатации, еще не вносились какие-либо изменения. Кроме того, в подавляющем большинстве случаев сегодня имеется электронная документация в формате САД-моделей, которая может быть использована как подоснова для формирования BIM-модели. Таким образом, процесс создания информационной модели для эксплуатирующей организации в данной категории объектов несколько более прост, хотя всё же является достаточно трудоёмкой задачей.

В реальности же две названные категории зданий и сооружений составляют лишь незначительную часть современной городской застройки. Большая часть объектов строительства – существующие достаточно длительное время здания. Это актуально и для крупных городских центров, и для небольших городов, а исключения из данного правила редки. Длительный срок существования здания, в данном случае, говорит нам, прежде всего, о том, что мы не можем в полной мере доверять существующей проектной документации (даже если она сохранилась) для создания

ВМ-модели. Это логично, ведь со временем меняются не только технические характеристики существующих элементов и узлов здания, но также могут дополняться, изменяться и пересматриваться и сами эти элементы, что не всегда достаточно качественно отражено в документации. Во многих случаях же техническая документация на существующие здания и сооружения и вовсе отсутствует частично или полностью, что и составляет одну из ключевых трудностей для внедрения технологии информационного моделирования в технической эксплуатации существующих зданий и сооружений.

Таким образом, создание ВМ-модели существующего здания возможно лишь путем досконального его обследования. Однако и тут возникают серьезные препятствия, в основном связанные со сложностью (а порой и невозможностью) обследования скрытых элементов здания и актуализации их в информационной модели. Кроме того, и сам процесс «переноса» здания либо сооружения в цифровую форму, даже тех его частей и элементов, которые доступны для всестороннего обследования, в настоящее время не является досконально отработанной процедурой. Конечно, существуют и активно совершенствуются технологии, позволяющие использовать данные лазерного сканирования и аэрофотосъемки для 3D-моделирования, которые могут быть применены в процессе создания ВМ-модели. Но в этом направлении еще предстоит проделать большую работу, и подобные технологии, в настоящее время, не могут похвастаться широтой применения.

Таким образом, учитывая все вышеназванные аспекты, среди ключевых задач, влияющих на потенциальную возможность применения технологии информационного моделирования на этапе эксплуатации в будущем, можно выделить:

1. Создание полноценного алгоритма и связанного с ним программного комплекса для создания информационных моделей существующих зданий и сооружений любой сложности.

2. Разработка программного решения, сочетающего в себе элементы автоматической системы управления зданием и информационной модели здания, обеспечивающего простую и надежную взаимосвязь этих элементов.



Конечно, этим перечнем спектр задач не ограничивается. Несмотря на то, что попытки применения BIM-технологий к существующим объектам начались параллельно с их массовым внедрением для нового строительства, эта сторона возможностей новой технологии до сих пор остается малоизвестной [5]. Именно этот факт и говорит о наличии перспектив в исследовании данного вопроса. Информационные технологии не стоят на месте, с каждым днем предоставляя нам все больше возможностей для совершенствования той или иной сферы человеческой жизни. И сфера эксплуатации и обслуживания зданий и сооружений, как важная составляющая комплексных экономических процессов в обществе, не может оставаться в стороне.

### **Литература**

1. Поручение Президента Российской Федерации № Пр-1235 от 19.07.2018.
2. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 12. С. 233–238. DOI: 10.12737/article\_590878fb8be5f0.72456616.
3. Толстолуцкая А.А. Информационное моделирование и применение BIM-технологий на этапе эксплуатации зданий // Сборник докладов IX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. С. 251–254.
4. Особенности национальной эксплуатации инженерных систем зданий: интервью с экспертом в области эксплуатации зданий и сооружений канд. тех. наук Александром Васильевичем Головачевым // Журнал «АВОК». 2014. № 4. С. 34–45.
5. Прокопов А.Ю., Прокопов М.В., Медведев А.А. Применение BIM технологий в эксплуатации объектов культурного наследия // Научные труды КубГТУ. 2018. № 2. С. 182–189.

**УДК 004.94+624.074.42**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.015**

**Голдобина Любовь Александровна**, д-р техн. наук, профессор  
(Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)  
*E-mail: lubovgoldobina@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5648-3115*

Goldobina Lyubov Alesandrovna, Dr. of Sci. Tech., Professor  
(Siberian Fire and Rescue Academy EMER COM of Russia)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В AUTODESK REVIT**

### **MODELING OF SPATIAL STRUCTURES IN AUTODESK REVIT**

В статье поднимается вопрос об актуальности возведения в настоящее время строительных объектов со сложными пространственными формами и особенностями их моделирования и проектирования с использованием BIM-технологий.

В частности, приводятся примеры построения сложных пространственных стержневых конструкций, на примерах создания длинной цилиндрической оболочки и оболочки типа «гипар», в известном продукте информационного моделирования зданий Autodesk Revit с использованием адаптивных компонентов, позволяющих воплощать самые дерзкие замыслы архитекторов в части создания как самих сложных форм строительных объектов, так и геометрии профилей их стержневых элементов.

*Ключевые слова:* тонкостенные пространственные конструкции, оболочечные конструкции, информационное моделирование зданий, адаптивные компоненты, моделирование оболочек.

This article reviews the current relevance of constructing buildings and structures with complex spatial forms and the specifics of modeling and designing such buildings and structures with BIM technologies.

In particular, we provide examples of creating complex spatial bar structures, specifically a long cylindrical shell and a hyper shell, in Autodesk Revit used for building modeling. The software uses adaptive components that make it possible to embody the architects' most daring ideas when it comes to both complex building forms and the geometry of individual bar elements' profiles.

*Keywords:* thin-walled spatial structures, shell structures, Building Information Modeling, adaptive components, shell modeling.

Известно, что при проектировании и строительстве зданий и сооружений довольно долго для описания формы объекта использовались элементарные геометрические тела: параллелепипеды, призмы, пирамиды, реже конусы и полусферы. Развитие культуры, науки, новых материалов и технологий, накопленный опыт архитекторов, проектировщиков и строителей позволили существенным образом изменить архитектурный облик строительных объектов различного назначения [1], прежде всего за счет применения тонкостенных пространственных конструкций криволинейных форм различного очертания, которые удовлетворяют таким известным принципам строительства как технико-экономическая эффективность и архитектурная выразительность зданий [2].

Проектирование пространственных конструкций оболочечного типа связано с определенными трудностями, которыми являются их непосредственное компьютерное моделирование и дальнейшее проектирование с выполнением статических, а иногда и динамических расчетов.

В последнее время появились новые возможности моделирования сложных криволинейных форм пространственных несущих и ограждающих конструкций с использованием современных систем автоматизированного проектирования таких как Autodesk ArchiCAD, Autodesk AutoCAD, Autodesk Revit, включая программно-вычислительные комплексы: Robot Structural Analysis Professional (RSA), SCAD, ЛИРА-САПР, ANSYS, – которые позволяют на основе созданной модели проектируемой конструкции, создать ее аналитическую модель, выполнить статический расчет, а далее на основе полученных данных приступить к разработке рабочей документации.

Однако при очевидных достоинствах современных программных комплексов, остаются вопросы как по моделированию сложных криволинейных пространственных конструкций, так и по созданию их аналитических моделей [1].

Среди тонкостенных пространственных конструкций, используемых в отечественном строительстве в качестве покрытий и перекрытий, известны следующие: призматические складки; оболочки нулевой, положительной или отрицательной гауссовой

кривизны; оболочки с вертикальной или горизонтальной осью вращения; тороидальные оболочки, в том числе шатрового типа; составные оболочки из гиперболических треугольных сводов; гиперболические панели-оболочки и многие другие [3]. При этом зачастую такие пространственные конструкции не являются сплошными, а представляют собой стержневые конструкции, элементы которых могут быть выполнены из профилей, имеющих разнообразные геометрические очертания.

Autodesk Revit располагает типом семейств «Адаптивные компоненты», особенностью которых является способность приспосабливаться к проектируемой форме. Адаптивные компоненты позволяют привязываться к узлам разделенной поверхности или кривой с помощью своих опорных адаптивных точек. Можно сказать, что адаптивный компонент скользит по созданной поверхности, повторяя её конфигурацию и адаптируясь к ней, при этом сам адаптивный компонент тоже может иметь сложную трехмерную геометрию. С помощью такой геометрии можно решать задачи по проектированию сложных форм, которые до этого не могли быть реализованы в рамках данной программы [4].

В программном продукте Autodesk Revit с использованием адаптивных компонентов была создана модель сквозной длинной одноволновой цилиндрической оболочки, на примере покрытия Киевского вокзала в Москве, автором которого является Владимир Григорьевич Шухов, который впервые в мире предложил гиперболоидные конструкции и применил для строительства зданий стальные сетчатые оболочки.

Моделирование стержневой цилиндрической оболочки, состоящей из дуговых элементов и прямолинейных балок, выполнялось в шаблоне «Семейства» – «Концептуальные формы». Для чего необходимо было создать как минимум два адаптивных компонента: дуговой элемент и прямолинейный элемент («балка»), в предлагаемом к рассмотрению примере, оба с прямоугольным поперечным сечением. При этом, следует отметить, что поперечное сечение компонентов можно задавать любой формы, а размеры этих сечений сделать параметрическими, что позволит в дальнейшем менять как форму, так и размеры сечения, не редактируя

исходных адаптивных компонентов и не нарушая целостности всей конструкции.

Алгоритм построения конструкции таков: на любом из фасадов задаются параметры дугового элемента, который и будет являться основой первого адаптивного компонента; затем, используя семейство «Метрическая система, адаптивная типовая модель», выполняется его построение с созданием по нему в дальнейшем цилиндрической поверхности; при этом для точной вставки адаптивных компонентов («балок») поверхность необходимо разделить узлами на условные панели с помощью инструмента «Разделить поверхность». Создав, необходимый профиль дуговым направляющим, получаем дуговой элемент, который инструментом «Повторить» позволяет выполнить построение остальных дуговых элементов. Далее создается второй адаптивный компонент «балка» и загружается в ранее созданное семейство. Второй адаптивный компонент привязывается к адаптивным точкам, после чего его исполнение повторяется столько раз, сколько это требуется по проекту (рис. 1).

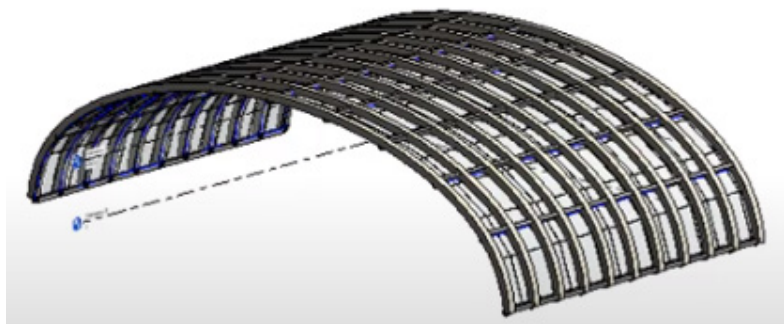


Рис. 1. Модель стержневой цилиндрической оболочки

Другим примером сложной пространственной конструкции, построенной с помощью адаптивных компонентов, является оболочка типа «гипар», преимуществами которой считаются: облегчение отделки поверхности за счет линейчатости поверхности

гипара; относительно высокая устойчивость; архитектурная выразительность и необычные строительные решения за счет сочетания нескольких видов оболочек гипарового типа в одну составную, что позволяет широко использовать эту геометрию при создании уникальных строительных объектов (рис. 2, 3).

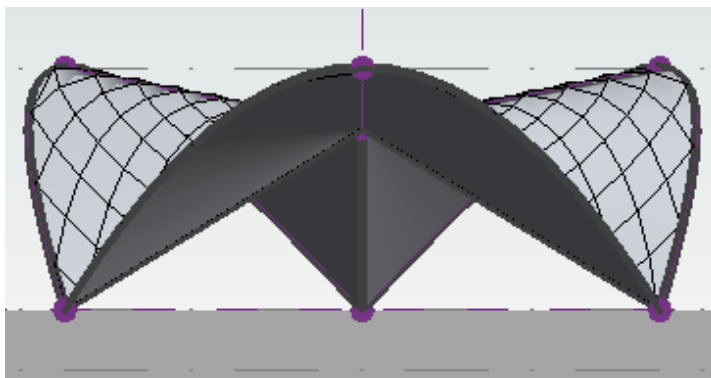


Рис. 2. Моделирование поверхности типа «гипар 1» в Autodesk Revit

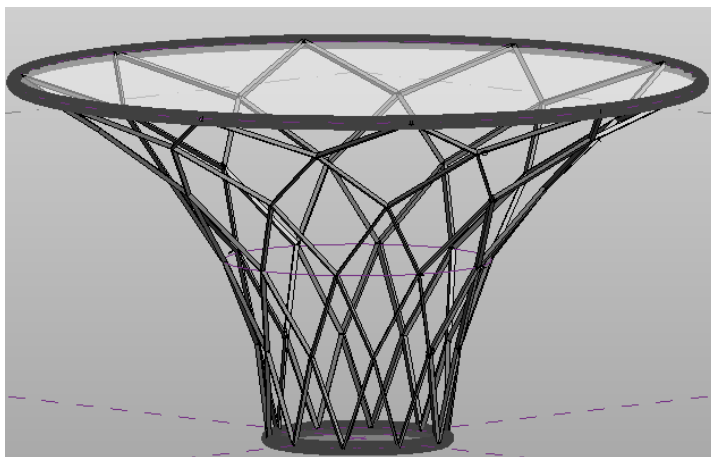


Рис. 3. Моделирование поверхности типа «гипар 2» в Autodesk Revit

В подтверждении обоснования выбора Autodesk Revit для создания сложных оболочечных конструкций следует сакцентировать внимание на том, что сегодня вполне успешно работают инструменты интеграции (Autodesk Robot Structural Analysis и Autodesk Revit), позволяющие выполнять двухсторонний обмен информации по модели, в частности: переносить сами модели конструкции; обновлять модели конструкции; переносить результаты статического анализа и расчетов, выполненных в Robot, в модель Revit, – то выбор именно Autodesk Revit для моделирования сложных пространственных оболочек был неслучаен [5].

В качестве примера приведены фрагменты работы, выполненной в Autodesk Revit, по созданию модели металлической пологой оболочки положительной гауссовой кривизны квадратной в плане с размерами 24×4 (м) с заполнением ячеек закаленным стеклом с использованием для моделирования стержней коробчатого профиля адаптивных компонентов (рис. 4). Затем на основе аналитической модели оболочки в Autodesk Robot Structural Analysis Professional был выполнен статический расчет (рис. 5), анализ результатов которого позволил определить окончательно с геометрическими характеристиками несущих элементов конструкции и завершить ее проектирование.

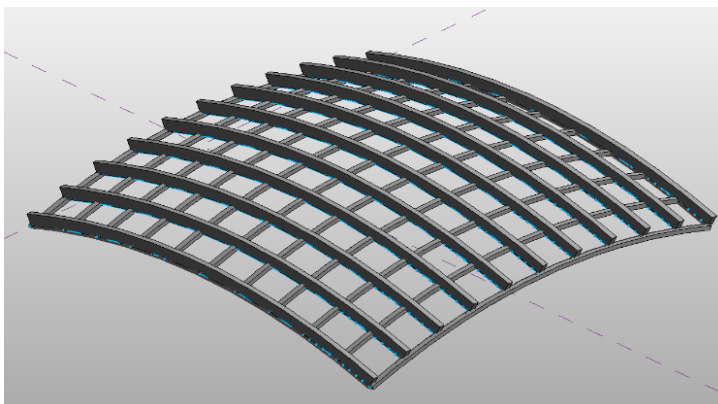


Рис. 4. Визуализация металлической оболочки гауссовой кривизны в Autodesk Revit

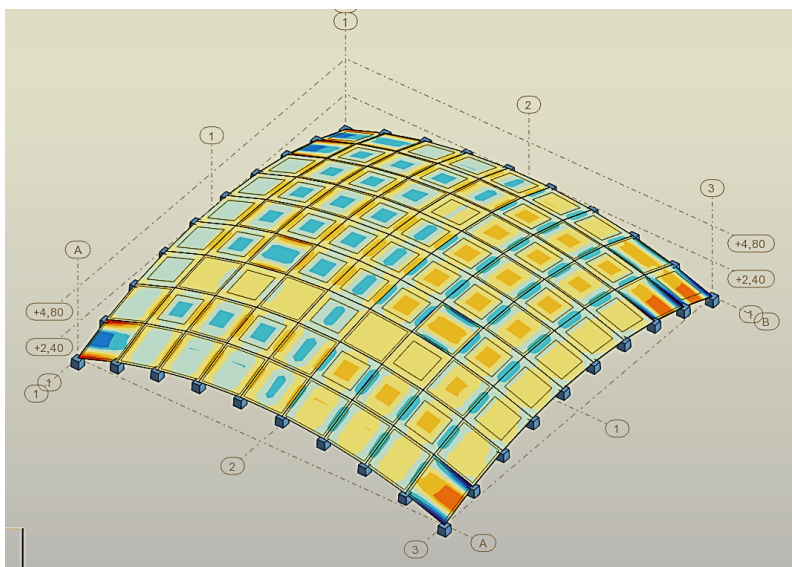


Рис. 5. Визуализация усилий, возникающих в оболочке (RSA)

## Литература

1. Беляева З.В. Геометрическое моделирование пространственных конструкций: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. Екатеринбург, 2015. 16 с. URL: <file:///E:/Downloads/autoref-geometricheskoe-modelirovanie-prostranstvennykh-konstruktsii.pdf> (дата обращения: 16.03.2021).
2. Наширалиев Ж.Т., Каргаева А.Т. Трудности проектирования и строительства пространственных тонкостенных оболочек // ACADEMY. 2019. № 1(40). С. 17–19.
3. СП 387.1325800.2018. Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2018. 169 с.
4. Георгиевская Е.В. Моделирование сложных архитектурных форм в программе Revit Architecture: методические указания по дисциплине «Инженерная графика». М.: МАРХИ, 2015. 5 с. URL: [https://marhi.ru/education/direct/270300\\_62/Method\\_posobie\\_modelirovanie\\_slojnix\\_form\\_v\\_programme\\_REVIT.pdf](https://marhi.ru/education/direct/270300_62/Method_posobie_modelirovanie_slojnix_form_v_programme_REVIT.pdf) (дата обращения: 16.03.2021).



5. Голдобина Л.А., Старцева А.Е., Сучкова А.И. Проектирование пространственных железобетонных конструкций с использованием BIM-технологий // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: сб. науч. тр. III Всеросс. науч. конф. СПб.: СПГУ, 2020. С. 216–223.

**УДК 69**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.016

**Дивин Никита Владимирович**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* [nikitad93@mail.ru](mailto:nikitad93@mail.ru), *ORCID:* 0000-0002-3850-9756

**Дьяков Станислав Федорович**, старший преподаватель

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* [dyakov\\_sf@spbstu.ru](mailto:dyakov_sf@spbstu.ru), *ORCID:* 0000-0003-3703-0222

**Савченко Алексей Владимирович**, ассистент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* [ya.int@yandex.ru](mailto:ya.int@yandex.ru)

Divin Nikita Vladimirovich, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Dyakov Stanislav Fedorovich, Senior Lecturer  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Savchenko Aleksey Vladimirovich, assistant  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ПРОГРАММИРОВАНИЕ КАК МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПК REVIT**

### **PROGRAMMING AS A METHOD FOR AUTOMATING REVIT**

Развитие программ, поддерживающих BIM-технологии, предоставило возможность пользователям создавать собственные инструменты и адаптировать универсальные программные комплексы к локальным задачам. Популярными темами для разработки стали автоматизация размещения элементов, наполнение информационной модели данными, формирование отчетов с целью извлечения информации, заложенной в модель. Целью данной

статьи является рассмотрение методов автоматизации программы Revit: при помощи обычных узлов в модуле Dynamo, комбинирование в алгоритме Dynamo обычных узлов и кодирования в узле «Python Script», разработка алгоритма только при помощи кодирования в узле «Python Script» и разработка плагина на языке программирования C# в отдельной программе. На основе проведенного исследования сделан вывод об эффективности и доступности методов автоматизации.

*Ключевые слова:* Информационное моделирование зданий, Revit, Dynamo, Revit API, автоматизация, Python.

The development of software that supports BIM technology has made it possible for users to create their own tools and adapt universal software systems to local tasks. Automating element placement, filling the information model with data, and generating reports in order to extract information from the model have become popular development areas. The purpose of this article is to review the methods for automating Revit: using standard nodes in the Dynamo module, combining standard nodes and coding in the Python Script node in the Dynamo algorithm, developing an algorithm by only using coding in the Python Script node, and developing a plug-in in C# in a separate program. We use the results of this study to draw a conclusion about the effectiveness and availability of automation methods.

*Keywords:* Building Information Modeling, Revit, Dynamo, Revit API, automation, Python.

Технология BIM (BIM – Building Information Modeling – «Информационное моделирование зданий») [1] имеет тенденцию ускоряющегося распространения и интеграции в различные сферы строительства. Однако несмотря на постоянное совершенствование программного обеспечения, создаваемого гигантами BIM индустрии, невозможно учесть все детали и сделать данное ПО универсальными для всех сфер. Соответственно наблюдается нехватка инструментария у конечных пользователей ПО, так как перед ними стоит слишком широкий спектр производственных задач. В какой-то мере решением данной проблемы стало предоставление пользователям возможности создавать собственные инструменты под свои задачи при помощи методов визуального программирования и кодирования на языках программирования.

В ПК «Revit» данная возможность реализована через среду программирования DYNAMO [2]. В данном встроенном модуле пользователю предоставляется возможность при помощи визуального программирования составить алгоритм в виде последовательности узлов, имеющих возможность принимать и выводить данные. При этом каждый узел несет в себе определенную заранее заложенную логику. Например, существует узел, который принимает на вход экземпляр элемента модели и наименование параметра этого элемента. При запуске алгоритма, узел запросит значение из параметра в этом экземпляре и выведет его. Стоит отметить, что далеко не все инструменты освещены в узлах DYNAMO, соответственно, при помощи алгоритма из узлов можно решить большой ряд задач, но возможности такого подхода ограничены.

Для более опытных пользователей, знающих кодирование на языке программирования Python, данная среда разработки предоставляет возможность кодирования в специальном узле «Python Script», при обращении к которому открывается окно, где можно написать код. Схема работы узла такая же, как и у обычных узлов DYNAMO – есть вход, через который подаются данные, и выход, через который выводится результат их обработки (рис. 1). Отличие в том, что логика работы создается пользователем самостоятельно при помощи методов библиотеки «Revit API», в которой содержатся все доступные инструменты. При этом главным преимуществом данного метода является то, что кодирование происходит в среде DYNAMO, то есть существует возможность комбинировать в одном алгоритме обычные узлы DYNAMO, решающие более простые задачи, и узел «Python Script» с закодированной логикой, решающий более сложные задачи [3].

Минусом всех описанных подходов является невозможность создания собственного интерфейса, что при решении объемных задач значительно усложняет взаимодействие алгоритма и его пользователя. Также алгоритм, построенный в DYNAMO, имеет невысокую скорость работы и существенную загрузку системы.

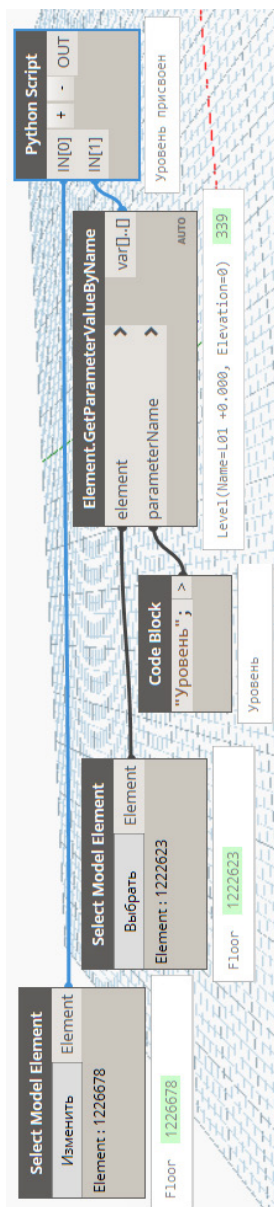


Рис. 1. Пример алгоритма с применением узла «Python Script»

Обеих этих недостатков лишена другая методика автоматизации в Revit – разработка плагина на языке программирования C# в отдельной специализированной программе, по типу Microsoft Visual Studio. Недостатком применения данной методики является необходимость более высокого уровня знаний в области программирования и сложностью тестирования разработанных алгоритмов (разработчику автоматизационного плагина необходимо скомпилировать программу, сформировав плагин и затем загрузить его в Revit, в то время как в Dynamo можно запускать созданный алгоритм сразу).

За счет разного уровня сложности применения всех перечисленных методик, каждая из них имеет своих последователей и применяется для решения задач разного уровня сложности. Так, к примеру, в работе [4] решалась проблема нехватки инструментов для быстрого моделирования дорог в ПК Revit. В статье описана работа алгоритма Dynamo, который позволяет построить трехмерную модель дорожного покрытия по контрольным точкам ее осевой линии, что значительно ускорило работу по сравнению с ручным методом создания подобной модели. Авторы алгоритма заложили возможность пользователю выбирать слоистую структуру дороги на отдельных участках трассы, а также в зависимости от этого выбора, прогнозировать насколько велики будут значения деформации покрытия, которые он получит со временем.

Другой пример решения объемной производственной задачи путем автоматизации можно найти в работе [5]. Здесь применяется плагин, работа которого заключается в размещении арматурных элементов в модели (рис. 2). При обращении к плагину выводится окно, в котором пользователь может выбрать вид конструктивного сборного элемента, вид арматуры, которую необходимо разместить, задает правила расстановки элементов армирования. В результате тестирования данного подхода, авторы доказали значительный прирост производительности при использовании плагина.

Для решения задач по формированию отчетности, баз данных и связи с внешними файлами активно применяется алгоритмизация в Dynamo. Примером тому являются статьи [6, 7]. Так в [6]

описывается работа алгоритма по выведению информации о модели: расположению и габаритов окон, данных о комнатах и их размерах, составе ограждающих конструкций этих комнат и многое другое. Вся эта информация записывается в документ формата Excel и используется авторами для дальнейших расчетов показателей теплового, акустического комфорта, что является важным для оценки жилых помещений проектируемого здания.

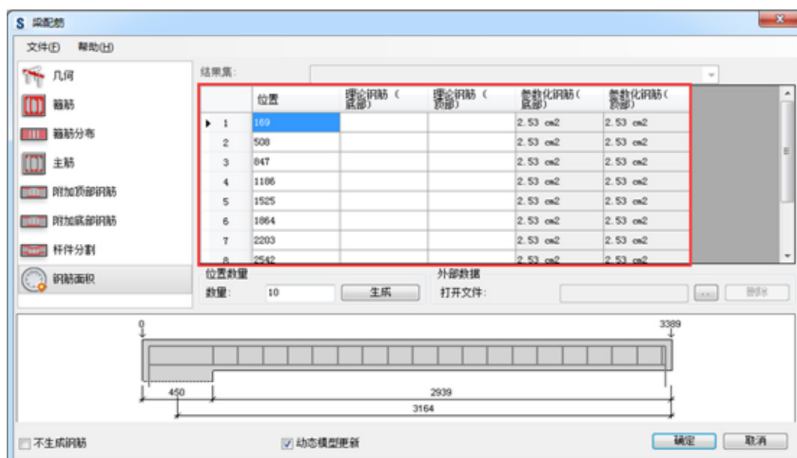


Рис. 2. Окно плагина по работе с армированием сборного железобетонного элемента [5]

В работе [7] описывается использование разработанного алгоритма Дунапо по оценке эффективности применения той или иной конструкции ограждающей конструкции. Так алгоритм извлекает характеристики поглощения солнечного света стеной с учетом района строительства, ее ориентации по сторонам света, габаритов размещенных окон, стоимости строительства по заданному классификатору и выводит в виде сводной таблицы пользователю. Последний, анализируя эти данные может сделать отчет по обоснованию применения конструкторского решения для конкретного здания/района строительства.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод:

1) При помощи программирования в Дупато возможно автоматизировать в том числе и сложные объемные задачи, что отражают приведенные примеры. Это значительно увеличивает спектр задач, в которых может быть применена технология BIM более эффективно.

2) Автоматизация доступна для разного уровня пользователей, при этом в процессе каждого из подходов формируются навыки алгоритмизации, что при параллельном изучении языков программирования, позволит переходить от более легкого подхода к более сложному:

- создание алгоритма при помощи обычных узлов в Дупато;
- создание алгоритма с комбинированием обычных узлов и узла «Python Script» в Дупато;
- создание алгоритма в Дупато только при помощи узла «Python Script» без применения обычных узлов;
- разработка плагина на языке программирования C# в отдельной программе.

3) Судя по датам публикации представленных иностранных источников, тема применения программирования находится в процессе своего активного развития и распространения за рубежом.

### **Литература**

1. Becerik-Gerber B., Kensek K. Building information modeling in architecture, engineering, and construction: Emerging research directions and trends // Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice. 2010. Vol. 136, No. 3. P. 139–147. DOI: 10.1061/ASCEEI.1943-5541.0000023.

2. Zotkin S.P., Ignatova E.V., Zotkina I.A. The Organization of Autodesk Revit Software Interaction with Applications for Structural Analysis // Procedia Engineering. 2016. Vol. 153. P. 915–919. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.225.

3. Kensek K., Henkhaus A. Solar access zoning + building information modeling // 42nd ASES National Solar Conference 2013, SOLAR 2013, Including 42nd ASES Annual Conference and 38th National Passive Solar Conference. 2013. P. 250–257.

4. Tang F., Ma T., Zhang J., Guan Y., Chen L. Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM // Automation in Construction. 2020. Vol. 113. P. 103152. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103152.

5. Bai Q., Deng S., Li C., Qie Z. Application of BIM in the creation of prefabricated structures local parameterized component database // *Architecture and Engineering*, 2019. Vol. 4, No. 2. P. 13–21. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-2-13-21.
6. Piaskowski A., Petersons R., Wyke S.S., Petrova E., Svidt K. Automation of data transfer between a BIM model and an environmental quality assessment application // *CIB Proceedings*. 2019. Vol. 36. P. 381–390.
7. Lim Y.-W., Seghier T.E., Harun M.F., Ahmad M.H., Samah A.A., Majid H.A. Computational BIM for Building Envelope Sustainability Optimization // *MATEC Web Conf*. 2019. Vol. 278. P. 04001. DOI: 10.1051/mateconf/201927804001.

**УДК 004.9**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.017

**Жигулин Вячеслав**, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* slavazh@inbox.ru, *ORCID:* 0000-0001-9728-8319

**Шумилов Константин Августович**, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* shkas@mail.ru, *ORCID:* 0000-0001-8806-9026

Zhigulin Vyacheslav, master student

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Shumilov Konstantin Avgustovich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОЛЬНОГО ВАРИАНТА ЗАСТРОЙКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTHON В СРЕДЕ 3DS MAX**

### **MODELING A RANDOM BUILDING DEVELOPMENT OPTION USING PYTHON IN THE 3DS MAX ENVIRONMENT**

Информационное моделирование зданий (BIM) – перспективное направление в современном проектировании и строительстве. В данной статье представлены результаты разработки алгоритма создания и редактирования



трёхмерной графики в Autodesk 3ds Max с использованием возможностей высокоуровневого языка программирования Python. На основе полученных результатов появляется возможность моделировать различные варианты квартальной застройки, которые можно использовать при решении задач проектирования. Данный алгоритм можно использовать для прототипов реальных застроек, также присутствуют возможности для различных модернизаций алгоритма для использования его в реальных проектах.

*Ключевые слова:* 3D-моделирование, прототип, возможность моделирования, 3ds Max, Python, среда моделирования.

Building Information Modeling (BIM) is a promising direction in modern design and construction. This article presents the results of developing an algorithm for creating and editing three-dimensional graphics in Autodesk 3ds Max, using the capabilities of the Python high-level programming language. The results obtained make it possible to model various options for residential block development, which can help to solve design problems. This algorithm can be used for making prototypes of real-life construction sites, in addition to offering opportunities for various algorithm upgrades that will allow for applying the algorithm to real projects.

*Keywords:* 3D modeling, prototype, modeling capability, 3ds Max, Python, modeling environment.

3D-моделирование играет важную роль в жизни современного общества. Сегодня оно широко используется в маркетинге, архитектурном дизайне и кинематографии, не говоря уже о промышленности. 3D-моделирование позволяет создать прототип будущей структуры, коммерческий продукт в массовом формате. Возможности 3D-моделирования расширяются с помощью программирования. В данной статье будут рассмотрено взаимодействие среду для 3D-моделирования Autodesk 3ds Max и высокоуровневый язык программирования Python.

Целью данной работы является разработка проекта для моделирования полноценной застройки определенного участка города. Гибкость языка Python и его постоянное обновление позволяют вносить в код различные шаблоны застройки, что позволит создавать полноценные прототипы жилых комплексов и инфраструктуры для различных целей. Более того, в перспективе, при модернизации алгоритма, с добавлением в него различных настроек зданий в застройке, а также возможности настраивать

условия окружающей среды для определенного участка под проект, появится возможность моделировать рабочие варианты застроек в кратчайшие сроки.

В основе работы лежит геометрия куба. Далее создается список и заполняется определенным количеством кубических объектов, у которых возможно настраивать длину и ширину, высоту, а также минимальное и максимальное количество этажей, где за один этаж принимается значение высоты. Кубы размещаются в случайные позиции. В результате получаем варианты квартальной застройки (рис. 1), которые можно использовать как варианты для таких задач как проверка застройки на обтекаемость ветром в ANSYS (рис. 2). Для этого необходимо экспортировать полученную модель из 3ds Max в формате «.fbx» и импортировать ее в ANSYS в качестве геометрии, на которой в дальнейшем проводится проверка обтекаемости ветром.

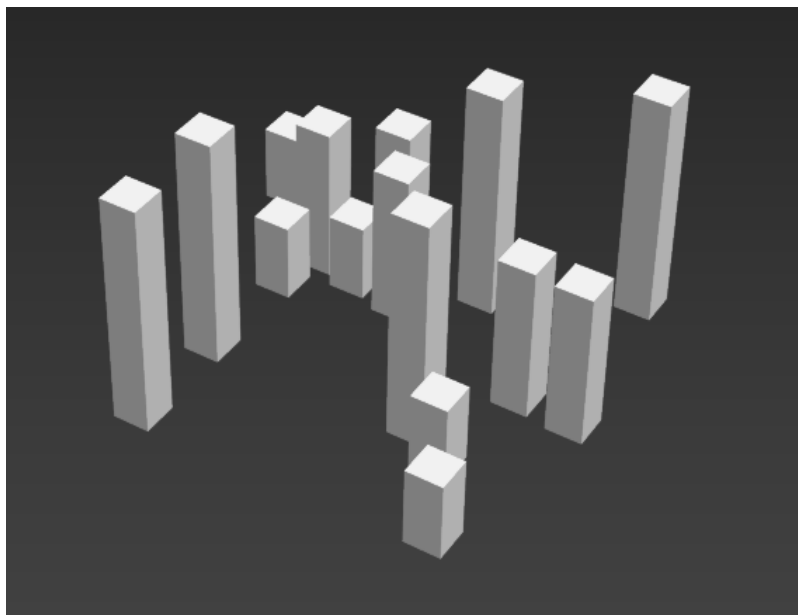


Рис. 1. Модель случайной застройки

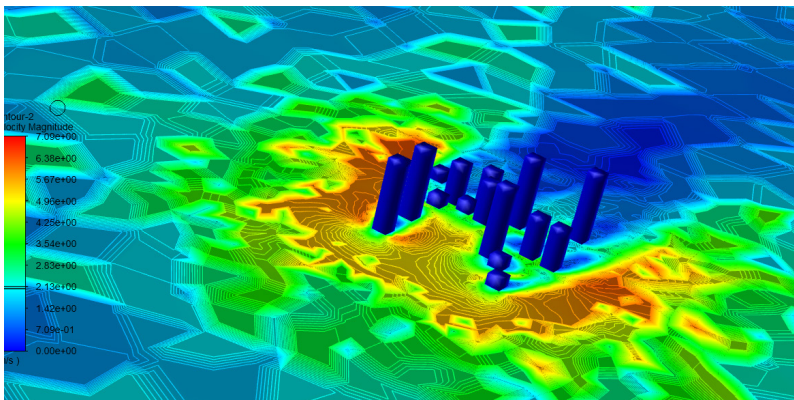


Рис. 2. Обтекаемость ветром модели в ANSYS

Также реализован вариант, в котором определенное число объектов организовано в отдельные «кварталы» и разделено фиксированным расстоянием по всем сторонам для имитации пространства для дорог с тротуарами (рис. 3).

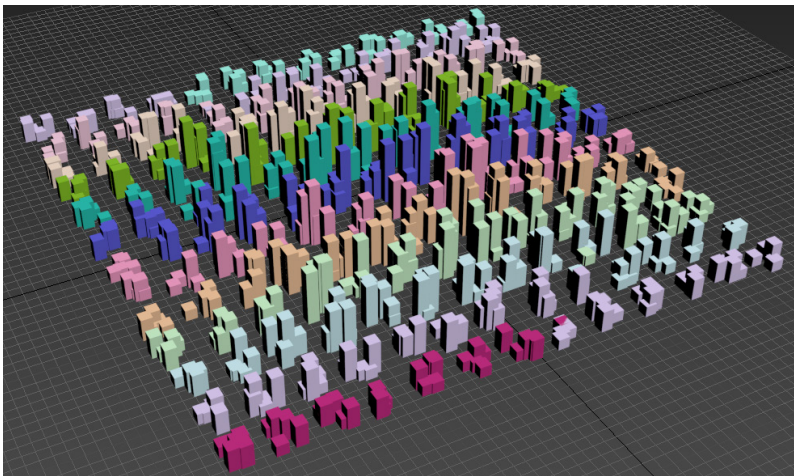


Рис. 3. Застройка с отдельными кварталами

Для этого определяются размеры «кварталов», а также устанавливается расстояние между ними. Далее, в цикле, определяются границы для каждого «квартала» в зависимости от введенного количества «кварталов» и их размера и заполняются кубами, имитирующими постройки.

В результате проделанной работы был разработан алгоритм для создания различных вариантов линейной застройки, которые можно использовать для формирования заданий архитекторам. Ведется работа над улучшением алгоритма для создания нелинейных вариантов застроек с большим количеством настроек для контроля итоговой модели застройки.

### **Литература**

1. 3ds Max Learning Center. URL: <http://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2019/ENU/> (дата обращения: 11.01.2021).
2. Python 3.9.3 documentation. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата обращения: 11.01.2021).
3. Корныхин Е.В., Хорошилов А.В. Использование языка программирования Python для описания ограничений на архитектурные модели // Труды ИСП РАН. 2015. Т. 27, № 5. С. 143–156. DOI: 10.15514/ISPRAS-2015-27(5)-8.
4. Сазанов Е.А. Архитектурная визуализация в программе Autodesk 3ds Max 2015. Омск: СибАДИ, 2016. 60 с.
5. Сидорович Е.А. Трехмерное моделирование в программе 3ds Max. Мурманск: МАГУ, 2019. 100 с.
6. Сорокин С.В. Введение в программирование на языке Python. Тверь: ТвГУ, 2015. 123 с.
7. Шелудько В.М. Язык программирования высокого уровня Python: функции, структуры данных, дополнительные модули. Таганрог: ЮФУ, 2017. 108 с.
8. Lvov M., Kruglyk V. Teaching algorithmization and programming using Python language // Journal of Information Technologies in Education (ITE). 2014. No. 20. P. 13–23. DOI: 10.14308/ite000493.

УДК 004:004.01:004.9

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.018

**Звонов Илья Александрович**, старший преподаватель  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail: kafedravs@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4854-9903*

**Нарежная Тамара Карповна**, канд. экон. наук, доцент  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail: narejnaya@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3829-1774*

**Давыдкин Павел Павлович**, студент  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail: davydkin.pp@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9388-9731*

Zvonov Ilya Alexandrovich, Senior Lecturer  
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University))  
Narezhnaya Tamara Karpovna, PhD of Sci. Ec., Associate Professor  
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University))  
Davydkin Pavel Pavlovich, student  
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University))

## **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СФЕРЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ**

### **TOPICAL ISSUES OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE SPHERE OF EDUCATIONAL INSTITUTION BUILDING MAINTENANCE**

Статья посвящена проблеме поэтапного развития в сфере эксплуатации образовательных учреждений единой информационной среды взаимодействия участников на основе информационной модели объекта капитального строительства. В статье описана актуальность применения технологий информационного моделирования в качестве инструмента для создания информационной модели. Дано определение понятия информационной модели, в соответствии с российским законодательством. Также, отмечена высокая актуальность использования информационной модели на разных этапах

жизненного цикла объекта. Приведены последние нормативные документы, регламентирующие состав и формат информационной модели.

*Ключевые слова:* цифровая модель здания, цифровая платформа управления эксплуатацией, информационная модель объекта капитального строительства, модернизация, нормативная документация.

The paper deals with the phased development of the unified information environment for stakeholder interactions, based on the information model of major construction objects in the field of educational institution maintenance. It describes the relevance of using information modeling technologies as a tool for creating information models. The definition of the information model concept is provided in accordance with Russian laws. The authors also highlight the relevance of using information models at different stages of the major construction object's life cycle. Furthermore, the authors cite the latest regulatory documents that govern the composition and format of information models.

*Keywords:* digital building model, digital operation management platform, information model of a major construction object, modernization, regulatory documentation.

В течение последних нескольких лет МГСУ принимал участие в настоящем форуме, который стал для университетов эффективной площадкой обмена мнения и развития важнейшего направления технологического развития строительной отрасли.

Образовательная деятельность всегда находится в центре внимания государства. Она требует организованных усилий по созданию условий комфортности и безопасности учебных процессов на основе эффективного использования бюджетных средств. Большая часть зданий, которые будут использоваться в текущие десятилетия уже построены, отсюда сфера эксплуатации является областью принятия управленческих решений по развитию образовательной инфраструктуры.

Круг специалистов, принимающих решения не ограничивается участниками строительной деятельности, архитекторами, строителями. В этом процессе также участвуют педагоги, менеджеры системы образования, поставщики оборудования для учебных процессов. Налицо крупная межведомственная проблема создания единой информационной среды взаимодействий строительного и образовательного комплекса по совершенствованию материально-технической базы современного образования.

Единым инструментом создания информационной среды взаимодействий становится информационная модель и не случайно с 1 января 2022 года формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства становится обязательным для заказчика, застройщика, технического заказчика, эксплуатирующей организации, если на этот объект выделены средства «бюджетов бюджетной системы Российской Федерации».

Технологии информационного моделирования, включая в себя набор инструментов (специализированное программное обеспечение), с помощью которых создается проектная строительная документация и решаются многочисленные задачи управления строительными проектами и процессами, имеют колоссальную специфику на стадии эксплуатации зданий и сооружений.

При этом особенно важны решения, которые могут использоваться на объектах социальной сферы, например, для зданий образовательных учреждений. Опираясь на типовые проекты, по которым построена большая часть зданий школ в РФ, разрабатываются системы модульного проектирования, которые позволяют комплексно решать задачи модернизации и обновления школьных зданий.

Применение данной технологии положительно сказывается на процессе реализации строительных проектов, а именно, позволяет улучшить качество строительства, снизить риски и потери, минимизировать ошибки в течение жизненного цикла (далее – ЖЦ) объекта капитального строительства (далее – ОКС). К тому же, упрощает процесс взаимодействия участников строительной деятельности, особенно в сфере эксплуатации зданий и сооружений, где количество участников вырастает в разы. При этом рост этот происходит за счет – учителей, врачей, специалистов в сфере культуры и социальной помощи, когда речь идет о бюджетной социальной сфере.

Внедрение цифровых технологий в различные сферы весьма успешно проходит в России. В области строительства продолжается активная разработка нормативно-правовой базы, регламентирующей применение технологий информационного моделирования (далее – ТИМ). Особенно остро поставлен вопрос об использовании информационной модели (далее – ИМ) на разных этапах ЖЦ объектов капитального строительства.

Информационная модель – это модель будущего объекта капитального строительства, представленная в цифровом формате. Модель предусматривает не только визуализацию проекта в 2D, 3D и других форматах, но и хранение в себе технико-экономических показателей, физических характеристик, эксплуатационных свойств, технологических карт на возведение отдельных элементов, всю информацию, которая требуется специалистам в процессе проектирования и оценки энергоэффективности объекта.

Представляя из себя необходимый для детальной проработки и возможной корректировки объем данных в электронном формате, информационная модель может быть загружена в интернет или в облачное хранилище. Таким образом, участники строительной деятельности получают возможность быстрого доступа к необходимой информации и документации ОКС. Что, в свою очередь, значительно сокращает время принятия совместных решений в отношении различных параметров будущего объекта.

Весьма вероятно, что на начальном этапе внедрения информационной модели в строительстве, возникнут некоторые сложности. А именно, затратной частью будет являться интеграция необходимого программного обеспечения в рабочий процесс компаний. Более того, потребуется время на освоение сотрудниками технологий информационного моделирования, что может занять от 6 до 12 месяцев. Также барьером является отсутствие четкого понимания о том, что такое ТИМ в целом [1].

Но в ближайшем будущем, на мой взгляд, использование данных технологий, как одного из инструментов создания ИМ, позволит существенно упростить процесс разработки проектной документации для ОКС. А использование ИМ на последующих стадиях (строительство, эксплуатация, реконструкции и снос) приведет к уменьшению расходов и повышению точности принимаемых решений.

Понятие ИМ с 27 июня 2019 года закреплено в Градостроительном Кодексе Российской Федерации Федеральным законом № 151-ФЗ. Согласно данному Федеральному закону, «информационная модель объекта капитального строительства (далее – информационная модель) – совокупность взаимосвязанных сведений,



документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства» [2].

Информационная модель ОКС – это большой объем информации, содержащейся в электронном виде. Для корректной разработки информационной модели в Постановлении Правительства РФ от 15 сентября 2020 г. №1431 были сформулированы правила формирования, ведения информационной модели, состав сведений, документов и материалов, которые в нее включаются. Так, например, на этапе проектирования это:

- сведения, документы и материалы, входящие в состав разделов проектной документации;
- иные документы, представляемые для проведения государственной экспертизы проектной документации;
- документы, прилагаемые к заявлению о выдаче разрешения на строительство [3].

Что касается способа записи данных в ИМ, то он предполагает использование файлов формата XML. Для цифровых моделей местности и трехмерных моделей предусматривается использование иных форматов данных с открытой спецификацией [4].

Стоит уделить особое внимание разработке ИМ ОКС таким образом, чтобы ее применение не заканчивалось уже на этапе проектирования, что сейчас довольно распространено в России, среди компаний, использующих ТИМ в своих проектах. Наиболее эффективно будет такое применение ИМ, когда на основе утвержденных проектных данных будут осуществляться и отслеживаться последующие этапы ЖЦ объекта. В этом случае, ИМ становится основой информационно-аналитической системы, которую может контролировать, а также оптимизировать государство.

Если говорить об интеграции ИМ для каких-либо типовых решений ОКС (например, школ, поликлиник и административно-деловые комплексов), которые могут быть реализованы в разных городах страны, то после первого успешного запуска объекта

в эксплуатацию, информационное моделирование для таких решений станет распространенным и обыденным способом реализации и управления на этапе эксплуатации. Это позволит органам местного самоуправления и государству в целом предоставлять различные услуги пользователям зданий уже на этапе эксплуатации.

Следует также отметить, что, сейчас, ТИМ в проектах применяют проектные организации, исполняя, в основном, коммерческие заказы, так как имеют внутренние стандарты проектирования с использованием ТИМ. Популярность заказов государственного сектора только начинает свой рост. Значимым событием 2020 года стало прохождение Государственной экспертизы информационной модели проекта дошкольного образовательного учреждения в Санкт-Петербурге. Пилотный проект был успешно доведен до логического завершения с использованием ТИМ [5]. С уверенностью можно сказать, что это большой шаг для дальнейшего применения ИМ не только для отдельных ОКС, но и для планирования градостроительной деятельности целых районов.

Как было отмечено выше, сегодня, в России активно ведется разработка нормативной базы, для работы с информационными моделями ОКС. Вносятся необходимые изменения в строительное законодательство и выпускаются сопутствующие законодательные акты. Одним из последних нормативных документов в области технологий информационного моделирования является Распоряжение Правительства РФ от 19 января 2021 года № 48-р. В нём содержится перечень утвержденных мероприятий по «реализации механизма управления системными изменениями нормативно-правового регулирования предпринимательской деятельности «Трансформация делового климата» «Градостроительная деятельность»» [6]. В данном документе первым пунктом стоит разработка нормативной правовой основы, которая будет обеспечивать формирование и ведение цифровых паспортов ОКС. Каждому объекту будет присваиваться уникальный идентификационный номер. Уместно предположить, что цифровой паспорт будет разрабатываться на основе информационной модели ОКС.

Кроме того, до 2023 года планируется завершение разработки нормативно-правовой и технологической основы для внедрения системы управления ЖЦ ОКС с использованием ТИМ. А до конца 2024 года намечен полный переход к системе управления ЖЦ ОКС по средствам внедрения информационного моделирования.

Для образовательной сферы основой такой системы может стать ряд региональных цифровых платформ, использующих открытые алгоритмы и коды и нацеленных на достижение ключевых показателей эффективности в сфере эксплуатации: рациональных сроков выполнения ремонтно-строительных работ, объективной стоимости и требуемого национальными стандартами качества.

Исходя из этой цели, предполагается разработка и внедрение соответствующих алгоритмов и программного обеспечения:

- определения сметной стоимости работ в сфере эксплуатации на основе интеграции с региональными системами ценообразования в строительстве;
- обеспечение качества выполнения работ на основе создания автоматизированной системы операционного и приемочного контроля;
- обеспечение рациональных сроков выполнения работ в зданиях образовательных учреждений за счет создания автоматизированной системы организационно-технологического моделирования и календарного планирования.

Подводя итоги, скажем, что проблема создания единой эффективной информационной среды сферы эксплуатации образовательных учреждений требует синхронизации с цифровой модернизации строительной отрасли в целом. Внедрение информационных моделей в строительстве и эксплуатации имеет большие перспективы для дальнейшего развития, особенно в свете создания отраслевых цифровых платформ. На данный момент, важно адаптироваться к новому законодательству и отточить применение технологий информационного моделирования на практике. Уже сейчас можно говорить о том, что запись данных об ОКС в формате ИМ позволит повысить качество и безопасность при реализации проектов, улучшить эффективность градостроительного

планирования в целом и стать действенным механизмом повышения эффективности деятельности отрасли.

## **Литература**

1. Обзор практики применения BIM-технологий и инновационных решений в области проектирования. URL: <https://www.pwc.ru/ru/publications/proptech-russia-2020.html> (дата обращения: 25.02.2020).

2. Федеральный закон Российской Федерации от 27.06.2019 г. № 151-ФЗ (ред. от 13.07.2020) «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».

3. Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1431 «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».

4. Правила формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press/utverzhdenny-pravila-formirovaniya-i-vedeniya-informatsionnoy-modeli-obekta-kapitalnogostroitelstva/> (дата обращения: 25.02.2020).

5. Первое в России заключение Госэкспертизы на проект с цифровой информационной моделью выдали в Санкт-Петербурге. URL: <https://www.spbexp.ru/press-tsentr/news/pervoe-v-rossii-zaklyuchenie-gosekspertizy-na-proekts-tsifrovoy-informatsionnoy-modelyu-vydali/> (дата обращения: 26.02.2020).

6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.01.2021 № 48-р «Об утверждении Плана мероприятий («дорожная карта») реализации механизма управления системными изменениями нормативно-правового регулирования предпринимательской деятельности «Трансформация делового климата» «Градостроительная деятельность»».

7. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М.: Стандартинформ, 2018. 40 с.

8. Нарезная Т.К., Звонов И.А., Денисова Д.Л. Перспективы применения информационных технологий в области технической эксплуатации зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 31–35.

9. Звонов И.А., Нарезная Т.К., Корнилова Д.Л. Принципы применения адаптируемых модульных проектов на базе информационного моделирования в рамках модернизации зданий образовательных учреждений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 75–80. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.013.

10. Нарезная Т.К., Звонов И.А. Корнилова Д.Л. Перспективы перехода системы эксплуатации зданий бюджетных образовательных учреждений к цифровой эксплуатации // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 133–140. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.015.

**УДК 624.21/8**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.019**

**Козак Николай Викторович**, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: kozak.spbgasu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7707-4388*

Kozak Nikolai Viktorovich, postgraduate student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КЭ МОДЕЛЕЙ  
И ОПТИМИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ВЛИЯНИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЕДИНЕНИЯ  
СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОЛЕТНЫХ  
СТРОЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SOFISTIK  
И PYTHON**

**USING SOFISTIK AND PYTHON TO CARRY OUT  
COMPARATIVE ANALYSIS OF FE MODELS AND OPTIMIZE  
THE CREATION OF INFLUENCE SURFACES FOR SHEAR  
CONNECTORS IN COMPOSITE STEEL-CONCRETE  
SUPERSTRUCTURES**

В данной статье автором рассматриваются вопросы, связанные с построением и анализом поверхностей влияния для элементов объединения сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов. В работе предложен алгоритм оптимизации процесса построения поверхностей влияния для конечно-элементных моделей путем использование нерегулярных сеток нагружений и последующей обработкой скриптами, реализованными на языке Python. Приводится сравнительный анализ диаграмм по результатам нагружений поверхностей влияния, полученных для трех различных типов конечно-элементных моделей пролетного строения, при этом для сопоставления данных используется диаграммы усилий, полученных в ходе натурального эксперимента.

*Ключевые слова:* мост, СТЖБ, элемент объединения, динамическая нагрузка, расчет, линия влияния, поверхность влияния, МКЭ, SOFISTiK, Python.

This article discusses issues related to the creation and analysis of influence surfaces for shear connectors in composite steel-concrete superstructures of road

bridges. The author describes the algorithm for optimizing the influence surface creation for FE models by using non-regular load-case grids with their subsequent processing with Python scripts. Influence surface diagrams were created for three different superstructure FEM types and then analyzed for moving loads. After that, these results were compared with force diagrams obtained during a field experiment.

*Keywords:* bridge, composite steel concrete, shear connector, dynamic load, analysis, influence line, influence surface, FEA, SOFiSTiK, Python.

Анализ работы конструкций пролетных строений автодорожных мостов неразрывно связан с использованием линий или поверхностей влияния, т.е. функциональных зависимостей контролируемой величины (перемещения, усилия, деформации) для изучаемого элемента или узла от расположения единичной нагрузки (в дальнейшем в статье линия влияния будет рассматриваться как частный случай поверхности влияния). Помимо решения статических задач поверхности влияния удобно использовать и при решении задач в динамической постановке для построения диаграмм изменения во времени значений величин при перемещении нагрузки с заданной скоростью [1]. Решение подобных задач требует значительных вычислительных ресурсов [2], поэтому важная роль отводится оптимизации расчётной модели, причем следует рассматривать как оптимизацию непосредственно конечно-элементной (далее – КЭ) модели, так и оптимизацию схемы загрузений [3].

Цель данного исследования заключалась в разработке оптимального алгоритма построения КЭ модели и поверхностей влияния для элементов объединения сталежелезобетонного пролетного строения (далее – ЭО СТЖБ ПС); для достижения цели были выделены следующие задачи:

1. Оптимизация схемы загрузений КЭ моделей путем использования неравномерных сеток единичных загрузений и последующая обработка данных с использованием скриптов на языке Python.

2. Построение поверхностей влияния для усилий в ЭО для трех различных КЭ моделей.

3. Сравнительный анализ результатов загрузений поверхностей влияния динамической нагрузкой.

Решение вышеуказанных задач рассматривалось применительно к объекту эксперимента, проводимого автором в рамках текущего аспирантского исследования. Объектом выступает СТЖБ автодорожный мост через реку Вуокса. Принципиальная схема моста приведена на рис. 1. Объединение стальной и железобетонной частей пролетного строения моста выполнено с использованием гибких штыревых упоров (рис. 1, В). На упоры, расположенные над крайней опорой были установлены тензорезисторы для получения экспериментальных данных о работе элементов объединения.

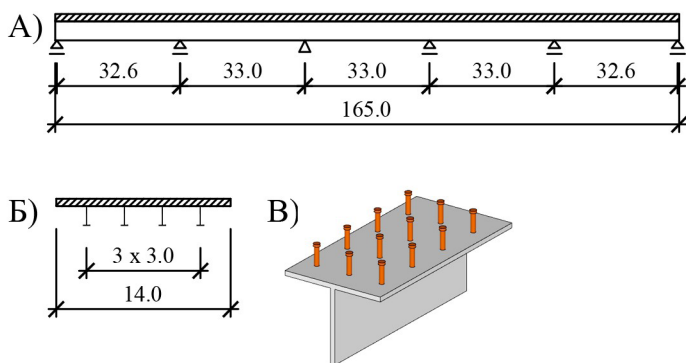


Рис. 1. Схема моста и общий вид упоров

В общем случае задача построения поверхности влияния тривальна и реализуется стандартными инструментами расчетных программ – отдельные загрузки из единичных сил с определенной дискретизацией распределяются по поверхности, затем производится линейный расчет конструкции для данных загрузок, после чего производится табличная выгрузка исследуемых величин для рассматриваемого узла или элемента модели с сохранением порядка номеров загрузок. В частных случаях недостатком данного метода выступает его ресурсозатратность - например, для определения усилий в надпорных участках, где наблюдаются



резкие скачки и смены знаков, требуется малая дискретизация сетки единичных загрузок. При использовании регулярной сетки для поверхности  $165 \times 12$  с дискретизацией  $0,2 \times 0,375$  задача сводится к заданию 24903 загрузок, что требует значительных вычислительных ресурсов, особенно при сложных расчетных моделях. С другой стороны, малая дискретизация обычно необходима лишь на определенных участках модели, при этом для оставшейся части модели сетка загрузок может быть значительно разуплотнена. Таким образом, для обозначенной выше поверхности при схеме, данной в таблице 1, для построения необходимо будет всего лишь 2835 единичных загрузок, что значительно снижает время, необходимое на анализ. Таким образом, для решения подобных задач рациональным выглядит использование нерегулярных сеток.

Таблица 1

**Используемая схема плотностей загрузок при нерегулярной сетке**

Зона сетки (вдоль моста)	1 (0–3 м)	2 (3–33 м)	3 (33–66 м)	4 (66–99 м)	5 (99–165 м)
Шаг по X (вдоль)	0,200	0,400	1,000	1,000	3,000
Шаг по Y (поперек)	0,375	0,750	0,750	1,500	1,500

Процесс загрузки поверхностей влияния динамическими нагрузками в общем виде можно представить, как последовательное получение величин  $a_i$

$$a_i = \sum_{j=1}^k [P_j^{x,y(loc)} \cdot N[x(i), y(i)]],$$

где  $P_j^{x,y(loc)}$  – отдельная сосредоточенная нагрузка из модели динамического нагружения из  $k$  нагрузок;  $N[x(t), y(t)]$  – ординаты поверхности влияния для точки с координатами, изменяющимися

по установленному закону от времени  $t$  с дискретизацией в  $dt$  секунд. Результат загрузки динамической нагрузкой можно выразить как вектор  $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ , содержащие значения величин  $a_i$  через каждые  $dt$  секунд.

Для выполнения данного алгоритма матрица  $N$  должна быть регулярной с известным шагом. В случае с регулярными сетками загружений матрица поверхности влияния  $N$  получается разбиением исходного вектора  $n$  на  $N_x$  субвекторов, где  $N_x = L / dx + 1$  ( $L$  – длина поверхности,  $dx$  – дискретизация по оси  $x$ ). В случае нерегулярной сетки загрузки необходимо полученный вектор  $n$  преобразовать в регулярную матрицу  $N$  с учетом различной плотностей данных в  $n$ . Для этого на языке Python был реализован скрипт, применяющий трехступенчатую обработку:

1. На первом этапе по данным о плотности выстраивается бинарная маска будущей матрицы  $N_{mask}$ , включающая «1» где данные можно получать напрямую из вектора  $n$ , «0» – где данные в прямом виде из вектора отсутствуют. Размер матрицы  $N$  и  $N_{mask}$  определяется по данным о плотностях с выравниванием по зоне с наименьшей дискретизации (по зоне 1).

2. На втором этапе производится последовательное заполнение матрицы  $N$  по данным вектора  $n$  для элементов с единичными значениями маски.

3. На третьем этапе производится двумерная интерполяция значений для элементов с нулевыми масками на основании уже заполненных на этапе № 2.

Примеры графической интерпретации поверхностей влияния, полученных вышеописанным способом, для пространственных КЭ моделей пролетного строения, приведены на рис. 2.

Для получения диаграмм сдвиговых усилий в расчетной программе SOFiSTiK 2020 были разработаны 3 КЭ модели:

1. Плоская модель: неразрезная балка с составным сечением; использованы только срежневые элементы (рис. 3, А); учет поперечного распределения нагрузки производился за счет коэффициента поперечной установки, определяемого по методу рычага. Производилась выгрузка данных по поперечным силам в балке с последующим пересчетом на сдвигающие усилия по уровню контакта.

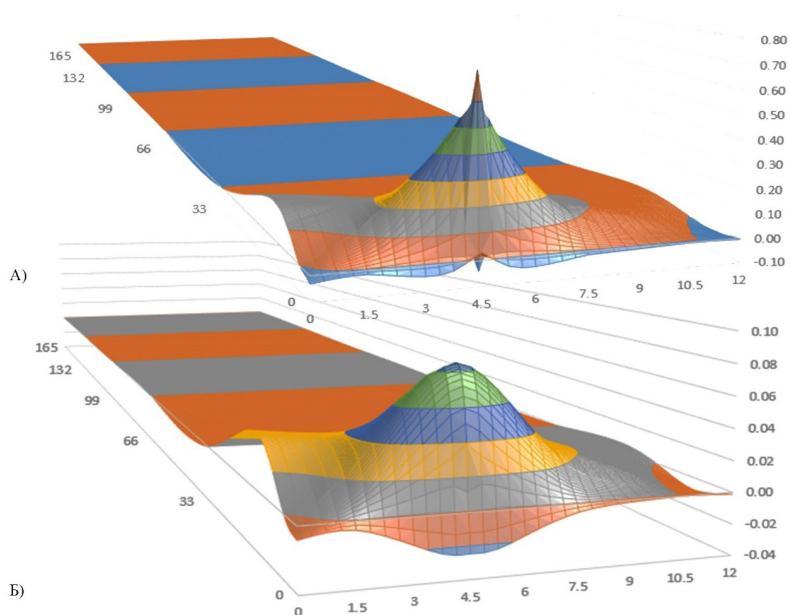


Рис. 2. Примеры графической интерпретации поверхностей влияния:

- А) для поперечной силы  $Q$  в составном сечении (КЭ модель 2)
- Б) для сдвигающего усилия  $T$  в связи «балка-плита» (КЭ модель 3)

2. Пространственная модель с балками с составным сечением; для конструкции использованы строжневые элементы («балочный ростверк»), для повышения качества поперечного распределения нагрузок добавлена распределительная плита (рис 3, Б). Производилась выгрузка данных по поперечным силам в балке с последующим пересчетом надвигающие усилия по уровню контакта (наиболее распространённая модель и методика, рекомендованная в пособиях к EN и AASHTO [4, 5]).

3. Пространственная модель с разделением балки и плиты; стальная часть выполнена стержневыми элементами, плита – плитными, связи заданы как упругие (рис 3, В) с соответствующими ЭО жесткостями. Производилась выгрузка данных непосредственно для сдвигающих усилий в связях.

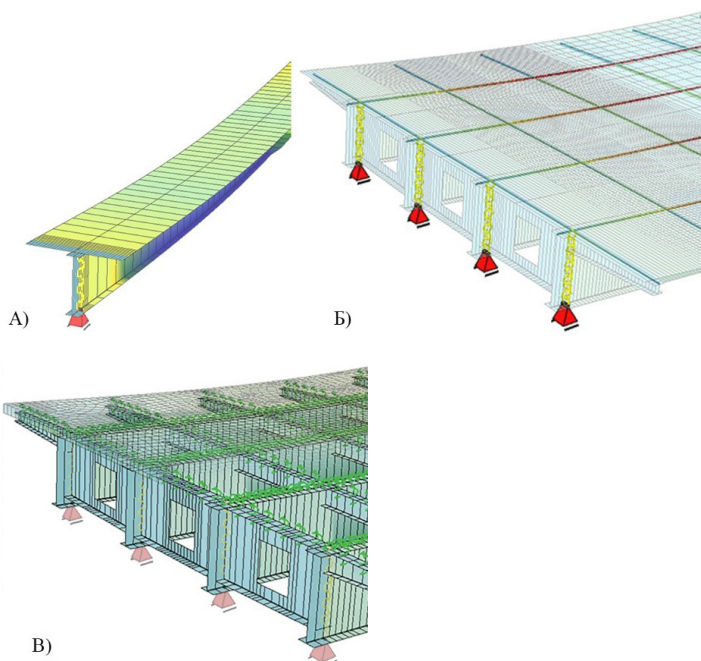


Рис. 3. КЭ модели пролетного строения, фрагмент над крайней опорой

На рис. 4 приведены диаграммы, полученные по результатам загрузки поверхностей моделью нагрузки (трехосный автокран массой 20,5 тонн) и диаграмма данных по результатам натурного эксперимента. В табл. 2 приведены численные данные по характеристикам построения КЭ моделей и результатам их анализа.



Рис. 4. Диаграмма  $T(t)$  сдвиговых усилий на 1 группу элементов (кН)

Таблица 2

**Численные данные по характеристикам КЭ моделей  
и результатам их анализа**

Модель	1	2	3
Число неизвестных в системе уравнений	1451	122690	404654
Время расчета, сек.	10	2689	6358
Отклонение от стат. экс. данных ( $t = 1,7$ с)	+70 %	-7 %	+5 %

По результатам сравнения результатов были сделаны следующие заключения:

1. По характеру получаемой диаграммы наиболее близкой к экспериментальным данным является наиболее сложная и ресурсозатратная модель № 3 с упругими связями.

2. В области максимальных значений (окрестности  $t = 1,7$  с) модели 2 и 3 дают в целом схожий результат.

3. Расчет по упрощенной плоской модели № 1 дает сильно завышенные значения величин.

Исходя из вышеозначенного, для решения задач в статической постановке можно рекомендовать к использованию «классическую» модель балочного ростверка, без разделения сталежелезобетонной конструкции на отдельные элементы (модель № 2). Для решения динамических задач (при значимости характера изменения величин при движении нагрузок) более сложная модель № 3 дает более точные результаты, и таким образом, в сочетании с предложенным алгоритмом оптимизации построения поверхности влияния, может быть рекомендована к использованию. Модель № 1 для анализа воздействия подвижных нагрузок может использоваться только для эскизных расчетов.

### Литература

1. Быстров В.А., Козак Н.В., Ярошутин Д.А. Проблемы обоснования режимов фактической динамической нагруженности и ресурса долговечности конструкций сталежелезобетонных автодорожных и городских

мостов // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2019. № 4(6). DOI: 10.15862/06SATS419.

2. Leitão F.N., da Silva J.G.S., de Andrade S.A.L. Fatigue analysis and life prediction of composite highway bridge decks under traffic loading // Latin American Journal of Solids and Structures. 2013. Vol. 10, No. 3. P. 505–522. DOI: 10.1590/S1679-78252013000300004.

3. Kozak N.V. Modeling of live load influence in analysis of bridge structures endurance // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. No 832. P. 012025. DOI: 10.1088/1757-899X/832/1/012025.

4. Ples D.C. Design Guide for Composite Highway Bridges. CRC Press, 2001. 314 p.

5. Load and Resistance Factor Design (LRFD) For Highway Bridge Superstructures – Reference Manual. 2015. 1698 p.

**УДК 004.942**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.020

**Колосова Наталья Борисовна**, старший преподаватель  
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E-mail:* nb.kolosova@yandex.ru

**Сергеев Владислав Викторович**, магистрант  
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E-mail:* wlad\_sergeew2@mail.ru

Kolosova Natalya Borisovna, Senior Lecturer  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)  
Sergeev Vladislav Victorovich, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВІМ-ТЕХНОЛОГИЙ**

### **ON THE POSSIBILITY OF OPTIMIZING THE CALCULATION OF EARTHWORKS SCOPE WITH BIM TECHNOLOGIES**

Технология ВІМ применяется как современная база данных для гражданского строительства. Её возможности позволяют сохранять как геометрическую

структуру, так и аналитическую информацию для её использования в различных программных комплексах.

В статье исследуется возможность представления аналитических данных, полученных из BIM-модели (с применением среды визуального программирования Dynamo) в виде электронных таблиц Microsoft Excel для использования последних как база данных для экспорта в интегрированную среду разработки IntelliJ IDEA. В данной среде была разработана программа по оптимизации подсчета объема земляных работ на примере произвольной топографической поверхности.

*Ключевые слова:* BIM, Dynamo, Autodesk Revit, Microsoft Excel, земляные работы, IntelliJ IDEA.

The BIM technology is used as a modern database for civil engineering. Its capabilities allow for preserving both the geometric structure and analytical information, which can then be used in different software complexes.

This article explores the possibility of representing analytical data obtained from a BIM model (using the Dynamo visual programming environment) in the form of Microsoft Excel spreadsheets, which can be used as a database and exported to the IntelliJ IDEA integrated development environment. In this environment, we developed a program for optimizing the calculation of earthworks scope, using a random topographic surface as an example.

*Keywords:* BIM, Dynamo, Autodesk Revit, Microsoft Excel, earthworks, IntelliJ IDEA.

## **Введение**

Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM) включает в себя процесс создания и использование информации не только по строящимся зданиям, а также по завершенным объектам капитального строительства в целях координации входных данных, а также их использования для различных целей на всех этапах жизненного цикла [1].

Подсчет объемов земляных работ является одной из самых тяжелых и трудоемких задач проектирования [2–5]. В связи с этим, исследование использования BIM технологии и разработка программного кода определяются необходимостью упрощения данного трудоёмкого процесса проектирования без потери его качества и являются актуальными действиями.

Целью данного исследования является разработка программного кода в интегрированной среде разработки IntelliJ IDEA

по оптимизации работ нулевого цикла с целью минимизации объемов земляных работ.

### **Исходные данные**

В нашем исследовании в качестве примера была принята случайная топографическая информация в программном комплексе Revit, которая приведена на рис. 1.

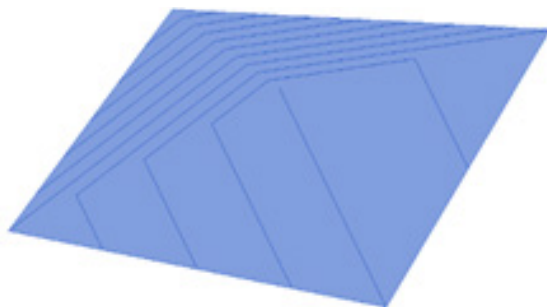


Рис. 1. Исходные топографические данные

С помощью ранее разработанного авторами скрипта Дупамо, данную топографию стало возможно представить в виде электронных таблиц Microsoft Excel.

Для реализации задачи, поставленной авторами, исходную топографию необходимо представить в виде набора точек, разбитых по квадратам. Для удобства шаг сетки назначен размером в 1 м.

Пример разбивки поверхности представлен на рис. 2. Здесь представлена топография, разбитая на 3 равные части, у каждой части 4 вершины с соответствующими координатами осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Список точек вершин ведется по часовой стрелке у каждой части. В том случае, если части имеют смежную сторону, точки, принадлежащие этой стороне, будут учитываться в обеих частях в соответствующей нумерации и порядке.

На рис. 3 представлен результат экспорта данных в Microsoft Excel. Данные экспортировались в колонки А, В, С как координаты точек  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно.



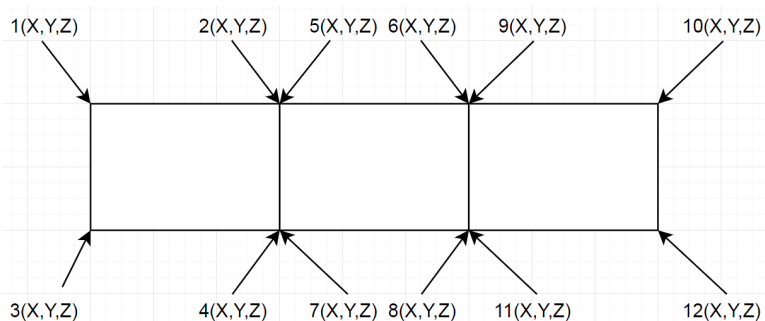


Рис. 2. Пример разбивки поверхности на сетку точек

	B	C	D	E	F
1	Y	Z	X округ	Y округ	Z округ
2	-5000	3000	-5000	-5000	3000
3	-4000	2700	-5000	-4000	2700
4	-4000	3600	-3000	-4000	3600
5	-5000	3400	-3000	-5000	3400
6	-4000	2700	-5000	-4000	2700
7	-3000	2400	-5000	-3000	2400
8	-3000	3800	-3000	-3000	3800
9	-4000	3600	-3000	-4000	3600
10	-3000	2400	-5000	-3000	2400

Рис. 3. Результаты экспорта данных

### Экспорт данных в IntelliJ IDEA

Представив исходную топографию в виде таблицы, авторы предлагают дальнейшее ее использование как базу данных

для интегрированной среды разработки, в которой имеются библиотеки, позволяющие работать с файлами Microsoft Excel.

В качестве примера использовалась среда IntelliJ IDEA. Для получения набора точек авторы воспользовались библиотекой «org.apache.poi.xssf.usermodel.XSSFWorkbook», которая позволяет считывать файлы формата «xlsx».

Считывание данных с ячейки происходит с помощью методов и интерфейсов, представленных в табл. 1.

Таблица 1

**Методы и описание библиотеки xssf для работы с Microsoft Excel**

Методы и интерфейсы	Назначение
XSSFWorkbook()	Создает новую книгу SpreadsheetML
Workbook	Интерфейс IntelliJ IDEA, хранящий вся информацию файла формата .xlsx
Sheet	Интерфейс IntelliJ IDEA, являющийся представлением листа Microsoft Excel
Row	Интерфейс IntelliJ IDEA, являющийся представлением строки листа Microsoft Excel
Cell	Интерфейс IntelliJ IDEA, являющийся представлением ячейки листа Microsoft Excel
getSheetAt(1)	Считывает информацию, расположенную на листе 1 Microsoft Excel
getRow(1)	Считывает первую строку
getCell(1)	Считывает первую ячейку

Ячейка может содержать как численное значение, так и текстовое. Для того, чтобы получить целочисленное значение необходимо воспользоваться методом «getNumericCellValue».

Подобным образом можно считать все ячейки листа в массив данных, воспользовавшись циклом «for». Полученный массив

можно будет использовать для различных задач, решенных с помощью программирования.

### Подсчет объемов земляных работ

Представив исходную топографию в виде таблицы, авторы предлагают дальнейшее ее использование как базу данных для интегрированной среды разработки IntelliJ IDEA.

На рис. 4 представлена расчетная модель для определения объемов земляных работ.

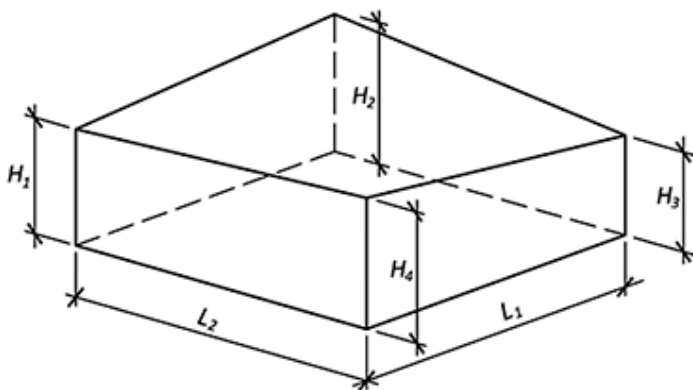


Рис. 4. Расчетная модель подсчета объема земляных работ для одного участка

Разница координат по оси  $Z$  исходной и новой топографии составляет величину  $H_i$ .

Для модели котлована с вертикальными стенками и разными отметками вершин, объем земляных работ будет определяться формулой:

$$V = L_1 \cdot L_2 \cdot \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4)}{4}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем котлована;  $L_1, L_2$  – линейные размеры котлована;  $H_1, H_2, H_3, H_4$  – высотные отметки вершин.

Авторы предлагают определять объем земляных работ с помощью двумерных массивов, содержащие исходную топографию и новую. Размерности массивов совпадают с количеством точек по осям координат  $X$  и  $Y$ .

Заполнив массивы данными с помощью цикла «`for`», необходимо просуммировать для каждого элемента массива объем земляных работ в новую переменную типа «`double`».

Разница координат по оси  $Z$  возможна как положительная, так и отрицательная, поэтому при подсчете суммарного объема работ важно воспользоваться методом «`abs`», возвращающим модуль подставляемого выражения.

Для вывода результата в консоль программы необходимо воспользоваться методом «`println`».

## **Выводы**

1. Разработанный метод позволяет оптимизировать расчеты объема земляных работ в среде программирования, имея исходную и конечную топографию.

2. Работая в среде программирования, появляется возможность написания программного кода для исследования картограммы земляных работ с целью минимизирования затрат на производства работ нулевого цикла путем перебора отметок поверхности земли. Это может быть использовано в строительстве при решении задачи выбора площадки под строительство объекта, при этом решение будет оптимальным также и с экономической точки зрения.

## **Литература**

1. ГОСТ Р 57563-2017/ISO/TS 12911:2012. Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений (с Поправкой). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200146763> (дата обращения: 08.03.2021).

2. Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства: Проектирование, строительство, эксплуатация. Autodesk, Inc. 2014. 58 с. URL: [https://www.pss.spb.ru/files/lists/NavBlocks/30\\_Files\\_1455798513\\_BIM\\_Autodesk.pdf](https://www.pss.spb.ru/files/lists/NavBlocks/30_Files_1455798513_BIM_Autodesk.pdf).

3. Ланцов А.Л. Компьютерное проектирование зданий: REVIT 2015. М.: Consistent Software Distribution, РИОР. 2014. 664 с.

4. Бугров А.К., Козинец Г.Л., Колосов Е.С. Технология строительных процессов возведения фундаментов. Учебное пособие. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. 133 с.

5. Бойко О.Р., Птухина И.С. Оценка экономической эффективности внедрения BIM-технологий на примере модели проектной организации // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Инженерно-строительный институт. В 3 ч. 2019. С. 5–8.

**УДК 004.925+514.182**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.021**

**Кузнецова Ольга Геннадьевна**, старший преподаватель  
(Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А.)

*E-mail: o.g.sar@mail.ru, ORCID: 0000-0001-6665-0899*

Kuznetsova Olga Gennadievna, Senior Lecturer  
(Yuri Gagarin State Technical University of Saratov)

## **ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИЙ И НАГЛЯДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В BIM-ПРОГРАММАХ**

### **ON MAKING ORTHOGONAL PROJECTIONS AND VISUAL IMAGES IN BIM PROGRAMS**

В статье рассмотрены вопросы формирования ортогональных проекций и наглядных изображений, соответствующих проектному замыслу и условиям константности восприятия объекта. Обобщенно описаны основные особенности зрительного восприятия, которые необходимо учитывать при создании информационной модели здания. Определено основополагающее значение светотеневого моделирования для создания представления архитектурного объекта. Установлены закономерные связи между теоритическими аспектами в начертательной геометрии и определением положение солнца в программе Revit Architecture. Даны рекомендации по формированию ортогональных видов и наглядных изображений.

*Ключевые слова:* чертеж, ортогональная проекция, перспектива, аксонометрия, наглядное изображение, визуализация.

This article deals with the formation of orthogonal projections and visual images that correspond to the design concept and the conditions of constant object perception. It summarizes the main features of visual perception that must be taken into account when creating an information model of a building. The study determines the fundamental importance of black-and-white modeling for creating a representation of an architectural object. We establish patterns connecting the theoretical aspects of descriptive geometry and the process of determining the position of the sun in Revit Architecture. We also provide recommendations for the formation of orthogonal views and visual images.

*Keywords:* drawing, orthogonal projection, perspective, axonometry, visual image, visualization.

Процесс формирования, редактирования и настройки отображения видов в ВМ программах для представления в проектной документации является важнейшей частью информационной модели. Соответственно, для представления ортогональных проекций здания или сооружения, таких как планы, разрезы, фасады и их укрупненные элементы – узлы и фрагменты, а также наглядных изображений: аксонометрических проекций и перспективных видов, необходимо грамотное формирование графического пространственного представления. Следовательно, создание таких графических представлений ставит перед проектировщиком – пользователем ВМ-технологией немало вопросов, которые в свою очередь связаны не только с программными средствами, но и с психофизиологией восприятия.

Охарактеризуем основные особенности зрительного восприятия, которые необходимо учитывать при создании наглядных изображений и ортогональных проекций. Созданный в восприятии образ объекта не всегда соответствует этому же объекту в линейно-перспективном изображении. Воспринимаемые в натуре объекты массивнее и больше, чем в изображении на плоскости методами линейной перспективы. А именно эти методы используются при генерации изображения в графических редакторах и ВМ-программах. Для правильного, соответствующего реальности, восприятия масштаба объекта в контекстной среде, необходимо включать в неё штаффаж. Данное положение уместно и для представления фасадов. Также психофизиология восприятия

окружающей действительности связана с огромным количеством зрительных иллюзий, которые вводят в заблуждение зрителя. Например, в объектах, где присутствует большое количество параллельных вертикальных или горизонтальных линий в структуре, или членений диагональными направлениями, линии не воспринимаются параллельными. Даже если изменять пространственное ориентирование вертикальных или горизонтальных линий на диагональное направление, а их членение с диагонального соответственно на вертикальное или горизонтальное, это положение по восприятию будет сохраняться. Знаковым примером работы этой иллюзии можно назвать здание таможенной службы в Мельбурне [1]. Также для восприятия без искажений протяжённых прямых большое значение имеет однородность фона. Наблюдатель переоценивает длину вертикальной линии относительно горизонтальной линии такой же длины. Существует еще большое количество других иллюзий нашего зрения, связанных с трактовкой формы относительно ее массы – явление иррадиации, проблемы цветовой комбинаторики – симультанный или одновременный контрасты и др. [2], которые приводят в заблуждение при восприятии формы архитектурного объекта в целом и его пропорциональности в частности.

Соответственно, особенности зрительного восприятия прежде всего нужно связывать с организацией самой формы и необходимо учитывать данные особенности при её создании. А также при её графическом представлении. Рассмотрим основополагающий вопрос формирования однозначной трактовки представления здания в ортогональных проекциях информационной модели. Прежде всего, это связано с правильным восприятием плановости форм объекта. А также необходимо помнить, что чертеж должен отвечать таким требованиям, как удобоизмеримость, метрическая определенность и наглядность. Таким образом, архитектурные представления на чертежах, дополненные светотеневой моделировкой, нагляднее представляют и раскрывают объемно пространственную структуру объекта. Понимая масштаб изображаемого фасада, можно определить размеры любых выступающих частей

относительно фронтальной плоскости проекции здания без соотнесения их с планом. Аналогично и значение подающих теней на горизонтальную плоскость – «землю» на чертежах генеральный планов. Следовательно, для генерации подобных ортогональных проекций необходимо соответствие точным приемам геометрических построений, которые должны быть сопоставлены с формой и размерами элементов проектируемого объекта. Изображение светотени определено двумя этапами, такими как: построение границ собственной и падающей тени и передача градаций освещённости с учетом физических закономерностей и «воздушной» перспективы.

В соответствии с методами начертательной геометрии все операции по построению теней сводятся к определению линии касания обертывающей лучевой поверхности к объекту и к построению линии пересечения её с поверхностью, на которой строится падающая тень [4]. При построении теней в ортогональных проекциях направления света принимают параллельным диагонали куба, грани которого совмещены с плоскостями проекций – горизонтальной и фронтальной, что составляет угол наклона к плоскости проекций около  $35^\circ$  и условно принимается равным  $45^\circ$  к оси проекции «x» [4].

Исходя из сказанного, рассмотрим процесс создания ортогональных видов в ВМ-программах на примере использования Revit Architecture, отвечавших главному принципу однозначности трактовки проектного замысла. Для визуального представления программа предлагает несколько стилей, таких как: «Каркас», «Скрытая линия», «Тонированный», «Заливка», «Реалистичный». Также предлагается для настройки «Параметров отображения» включение: «Отбрасываемых теней» – падающих и собственных; «Показ естественной тени» – полутонов, без учета отраженного света; установление «Настройки солнца», которые исходят из комплексов: «Расчёта инсоляции» и задаются в соответствии с географической координатой – местоположением предполагаемого объекта проектирования, датой и временем; или «Освещением» – которое не связано с конкретной привязкой к месту, но также определимо параметрами азимута и высоты солнца. Для показа генеральных



планов, фасадов или укрупнённых их фрагментов в эскизном проектировании, прежде всего, применимы именно настройки, не связанные с местоположением. Но такая настройка прежде всего должна определять положение теней в соответствии с методами начертательной геометрии, потому что правильно созданная светотеневая моделировка дает правильную трактовку метрической определенности в соотношениях всех элементов объекта.

Дадим некоторые рекомендации по формированию такого рода изображений. Для установления соответствия направлению светового луча, равного  $45^\circ$ , необходимо настроить следующие значения: по азимуту –  $225,00^\circ$ , а по высоте солнца –  $35,25^\circ$ ; для фасадов поставить «галочку» – «Относительно вида» (рис. 1), а для плана эту галочку необходимо убрать. Но необходимо отметить, что во всех визуальных стилях (кроме «Каркаса», данный визуальный стиль не поддерживает настройки параметров «Тени», так же, как и установленные значения «Переопределения графики для элемента, категории или вида» с измененным параметром прозрачности поверхности) тональная разница в определении собственной и падающей тени не соответствует действительным условиям, в соответствии с которыми собственные тени светлее теней падающих. Это связано с отраженным светом, который вызывает появление рефлексов в собственных тенях. Визуальный стиль «Скрытая линия» определяет падающие и собственные тени в единой тональности (рис. 2). При использовании «Реалистичного» стиля собственные тени представляются более темными (рис. 1, 2) или в единой тональности при установке таких значений по «Освещению», как: «Солнце» – 50 и более, «Рассеянный свет» – 60 и более, «Тени» – 40 и более. Также следует отметить, что линии границ собственных теней на поверхностях, особенно сферических, ложатся с неким «дрожанием» (рис. 1, слева; рис. 2., посередине). Для более реалистичной трактовки, учитывающей действие среды при использовании той же схемы освещения, можно использовать «Визуализацию» (рис. 1, 2). Тени на поверхностях также трактуются с некими артефактами, но в меньшей степени, чем в визуальных стилях. Поэтому следует заключить, что для светлых окрашенных объектов и сложных криволинейных поверхностей лучше

прибегать к использованию визуализации. Лучших результатов можно добиться, используя V-Ray для Autodesk Revit [5, 6].

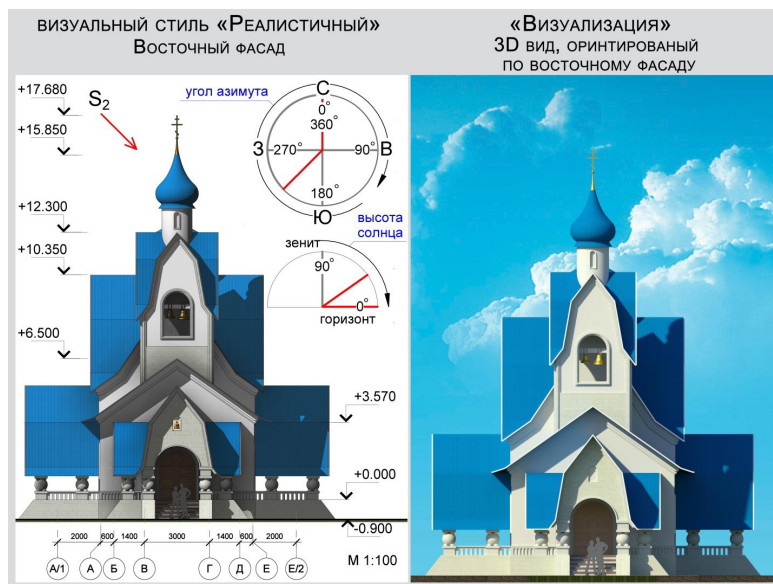


Рис. 1. Ортогональные проекции – цветографический эскиз объекта культового назначения

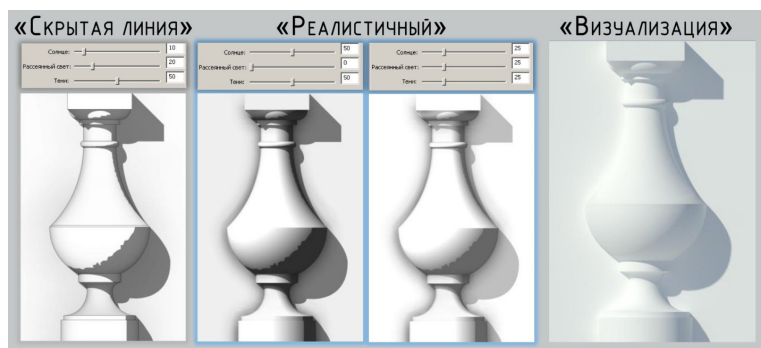


Рис. 2. Балясина, различные визуальные представления

Если определять основополагающий вопрос формирования однозначной трактовки представления здания в наглядных изображениях, таких как перспектива и аксонометрия, то его решение, прежде всего, связано с выбранным углом, точкой зрения и ракурсом. Некоторые рекомендации по формированию данных изображений даны в статье [4]. Здесь хотелось бы отметить, что программа Revit предлагает интересную возможность для проектной подачи – имитацию ручной графики, посредством использования визуального стиля «Скрытая линия» с изменённым параметром прозрачности, а также с применением параметра «Эскизные линии» и «Отображение в модели» параметра «Силуэты».

### **Литература**

1. Воронцова Ю.С. Принципы использования оптических иллюзий в коммуникационных пространствах крупных торговых центров: дис. ... канд. архитектуры: 05.23.20. Самара, 2018. С. 15–21.
2. Рабичев И.Э., Котов А.В. Зрительные иллюзии и виртуальные зрительные образы: сравнительные аспекты // Теоретическая и экспериментальная психология. 2013. Т. 6, № 2. С. 94–98.
3. Кузнецова О.Г. Формирование наглядных изображений в BIM-программах // Геометрическое и компьютерное моделирование в подготовке специалистов для цифровой экономики: материалы междунар. науч.-практич. конф., посвященной 90-летию СГТУ им. Гагарина Ю.А. Саратов: СГТУ им. Гагарина Ю.А., 2020. С. 88–97.
4. Короев Ю.И. Начертательная геометрия. Москва: КноРус, 2014. С. 151–153.
5. Красковский Д. Лучшая в отрасли визуализация с использованием V-Ray для Autodesk Revit // САПР и Графика. 2017. № 11. С. 18–20.
6. Абрамов М. V-Ray для Autodesk Revit: лучше один раз увидеть // САПР и Графика. 2017. № 8. С. 17–19.

**УДК 626-1/-2**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.022

**Курило Евгений Юрьевич**, инженер-гидротехник

(ООО «Морстройтехнология»)

*E-mail:* [evgeniyk23k@gmail.com](mailto:evgeniyk23k@gmail.com), *ORCID:* 0000-0003-0822-3009

**Нижегородцев Денис Валерьевич**, директор лаборатории цифровых информационных моделей в строительстве

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [mdvd0d@yandex.ru](mailto:mdvd0d@yandex.ru), *ORCID:* 0000-0002-9550-9947

**Берхман Евгений Юрьевич**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [ya-berkhman@yandex.ru](mailto:ya-berkhman@yandex.ru), *ORCID:* 0000-0003-0924-8718

Kurilo Evgeniy, marine construction engineer

(LLC “Morstroytechnology”)

Nizhegorodtsev Denis, director of BIM-laboratory

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Berkhman Evgeniy, student

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **SPECIFICS OF DEVELOPING BUILDING INFORMATION MODELING TOOLS FOR HYDRAULIC ENGINEERING OBJECTS**

В данной работе рассмотрены различные аспекты цифровизации строительной отрасли в целом и гидротехнического строительства в частности. Представлены основные задачи, необходимые для комплексного внедрения технологий информационного моделирования (ТИМ) в сферу ГТС, в том числе приспособление существующего программного обеспечения. Произведена работа по созданию базы элементов цифровых моделей объектов гидротехнического строительства на примере программного комплекса Autodesk Revit. В качестве результатов разработан алгоритм создания таких

элементов, выявлены наиболее важные проблемы, препятствующие работе специалистов, ответственных за внедрение ТИМ. Поставлены задачи по дальнейшему развитию ТИМ в гидротехнике.

*Ключевые слова:* информационное моделирование, гидротехническое строительство, проектирование, BIM, визуальное программирование.

In this article, we consider the various aspects of digital transformation in the construction industry in general and hydraulic engineering in particular. We review the main tasks necessary for the comprehensive adoption of building information modeling (BIM) technologies in hydraulic engineering, including the adaptation of existing software. We have created a database representing elements of hydraulic engineering models, as exemplified by Autodesk Revit. The study results in an algorithm for creating such elements. The most important problems that hinder the work of professionals responsible for implementing BIM are identified as well. Finally, we set the goals for the further development of BIM in hydraulic engineering.

*Keywords:* information modeling, hydraulic engineering, design, BIM, visual programming.

В настоящее время процесс интеграции инструментов информационного моделирования в строительной отрасли – актуальная задача. Это обусловлено тем, что на государственном уровне, в Российской Федерации, происходит цифровизация экономических процессов, охватывающая также и строительную индустрию [1, 2]. В рамках такого тренда развития в РФ выпущено постановление о применении BIM-технологий в строительстве, оно затрагивает весь цикл строительных процессов: от концептуальной фазы до ликвидации объекта. Использование ТИМ всеми участниками жизненного цикла объекта капитального строительства становится обязательным требованием на государственном уровне [3].

Гидротехническая сфера строительных процессов не является исключением из развития цифровизации в РФ [4]. Использование ТИМ в этой области также приобретает обязательный характер. Внедрение технологий информационного моделирования в гидротехническое строительство (ГТС) находится на начальном этапе формирования директивных требований к процессу создания моделей, норм их регулирования и контроля, создания классификаторов и BIM-стандартов. С учетом вышеупомянутых факторов обуславливается необходимость исследования, анализа и разработки мероприятий для упрощения и систематизации создания информационных моделей [5].

Одной из главных проблем при интеграции BIM-технологий в работу с объектами гидротехнического строительства является нетипичность используемых в этой сфере элементов для промышленного и гражданского строительства (отбойные устройства; фасонные фигурные блоки – тетраподы, гексабиты; швартовные тумбы; кнехты и т. д.). Множество упомянутых элементов имеют сложную геометрию и, как следствие, высокополигональное трехмерное отображение. Изменение таких элементов на тела низкой детализации или концептуальные форма – недопустима, так как это может привести к неточному подсчету объемов работ, неверному размещению элементов в модели и, как следствие, к нарушению режима эксплуатации сооружений.

Решением поставленной проблемы является создание библиотек информационных моделей изделий, выполненных с учетом требований государственной нормативно-технической базы и наполненных геометрическими параметрами по каталогам производителей конструкций, ГОСТам, сериям и ТУ, применимым к гидротехническому строительству.

Совместно с компанией ООО «Морстройтехнология» был выполнен ретроспективный анализ с целью поиска оптимальных методов создания библиотек и способов автоматизации данного вида работы.

На первом этапе выполнения поставленных задач было выбрано наиболее адаптированное, доступное и распространенное программное обеспечение от компании Autodesk – Revit. Алгоритм создания элементов (семейств) укрупненно выглядит следующим образом:

- 1) концептуальный анализ рассматриваемого изделия с целью выявления сложных элементов геометрии, наличия составных элементов и т. п.;
- 2) ретроспективный анализ с целью поиска материалов, на основании которых возможна оцифровка изделия;
- 3) создание рабочих форм, профилей (например, с помощью AutoCAD);
- 4) импорт форм в Autodesk Revit с целью создания объемной геометрии (рис. 1, 2);
- 5) Настройка детализации объекта;

- 6) Наполнение базовыми параметрами ФОП;
- 7) Апробация семейства в рабочем проекте.

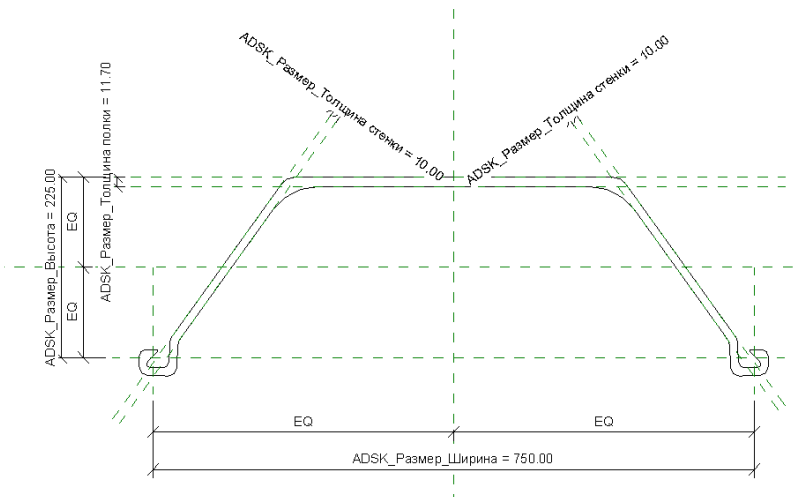


Рис. 1. Профиль шпунта в Autodesk Revit

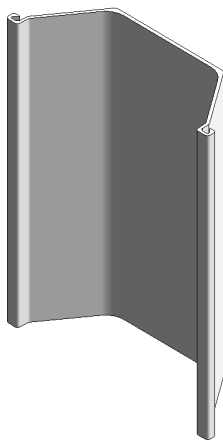


Рис. 2. Семейство шпунта типа Larssen

В ходе исследования было создано более 300 семейств различной сложности и конфигурации. Процесс разработки помог выявить следующие проблемы и недостатки, с которыми могут столкнуться специалисты при разработке моделей:

- подобные семейства требуют обширной параметризации, большая часть которой выполняется вручную;
- большое количество простых, но трудоемких операций (например, блокировка касательных соединений при создании привязок);
- существующие библиотеки материалов не рассчитаны на использование в гидротехническом строительстве;
- существующие библиотеки строительных конструкций, применяемые в ПГС, неприменимы в гидротехническом строительстве;
- недостаточность инструментов, интегрированных в ПО, упрощающие рабочий процесс;
- нецелесообразность хранения библиотек внутри шаблона Revit в связи с ограниченными возможностями вычислительной техники (большое количество семейств приводит к значительному увеличению объемов обрабатываемой информации).

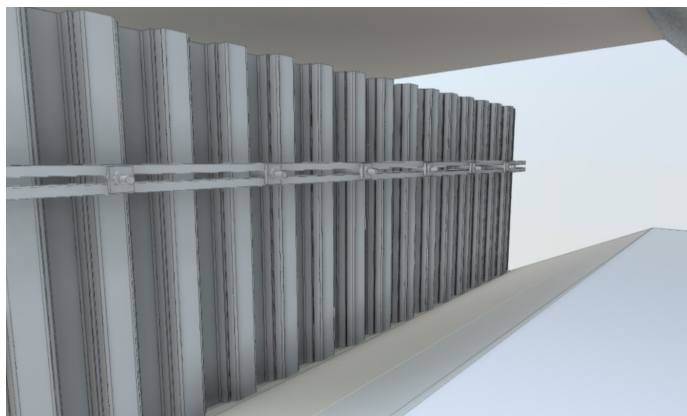


Рис. 3. Фрагмент шпунтовой стенки, собранной из разработанных в ходе исследования моделей



Развитие информационного моделирования в сфере ГТС возможно ускорить за счет осуществления следующих задач.

1. Разработать единый каталог семейств ГТС, обеспечивающий навигацию по изделиям и их параметрам внутри программного комплекса. Данный инструмент на первом этапе необходимо интегрировать в ПО Revit, как наиболее распространенный на строительном рынке, для оптимизации процесса проектирования. Следующим этапом развития каталога следует выполнить его копии для других программных комплексов, реализующих положения технологии информационного моделирования.

2. В профильных организациях сформировать группы отдельных специалистов, трудовые функции которых будут связаны исключительно с разработкой инструментов для ТИМ в ГТС. Данная задача соответствует вектору развития ТИМ в строительстве, выбранному Минтруда РФ [5].

3. Привлечение организаций-производителей к разработке единой базы элементов информационных моделей для различных программных комплексов.

4. Формирование единой базы элементов информационных моделей (семейств, каталогов, компонентов и т. п.) и обеспечение равного доступа к ней всех участников жизненного цикла объектов гидротехнического строительства.

Реализация указанного объема работ невозможна усилиями ограниченного количества специалистов. Требуется организация специальных рабочих групп, состоящих из представителей различных государственных и частных компаний, способных совместно выполнить поставленные задачи.

## **Литература**

1. Абакумов Р.Г., Наумов А.Е., Зобова А.Г. Преимущества, инструменты и эффективность внедрения технологий информационного моделирования в строительстве // Вестник Белгородского гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. 2017. № 5. С. 171–181. DOI: 10.12737/article\_590878fb8be5f0.72456616.

2. 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.

3. Постановление Правительства РФ № 331 от 05.03.2021 г. «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

4. 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.

5. Белкин П.В., Степенко Н.В., Чубатов И.В. Опыт применения технологии ВМ при проектировании ГЭС // Гидротехника. 2019. № 1(54). С. 21–23.

6. Приказ Минтруда N 787н от 16.11.2020 г. «Об утверждении профессионального стандарта „Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве“».

УДК 69.07

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.023

**Логвинова Мария Викторовна**, магистрант

(УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

*E-mail: logvinova.maria.w@gmail.com*

**Исупов Никита Сергеевич**, магистрант

(УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

*E-mail: isupovn98@gmail.com*

**Придвижкин Станислав Викторович**, д-р экон. наук, доцент

(УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

*E-mail: s.v.pridvizhkin@urfu.ru*

Logvinova Maria Viktorovna, master student  
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

Isupov Nikita Sergeevich, master student  
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

Pridvizhkin Stanislav Viktorovich, Dr. of Sci. Ec., Associate Professor  
(Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin)

## **ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСАХ**

### **ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF RC STRUCTURE REINFORCEMENT IN VARIOUS SOFTWARE COMPLEXES**

Переход на BIM системы уже начался и с каждым днем все больше заказчиков требуют в технических заданиях, чтобы проект был разработан в виде информационной модели, а для того, чтобы выпускать конкурентно-способный продукт перед компаниями встает проблема выбора и внедрения современных программных комплексов для высококачественного, эффективного проектирования. Тема преимущества BIM над CAD достаточно изучена в научной литературе, также ее активно затрагивают в специализированных блогах и форумах. Целью данной работы является рассмотрение особенностей армирования в программных комплексах Tekla Structures, Renga, Autodesk Revit и выбор оптимального и эффективного для работы ПО.

*Ключевые слова:* BIM-системы, армирование железобетонных конструкций, защитный слой, обрамление отверстий, семейство, спецификация.

The transition to BIM systems has already begun, and every day more and more customers specify in their terms of reference that the project must be developed in the form of an information model. Companies nowadays face the problem of choosing and implementing modern software systems for high-quality, efficient design in order to produce a competitive product. The topic of BIM advantages over CAD has been sufficiently studied in scientific literature and is also being actively discussed on specialized blogs and forums. The purpose of this paper is to study reinforcement features in the following software complexes: Tekla Structures, Renga, and Autodesk. We also attempt to choose the optimal and most efficient software.

*Keywords:* BIM systems, reinforcement of reinforced concrete structures, cover, hole framing, family, specification.

В современном проектировании большая часть зданий и сооружений проектируются из железобетона, следовательно, многие конструкторы заняты разработкой информационной модели железобетонного остова зданий в BIM-системах. Рынок предлагает большое количество ПК для реализации данной задачи. В связи с этим, проблема заключается в нахождении ответов на следующие вопросы: какой программный продукт использовать для моделирования зданий с монолитным каркасом? в каком ПО удобнее и производительнее армировать конструкции? какие сложности возникают при нестандартных случаях армирования? В данной статье произведено рассмотрение этих вопросов на примере трех популярных на данный момент BIM-систем для армирования железобетонных конструкций: Autodesk Revit, Tekla Structures, Renga.

### **Autodesk Revit**

Данный программный комплекс позволяет разместить арматуру только в «основе», причем элемент основы обязательно должен иметь свойство несущей конструкции. Арматурные стержни привязываются к основе и изменяют свою геометрию вместе с ней. Данное свойство может являться как преимуществом, так и недостатком. Например, при изменении расположения проема, арматура, обрамляющая его, сдвинется автоматически, следовательно, не придется проводить корректировку вручную. Но может возникнуть и другая ситуация, например, при увеличении ширины плиты перекрытия, скобы, обрамляющие один из торцов, не про-

сто переместятся вместе с данной границей плиты, но и удлинятся. В таком случае придется корректировать их вручную, возвращая необходимый размер.

Конструкции-основы имеют настраиваемые защитные слои, которые не позволяют пользователю расположить арматуру слишком близко к грани.

Размещать отдельные арматурные стержни возможно только на плане или разрезе, а армирование по площади еще и на 3D-виде.

Revit дает возможность смоделировать арматурные стержни в единичном экземпляре. При необходимости один стержень можно размножить, пользуясь инструментом «компоновка», в котором пользователь задает необходимое количество и шаг, либо расстояние и шаг стержней. Для армирования зон конструкций используются инструменты «армирование по траектории» и «армирование по площади» [1].

Автоматическое армирование в Revit предусмотрено только в виде армирования по площади или траектории, но даже при их использовании необходимо вручную вычерчивать границы армирования или траекторию раскладки арматуры [2].

Данный программный комплекс обладает интересной и полезной особенностью, которой не обладает Renga и Tekla: двусторонним редактированием элементов через спецификации. При необходимости можно изменить, например, маркировку арматурного стержня непосредственно в самой модели или же через спецификацию [3]. Но также возникают некоторые сложности при следующих действиях: невозможность редактирования длины стержня из-за заданного защитного слоя или из-за зависимостей, невозможность корректировки сгруппированных арматурных стержней, для начала придется их разгруппировать.

Для автоматизации армирования железобетонных конструкций в данном ПК предусмотрена разработка семейств IFC-арматуры, плагины, совместимые с Revit программные комплексы, пользовательские программы, созданные во встроенном плагине на языке DesignScript, либо в Revit API, но это требует больших трудозатрат и наработок, а использование IFC-арматуры серьезно уменьшает скорость работы программы.

## **Tekla Structures**

В Tekla арматура также должна находиться в определенной основе, однако ей может являться не только несущая конструкция, но и «условный элемент».

Армирование в ПК производится на 3D-виде, что может вызывать задержки в работе программы из-за загруженности рабочего пространства, однако такой способ более удобен визуально по сравнению с армированием на плане или разрезе.

Для размещения массива стержней в Tekla используется инструмент «группа стержней», в котором можно выбрать необходимую длину армирования и шаг стержней, также можно создать единичный арматурный стержень. Недостаток данного ПК в том, что нельзя создать единичный стержень, а затем размножить его по заданным параметрам. ПК предоставляет возможность армирования зон конструкций командой «армирование объектов заливки». Инструмент «арматурная сетка» армирует выбранную конструкцию по заданным пользователем правилам.

Tekla предлагает возможность создания компонента армирования, с последующей параметризацией, для применения в других типовых конструкциях, объединения одинаковых арматурных стержней в группы, разделения группы арматурных стержней надвое [4], но некоторыми этими же функциями обладает Revit, например, через фильтр или видимость/графика можно выбрать необходимый диаметр стержня и сгруппировать их.

Трудности в Tekla могут возникнуть, когда необходимо отредактировать шаблон или компонент, когда среди готовых инструментов не нашлось нужного, тогда приходится прибегнуть к Tekla OpenAPI, которая требует навыков программирования на языке C#, в то время как в Revit существует настройка Dynamo, в которой при помощи стандартных нодов можно создать большое количество скриптов, не имея серьезных навыков программирования.

## **Renga**

В отличие от Autodesk Revit в ПК Renga существует возможность автоматического армирования конструкции по заданному стилю. В этом случае арматура является частью конкретной конструкции и не может быть перемещена в другую. Также Renga

предлагает инструмент для ручного армирования отдельными стержнями или каркасами/сетками. Арматура, созданная данным инструментом, является самостоятельным элементом модели и не принадлежит определенной основе.

Армирование, как и любые другие построения, ведется в 3D-окне. Из-за малого «веса» файла Renga-модели даже не очень мощные компьютеры позволяют производить все операции без задержек программы [5].

Преимущество Renga в том, что можно один раз создать стиль армирования со всеми необходимыми правилами, а затем применять его ко всем подобным конструкциям (рис. 1).

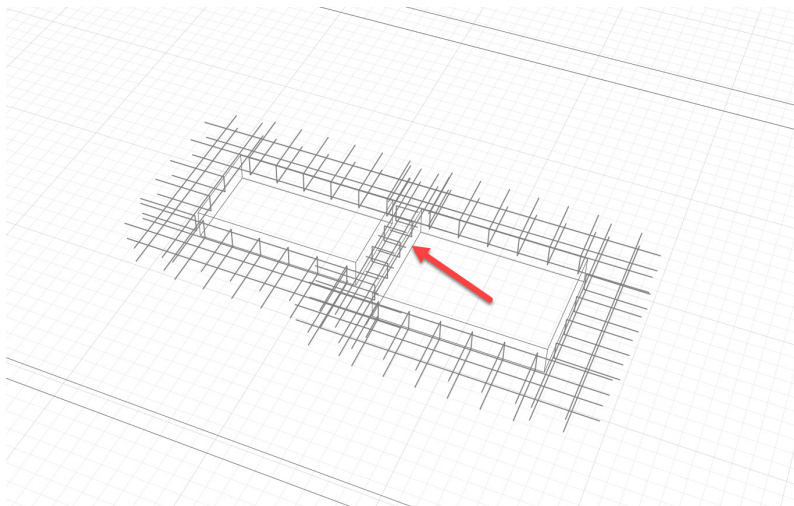


Рис. 1. Армирование группы проемов в ПК Renga

Но это же может являться и недостатком: по результатам проведенного эксперимента встроенного стиля армирования «Простое усиление» для группы отверстий, расположенных в плите перекрытия, было установлено, что Renga моделирует между проемами П-образные стержни, которые не могут быть заанкерованы в бетон из-за малого расстояния (ширина между проемами 300 мм,

толщина плиты 180 мм). При рабочем проектировании, если между отверстиями невозможно расположить П-образные стержни, длина которых бы равнялась длине нахлеста, необходимо закладывать хомуты. Вывод: для тривиальных случаев стили армирования в Renga могут быть полезны, но в реальном проектировании встречаются и более сложные задачи, которые не решает автоматическое армирование рассматриваемого отечественного ПО.

Несмотря на то, что системные инструменты в Renga предоставляют возможность армировать конструкцию достаточно удобно и автоматизировано, иногда пользователю может потребоваться создать свою форму стержня или задать правила армирования, не предусмотренные базовыми функциями. В этом случае придется прибегнуть к C# или C++ в Renga API.

На основе проведенного анализа было выявлено, что наибольшим, но не совершенным, функционалом в плане армирования обладает Revit. Для улучшения работы в программе необходима разработка пользователем семейств, скриптов и плагинов.

Как бы сильно проектировщики не хотели автоматизировать процесс армирования с помощью различных программных комплексов, на сегодняшний день «ручное» армирование остается самым качественным способом. Контролируя конструирование каждого арматурного стержня, проектировщик может быть уверен, что армирование будет выполнено по всем нормам и правилам. С другой стороны, прогресс не должен стоять на месте. Инструменты автоматического армирования будут развиваться тем быстрее, чем активнее пользователи будут их применять и делиться обратной связью с разработчиками. Так что каждому проектировщику предстоит найти баланс между высоким качеством проекта, но значительными трудозатратами на ручное армирование, и автоматизированным способом, оптимизирующим проектирование, но с практически неизбежными издержками в качестве.

## **Литература**

1. Aram S., Eastman C., Sacks R. Utilizing BIM to Improve the Concrete Reinforcement Supply Chain // *Computing in Civil Engineering*. 2012. P. 333–340. DOI: 10.1061/9780784412343.0042.



2. Режепов С. Renga vs Revit. Выбираем BIM-инструмент на примере возможностей армирования. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=19900](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19900) (дата обращения: 20.01.2021).
3. Малофеев В.В., Веригин Ю.А. Сравнительный анализ и оценка ПК Autodesk Revit при разработке армирования железобетонных конструкций // Наука и молодежь. Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Барнаул, 2020. С. 154–156.
4. Федоров С.С., Володин Г.В., Гаряев Н.А. Сравнение инструментов программного обеспечения информационного моделирования в армировании железобетонных конструкций // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019: сб. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. М.: НИУ МГСУ, 2019. С. 532–534.
5. Дьячева И. Renga Structure, или Армирование конструкций в два клика // САПР и графика. 2017. № 11(253). С. 8–12.

**УДК 624.131.3**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.024

**Ломакин Евгений Алексеевич**, канд. геол.-мин. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: lomakin@metrotunnel.ru, ORCID: 0000-0001-5681-0844*

**Пеньков Даниил Валерьевич**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: danokp@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5405-2071*

Lomakin Evgeniy Alekseevich, PhD of Sci. Geo-Min., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Penkov Daniil Valerevich, student

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ GEO+BIM-ТЕХНОЛОГИИ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА**

### **EXPERIENCE OF ADOPTING THE GEO-BIM TECHNOLOGY AS PART OF THE INTEGRATED USE OF UNDERGROUND SPACE RESOURCES**

Программа GEO+BIM, нацеленная на решение задач комплексного использования ресурсов подземного пространства, представляет собой информационно-технологическую и организационную платформу для взаимодействия изыскателей, проектировщиков, архитекторов, строителей, владельцев зданий и операторов их эксплуатации на всем протяжении жизненного цикла объектов (результатирующая часть решения конференции по «GEO+BIM» (BUILDING+INFRASTRUCTURE), Амстердам, 10-11 декабря 2014 г). Опыт освоения месторождений полезных ископаемых и городов – мировых лидеров использования подземного пространства при этом используется в качестве точки роста градостроительной отрасли.

*Ключевые слова:* GEO+BIM, объемные информационные модели, принципы работы с исходной информацией, ресурсы подземного пространства, концепция комплексного использования подземного пространства, стратегия

проектно-изыскательского управления градостроительством, комфортные условия ведения бизнеса, оптимальные решения.

The GEO-BIM program, aimed at the integrated use of underground space resources, is an information technology and organizational platform for interactions between explorers, designers, architects, builders, and building owners and operators throughout the facility life cycle (Resolution of the GEO-BIM Building & Infrastructure Conference, Amsterdam, December 10–11, 2014). The mining experience, as well the world leader cities' experience with utilizing underground spaces are used as a growth point for the urban development industry.

*Keywords:* GEO-BIM, three-dimensional information models, principles of working with reference information, underground space resources, concept of the integrated use of underground spaces, design and exploration management strategy in urban planning, comfortable business conditions, optimal solutions.

Рост и развитие современных городов сопровождается целым рядом проблем: сокращение пригодных и подготовленных для строительства земельных участков, дефицит рекреационных зон, перегруженность дорожной сети и т. д. Все они требуют особого системного подхода к своему решению, который отражен в концепции комплексного использования ресурсов подземного пространства (КИР ПП).

Данная работа посвящена принципам, которые призваны реализовать концепцию КИР ПП путем использования единой информационной среды для всех участников инвестиционно-строительного цикла на всех этапах жизненного цикла объекта с учетом специфики каждого из этапов (рис. 1) [1]. Эти подходы были отражены в концепции проектно-изыскательского управления градостроительством (ПРИЗ-У), так же известного, как GEO+BIM (где GEO – информационная модель геологии (изыскательская модель), BIM – информационная модель сооружения), реальный опыт внедрения которой отражен ниже.

Комфортный уровень ведения бизнеса по комплексному использованию ресурсов подземного пространства определяется тремя требованиями:

1. Выполнение условий устойчивого развития территорий.
2. Достижение уровня инвестиционной привлекательности конкретных проектов.

3. Создание конкурентных преимуществ подрядчикам, использующим стратегию ПРИЗ-У в рамках проектов КИР ПП.



Рис. 1. Структура инвестиционно-строительного цикла и роль отдельных этапов в выполнении условий комфортного ведения бизнеса (красный цвет – минимум финансирования, зеленый – максимум, желтый – среднее финансирование)

Концепция КИР ПП была разработана с учетом опыта, полученного по результатам работы Ленинградского горного института (ЛГИ) и Всесоюзного научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ) в области оптимизации освоения месторождений полезных ископаемых (ОМПИ) на основе их непрерывного модельного сопровождения [2, 3], а также опыта городов-лидеров освоения подземного пространства [4].

Концепция КИР ПП ориентирована на практическое обеспечение соответствия между Градостроительным Кодексом и Законом о Недрах РФ в части совместного объемного использования пространственных, экологических и перспективных ресурсов подземного пространства для целей устойчивого развития территорий и удовлетворения потребностей общества в конкретных полезных

ископаемых. Исходная концепция была адаптирована под строительную специфику, чтобы достичь следующие цели:

– **В сфере управления** – создание условий для переноса с поверхности городских служб, напрямую не связанных с его социокультурным, рекреативным и представительским назначением – необходимого условия устойчивого развития территорий.

– **В сфере производства** – обеспечение организациям города роста конкурентных преимуществ за счет непрерывного использования стратегии на всех этапах инвестиционно-строительного цикла конкретных проектов комплексного использования ресурсов подземного пространства.

– **В сфере образования** – реформирование системы профессионального образования с целью подготовки специалистов, готовых к комплексному освоению ресурсов подземного пространства на всех этапах ИСЦ посредством использования концепции GEO+VIM [5].

Стоит отметить, что приведенная выше формулировка концепция КИР ПП не является уникальным направлением градостроительной отрасли, связанным исключительно с освоением подземного пространства. Концепция, по существу, является основным инструментом градостроительной деятельности, контролирующим условия комфортного ведения бизнеса, а достижение этих условий обеспечивается использованием GEO+VIM-технологии.

GEO+VIM-технология (стратегия проектно-изыскательского управления [6–8]) создана для обеспечения образовательного, нормативно-правового (технического), законодательного; организационного, информационно-технологического; экспертного и рекламного взаимодействия основных исполнителей концепции КИР ПП:

1. Государственных структур, ответственных за:

1.1. Обеспечение устойчивого развития территорий (ГрК РФ – с изменениями на 31 декабря 2017 г.; статья 1, п. 3, титульный лист).

1.2. Полноту освоения природных ресурсов и экологическую безопасность (Закон о Недрах РФ от 21.02.1992 №2395-1 (редакция от 30.09.2017); введение к статье 7; статья 10, п. 1; статья 19, п. 1, статья 20, статья 21, п. 1, статьи 22–24, статьи 36 и 37.

1.3. Выполнение комплексных условий устойчивого развития территорий (одновременное соответствие п. 1.1 и 1.2).

2. Институтов гражданского общества.

3. Субъектов инвестиционно-строительного цикла.

Непрерывное взаимодействие приведенных субъектов направлено на:

1. Достижение уровня комфортного ведения бизнеса.

2. Реформирование системы профессиональной подготовки с целью создания специалистов, способных работать на всех этапах ИСЦ с использованием информационно-технологических средств.

3. Оснащение Института экспертизы GEO+ВІМ-технологиями – важнейшего инструмента сокращения сроков реализации градостроительных проектов и увеличения их качества.

28 ноября 2016 года в рамках научно-практической конференции Светланой Бачуриной впервые была представлена концепция проектного управления градостроительством. Предложенный подход содержал лишь одну часть инструментария – технологическую (проектирование – ВІМ), исключая важнейшую составляющую – информационную (изыскания – GEO). Подобный подход неэффективен, что связано с невозможностью учета геотехнических и геоэкологических ограничений (GEO) при выборе оптимальных проектных решений (не противоречащих комплексным условиям устойчивого развития территорий, приоритетные в рамках Генеральных планов, экономически – конкурентные, технически – реализуемые, фактически – безопасные и бесконфликтные), дающих кратную экономию средств. Применение данных инструментов невозможно без внедрения фундаментальных принципов управления сложными системами – принцип обратной связи (изыскания должны адаптироваться под решаемую задачу) и принцип стратификации (изыскания должны доводиться до потребителя в доступном для него виде).

В рамках работы по реализации описываемой в статье стратегии автором (от лица ООО НПФ «Водные ресурсы», ответственный исполнитель – Е.А. Ломакин) был заключён контракт № 202 от 10 августа 2009 года с Комитетом по градостроительству и архитектуре Правительства Санкт-Петербурга «Трехмерное

экспертное картирование подземного пространства для целей разработки проектов планировки территорий и проектирования объектов инженерной инфраструктуры на территории Санкт-Петербурга для государственных нужд Санкт-Петербурга» [9]. Основные исполнители: ОАО «Ленметрогипротранс», Московский и Санкт-Петербургский Государственные Университеты, а также Санкт-Петербургское отделение Института Геоэкологии РАН.

В основу проводимой работы был положен опыт проектно-изыскательских работ (ПИР) середины 80-тых годов, которые представляют собой первые шаги на пути внедрения информационно-технологического сопровождения всех этапов инвестиционно-строительного цикла (ИСЦ). Стоит отметить, что в то время число изыскательских организаций было значительно меньше, чем сегодня, но объемы выполняемых работ в разы больше, а их качество несопоставимо. Причиной тому было отсутствие «разрывов» ИСЦ, а «изыскатели-проектировщики» вели проект от его эскиза до мониторинга при эксплуатации и ликвидации, т. е. действовали на всех этапах ИСЦ.

По результатам проделанной работы была выявлена центральная проблема, с которой, по мнению большинства специалистов, связан системный кризис градостроительной отрасли, – слабость управления градостроительной отраслью со стороны государства. Однако каждый, в зависимости от принадлежности к тому или иному этапу инвестиционно-строительного цикла (ИСЦ), вкладывает в это определение свое содержание. Отсутствие единой позиции не дает возможности подключить нормативно-правовые, социально-экономические, информационно-технологические и организационные рычаги, позволяющие использовать кумулятивный эффект при реализации конкретных градостроительных решений. Для этого была разработана программа GEO+ВІМ, реализовавшая основные принципы непрерывного взаимодействия субъектов ИСЦ на основе концепции КИР ПП, реализуемой в рамках стратегии ПРИЗ-У.

Программа GEO+ВІМ ориентирована на конечный социально-экономический результат – повышение качества жизни при минимизации затрат средств и времени на реализацию

градостроительных проектов в пределах ИСЦ, в частности, на разрушение стереотипа о дороговизне и инвестиционной непривлекательности подземного строительства.

Подземное строительство, будучи малозначительным по своим объемам сегментом градостроения, является необходимым условием устойчивого развития городских территорий. Для мегаполисов это представляется единственным механизмом запуска комплексных программ реставрации (сохранения, реконструкции) их исторических центров.

Также применение GEO+ВІМ-технологии позволит создать 3D-Кадастр для использования информационных моделей объектов капитального строительства, построенных на предыдущих этапах жизненного цикла объектов, для защиты прав собственников самого объекта и находящихся, в пределах непрерывно уточняемой зоны риска, подземных и наземных зданий и сооружений [3].

Концепция КИР ПП позиционируется как катализатор развития градостроительной отрасли (точкой роста). Использование программы GEO+ВІМ предполагает две основные цели:

1. Реформирование градостроительной отрасли на основе анализа результатов внедрения комплексных пилотных проектов (в парадигме «точки роста – стратегия достижения инвестиционной привлекательности – инструменты реализации стратегии»).

2. Достижение уровня комфортного ведения бизнеса.

Таким образом, можно с уверенностью сделать вывод, что потребность во внедрении GEO+ВІМ технологий, позволяющих связать между собой всех субъектов ИСЦ в рамках единой модели, назрела, а инструменты для ее внедрения уже созданы и успешно используются в других сферах деятельности и требуют лишь финальной адаптации под специфику строительной отрасли.

## **Литература**

1. Умнов В.А. Экономическое обоснование рационального использования подземного пространства: дис. д-ра экон. наук: 11.00.11 / Моск. гос. горный университет, Москва, 2000. 213 с.
2. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. М.: Недра, 1988. 233 с.



3. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 424 с.
4. Беляев В.Л. Основы подземного градоустройства. М.: МГСУ, 2012. 254 с.
5. Ломакин Е.А., Заводчикова М.Б. Проектно-изыскательское управление в градостроительстве (на примере концепции комплексного использования ресурсов подземного пространства).
6. Ломакин Е.А. GEO+ВІМ: ключ к реформированию отрасли // Подземные горизонты. 2017. № 13. С. 24–27.
7. Ломакин Е.А., Нагорный С.Я., Лехов А.В., Румынин В.Г., Смоленцев В.Г. Чем поможет трехмерное картирование подземного пространства // Инженерные изыскания. 2008. № 6. С. 20–27.
8. Кузьмин А.В., Нагорный С.Я., Ломакин Е.А. Особенности геологического обоснования проектов строительства и реконструкции метрополитена и транспортных тоннелей в Санкт-Петербурге // Транспортное строительство. 2006. № 11. С. 23–25.
9. Ломакин Е.А. Технология экспертного инженерно-геологического картирования территории, приуроченной к Малой Охте // Материалы конференции 3D модели в геоинформационных системах управления территориями: создание и использование: Санкт-Петербург, 30-31 октября 2008 г. URL: <http://old.kgainfo.spb.ru/img/flash/isogd/lomakin.pdf> (дата обращения: 02.03.2021).

**УДК 711:65.011.56.001**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.025

**Меньшикова Елена Павловна**, канд. архит.,  
начальник научно-исследовательского центра градостроения  
(ФГБУ ЦНИИП Минстроя России)  
*E-mail: arhmep@mail.ru*

Menshikova Elena Pavlovna, PhD of Architecture, Head of the Research Center  
(FGBU CNIIP of the Ministry of Construction of the Russian Federation)

## **БЕСШОВНОСТЬ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ BIM?**

### **ARCHITECTURAL AND URBAN BIM: IS IT SEAMLESS?**

Основная идея внедрения нового принципа проектирования и управления объектами: BIM (Building Information Modeling) – это бесшовность информации о строительном объекте, как по его технико-технологическим составляющим, так и во временном развитии. Однако в настоящее время процесса сращивания цепочки на стадии проектирования: «градостроительный объект – совокупность строительных объектов» не внедряется. Главный объект в системе развития BIM – объект капитального строительства. Градостроительное проектирование не включено в эту систему в силу отсутствия отечественного программного обеспечения. Таким образом, разрывается единство городского пространства, состоящее из отдельных объектов капитального строительства. Целесообразно создание программ для градостроительного проектирования и внедрение их в структуру BIM наравне с архитектурными, конструктивными и инженерными программами.

*Ключевые слова:* архитектурное проектирование, градостроительное проектирование, BIM-технологии, целостность города.

The main idea of introducing a new principle of facility design and management is as follows: BIM (Building Information Modeling) implies the seamlessness of information about the construction facility, including both its technological components and development over time. However, at present, the process of splicing the chain at the “urban planning object – set of construction facilities” design stage is not being introduced. The main object in the BIM development system is a major construction object. Urban planning is not included in this system due to the lack of domestic software. Thus, the unity of the urban space gets broken down into separate major construction objects. It is advisable to create programs for

urban planning and introduce them into the BIM structure along with architectural, structural and engineering programs.

*Keywords:* architectural design, urban planning, BIM technologies, urban integrity.

Города и градостроительные системы являются основоформирующими всемирной цивилизации, которая вступила в эпоху информатизации. При этом сами города до сих пор недостаточно обеспечены информационным комплексом. А значит, в современном мире они не способны достойным образом развиваться.

По утвержденной Правительством РФ (от 28 июля 2017 г. № 1632) государственной программе «Цифровая экономика РФ» предполагается «создание экосистемы цифровой экономики Российской Федерации, в которой данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности».

Градостроительству, исходя из этого следует заявлять о своем особом месте в информационном пространстве, тем более, что в решении сложнейших проблем города и градостроительных систем не обойтись без современных научных информационных знаний [1–3].

На сегодняшний день, когда в архитектуре и архитектурном проектировании внедряются самые передовые системы, градостроительство не включено в этот процесс в полной мере, архитектурно-градостроительная деятельность не во всем следует за новыми изобретениями в информационных технологиях и сама не заявляет о своих потребностях в развитии новых проектных технологий. Справедливости ради следует признать, что градостроители в конце XX века не были пассивными пользователями, а сами создавали новые прикладные к градостроительству программы (Например, Б. В. Черепанов разработал программу транспортных потоков).

В середине 70-х годов прошлого века ЦНИИП градостроительства (ныне ФГБУ ЦНИИП Минстроя России) был создан отдел математического моделирования под руководством Л. А. Яковлева, создавшего пакет прикладных программ для проектирования систем городских путей сообщения. Велась научная работа по адаптации

процесса градостроительного проектирования к САПР (система автоматизированного проектирования). Совместно работали проектировщики, математики, ученые при полной поддержке администрации. В основном использовалась ЭВМ «Минск» преимущественно по формированию транспортно-пешеходных пространств.

Дальнейшая история информатизации проектного процесса складывалась не в пользу градостроителей. Разработка архитектурных программ проектирования, развитие ВІМ-технологий ориентировано на объемные объекты, а градостроительство таким образом оказалось за бортом этого процесса.

Архитекторы еще в 1997 г. получили первую программу с 3D-функцией – ArchiCAD 5.1 (GRAPHISOFT – Венгрия). Универсальная чертежная программа AutoCAD с 2D-функцией появилась несколько раньше (AUTODESK – США) и получила более широкое распространение среди всех проектировщиков.

С развитием ВІМ AUTODESK предпринимает шаги для включения в программу возможности трехмерной визуализации.

В России начало официальному включению в ВІМ положило решение Экспертного Совета при президенте РФ по разработке плана по адаптации ВІМ в промышленном и гражданском строительстве от 4 марта 2014 г.

Российские специалисты разрабатывают отечественные программы. Наиболее комплексно вписывается в систему ВІМ программа Renga, которая охватывает три направления: Renga Architecture – для архитектурно-строительного проектирования; Renga Structure – для конструктивной части зданий и сооружений (железобетонные и металлические конструкции) и Renga MEP – для проектирования внутренних инженерных сетей зданий [4].

Система российских ВІМ, в т.ч. Renga, имеет определенную ограниченность, в том смысле, что ее использование возможно только для отдельных объектов капитального строительства. Всякий объект капитального строительства является неотъемлемой частью городской территории. Его проектирование следует увязывать с застройкой (рис. 1). Структура отечественного проектирования прописана в Градостроительном Кодексе Российской Федерации [5].

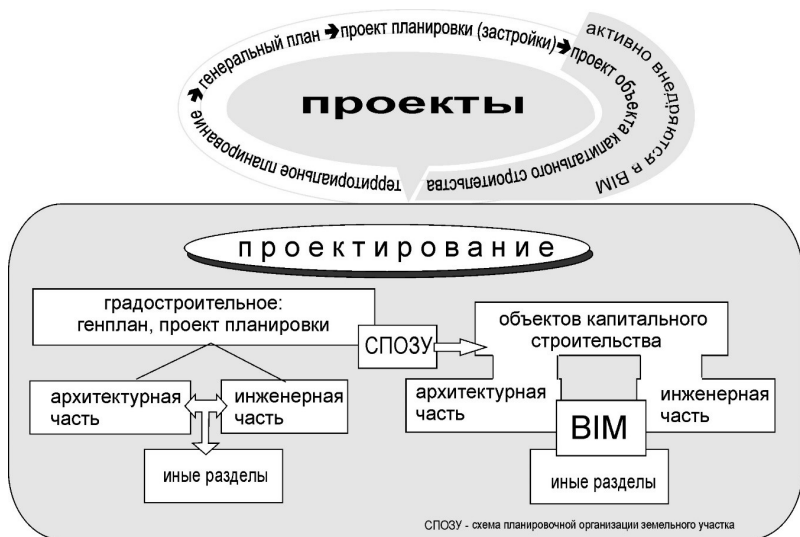


Рис. 1. Непрерывность проектного процесса

Поскольку BIM-системы охватывают полный цикл (проектирование, строительство, эксплуатация), поэтому информация об отдельном объекте не может быть оторвана от городского пространства и управления городом.

Мировой опыт не может нам предложить готовых инструментов, поскольку подходы к градостроительному проектированию в России достаточно уникальны. В качестве решения некоторых вопросов пространственной информации сегодня используют ГИС-технологии [6, 7]. Однако географические программы не отвечают задачам проектирования поселений. Это не проектная, а информационная система, градостроителям же, равно как и остальным архитекторам, нужна проектная программа. Решающим фактором к созданию российского URBANsoft является насыщенность градостроительной документации секретной информацией. Таким образом, главным аргументом к созданию российского программного обеспечения градостроительства является его причастность к государственной тайне.

Нельзя отрицать, что ВІМ в градостроительстве никому не интересен. Многие профессионалы ищут возможности реализации в этом направлении [8–10]. Внедряется параллельное ВІМ понятие СІМ (City Information Modeling). Используется зарубежный опыт, большей частью связанный с ГИС (InfraWorks, ArcGIS и др.). Так, например [11], ArcGIS позволяет проводить комплексные исследования транспортных потоков в виде тематических слоев единой базы геоданных и цифровой карты города. Примерами могут служить европейские проекты Traffic Analyst и Trans-Tools, а также локальная ГИС «Транспортная модель Санкт-Петербурга» [12].

Рождение градостроительного софта требует проведения исследовательских работ и междисциплинарных консультаций, необходимо направить все научные, образовательные, проектные и управленческие усилия в нужное русло для оптимального развития городов [13]. Нужно встречное движение между программистами и градостроителями. Нашим предложением для создания отечественного программного обеспечения является необходимость организация и проведение соответствующих процедур на государственном уровне с привлечением специалистов из различных отраслей.

Серьезным препятствием в продвижении ВІМ-СІМ систем является отсутствие кадров для внедрения новых дисциплин в образовательный процесс. Большинство стран стало выстраивать политику ВІМ в первую очередь внедрением в проектирование, а в Сербии, например, самым первым шагом в направлении внедрения ВІМ-технологий стало создание учебных программ и преподавание в университете премудростей новой проектной системы. То есть внедрение началось с образования. Мы предлагаем также, не теряя времени, разработать и внедрить образовательные программы для обеспечения данного направления новыми профильными специалистами.

Город (рис. 2), включающий в себя множество научно-административных направлений, является сложнейшим социально-пространственным организмом [3].

Специфика градостроительной документации от проектных решений отдельных объектов в том, что она ориентируется

на организацию городского пространства, а не на создание монофункционального конструктивного объема, В алгоритмы программ градостроительного проектирования следует закладывать параметры, которые являются неотъемлемой частью градостроительного проекта: плотность застройки, площадь застройки, этажность, численность населения, плотность населения, характеристики застройки (кв. м. жилья – численность населения; кв. м. общей площади школы – число учащихся) и т. д.



Рис. 2. Комплексное решение в информационном поле города

При этом в процессе проектирования должны быть обеспечены: условия инсоляции, озеленения, противопожарные разрывы, радиусы доступности учреждений, экологические мероприятия, пространственная оптимизация улично-дорожной сети, вертикальное зонирование и другое. Отдельные вопросы имеют программное обеспечение (например, по вертикальной планировке в существующих программах (nanoCAD Геоника).

Так как идея BIM и CIM – это непрерывность цепочки, включая процесс управления объектом, то для градостроительных объектов должна быть двойная связь: с паспортом отдельного строительного

объекта и с АИСОГД (автоматизированная информационная система обеспечения градостроительной деятельности).

Для градостроительных целей 3D-моделирование – только часть задач, которые помогают кроме эстетического анализа ситуации проектировать на рельефе (прокладка коммуникаций, вертикальная планировка, прокладка дорог с нормативными уклонами и др.). Существенно, чтобы эти задачи решались в автоматическом

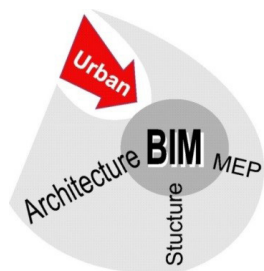


Рис. 3. Включение градостроительства в BIM

режиме по заданным параметрам совместно с другой частью градостроительных задач: структура застройки по различным показателям (социальным, техническим, пространственным), соответствие санитарным, инсоляционным, противопожарным требованиям. Важно, чтобы эти условия реализовывались на единой платформе, которая в последующем переходила в объектные модели (рис. 3).

В настоящее время идет активное внедрение BIM-технологий для объектов капитального строительства в Российской Федерации. Однако градостроительство в этом процессе отсутствует. Целесообразно пополнение линейки программных продуктов программы для градостроительного проектирования. Для серьезного продвижения градостроительной составляющей (СИМ), учитывая секретность градостроительной отрасли, требуется активное участие властей, чтобы поставить такую задачу специалистам различных специальностей и ведомственной направленности. Первостепенной задачей является подготовка новых профильных кадров.

### **Литература**

1. Лола А.М., Меньшикова Е.П., Лола У.А. Генеральный план города как информационная модель // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 4(21). С. 339–343.
2. Лола А.М., Меньшикова Е.П., Лола У.А. Стратегическая программа развития российской градосистемы: в чем ее суть // Градостроительство. 2018. № 4. С. 77–89.



3. Лола А.М. Города России нуждаются в профессиональном управлении и университетах градovedения // *Новости инженерной науки и образования Западного Казахстана*. 2017. № 1. С. 7–16.
4. В чем сила объединенной Renga? URL: <https://rengabim.com/stati/v-chem-sila-obedinennoj-renga> (дата обращения: 27.01.2021).
5. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 25.12.2018).
6. Диденко А.А., Ковырина К.С. Совместное использование технологий информационного моделирования зданий и геоинформационных систем в городском планировании // *Молодой ученый*. 2016. № 10(114). С. 45–51.
7. Каспер Н.В., Морозов Г.В., Таранов С.Б. ГИС в архитектуре и градостроительстве // *Архитектура и строительство России*. 2019. № 4(232). С. 112–113.
8. Ширинян Е. Туманные картины: BIM в градостроительстве. В поисках общей схемы. URL: [http://prosapr.blogspot.com/2016/09/bim\\_17.html](http://prosapr.blogspot.com/2016/09/bim_17.html) (дата обращения: 27.10.2020).
9. Ширинян Е. От BIM к CIM: можем ли мы говорить об информационном моделировании города? Вопросов пока очень много. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=19872](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=19872) (дата обращения: 18.01.2021).
10. Якубов С. Гипрогор проект: Оцифровывать нужно все территории – от мегаполисов до маленьких поселков на Крайнем Севере. URL: <https://www.radidomapro.ru/ryedkztij/arkhitektura/gradostroitelstvo/sergej-iakubov-giprogor-proekt--otzifrovuyatig--67467.php> (дата обращения: 23.09.2020).
11. Применение ГИС-технологий в системе управления транспортным предприятием. URL: <http://www.radixtools.ru/publish-gis-transport> (дата обращения: 25.12.2020).
12. Черетович Д.В., Долганова О.И., Ковалева О.Н. Современные тенденции использования геоинформационных систем в архитектуре и городском планировании // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020*. С. 166–173. DOI: 10.23968/BIMAS.2020.020.
13. Меньшикова Е.П. Науки, обслуживающие сложнейшую модель общества – город // *Известия Высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 8. С. 85–90.

**УДК 004.942:711**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.026**

**Орловская Тамара Николаевна**, канд. экон. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: e-tamara@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8428-931X*

Orlovskaya Tamara Nikolaevna, PhD of Sci. Ec., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

**КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ  
СОЦИАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫМ  
РАЗВИТИЕМ МЕГАПОЛИСА**

**CONCEPT OF BIM APPLICATION IN THE MANAGEMENT  
OF THE SOCIAL AND SPATIAL DEVELOPMENT  
OF A METROPOLIS**

Статья посвящена методологическим аспектам нового направления развития BIM-технологий в социально-экономическом и пространственном развитии мегаполиса. Рассматриваются наиболее важные направления развития BIM-моделирования для развития города. Предложена концепция применения BIM-технологий в управлении социально-пространственным развитием мегаполиса. Автором сформулированы направления, в которых совместное использование цифровых платформ и инструмента BIM-технологий оправдано и целесообразно. Автором сделан вывод о том, что BIM-моделирование должно основываться на глубокой концептуальной проработке различных аспектов развития городской среды и социума, подготовкой в рамках разработки документов территориального планирования и разработки проектно-планировочной документации картографических и текстовых материалов, формировании на основе статистических данных геоинформационных систем моделей развития города.

*Ключевые слова:* BIM-моделирование, концепция, управление социально-пространственным развитием, мегаполис.

The article reviews the methodological aspects of a new direction in the development of BIM technologies as part of the socio-economic and spatial development of a metropolis. We consider the most important directions in the

development of BIM relevant to urban development. We also propose a concept of using BIM technologies to manage the social and spatial development of a metropolis. We formulate the directions where the joint use of digital platforms and BIM technologies is justified and expedient. This allows us to conclude that BIM should be based on a deep conceptual study on various aspects of the development of the urban environment and society, as well as on cartographic and textual materials that are part of developing territorial planning and design documentation, and on statistics-based geoinformation systems of urban development models.

*Keywords:* BIM, concept, management of social and spatial development, metropolis.

На современном этапе развития общества особое внимание обращено к проблемам формирования комфортной и безопасной городской среды в условиях жесткого дефицита бюджета и ужесточения требований к формированию благоприятных условий жизнедеятельности населения. Неопределенность социально-экономического развития регионов и городов, отсутствие устойчивости динамики их территориального развития требует особого внимания к проблемам формирования цифровых платформ и использования BIM-моделирования в различных отраслях и на разных стадиях принятия управленческих решений.

Российские ученые акцентируют внимание на том, что «применение BIM-технологий на стадии градостроительного проектирования – новое направление ее развития» [1]. Очевидна актуальность и востребованность дальнейшего развития этого научного направления для разработки программ стратегического, тактического и оперативного развития города.

Общезвестны преимущества использования BIM-технологий в проектно-строительной деятельности. Главное их достоинство заключается в том, что в процессе разработки рабочей документации возможно минимизировать затраты и существенно снизить время на ее подготовку. По данным исследований PwS внедрение BIM-технологий позволяет снизить затраты на разработку документации на 2 %, сроки строительства – на 10 %, ошибки при разработке проектной документации – на 10 % [2]. Однако, как отмечают эксперты, широкомасштабное распространение использования BIM-технологий в России сдерживается

высокими затратами самой технологии на начальной стадии проектирования и строительства, а также тем, что ее целесообразно использовать в крупных городах, мегаполисах и при разработке мегапроектов [2].

Являясь одним из эффективных современных инструментов управления созданием объекта капитального строительства на разных этапах жизненного цикла, ВІМ-технологии позволяют формировать основу для повышения эффективного использования материальных, финансовых и временных ресурсов, и, одновременно формируют огромный банк данных по созданным зданиям и сооружениям. Несколько спорным, по мнению автора статьи, является утверждение о том, что преимуществом внедрения ВІМ-технологий становится повышение экономической эффективности инвестиционного проекта. В рамках конкретного инвестиционного проекта, особенно в случае проектирования и строительства какого-либо одного капитального объекта, получение положительного экономического эффекта реально. Однако, уже на стадии разработки проекта планировки территории, полученный «локальный» эффект может быть «размыт» или вовсе утрачен. Причиной тому могут стать разного рода ограничения, связанные с юридическими, градостроительными, территориальными, социальными и экономическими аспектами комплексной застройки в городах и мегаполисах. Как справедливо отмечено в работе [1], в процессе проектирования конкретного объекта необходимо опираться на системный и комплексный подход. То есть обязательно рассмотрение всей совокупности расположенных в границах планируемой к развитию территории объектов. В противном случае – спорным становится и получение экономического эффекта от использования ВІМ-моделирования, и достижение конечной цели – создания комфортной и безопасной городской среды.

Сегодня в фокусе внимания исследователей – возможности использования преимуществ ВІМ-технологий на разных уровнях управления пространственным развитием регионов и городов.

По аналогии с предложенными в исследовании [3] тремя уровнями структуры управления региональными системами: стратегическим, тактическим и оперативным, автором статьи предложена

концепция применения BIM-технологий в управлении социально-пространственным развитием региона/мегаполиса. Суть концепции заключается в том, что использование цифровых инструментов и BIM-технологий на разных стадиях предполагает учет временного лага действия документов стратегического и территориального планирования, возможности влияния на процесс принятия управленческого решения с точки зрения правового поля, целесообразности адаптации и корректировки принятых целевых ориентиров к сложившимся условиям, возможности учета мнения населения (зачастую достаточно разнонаправленного) при формировании дальнейших алгоритмов развития региона/мегаполиса. То есть, основными факторами, влияющими на возможность применения цифровых инструментов и BIM-технологий с целью контроля и корректировки происходящих процессов, является создание информационной системы, аккумулирующей информацию о состоянии среды в реальном времени, позволяющей разрабатывать альтернативные варианты развития социума и территории, целью которой является формирование условий для принятия управленческого решения на разных стадиях жизненного цикла региона/мегаполиса.

Проведенный автором анализ стратегий социально-экономического и пространственного развития российских и зарубежных мегаполисов [4–6] позволил выделить несколько важных направлений, в которых совместное использование цифровых платформ и инструмента BIM-технологий оправдано и целесообразно:

– направление стратегического социально-экономического развития мегаполиса, предполагающего создание базы данных по разнородным информационным слоям, определяющим реальное состояние развития социума и позволяющее выделить наиболее важные направления дальнейшего развития, сформировать целевые индикаторы качества жизни населения;

– направление пространственного развития мегаполиса, позволяющее создать базу данных по уровню развития территории, формированию благоприятных условий жизнедеятельности и позволяющее выделить наиболее важные направления развития территорий города и сформировать целевые индикаторы качества городской среды.

Два указанных направления – это, по сути, формирование системы контроля происходящих стратегических процессов, на основе которых возможны разработки альтернативных вариантов развития мегаполиса на перспективу.

Вместе с тем, необходимо отметить, что информация, создаваемая с помощью ВМ-технологий, позволяет проводить мониторинг хода реализации социально-экономического и пространственного развития городов и регионов. По сути, данные технологии позволяют осуществлять оперативный контроль развития территории региона/города, формировать базу данных достигнутого уровня качества жизни и качества городской среды.

ВМ-моделирование также должно основываться на глубокой концептуальной проработке различных аспектов развития городской среды и социума, подготовкой в рамках разработки документов территориального планирования и разработки проектно-планировочной документации картографических и текстовых материалов, формировании на основе статистических данных геоинформационных систем моделей развития города, подготовкой и разработкой различных программ и мероприятий.

### **Литература**

1. Данилина Н.В. Применение ВМ-технологий на стадии градостроительного проектирования // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 9. С. 48–52.
2. Носков Е. Ошибки исключат. Технологии информационного моделирования вписали в правовое поле // Российская газета, 29.10.2020. URL: <https://rg.ru/2020/10/30/v-rossii-bim-tehnologii-vpisali-v-pravovoe-pole.html> (дата обращения: 10.03.2021).
3. Акимова О.Е., Волков С.К., Кузлаева И.М. Формирование адаптивной методологии регионального развития в контексте концепции «Умный город» // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2020. № 52. С. 53–64. DOI: 10.17223/19988648/52/3.
4. What are Future cities? Origins, meanings and uses. Catapult Future Cities, Foresight. 2014. URL: [https://futurecities.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2015/10/What-are-Future-Cities\\_July2014.pdf](https://futurecities.catapult.org.uk/wp-content/uploads/2015/10/What-are-Future-Cities_July2014.pdf) (дата обращения: 10.03.2021).
5. German Indian Partnership for IT Systems. ACATECH 2014. 190 p.
6. Batty M. Model Cities // Town Planning Review. 2007. Vol. 78, No. 2. P. 125–151. DOI: 10.3828/tp.78.2.3.

УДК 004.946

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.027

**Салосин Александр Сергеевич**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: salosin.as@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-7519-2065*

**Кукина Анна Алексеевна**, ассистент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: kukina\_aa@spbstu.ru, ORCID: 0000-0003-4271-7408*

**Петроченко Марина Вячеславовна**, канд. тех. наук, доцент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: petrochenko\_mv@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-4865-5319*

Salosin Aleksandr Sergeevich, master student

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Kukina Anna Alekseevna, Assistant

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Petrochenko Marina Vyacheslavovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ VR- И AR-ТЕХНОЛОГИЙ И ОЦЕНКА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА**

### **ANALYSIS OF VR AND AR TECHNOLOGY CAPABILITIES AND ASSESSMENT OF THEIR APPLICATION IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

Данная статья посвящена анализу возможностей технологий виртуальной и дополненной реальности, а также оценке их применимости в сфере строительства. Работа основана на анализе литературных источников, описывающих применение изучаемых технологий в различных областях строительства, их преимущества, недостатки и границы применимости.

В результате исследования отмечено, что использование данных технологий в строительстве имеет множество преимуществ, когда как выявленные недостатки, границы применимости изучаемых технологий и сложности их реализации в большей степени касаются аппаратной и программной части и исправимы по мере внедрения и развития этих

технологий. Также по результатам оценки предполагается, что инвестиции в технологии VR и AR будут экономически целесообразными.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, дополненная реальность, строительство, BIM, имитационное моделирование.

This article analyzes the capabilities of virtual and augmented reality technologies, as well as evaluates their applicability in the construction industry. The study is based on the analysis of literary sources describing the application of the technologies in question in various areas of construction, as well as their advantages, disadvantages, and applicability limits.

As a result of the study, we note that the use of VR and AR in construction has a lot of advantages, while the identified shortcomings, applicability limits, and implementation issues are mostly related to hardware and software and can be fixed as the technologies are deployed and developed further. The assessment also suggests that investments in VR and AR will be economically viable.

*Keywords:* virtual reality, augmented reality, construction, Building Information Modeling, simulation modeling.

## **Введение**

В настоящее время современные программные решения позволяют передавать BIM-модели в виртуальную среду, что позволяет производить имитационное моделирование, а также взаимодействовать с моделями в интерактивной форме. Такие программные решения основываются на внедрении технологий виртуальной и дополненной реальности.

В строительной сфере данные технологии используются для таких целей, как взаимодействие с заинтересованными сторонами, оптимизация процесса проектирования, анализ проектов, помощь в процессе строительства, управление объектом и его эксплуатация, а также обучение работников.

Методы исследования заключаются в анализе литературных источников и практических примеров, описывающих применение технологий VR и AR для вышеуказанных целей. Целью работы является определение границ применимости, преимуществ и недостатков изучаемых технологий в сфере строительства, а также оценка целесообразности их применения на территории Российской Федерации.



## **1. Взаимодействие с заинтересованными сторонами**

Дополненную и виртуальную реальности можно использовать для взаимодействия с потенциальными клиентами или общественностью, чтобы обеспечить более реалистичное представление созданного проекта и получить более актуальную и информативную обратную связь [1]. Например, Du и др. представили многопользовательскую платформу VR, которая позволила клиентам, архитекторам, инженерам и генеральным подрядчикам взаимодействовать в единой среде VR, улучшая взаимодействие между заинтересованными сторонами [2].

Как показывают исследования, основными проблемами использования виртуальной реальности для взаимодействия с заинтересованными сторонами являются недостаточно удобный интерфейс, а также «ощущение изоляции». Основная проблема дополненной реальности заключается в недостаточных реалистичности моделей и эффекте погружения, что вызвано дрейфом (смещение положения объектов) и ненадежным отслеживанием местоположения и движения, нереалистичной яркостью виртуальных объектов, а также неточным наложением виртуальных объектов на большом расстоянии от пользователя.

## **2. Упрощение проектирования**

Виртуальная и дополненная реальность могут помочь проектировщикам сформулировать будущие результаты своих проектных решений. Например, Sandor и Klinker представили систему AR, которая помогает архитекторам совместно работать над виртуальной моделью, помещенной на стол [3].

Roach и Demirkiran [4] представили программное обеспечение для трехмерного моделирования с поддержкой VR. Авторы сообщили, что программное обеспечение для моделирования с поддержкой VR проще в освоении, более интуитивно понятно и позволяет моделировать быстрее, чем традиционные программы для трехмерного моделирования.

На основании исследований в данной области, основными проблемами использования VR и AR являются сложность передачи изменений в информационную модель здания, а также невозможность

записи презентаций и действий, выполненных при помощи данных технологий.

### **3. Анализ проектов**

AR и VR позволяют более эффективно анализировать проекты, легче выявлять проблемы и проще приходить к их решению. Например, Schubert и др. [5] представили основанную на AR систему для анализа и принятия решений в области городского проектирования. Представленная система объединяет физические модели и нарисованные от руки эскизы с виртуальными 3D-моделями на экране.

Berg и Vance [6] оценили эффективность использования VR для анализа проектов, проведя исследование с производственными инженерами в среде VR на основе проекций. Авторы сообщили, что участники получили лучшее понимание пространственных отношений между компонентами продукта, а также действий, необходимых для сборки продукта.

Проблемы, с которыми столкнулись авторы в своих исследованиях по данной теме, аналогичны проблемам, описанным в предыдущем пункте, связанном с процессом проектирования. Для их решения требуется двусторонняя бесшовная и автоматическая связь между моделями BIM, используемыми для строительства, и моделями AR и VR.

### **4. Помощь в процессе строительства**

VR позволяет осуществлять мониторинг прогресса строительных работ на площадке удаленно. Например, Pour Rahimian и др. [7] представили систему, которая позволяет наглядно отслеживать состояние зданий в виртуальной среде с использованием данных BIM и реальных изображений со строительных площадок.

Li и др. [8] представили обзор приложений AR и VR в области безопасности строительства, в котором определили три основных области применения: выявление опасностей, обучение и образование по вопросам безопасности, а также инспектирование и инструктаж по безопасности.

Nee и др. [9] представили примеры того, как AR может использоваться в строительном-монтажных работах. Наиболее часто

используемый подход – наложение информации о выполняемой задаче в поле зрения рабочего.

Существует ряд технических проблем, которые необходимо решить для использования AR в процессе строительства. Например, трудно обеспечить надежное распознавание объектов без маркеров. Также затруднения вызывают малое время автономной работы устройств и потенциально ограниченный доступ к Интернету на строительных площадках.

Проблемами для VR являются сложность управления различными источниками данных, используемыми на строительной площадке и для визуализации, отсутствие способов проверки данных мониторинга прогресса и, при использовании VR для дистанционного управления, задержки связи между строительной техникой и удаленным оператором.

## **5. Управление и эксплуатация**

AR имеет большой потенциал для помощи в эксплуатации и управлении зданием, поскольку может предоставить полезную информацию рабочим, которые эксплуатируют и обслуживают объекты. VR может обеспечить способ удаленного управления объектом в виртуальной среде. Комбинация обеих технологий может одновременно поддерживать полевых и удаленных офисных работников и улучшить совместную работу [10].

VR также может использоваться для обеспечения более точных сценариев бедствий и оценки последствий, например, для моделирования и оценки эвакуации внутри помещений в условиях пожара [11].

Согласно исследованиям, основные проблемы, с которыми сталкивается использование как AR, так и VR для управления объектами, – это отсутствие интеграции с другими системами управления объектами, низкая точность и скорость обновления информации в нескольких системах, а также сложность архивирования и повторного просмотра опыта AR и VR.

## **6. Обучение**

Технологии AR и VR могут снизить стоимость обучения за счет моделирования использования дорогостоящего оборудования,

моделирования опасных сред, снижения затрат на поездки, а также росту безопасности. Так, Sekizuka и др. [12] представили систему AR для обучения и оценки операторов гидравлических экскаваторов. В системе используются технологии, обеспечивающие опыт, аналогичный работе с настоящим экскаватором.

Zhao и Lucas [13] представили тренинг на основе виртуальной реальности, который обеспечивает виртуальную рабочую среду, в которой рабочие могут безопасно репетировать задачи, связанные с опасностью поражения электрическим током.

На основании вышеперечисленных научных работ можно выделить следующие проблемы использования виртуальной и дополненной реальности для обучения: нехватка экспертов для создания контента AR и VR, отсутствие систематизированных процессов оценки и отсутствие интеграции с существующими квалификационными стандартами.

## **7. Экономическая целесообразность применения на территории России**

В настоящее время экономические аспекты внедрения технологий VR и AR на территории России изучены недостаточно, отсутствуют расчеты экономического эффекта от их применения. Однако существуют российские исследования, говорящие о высокой экономической эффективности внедрения прочих цифровых технологий в сфере строительства. Например, И. М. Козлов [14] в своей работе выполнил оценку эффективности инвестиций в технологию BIM на примере проектной организации, выполняющей проектирование многоэтажного жилого дома. Автор пришел к выводу, что внедрение данной технологии экономически выгодно и при правильной работе окупается уже на ранней стадии.

Кроме того, в российской строительной отрасли существует тенденция по расширению внедрения изучаемых технологий. Например, все больше российских строительных компаний внедряют VR-туры, чтобы нарастить объемы продаж еще не построенного жилья. По результатам исследований «Баркли» и VRTech, более 80 % покупателей отмечают, что VR-контент помог им принять решение о покупке и лучше понять планировку квартиры на стадии котлована [15].

Также существуют предварительные оценки экономической целесообразности будущего развития технологий VR и AR в строительной отрасли на территории России. Например, в дорожной карте [16] высказано предположение, что развитие специализированных VR/AR-систем может сократить затраты на обслуживание оборудования, сократить число ошибок и простоев (до 30 %), сроки проектирования (на 30–50 %), а также сроки согласования и строительства объектов (на 7–30 %), что в конечном итоге позволит сэкономить значительные средства.

### **Выводы**

В статье была проанализирована литература по теме VR- и AR-технологий, опыте их применения в различных сферах строительства, их преимуществах, недостатках и трудностях, связанных с их внедрением и использованием. В результате анализа можно отметить, что использование данных технологий в строительстве имеет множество преимуществ, таких как: более реалистичное представление проектов для улучшения взаимодействия с заинтересованными сторонами, простота освоения и интуитивность, возможность удаленных обследований и мониторинга объектов, возможности по обучению работников и помощи им в процессе выполнения работ и т. д. Выявленные недостатки, границы применимости и сложности реализации изучаемых технологий касаются рисков при их внедрении, а также недостатков в программной и аппаратной части, исправимых по мере распространения и развития данных технологий.

Также стоит отметить, что экономические аспекты внедрения данных технологий в строительной сфере недостаточно изучены, особенно на территории Российской Федерации. Однако существуют примеры успешного с экономической точки зрения внедрения других современных информационных технологий в сфере строительства, например, информационного моделирования зданий. Более того, опыт применения изучаемых технологий в России расширяется, а также появляются положительные прогнозные оценки экономической целесообразности их внедрения.

Все вышесказанное позволяет предположить, что инвестиции в технологии VR и AR будут экономически эффективными и целесообразными.

### **Литература**

1. Grudzewski F., Awdziej M., Mazurek G., Piotrowska K. Virtual Reality in Marketing Communication – the Impact on the Message, Technology and Offer Perception – Empirical Study // *Economics and Business Review*. 2018. Vol. 4(18), No.3. P. 36–50. DOI: 10.18559/ebr.2018.3.4.
2. Du J., Zou Z., Shi Y., Zhao D. Zero latency: real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making // *Automation in Construction*. 2018. Vol. 85. P. 51–64. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.10.009.
3. Sandor C., Klinker G. A rapid prototyping software infrastructure for user interfaces in ubiquitous augmented reality // *Personal and Ubiquitous Computing*. 2005. Vol. 9. P. 169–185. DOI: 10.1007/s00779-004-0328-1.
4. Roach D.M., Demirkiran I. Computer aided drafting virtual reality interface // 2017 IEEE/AIAA 36th Digital Avionics Systems Conference. 2017. P. 1–13. DOI: 10.1109/dasc.2017.8102142.
5. Schubert G., Schattel D., Tönnis M., Klinker G., Petzold F. Tangible Mixed Reality On-Site: Interactive Augmented Visualisations from Architectural Working Models in Urban Design // *Communications in Computer and Information Science*. 2015. Vol. 527. P. 55–74. DOI: 10.1007/978-3-662-47386-3\_4.
6. Berg L.P., Vance J.M. An Industry Case Study: Investigating Early Design Decision Making in Virtual Reality // *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. 2017. Vol. 17, No. 1. P. 011001. DOI: 10.1115/1.4034267.
7. Pour Rahimian F., Seyedzadeh S., Oliver S., Rodriguez S., Dawood N. On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning // *Automation in Construction*. 2020. Vol. 110. P. 103012. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.103012.
8. Li X., Yi W., Chi H.-L., Wang X., Chan A.P.C. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety // *Automation in Construction*. 2018. Vol. 86. P. 150–162. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.11.003.
9. Nee A.Y.C., Ong S.K., Chryssolouris G., Mourtzis D. Augmented reality applications in design and manufacturing // *CIRP Annals*. 2012. Vol. 61, No. 2. P. 657–679. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.05.010.
10. El Ammari K., Hammad A. Remote interactive collaboration in facilities management using BIM-based mixed reality // *Automation in Construction*. 2019. Vol. 107. P. 102940. DOI: 10.1016/j.autcon.2019.102940.
11. Cao L., Lin J., Li N. A virtual reality based study of indoor fire evacuation after active or passive spatial exploration // *Computers in Human Behavior*. 2019. Vol. 90. P. 37–45. DOI: 10.1016/j.chb.2018.08.041.

12. Sekizuka R., Koiwai K. Saiki S. Yamazaki Y. Tsuji T., Kurita Y. A virtual training system of a hydraulic excavator using a remote controlled excavator with augmented reality // 2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration. 2017. P. 893–898. DOI: 10.1109/SII.2017.8279336.
13. Zhao D., Lucas J. Virtual reality simulation for construction safety promotion // International Journal of Injury Control and Safety Promotion. 2015. Vol. 22. P. 57–67. DOI: 10.1080/17457300.2013.861853.
14. Козлов И.М. Оценка экономической эффективности внедрения информационного моделирования зданий // Архитектура и современные информационные технологии. 2010. № 1(10). С. 1–6.
15. Ятлук Л. Технологии VR: как использовать в строительстве и недвижимости? URL: <https://modumlab.com/blog/building> (дата обращения: 02.03.2021).
16. Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Технологии виртуальной и дополненной реальности» от 10.10.2019.

**УДК 691:004.94:502**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.028

**Свириденко Вадим Андреевич**, магистрант

(Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* vadvirid@list.ru, *ORCID:* 0000-0002-5557-8112

**Романович Марина Александровна**, канд. техн. наук, доцент

(Санкт–Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* p198320@yandex.ru, *ORCID:* 0000-0003-1608-2883

Sviridenko Vadim Andreevich, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)  
Romanovich Marina Alexandrovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ ЗДАНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА ОСНОВЕ МЕТОДА LCA**

### **LCA-BASED METHOD OF REDUCING THE NEGATIVE IMPACT OF BUILDING MATERIALS ON THE ENVIRONMENT**

Рассмотрен метод проведения оценки жизненного цикла здания, приведены показатели воздействия LCA. В качестве исходных данных была создана 3D модель секции жилого дома и заданы основные параметры для измерения показателей. Проведен анализ исходных строительных материалов, выявлены самые негативно воздействующие на окружающую среду. Проведена оценка жизненного цикла, найдена социальная стоимость, углеродный след, потенциал подкисления почв, потенциал эвтрофикации и потенциал озонового истощения. Методом сравнительного анализа различных материалов двух идентичных зданий выявлены особенности подбора альтернативных материалов с менее негативным воздействием, создана структура низкоуглеродного здания. Представлены результаты сокращения выделения вредных веществ, социальной стоимости углерода и повышения категории здания по углеродным выбросам.

*Ключевые слова:* жизненный цикл здания, углеродный след, строительные материалы, социальная стоимость углерода, CML, LCA.



The paper considers the main methods of life cycle assessment (LCA) and provides LCA impact indicators. As reference data, we created a 3D model of a residential building's section, setting the main parameters for measuring indicators. We analyzed the initial building materials that have the most negative impact on the environment. We also assessed the life cycle, the social cost, the carbon footprint, the soil acidification potential, the eutrophication potential, and the ozone depletion potential. By comparing two identical buildings with different materials, we identify the specifics of finding alternative materials with a low negative impact, in addition to creating the structure of a low-carbon building. The results of the study include the reduction of harmful emissions and the social cost of carbon as well as the improvement of the building's carbon footprint category.

*Keywords:* building life cycle, carbon footprint, building materials, social cost of carbon, CML, LCA.

Жизненный цикл (life cycle) представляет собой поочередные и взаимосвязанные стадии системы жизненного цикла продукции от приобретения или производства из природных ресурсов или исходных материалов до окончательного размещения в окружающей среде. Оценка жизненного цикла (life cycle assessment (далее – это LCA)) основана на поиске данных, оценке входных, выходных параметров, а также возможности контроля воздействий на окружающую среду [1]. Принимаются во внимание все аспекты, которые касаются окружающей среды, здоровья человека и истощения ресурсов [2]. Предполагается, что LCA может быть полезным инструментом в управлении проектом, так как результаты расчёта могут показать альтернативные варианты строительных материалов и их производителей. Как правило, результаты LCA не привязаны к конкретному месту и предоставляют информацию в форме потенциального воздействия на окружающую среду [3].

Для проведения данного исследования используется программное обеспечение One Click LCA, которое измеряет показатели жизненного цикла зданий, позволяет рассчитывать оценку жизненного цикла, стоимость жизненного цикла, углеродный след и другие воздействия на окружающую среду. One Click LCA можно использовать для низкоуглеродного строительства, экодизайна, экологического строительства и инфраструктуры. Это программное обеспечение имеет наивысший рейтинг BREEAM, оно соответствует более чем 40 схемам сертификации экологического

строительства, включая LEED. BREEAM и LEED – системы сертификации зданий, регламентирующие реализацию проектов по определённым нормам и правилам [4].

Оценка показателей воздействия жизненного цикла проводится по различным методикам, наиболее используемая это CML (Centre for Milieukunde, Лейден) [5]. В основе методики CML лежит европейский набор экологических индикаторов, используемых в исследованиях для оценки срока эксплуатации (LCA). Данная методика отражает воздействие деятельности человека на окружающую среду, показывает количественную оценку влияния различных веществ и газов, социальную стоимость углерода [6]. Социальная стоимость углерода является оценкой экономических убытков, которые могут возникнуть в результате выбросов одной дополнительной тонны парниковых газов в атмосферу. Так же рассматривает последствия изменения климата в денежном эквиваленте.

За основу исследования была взята модель, выполненная в программе Autodesk Revit 2020, секции четырёхэтажного жилого дома со стандартным набором материалов (рис. 1).



Рис. 1. Модель секции четырёхэтажного жилого дома

Одно из основных условий правильности расчётов – заполнение слоёв и указание их толщин. На примере кровельного пирога рассмотрим корректную структуру слоев (рис. 2).

Family: Floor  
 Type: АР-КРОВЛЯ-280  
 Total thickness: 280.0 (Default)  
 Resistance (R): 0.0000 (m<sup>2</sup>·K)/W  
 Thermal Mass: 0.00 kJ/K

Layers						
	Function	Material	Thickness	Wraps	Structural Material	Variable
1	<b>Core Boundary</b>	<b>Layers Above Wrap</b>	<b>0.0</b>			
2	Finish 2 [5]	Гидроизоляция	10.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Substrate [2]	Стяжка ЦПР	50.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Thermal/Air Layer [3]	Керамзит	20.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Substrate [2]	Руф Баттс В	40.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Substrate [2]	Руф Баттс Н	160.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	<b>Core Boundary</b>	<b>Layers Below Wrap</b>	<b>0.0</b>			

Insert Delete Up Down

Рис. 2. Кровельный пирог


Для каждого слоя прописывается индивидуальное наименование материала и толщина, название утеплителя для кровли имеет один вид, для стен другой.

Экспорт происходит с помощью плагина One Click LCA Re-  
 vit plugin version 2.2.0.0. Экспортируемые данные состоят из материалов модели и их объёмов. В соответствии с проектом каждому слою присваивается конкретный материал, заложенный в базе данных One Click LCA. На примере фасадного утеплителя (рис. 3), отражаются все необходимые свойства и регламентирующий стандарт EN 15804:2012, который заложен в основе данной базы.

Расчёт годового энергопотребления происходит на основании распоряжения Комитета по тарифам Санкт-Петербурга от 09.09.2015 № 97-р (в ред. Распоряжения от 08.07.2016 № 83-р) и равен 34975 кВт в год [7].

Следующим шагом проводится оценка воздействия строительных материалов на окружающую среду. По собранным данным подводятся итоги оценки негативного воздействия строительных материалов и количества вредных веществ. Важность каждой

категории воздействия и каждой фазы жизненного цикла оценивается с целью выявления наиболее и наименее влияющих элементов. Процесс включает ассоциацию данных инвентаризации с конкретными воздействиями на окружающую среду. По нормативной документации фасадный утеплитель RockWool выделяет 196,42 kg CO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup> [8], производство входных данных на данный показатель и даёт результат воздействия.



**Rock wool insulation panels, unfaced, generic, L = 0.037 W/mK, R = 2.70 m<sup>2</sup>K/W (15 ft<sup>2</sup>Fh/BTU), 150 kg/m<sup>3</sup> (9.36 lbs/ft<sup>3</sup>) (applicable for densities: 100-150 kg/m<sup>3</sup> (6.24-9.36 lbs/ft<sup>3</sup>)), Lambda=0.037 W/(m.K)** ☆ 📄

[Add to input](#) [Download EPD](#)

[Show empty rows](#)

▼ General information	
Country	Russia
Material type	Rock wool insulation
▼ Datapoint background information	
EPD program	One Click LCA
Year	2018
Product Category Rules (PCR)	EN15804
Standard	EN15804
Data source	One Click LCA
Upstream database	ecoinvent










Рис. 3. Свойства фасадного утеплителя базы данных One Click LCA

Результаты расчёта выводятся в список с ранжированием по наибольшему влиянию (табл. 1). Красным облачком выделены материалы, которые имеют высокое негативное воздействие, но при этом существует экологичный аналог на рынке,

выделенный зелёным облачком, аналог со средним показателем – оранжевое облачко.

Таблица 1

**Ранжирование материалов по наибольшему влиянию на окружающую среду**

Ресурс		Влияние, tons CO <sub>2</sub> e
Ready-mix concrete, normal strength, generic		282
Waterproofing membrane		86
Bricks		62
Rock wool insulation panels, unfaced, generic		43
Ready-mix concrete, low-strength, generic		27
Leveling screed and render		25
Expanded clay hollow concrete block partition wall		18
Fire-resistant Insulating Glass Unit (IGU), double glazed		16
Dispersion silicate plaster		13

Следующей задачей является подбор материалов с одинаковыми свойствами, но с меньшим уровнем экологического воздействия (табл. 2) (отражены только материалы с наибольшим воздействием).

Таблица 2

**Подбор материалов с меньшим уровнем экологического воздействия**

Материалы используемы по ТЗ	Подобранные материалы
Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30 (3600/4400 PSI), with CEM I, 0 % recycled binders (280 kg/m <sup>3</sup> ; 17,5 lbs/ft <sup>3</sup> total cement) 274,71 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	Ready-mix concrete, normal strength, generic, C25/30 (3600/4400 PSI) with CEM III/A, 60 % GGBS content (280 kg/m <sup>3</sup> ; 18,7 lbs/ft <sup>3</sup> total cement) 145,69 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>
Bricks, NF with holes & solid, RF (Wienerberger) 1600 kg/m <sup>3</sup> 471,92 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	Clay bricks, perforated and unperforated, (Wienerberger) 1600 kg/m <sup>3</sup> 264,16 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>
Rock wool insulation panels, unfaced, generic, L = 0,037 W/mK, R = 2,70 m <sup>2</sup> K/W 100–150 kg/m <sup>3</sup> (RockWool) 196,42 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	Rock wool insulation panel for ETICS façade, L = 0,037 W/mK, 40–200 mm, 135–145 kg/m <sup>3</sup> , (KNAUF) 153,0 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>
Leveling screed and render, 20 mm, 34 kg/m <sup>2</sup> , 1700 kg/m <sup>3</sup> , Vetonit 3400 (Saint Gobain) 863,0 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	Floor levelling screed, cement based, 10–100 mm (Proplan) 2000,0 kg/m <sup>3</sup> 342,0 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>

На последнем шаге идёт замена исходных материалов на аналоги с наименьшим негативным экологическим воздействием. Проводится анализ и критический обзор данных двух идентичных зданий с различными используемыми материалами.

Замена материалов позволила достичь следующих результатов:

1. Снижение выбросов CO<sub>2</sub> и социальной стоимости углерода на 18 % (табл. 3).

2. Повышение категории здания с С на категорию А и снижение выбросов углерода от материалов на 40 % (рис. 4). Классификация по категориям здания рассчитывается исходя из количества килограмм углерода на метр квадратный и присваивается плагинном на основании проведённых расчётов.

Таблица 3

**Выбросы CO<sub>2</sub> и социальная стоимость углерода до и после замены стройматериалов**

	До	После
Выбросы CO <sub>2</sub> , tons CO <sub>2</sub> e	1698	1384
Социальная стоимость углерода, €	84897	69185

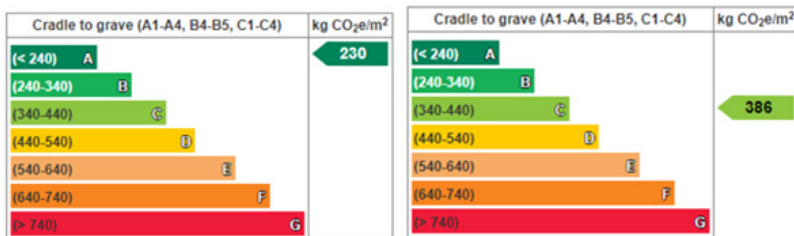


Рис. 4. Категории здания до и после замены стройматериалов

3. Снижение выбросов углерода жизненного цикла здания на 18 % (GWP) (рис. 5). Первоначальное значение – 1697933 кг CO<sub>2</sub>e, после подбора – 1383709 кг CO<sub>2</sub>e.

4. Снижение потенциала подкисления почв на 14 % (AP) (рис. 5). Первоначальное значение – 5241 кг. SO<sub>2</sub>e, после подбора – 4505 кг SO<sub>2</sub>e.

5. Снижение потенциала эвтрофикации на 26 % (EP) (рис. 5). Первоначальное значение – 990 кг PO<sub>4</sub>e, после подбора – 724 кг PO<sub>4</sub>e.

6. Снижение потенциала озонового истощения на 21 % (POCP) (рис. 5). Первоначальное значение – 325 кг. Ethenee, после подбора – 256 кг Ethenee.

7. Снижение истощения невозобновляемых энергетических ресурсов на 8 % (рис. 5). Первоначальное значение – 23702851 MJ, после подбора – 21774492 MJ.

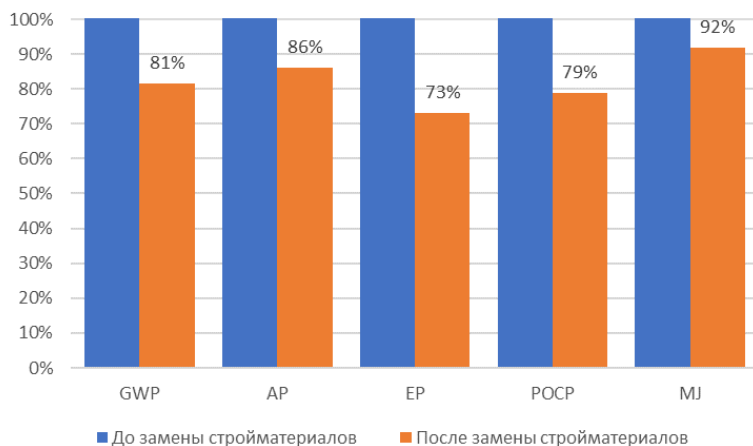


Рис. 5. Категории оценки жизненного цикла

## Литература

1. ГОСТ Р ИСО 14040:2006. Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура. 2010. 3 с.
2. Buyle M., Braet J., Audenaert A. Life cycle assessment in the construction sector: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 26. P. 379–388. DOI: 10.1016/j.rser.2013.05.001.
3. Moberg Å. *Environmental systems analysis tools for decision-making*. Stockholm. 2006. 56 p.
4. Турчанинова А.А., Притужалова О.А., Зелёное строительство в России // Актуальные проблемы обеспечения устойчивого развития Тюменского региона: материалы 70-й студенческой научной конференции. Тюмень: ТГУ, 2019. С. 124–134.
5. Gabathuler H. The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA // *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2006. Vol. 11. P. 127–132. DOI: 10.1065/lca2006.04.021.
6. Юганова Т.И. Методология экологической оценки жизненного цикла твердых коммунальных отходов. Основные положения и примеры применения // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2020. № 5. С. 3–23. DOI: 10.31857/S0869780920050094.
7. Распоряжением Комитета по тарифам Санкт–Петербурга от 09.09.2015 № 97-р (в ред. Распоряжения от 08.07.2016 № 83-р) на территории



Санкт-Петербурга установлены следующие нормативы потребления коммунальной услуги по электроснабжению в многоквартирных домах и жилых домах. URL: [http:// https://www.pes.spb.ru/for\\_customers/electricity\\_tariffs/standards\\_of\\_energy\\_consumption\\_by\\_spb/](http://https://www.pes.spb.ru/for_customers/electricity_tariffs/standards_of_energy_consumption_by_spb/) (дата обращения: 20.02.2021).

8. EN 15804:2012+A1:2013. Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products. 2013. 3 p.

**УДК 624.046**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.029

**Ступишин Леонид Юлианович**, канд. техн. наук, профессор  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail:* [lusgsh@yandex.ru](mailto:lusgsh@yandex.ru), *ORCID:* 0000-0002-1794-867X

**Никитин Константин Евгеньевич**, канд. техн. наук, доцент  
(Юго-Западный государственный университет)

*E-mail:* [niksbox@yandex.ru](mailto:niksbox@yandex.ru), *ORCID:* 0000-0002-8003-4299

Stupishin Leonid Yulianovich, PhD of Sci. Tech., Professor  
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)  
Nikitin Konstantin Evgenyevich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(South-West State University)

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КРИТИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ**

### **A COMPUTER SYSTEM FOR STRUCTURAL ANALYSIS BASED ON THE CRITICAL ENERGY LEVELS METHOD**

В рамках применения BIM-технологии на этапах проектирования или реконструкции сооружений, рассматривается новый подход к анализу сооружений, основанный на методе критических уровней энергии. Этот подход отличается от общепринятого подхода с использованием расчетных комплексов, основанных на методе конечных элементов. Он позволяет комплексно осуществлять анализ сооружений, и выявлять элементы или узлы, в которых наступает предельное состояние. Представлена модульная компьютерная система,

позволяющая проводить анализ расчетных схем сооружений методом критических уровней энергии, подготавливать необходимые для этого исходные данные, и отображать результаты. Приводятся примеры решения тестовых задач.

*Ключевые слова:* анализ сооружений, несущая способность конструкций, предельное состояние конструкций, критерий критических уровней энергии, экстремальное состояние конструкций.

As part of applying the BIM technology at the stages of designing or reconstructing various structures, we consider a new approach to structural analysis based on the critical energy levels method. This approach differs from the generally accepted approach, which uses calculation complexes based on the finite element method. Using this approach, it is possible to perform comprehensive structural analysis and identify elements or nodes where the limit state occurs. This study presents a modular computer system that can be used to analyze the design schemes of structures by using the critical energy levels method. It includes modules for preparing the necessary source data and displaying the results. Examples of solving test problems are also provided in the paper.

*Keywords:* structural analysis, bearing capacity of structures, limit state of a structure, critical energy levels criterion, extreme state of a structure.

После того, как Правительство РФ и Минстрой РФ приняли план внедрения в строительную отрасль технологий информационного моделирования, и были выбраны пилотные проекты в сфере технологий информационного моделирования зданий в области промышленного и гражданского строительства, прошло немногим более пяти лет. С 1 марта 2018 года вступили в действие ряд СП серии «Информационное моделирование в строительстве». Работа ведется быстрыми темпами [1–4], но все равно имеется отставание от британских и китайских коллег [5, 6]. По этой причине, вопросы развития и использования на практике технологий и методов BIM в отечественной отрасли остаются очень актуальными до сих пор.

Работа с BIM уже реализована в ряде программных комплексов. Однако утверждать, что они удовлетворяют всему разнообразию задач, решаемых на стадиях проектирования или реконструкции сооружений проектировщиками, не приходится. Это связано с многопрофильностью этих работ и недостаточной разработанностью программного обеспечения для частных задач, встающих в процессе проектирования.

Настоящая работа посвящена вопросам проектирования несущих конструкций зданий, а также мониторинга в процессе их эксплуатации. В ходе проектирования многих объектов обычно необходимо предусмотреть методы защиты конструкций ответственных зданий от прогрессирующего разрушения. Предлагается методика определения «слабого звена» в конструкции здания (сооружения), реализованная в программном комплексе «CLE» авторским коллективом.

В основе методики лежит новый подход к выявлению элементов несущей конструкции здания (сооружения), в которых предельное состояние наступит в первую очередь (отсюда и название задачи о поиске «слабого звена»). Алгоритм расчета позволяет с единых методологических позиций, комплексно оценить возможность наступления предельных состояний, и выявить «слабые звенья» сооружения, в которых возможно наступление предельных состояний. Это подход основывается на использовании метода критических уровней энергии [7–10].

Разработанная авторами компьютерная система для анализа сооружений имеет модульную структуру и включает в себя модули: подготовки исходных данных (препроцессоры), вычислительный модуль, и модули вывода результатов и осуществления дополнительных расчетов (постпроцессоры).

Алгоритмы построения разрешающих систем уравнений метода критических уровней энергии используют подходы, и структуры сходных данных, аналогичные применяемым в конечно-элементных комплексах. Это позволяет осуществлять подготовку исходных данных привычным образом для работающих в таких комплексах специалистов, так же, как и в популярных конечно-элементных комплексах. Объектно-ориентированные модули позволяют удобным для рядового инженера образом организовывать сравнительные расчеты. Осуществлять импорт/экспорт данных для взаимодействия с существующими конечно-элементными комплексами и другими системами проектирования в рамках BIM.

Модули подготовки исходных данных системы формируют необходимый массив исходных данных, а также имеют средства их контроля в табличном или графическом виде.

Вычислительный модуль системы осуществляет формирование разрешающей системы уравнений и решение задачи на собственные значения математической модели проекта, построенной по методике МКЭ на теоретической базе критерия критических уровней энергии. В этом модуле реализован пошаговый алгоритм выявления и исключения элементов, в которых выявлено предельное состояние. Анализ расчетной схемы сооружения с использованием этого алгоритма ведется вплоть до момента превращения сооружения в геометрически изменяемую систему, что позволяет оценить живучесть здания (сооружения).

Модули вывода результатов системы позволяют обрабатывать результаты вычислений, формировать результаты анализа в виде, позволяющем экспортировать их в другие объектно-ориентированные модули ВМ, а также выводить их на экран как в текстовом, так и графическом виде.

Для формирования систем уравнений в форме, необходимой для решения задач расчета проектируемых зданий методом критических уровней энергии, применяются алгоритмы, имеющие такую же методологическую основу, как и в известных математических пакетах, апробированных в конечно – элементных комплексах. Для формирования расчетных схем могут быть использованы типовые элементы: для шарнирно-стержневых систем, балочного типа, элементы пластин и оболочек, объемные элементы и т. д.

Достоверность и точность результатов, формируемых системой, оценивалась путем решения ряда тестовых задач. Ниже приведены некоторые результаты (рис. 1–3) для одной из тестовых конструкций, взятой из [11].

На первом этапе программа проверяет геометрическую неизменяемость расчетной схемы, построенной после ввода данных. Формирует матрицы внешней жесткости (податливости) в зависимости от выбора формулировки МКЭ модели. Методами матричной строительной механики определяются главные возможные обобщенные перемещения (усилия).

После варьирования перемещений в узлах получаем схему распределения усилий в системе, по которой выявляем «слабые звенья». На рис. 2 показано распределение усилий в ферме,

формирующееся при появлении узловых внешних воздействий. Для удобства оно представлено в нормированном по наибольшей величине виде. Первым в предельное состояние придет стержень № 10 или стержень № 11.

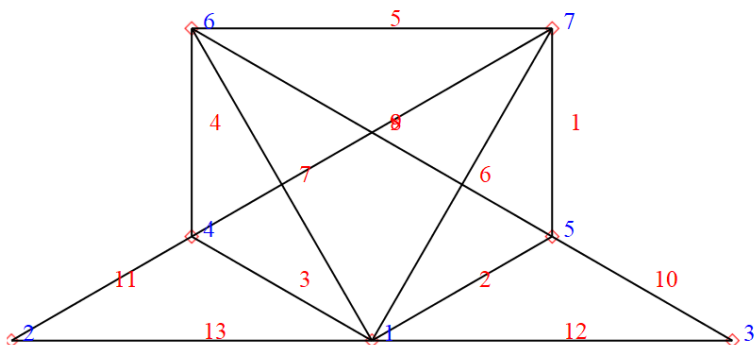


Рис. 1. Разделение на узлы и элементы расчетной схемы сооружения

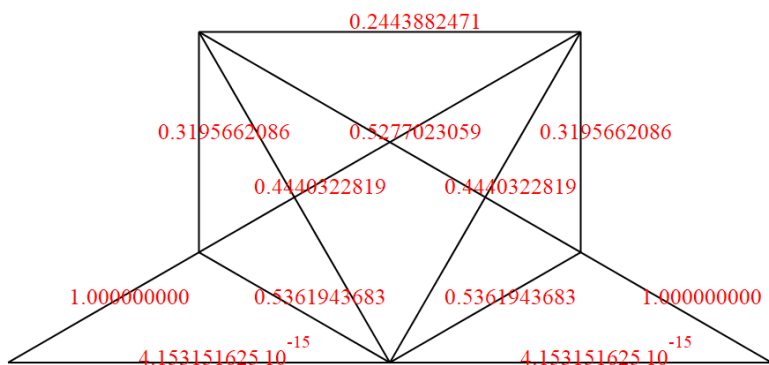


Рис. 2. Нормированные усилия в стержнях, полученные при действии единичных сил в направлении главных степеней свободы

Далее система анализирует геометрическую неизменяемость расчетной схемы. Если система стала изменяемой, проектировщик

принимает решение о изменении расчетных параметров системы, с тем, чтобы достигнуть целей проектирования в сложившихся условиях.

Если система остается неизменяемой, а проектировщика на данном этапе расчета интересует последовательность выключения стержней из работы до момента превращения системы в изменяемую (рис. 3), то расчет продолжается в соответствии с использовавшимся ранее алгоритмом. Полученная в результате решения информация может быть использована в целях обеспечения защиты от прогрессирующего обрушения конструкций.

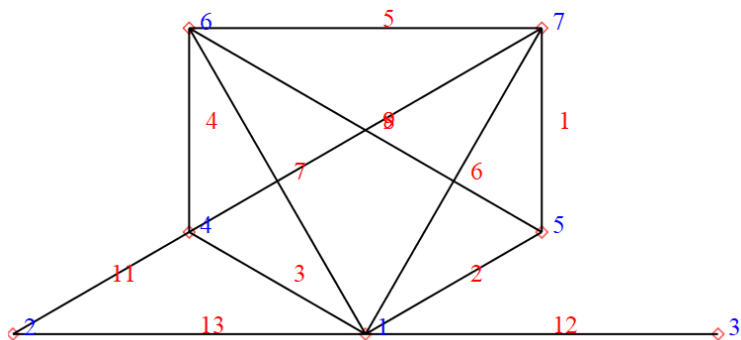


Рис. 3. Конечный этап анализа – исключение элемента, в котором возникло предельное состояние, и образование геометрически изменяемой системы

Двумя аспектами применения объектно-ориентированного модуля ВМ проектирования предложенная методика не ограничивается. Программные модули могут служить решению таких важных для проектировщика задач, как:

- оценке текущего состояния в процессе мониторинга эксплуатируемой конструкции;
- определению остаточного ресурса несущей способности конструкции на различных этапах жизненного цикла здания

(сооружения), в том числе после аварийных и других непроектных воздействий;

– регулированию усилий в существующей конструкции с целью избегания предельных состояний в выбранных элементах системы;

– созданию «smart structures», т. е. несущих систем «подстраивающихся» под непроектную нагрузку, или с управлением величинами внутренних усилий в элементах системы по заданной программе.

### Литература

1. Перцева А.Е., Волкова А.А., Хижняк Н.С., Астафьева Н.С. Особенности внедрения BIM технологии в отечественные организации // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Т. 9, № 6. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/58EVN617.pdf> (дата обращения: 15.02.2020).

2. Гурьева Ю.А. BIM-технологии в строительном комплексе: зарубежный и отечественный опыт // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Материалы III Международной научно-практической конференции. 2020. С. 60–68. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.006.

3. Лукьянов А.И., Пириева С.Ю., Черняев В.В., Крючков А.А. Зарубежный опыт развития и использования информационного моделирования зданий // Образование, наука, производство. VIII Международный молодежный форум. Белгород, 2016. С. 1416–1420.

4. Киевский И.Л., Крутяков А.Ю., Иванова О.А., Читаев А.Ю., Мыкитив И.П. Опыт использования отечественных и импортных BIM-продуктов при проектировании жилых зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 11. С. 42–48. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.11.42-48.

5. Скворцов А.В. Обзор международной нормативной базы в сфере BIM // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2016. № 2(7). С. 4–48. DOI: 10.17273/CADGIS.2016.2.1.

6. Доможирова Е.А., Степанова Ю.С., Винидиктова М.Е. Преимущества BIM технологий на примере китайского опыта // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/preimuschestva-bim-technologie-na-primere-kitayskogo-opyta/viewer> (дата обращения: 12.02.2020).

7. Ступишин Л.Ю., Пучнин С.С. Автоматизированная система управления, хранения и обработки данных о строительстве, эксплуатации и мониторинге состояния зданий, сооружений и городской застройки // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 4. С. 21–23.

8. Ступишин Л.Ю. Предельное состояние строительных конструкций и критические уровни энергии // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 102–106.

9. Ступишин Л.Ю. Оценка состояния несущих конструкций зданий и сооружений: ресурс несущей способности конструкций с дефектами // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С. 39–44.

10. Stupishin Y.L., Moshkevich L.M. Comparative analysis of buckling criteria for engineering structures: Multi-degree system // Journal of Applied Engineering Science. 2018. Vol. 16. No. 1. P. 28–31. DOI: 10.5937/jaes16-14659.

11. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с.

**УДК 721.02**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.030

**Терех Максим Дмитриевич**, канд. техн. наук, доцент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* [m\\_terekh@mail.ru](mailto:m_terekh@mail.ru), *ORCID:* 0000-0002-8725-5764

**Донова Дарья Игоревна**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* [donova.di@edu.spbstu.ru](mailto:donova.di@edu.spbstu.ru), *ORCID:* 0000-0002-1612-2745

Terekh Maksim Dmitrievich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Donova Daria Igorevna, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ЖИЛОЙ СРЕДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА**

### **PROSPECTS OF DEVELOPING FUNCTIONAL PLANNING SOLUTIONS FOR THE RESIDENTIAL ENVIRONMENT USING GENERATIVE DESIGN**

Застройщики стремятся обеспечить доступным жильем граждан, используя возможности применять минимально-допустимые нормы, в то время как представление потребителей, в особенности семей, о комфортности жилой среды значительно отличается. Сравнивая планировочные решения



русского жилого фонда с зарубежным, можно выделить минимальное число функциональных зон, а также меньшие площади жилой ячейки. В статье рассматривается модернизация планировочных решений типовых жилых зданий с применением BIM-технологий и генеративного дизайна, которые позволят ускорить процесс создания типовой застройки, а также сформировать алгоритм создания различных планировочных решений с учетом пожеланий и нужд населения.

*Ключевые слова:* проектирование, функционально-планировочные решения, функциональное зонирование, типовая застройка, BIM-технологии, генеративный дизайн.

Developers strive to provide people with affordable housing by using the opportunities to apply the minimum permissible standards. However, the ideas of consumers (and especially families) of what makes the residential environment comfortable differ significantly. By comparing the planning solutions in the Russian housing stock with foreign ones, we can distinguish a minimum number of functional zones, as well as smaller areas of a residential cell. The article discusses how the planning solutions for typical residential buildings can be modernized with BIM technologies and generative design, which will accelerate the process of creating a standard building, as well as help to form an algorithm for creating various planning solutions, taking into account the wishes and needs of the population.

*Keywords:* design, functional planning solutions, functional zoning, standard development, BIM technologies, generative design.

Особенностью типовой застройки в современной России является многоэтажность, типовая архитектура, серийность. В основном многоквартирные дома имеют секционную, галерейную или коридорную структуру, с целью разместить на этаже большое количество квартир. Если рассматривать планировочные решения русского жилого фонда, то можно отметить популярность двух- и трехкомнатных квартир малой площади одновременно с ограниченным количеством функциональных зон.

На сегодняшний день для здорового и благоприятного проживания жителей городов актуальным и важным аспектом является расположение жилых кварталов вблизи с объектами социальной инфраструктуры – детскими садами, поликлиниками, школами, магазинами. Одновременно решением многих проблем современных агломераций, объединённых в многокомпонентную динамическую систему, является озеленение придомового участка,

наличие парковочных мест, транспортная доступность. При этом качественно спроектированная планировка квартиры также играет ключевую роль. Функциональность зонирования пространства позволяет грамотно и рационально использовать имеющееся пространство.

Современные архитекторы и проектировщики отмечают возможность проектирования жилых зданий с комфортабельными квартирами без значительного увеличения стоимости за квадратный метр площади. На сегодняшний день преимущественно в России строительство типового жилья ведется с использованием низкокачественных строительных материалов и упрощения планировочных решений здания.

Анализируя опыт зарубежных стран, можно отметить перспективные подходы проектирования зданий для комфортного проживания жильцов в современных жилых кварталах.

Одним из решений благоприятного влияния жилой зоны на эмоциональное и психическое состояние граждан является средняя этажность городской застройки. В России большинство жилых зданий являются высотными, выше семи этажей. В то время как массовое строительство за рубежом предлагает снижение этажности, что позволяет повысить уровень освещенности улиц и дворов, а также облегчить создание рекреационно-оздоровительных и спортивно-игровых зон каждого жилого двора, придав определенную эстетику и индивидуализацию в целом.

Сейчас массовое строительство разрабатывается на основе минимально-допустимых нормативных требований, а индивидуальность проекта определяется не архитектурными и объемно-планировочными решениями, а цветовыми решениями фасадов и расположением балконов и лоджий. Поэтому стоит уделить внимание индивидуальности планировочных решений с помощью расширения номенклатуры помещений и функционального зонирования жилой зоны.

Функциональность зонирования заключается в разделении пространства под определенные задачи: зона отдыха, приема гостей, рабочая (кабинет), хозяйственно-бытовая зона, а также

пространство для детей, с учетом особенностей их возраста и пола. Развитая система санитарных и вспомогательных помещений предполагает наличие гардероба, прачечной и кладовой, а также гостевого санитарного узла в трех- и более комнатной квартире.

При проектировании жилья для многодетных семей применение метода вертикального (поэтажного) зонирования является отличной альтернативой проживания в односемейном доме [1]. Так на первом этаже размещаются общесемейные помещения квартиры – кухня-гостиная, гостевой туалет, кладовая-постирочная, а также спальня родителей с гардеробной и ванной комнатой. На втором этаже – жилые комнаты (спальни), гигиенический блок и игровые для детей в соответствии с возрастом и полом. Также возможен вариант, когда многоуровневая квартира поделена на общественную (первый этаж) и личную зоны (второй этаж).

Стоит отметить, что отечественная практика проектирования квартальной типовой застройки нуждается в активной модернизации с учетом современных пожеланий и нужд населения. Однако, учитывая перспективу развития строительной отрасли в российских регионах, на протяжении последних лет наблюдается внедрение программ, направленных на улучшение жилищного фонда, обеспечение дворовой территории игровыми площадками, повышение качества автомобильных дорог и тротуаров.

С 2019 года существуют национальные проекты по реализации улучшения качества условий проживания: «Жилье и городская среда», «Безопасные и качественные автомобильные дороги», «Экология». Данные проекты нацелены обеспечить доступным жильём семей со средним достатком, увеличить объёмы жилищного строительства, повысить комфортность и качество городской среды, сократить количество городов с неблагоприятной средой [2, 3].

Не так давно появилось такое понятие, как «квартирография», которое обозначает объемно-планировочные решения, объединяющие в себе конструктивные, архитектурные, эксплуатационные и экономические составляющие строящегося здания [4]. Квартирографию можно считать одним из главных

элементов при подготовке технического задания на проектирование жилого комплекса, призванной обеспечить интерес будущих жителей к покупке доступной и комфортабельной недвижимости.

Для модернизации строительной отрасли как за рубежом, так и в отдельных мегаполисах России активно используются современные технологии BIM. Building Information Modeling (BIM) расшифровывается как информационное моделирование зданий и сооружений; концепция создания цифрового прототипа объекта. Данная технология упрощает и ускоряет создание новых проектов, позволяет легко вносить коррективы на этапе проектирования и отслеживать последствия изменений в режиме реального времени [5].

Поэтому использование BIM-технологий так важно внедрить в проектирование современного российского жилого фонда не только в мегаполисах России, но и в других больших и малых городах.

Преимущества BIM заключаются в возможностях архитекторам и проектировщикам работать с 3D-моделями, имеющими полную и разностороннюю информацию об объекте. Таким образом чертежи нуждаются в малом количестве доработок, а вносимые правки автоматически сохраняются и автоматически изменяют характеристики здания [6, 7]. Наличие множества информации позволяет без усилий предоставить расчеты и планы конструкций здания. Кроме того, каждый участник проекта может самостоятельно работать и корректировать цифровую модель, что значительно сокращает время работы всей строительной отрасли. Возможность визуализировать модель здания облегчает работу специалистам различных профилей и позволяет до завершения строительства продемонстрировать заинтересованным людям, как будет выглядеть объект.

Технологии в архитектурно-строительной сфере стремительно развиваются. На базе информационного моделирования в сфере проектирования и дизайна в ряде зарубежных стран реализуется инновационный метод создания объектов **генеративный**

**дизайн.** Данный метод нацелен на создание продукта программой, действующей на основе шаблонов и определенного набора правил, устанавливаемых человеком [8].

Примером перспективного использования генеративного дизайна является участие Autodesk University в проекте голландской строительной компании Van Wijnen, строящей доступное жильё в городе Алкмар. Перед ними стояла задача спроектировать жилой квартал с учетом архитектурных, финансовых и экологических требований девелопера, а также местных строительных норм. Сложностью данного проекта являлось большое количество заинтересованных сторон, зачастую противоречащих друг другу.

Генеративный дизайн самостоятельно создаёт множество вариаций жилого квартала, сравнивает их между собой и отбирает наиболее оптимизированные. В начале участок был разбит на сетку (рис. 1, *a*), после чего были сгенерированы внутренние проезды (рис. 1, *b*) с учётом доступности со стороны существующих улиц. Далее квартал был разделён на участки (рис. 1, *в*), с вариантами размещения коттеджей (рис. 1, *г*) и многоквартирных домов (рис. 1, *д*).

Каждый вариант жилого квартала оценивался по заданным параметрам, в результате чего был выбран вариант, максимально соответствующий заявленным требованиям.

К проектированию собственного офиса в Торонто Autodesk также применил генеративный дизайн. Архитекторы и проектировщики создали геометрическую систему, которая включала несколько уровней ограничений: размер пространства, количество переговорных комнат, зон общего пользования, санузлов и технических помещений.

После того как все параметры были определены, был запущен алгоритм поиска возможных вариантов планировки (рис. 2). Алгоритм представляет собой подмножество главного алгоритма оптимизации для обнаружения оптимальных настроек входных параметров функции, которая максимизирует значение одного или нескольких результатов [9, 10].

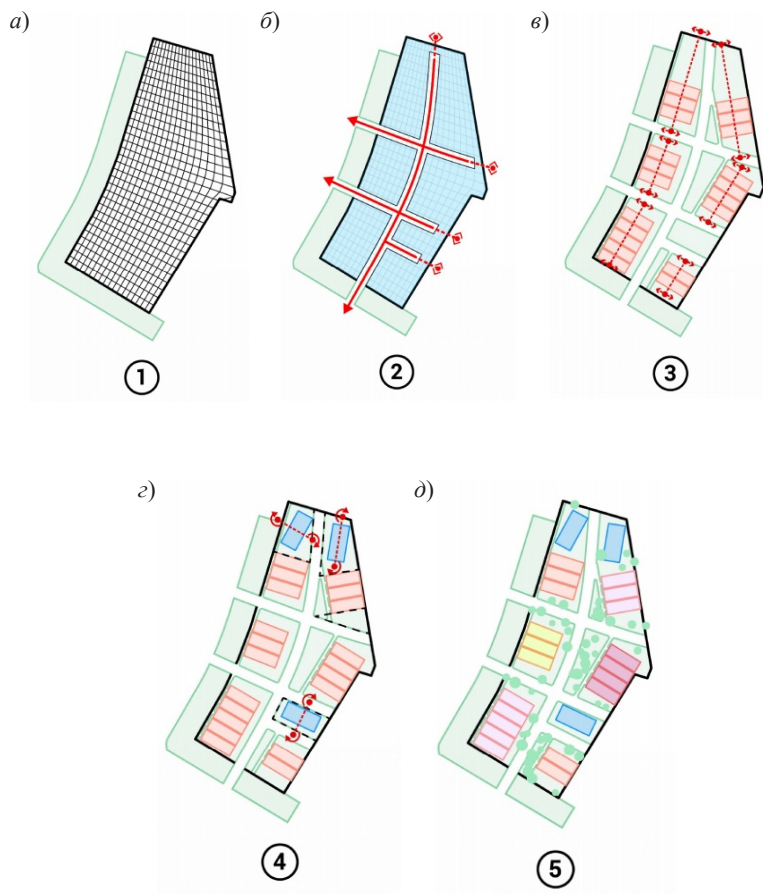
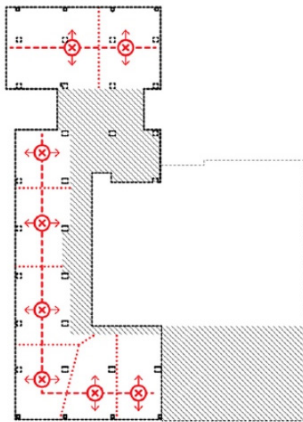
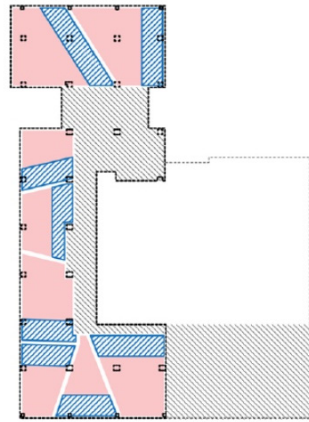


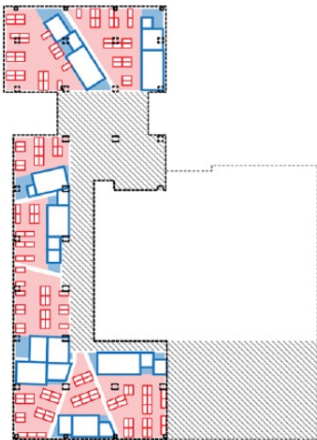
Рис. 1. Последовательность работы геометрической системы



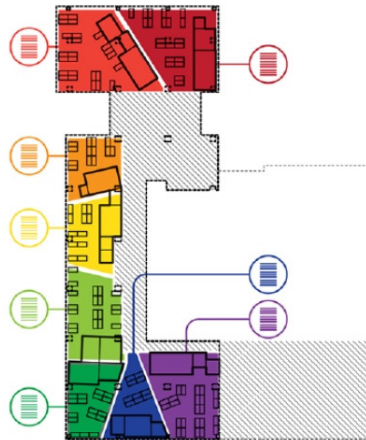
1 Определение начальной точки для каждого рабочего пространства



2 Одна из сторон в каждом таком блоке выделяется для генерации зон общего пользования



3 Алгоритм генерирует зоны общего пользования



4 К каждому рабочему пространству привязывается конкретная команда

Рис. 2. Генеративный дизайн в архитектуре

Главное преимущество генеративного дизайна в том, что у архитекторов появилась возможность без усилий создавать множество вариантов архитектурных моделей, на разработку которых ранее требовалось много времени и ресурсов. Благодаря такому методу проектирования внимание создателей переносится именно на качество проекта и поиск оптимального соотношения «архитектурная идея – функциональность».

В заключении стоит отметить, что в настоящее время существуют перспективные, инновационные методы проектирования и развития жилой среды, которые должны активно использоваться в архитектурно-строительной сфере для создания современной жилой застройки. Внедрение индивидуализации и функциональности в части объемно-планировочных решений жилых зданий и дворовых территорий в том числе с использованием ВІМ позволит избежать однообразия застройки типовыми зданиями, решить поставленные градостроительные задачи качественно и в максимально короткие сроки, создать комфортную среду проживания для жителей городов России.

### **Литература**

1. Акчурина О.М., Чупайда А.М. Современные тенденции и перспективы развития архитектурно-пространственных и функционально-планировочных характеристик типовой застройки в России и за рубежом // Строительные материалы и изделия. 2019. № 5-2. С. 82–87. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-10919.
2. Аверин А.Н., Ляхов В.П., Керимов О.Ю., Разумец В.М. Национальный проект «Жилье и городская среда» как инструмент создания комфортных условий для проживания людей // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2019. № 4(107). С. 135–139.
3. Национальный проект «Жилье и городская среда». URL: <http://minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyy-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda/> (дата обращения: 20.02.2021).
4. Квартирография – один из важнейших моментов при проектировании жилого комплекса. URL: [https://www.novostroy-spb.ru/intervyu/dmitriy\\_uvarov\\_kvartirografiya](https://www.novostroy-spb.ru/intervyu/dmitriy_uvarov_kvartirografiya) (дата обращения: 26.02.2021).
5. Ахтямова Р.Х., Садыкова А.И. Перспективы ВІМ технологий в модернизации серийного жилья // ВІМ-моделирование в задачах строительства



и архитектуры: материалы Всероссийской научно-практической конференции СПб: СПбГАСУ, 2018. С. 65–69.

6. Полуэктов В.В. BIM технологии в проектировании градостроительных и архитектурных объектов // Инженерные системы и сооружения. 2014. № 4-1(17). С. 91–97.

7. Соболева А.А., Перепелина Ф.А., Сокуренок Ю.А. Преимущества технологии BIM на стадиях жизненного цикла объекта // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО. 2016. Т. 5. С. 19–21.

8. Сметанина Н.И. Генеративный дизайн как новый инструмент дизайнера и проектирования: материалы X Международной научной конференции. Красноярск: ФГБОУ ВО Сибирский государственный институт искусств имени Дмитрия Хворостовского, 2018. С. 76–77.

9. Генеративный дизайн для городского планирования. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=20197](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20197) (дата обращения: 26.02.2021).

10. Комарова А.А., Пыхтюк С.В., Чернышов Д.А., Дымченко М.Е. Образование архитектурной формы с применением алгоритмических методов // Инженерный вестник Дона. 2019. № 8(59). URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N8y2019/6248> (дата обращения: 26.02.2021).

**УДК 332.83:69.003:004.94**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.031**

**Торхова Галина Васильевна**, магистрант  
(Южно-Уральский государственный университет)

*E-mail: galina.torkhova@bk.ru*

**Бородин Сергей Игоревич**, канд. экон. наук, доцент  
(Южно-Уральский государственный университет)

*E-mail: borodinsi@susu.ru, ORCID: 0000-0002-2115-4549*

Torkhova Galina Vasilevna, master student  
(South Ural State University)

Borodin Sergei Igorevich, PhD of Sci. Ec., Associate Professor  
(South Ural State University)

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СМЕТЧИКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ BIM-МОДЕЛИ**

### **TRANSFORMING BUDGET EXPERT'S FUNCTIONS WITH BIM**

В статье подчеркиваются последние тренды в сфере строительства, их нюансы и прямое и косвенное влияние на функциональные обязанности сметчика. В качестве примера приводится схема интеграции BIM-модели и программного сметного комплекса для выполнения оценки и анализа затрат строительства с использованием информационной модели объекта. Выделяются особенности работы в случае использования BIM-модели для подготовки сметных расчетов на этапе эксплуатации, распределения накладных расходов, учета уровня проработки модели (LOD), которые в целом и отражают творческую составляющую работы сметчика в настоящий момент. Статья предназначена для участников инвестиционно-строительных проектов, которые планируют использовать информационные модели в работе, с целью дальнейшей проработки сценариев взаимодействия участников при подготовке сметно-договорной документации.

*Ключевые слова:* информационная модель объекта, BIM, информационное моделирование зданий, строительство, сметный расчет.

The purpose of the article is to analyze the latest trends in construction, their nuances, and the direct and indirect impact they have on the work of experts responsible for budget calculations in construction. As an example, the study

reviews a diagram that illustrates the integration of BIM and a software complex used for budget estimates, for the purpose of assessing and analyzing construction costs based on a building's information model. The authors highlight the specific features of using BIM for preparing estimate calculations at the operation stage, allocating overhead costs, and considering the level of model development (LOD) — in other words, the features that currently reflect the creative aspects of the budget expert's work. The article is intended for stakeholders involved in investment and construction projects who plan to apply information models to their work in order to further develop interaction scenarios as part of preparing estimates and contractual documentation.

*Keywords:* building information model, BIM, construction, cost estimate.

В 2020 году тема цифровой трансформации окончательно перешла из категории «хайпа» в стратегическую повестку государства и бизнеса. В сентябре прошлого года Председатель Правительства Михаил Мишустин подписал постановление, в котором утверждаются правила формирования и ведения информационной модели, а также состав включаемых в нее сведений и формат их предоставления. Такой шаг является неким сигналом отрасли, что данная технология не только продолжает свое развитие в России, но и поддерживается на уровне государства. А значит, заказчикам и строителям бюджетных объектов в скором времени придется в обязательном порядке осваивать относительно молодую технологию для нашей страны. Внедрение цифровых технологий повлечет за собой трансформацию сметного программного комплекса в сметный модуль для информационной модели здания, вместе с чем трансформация предстоит и деятельности сметчика с применением всех возможностей BIM-модели, включая искусственного интеллекта.

Чтобы разобраться в нюансах и последствиях внедрения новых технологий со стороны бизнеса, консалтинговая компания KMDA провела исследование «Цифровая трансформация в России» (рис. 1). Информационную поддержку оказали ИТ-холдинг Talent Tech, корпорация Microsoft, производитель ИТ-инфраструктуры NetApp и университет Иннополис. О своем виденье цифровой трансформации рассказали более 700 представителей российских компаний из 27 отраслей. По сравнению с 2018 годом осознание трансформации выросло почти вдвое, причем также сократилось количество

скептиков, которые считают, что digital-трансформация – это искусственно созданный термин, новое название автоматизации. Компаний, которые подошли к данному вопросу на стратегическом уровне оказалось 48 %, а «лоскутной цифровизацией» отдельных бизнес-процессов занимаются еще 32 % респондентов. Иными словами – новые технологии в свою работу уже внедряют 8 из 10 компаний. Строительная отрасль не исключение. Согласно данному исследованию сфера строительства имеет низкую цифровую зрелость, но при этом обладает догоняющей стадией цифровой трансформации.



Рис. 1. Статус цифровой трансформации по отраслям

Безусловно, тренд на цифровую трансформацию приведет к сокращению рутинных процессов, а 34 % российских компаний в исследовании отмечают сокращение трудозатрат как основной измеримый эффект цифровой трансформации, этот показатель занимает первое место в списке положительных эффектов [1]. Современные технологии и развитая цифровая культура помогут сократить количества брака и ошибок со стороны сотрудников и позволят тратить

меньше времени на обработку большого объема информации, а также на коммуникации с коллегами, партнерами и клиентами.

Публикации отечественных авторов, которые осуществляют в том числе и внедрение в жизнь инвестиционно-строительных проектов, основанных на использовании BIM-модели достаточно широко представлены. Можно выделить ряд работы, которые связаны с трансформацией деятельности специалистов экономического профиля при использовании информационной модели объекта [2]. Отдельные нюансы использования данных и корректной настройки параметров BIM-модели для оценки экономической эффективности проектов в части подготовки сметно-договорной документации рассматриваются в работах [3–5]. Некоторые общие моменты построения схемы реализации задачи «Подсчет объема работ и оценки сметной стоимости» можно найти в методическом пособии [6].

На данный момент уже существуют возможность адаптировать проектные параметры под сметную нормативно-методическую документацию, а именно присвоение к каждому элемент BIM-модели «сметного свойства», которое включает в себя не только стоимостные характеристики, но и дополнительные показатели, такие как, например, единицы измерения расценки, ее объем (рис. 2). В ряде случаев для возможности сбора и обработки данных в BIM-модели можно обойтись без специализированного программного обеспечения и воспользоваться программами, которые автоматизируют подобные действия (например, Autodesk Navisworks). Через инструмент «Data tools» создать связь с внешним файлом, таким как MS Excel, для считывания недостающей информации по сметному свойству в привязке к соответствующему объекту. Итогом работы в том же файле MS Excel на отдельном листе «Quantification» будет подготовлена сводная таблица, так называемая ведомость объема работ или задание для сметного программного комплекса. В сметной программе производится расчет и полученные данные добавляются в цифровую информационную модель также с использованием инструмента «Data tools», создав связь с внешним файлом и настроив считывание информации для элементов модели. В результате каждый элемент BIM-модели будет содержать в себе стоимостную расценку за единицу объема.

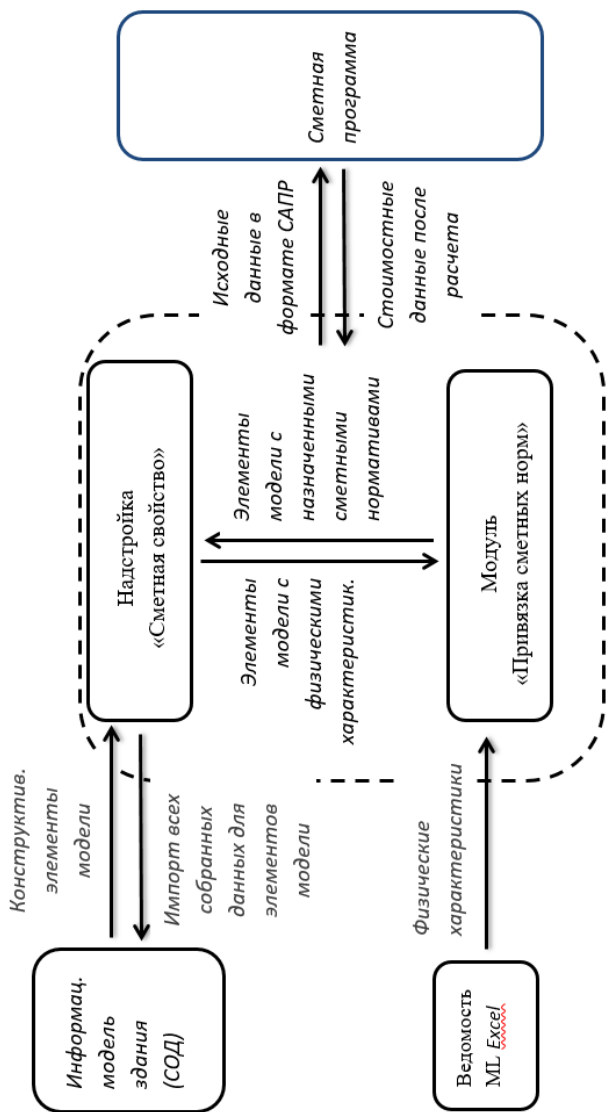


Рис. 2. Схема интеграции ВМ-модели и сметной программы

Необходимо подчеркнуть, что данная связь является взаимобратной и настраивается всего один раз. При изменении внешней Excel-таблицы данные в элементах BIM-модели автоматически меняются. Далее все заинтересованные специалисты на вкладке «рабочая книга Quantification» отмечают нужные элементы для выгрузки и экспортируют необходимый им отчет по заданным параметрам. Таким образом, из информационной модели здания получили адаптированные исходные данные для сметного расчета, а потом добавили в нее получившиеся стоимостные показатели. На российском рынке программного обеспечения такие готовые модули для выполнения данных операций найти будет не сложно.

Надо понимать, что информационное моделирование здания состоит из графической части и связанных с ней баз данных атрибутивной информации, а с помощью внутреннего языка программирования возможно выстроить алгоритм взаимодействия этих баз с выполнением необходимых задач, что позволит в скором времени создать аналог сметной программы уже в самой BIM-модели. Автоматизация и искусственный интеллект схемы работы сметного модуля способны максимально минимизировать трудозатраты сметчика, например, при создании проектировщиком элемента модели и присвоении ей неких физических свойств в сметном модуле автоматически могли бы формироваться и закрепляться на этом элементе расценки с необходимыми видами работ, их объемами и стоимостью. Осталось бы только выгрузить отчет в нужном формате, чтобы узнать итоговую стоимость проекта.

Если в новом строительстве возможно выстроить такую идеальную картину, конечно при условии отсутствии появления новых видов работ и материалов, то в эксплуатации однозначно возникнут сложности. На многие виды ремонтных работ нет методической литературы, а значит расценки для них будут подбираться «применительно» сметчиком. Как некий творческий процесс с поиском приближенного вида работ, с добавлением или удалением ресурсов в расценке, с согласованиями такого выбора со всеми заинтересованными сторонами.

Также при создании сметного модуля необходимо будет решить вопрос с положением накладных расходов, сметной прибыли

и НДС, будут они распределены по расценкам в ВМ-модели или же будут рассчитываться и закрепляться по итогу операции на весь расчет при выгрузке отчета.

Не стоит забывать, что на разных уровнях проработки информационно-модели требуются разные виды расчетов стоимости проекта [7, 8]. На начальном этапе с требованиями проработки LOD-200 (level of development) сметно-экономические показатели высчитываются с помощью укрупненного сметного расчета с применением базисно-индексного способа оценки, в дальнейшем эти данные используются экономистами для обоснования инвестиций по проекту перед инвесторами. А на этапе выбора технического решения окончательный сметный расчет производится с применением ресурсного или ресурсно-индексного метода для уровня проработки LOD-400, так как они являются наиболее эффективными с точки зрения точности счета, ведь именно эти сметные стоимости помогают руководителю проекта и проектировщику сделать выбор и не превысить бюджет.

Интересно, что уже заявлено о создании сметного модуля, на базе которого с помощью искусственного интеллекта сформирован цифровой классификатор ресурсов. Помимо актуальной стоимости на ресурсы сервис предлагает автоматизацию получения ее обоснования для конъюнктурного анализа цен в pdf-формате со всеми данными и ссылкой на страницу производителя. Создателями проведена огромная работа, в том числе организационная, для того, чтобы стало возможно на основе параметров продукции собирать свежие коммерческие предложения по поставщикам из открытых источников, причем с возможностью еженедельного обновления. Нейросетевой анализ неструктурированной информации с сайтов и ERP-поставщиков, автоматическое сопоставление ее с классификатором, перевод единиц измерения в единую систему, а также сопоставление стоимости за удельный объем ресурса – все это выполняется искусственным интеллектом. Раньше этот рутинный труд занимал у сметчика немало времени, заставляя перебирать множество интернет-источников для поиска в описаниях продукции нужной информации. Хотя и тут не обошлось без исключений, данные о металлоконструкциях и сборных ЖБИ-изделиях пока нет возможности собрать автоматически.



В связи с внедрением BIM-технологий профессия сметчика однозначно будет преобразована в более творческий, аналитический формат, с навыками обработки данных, применением методов анализа оценки, управлением процессами. Новые и неизведанные цели и задачи легче будут решаться в кросс-взаимодействии нескольких отраслей. Без знаний принципов работы информационной модели и сметно-нормативных правил расчета не составить алгоритм работы, без алгоритма не написать программу для автоматизации процессов. Меняющиеся условия требуют многогранности в профессии. Экономист, сметчик, инженер, еще и немного программист в одном лице будет высоко цениться на рынке труда в эпоху цифровой трансформации.

### **Литература**

1. Цифровая трансформация в России-2020: аналитический отчет на базе опроса представителей российских компаний. URL: [https://komanda-a.pro/projects/dtr\\_2020](https://komanda-a.pro/projects/dtr_2020) (дата обращения: 20.02.2021).
2. Александрова Е.Б. Роль и задачи экономиста при BIM-моделировании в строительстве в условиях цифровой экономики // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 35–39. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.005.
3. Давыдов Н.С., Придвижкин С.В., Белькевич А.В. Внедрение BIM-технологий в части ценообразования посредством использования систем автоматизации выпуска сметной документации // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийск. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С 8–13.
4. Алексеевская Я.А. Разработка концепции ресурсно-информационной BIM-модели и ее взаимодействие системой ценообразования и сметного нормирования // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийск. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 40–45.
5. 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: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 107–112. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.019.
6. Жук Ю.Н., Ананьев А.В., Волков Б.В., Сыромятников Ю.А., Король М.Г., Бенклян С.Э. Методы классификации задач информационного моделирования: методическое пособие. М.: Минстрой РФ; ФАУ ФЦН-СОСС, 2018, 62 с. URL: [https://www.faufcc.ru/upload/methodical\\_materials/мп39\\_2018.pdf](https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/мп39_2018.pdf) (дата обращения: 15.03.2021).

7. СП-404.1325800.2018 Информационное моделирование в строительстве. Правила разработки планов проектов, реализованных с применением технологии информационного моделирования. М.: Минстрой России, 2018. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/18073/> (дата обращения: 15.03.2021).

8. СП-333.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования модели на различных стадиях жизненного цикла. М.: Минстрой России, 2017. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/16405/> (дата обращения: 15.03.2021).

**УДК 69.059.1**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.032**

**Чигинский Дмитрий Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент  
(Тулский государственный университет)

*E-mail: [dmitriy@chiginskiy.ru](mailto:dmitriy@chiginskiy.ru), ORCID: 0000-0003-4726-2203*

**Валеев Гавриил Вадимович**, магистрант  
(Тулский государственный университет)

*E-mail: [gavrvad@gmail.com](mailto:gavrvad@gmail.com)*

Chiginskiy Dmitriy Sergeevich, PhD. of Sci. Tech., Associate Professor  
(Tula State University)

Valeev Gavriil Vadimovich, master student  
(Tula State University)

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВІМ-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **APPLYING BIM TECHNOLOGIES TO THE SURVEY OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

В данной статье рассмотрен вариант применения ВІМ-технологий при обследовании зданий и сооружений. Изучены возможности, которые предоставляет использование ВІМ-технологий на каждой из стадий взаимодействия с объектом обследования. Рассмотрено применение современного измерительного оборудования для получения объемной модели здания. Описано использование облака точек в качестве подложки для создания

предельно точной конструктивной модели. Рассмотрено наполнение её необходимой информацией, собираемой в процессе обследования, и получение информационных моделей. Выделены положительные аспекты при внедрении данной технологии в сферу обследования строительных конструкций зданий и сооружений.

*Ключевые слова:* BIM-технологии, обследование зданий и сооружений, лазерное сканирование, информационная модель здания, строительство.

This article discusses the use of BIM technologies in the survey of buildings and structures. We study the opportunities that the use of BIM technologies provides at each stage of interacting with the survey target. We further consider the use of modern measuring equipment for obtaining a three-dimensional building model. The use of a point cloud as a substrate for creating a highly accurate structural model is described as well. We review how this substrate is filled with the necessary information collected during the survey, and how information models are created. The study highlights the positive aspects of using this technology in the field of building and structure surveys.

*Keywords:* BIM technologies, surveys of buildings and structures, laser scanning, building information model, construction.

В настоящее время обозначенной теме уделяется существенное внимание. С 2014 года проводятся мероприятия по развитию строительной отрасли РФ в направлении перехода на BIM [1]. Необходимость и потребность в скорейшем освоении технологий BIM уже осознана многими участниками строительной отрасли и признана на государственном уровне [2].

Технологии информационного моделирования зданий и сооружений (BIM-технологии) планомерно становятся одним из основных инструментов выполнения работ по архитектурно-строительному проектированию, в том числе по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений [3].

В настоящее время существенный объем документальной информации для большинства зданий, находящихся в эксплуатации, возрастом 10 и более лет зачастую находится на бумажном носителе в виде разрозненных томов документации, реже в электронном виде, а чаще всего кроме документов технической инвентаризации на объекте и вовсе отсутствует какая-либо документация.

То есть, учитывая возрастающую цифровизацию экономики, задача сбора и хранения информации о зданиях и сооружениях стала приобретать ещё большую актуальность.

Применение ВМ-технологий предоставляет возможность накапливать и использовать сведения на каждой из стадий взаимодействия с объектом обследования: первоначальная рабочая документация существующего сооружения, чертежи усиления и реконструкции на этапе эксплуатации до обследования, информация собираемая в ходе обследования, общие рекомендации по устранению дефектов и повреждений, проектная и рабочая документация по усилению (учитывая возможности вариантного проектирования), документация по техническому перевооружению или реконструкции [3].

Используя ВМ-технологии в своей практике, специализированные организации также используют результаты работы современного измерительного оборудования (например, тахеометры и лазерные 3D-сканеры) – облака точек, для построения моделей зданий и сооружений. Используя облако точек в качестве основы (подложки), по сравнению с 2D-обмерами, лазерное сканирование позволяет получать существенно более содержательную модель. В последствии, модель может быть насыщена информацией (согласно информационным требованиям заказчика), чтобы конструктивная модель превратилась в информационную [4]. В нее заносятся прочностные характеристики материалов, конструктивные особенности, информация о дефектах и повреждениях, места вскрытий, места отбора проб материалов и т. д. Следующим возможным этапом работ может быть экспорт полученной модели в расчетные комплексы для выполнения поверочных расчётов и оценки возможности дальнейшей безопасной эксплуатации объекта.

Применение облака точек в качестве исходных данных для информационного моделирования позволит исключить рассогласованность во взаимном расположении технологического оборудования, строительных конструкций, инженерных сетей. Другое полезное качество, получаемое от применения лазерного сканирования – возможность виртуального осмотра сканированных участков здания со стоянок прибора с помощью программного

обеспечения. При этом доступен как визуальный осмотр, так и линейные измерения объектов.

Общая картина по конструктивной системе здания при использовании лазерного сканирования в обмерах получается достаточно полной для подготовки проектной документации. Кроме сопоставления сложной пространственной геометрии зданий и сооружений, не редки случаи, когда при производстве камеральных работ специалисты обращаются к облаку точек, полученному по результатам лазерного сканирования, за дополнительными сведениями, таким как измерения отклонений, разности высот и т.п.

Кроме указанной выше информации («геометрии» элементов), которая может быть получена на основе облака точек, для оценки технического состояния зданий и сооружений информационная модель может содержать сведения характеризующие техническое состояние строительных конструкций, например, информацию о фактическом армировании, фактических параметрах прочности бетона, фактических классах стали, дефектах и повреждениях, их характере и объёме.

Для реализации механизма хранения информации, информационная модель (ИМ) здания или сооружения, выполняемая в процессе обследования, должна содержать основные несущие и ограждающие элементы, соответствующие классам IFC (колонны, балки, стены, перекрытия, фундаменты и т. д.), к которым предъявляются требования соответствующего раздела проектной документации, например, «Конструктивные решения». При этом ИМ должны, по аналогии с требованиями [5]:

- содержать все необходимые элементы модели и характеристики (параметры, атрибуты);
- соответствовать заданию на проектирование (обследование);
- служить основой для разработки моделей смежных дисциплин и проверки коллизий.

Информационная модель, выполненная в процессе обследования строительных конструкций здания или сооружения (ИМ ОБ), может включать в себя информацию в следующих формах:

- аналитическое представление элементов конструкций для проектной и фактической расчётных схем здания (сооружения);

- элементы (семейства), задающие проектные и фактические нагрузки и воздействия;
- параметры (атрибуты) несущих элементов, для записи информации о проектных и фактических характеристиках материалов (марки бетона, классы арматуры и стали, расчётные сопротивления по пределу текучести и т. д.);
- экземпляры семейств (компоненты), отражающие места испытаний, выработок, вскрытий, зондирования конструкций, отбора проб, включая необходимые атрибуты (нумерация, геометрические размеры, тип, описание);
- экземпляры семейств (компоненты), фиксирующие расположение и параметры дефектов и повреждений, включая необходимые атрибуты (маркировка согласно ведомости дефектов, геометрические размеры, тип, рекомендации по устранению);
- параметры (атрибуты) несущих элементов, для информации о категории технического состояния строительных конструкций;
- неструктурированная информация, включающую текстовую часть, в качестве связанных документов.

При реконструкции, капитальном ремонте, техническом перевооружении перед проведением обследования строительных конструкций здания или сооружения может выполняться моделирование существующих конструкций по имеющейся документации [6]. После этого проводится непосредственно обследование объекта и данные о конструкциях в имеющейся модели дополняются, добавляются или удаляются в зависимости от результатов. После актуализации и проработки информационной модели здания или сооружения она может быть использована для дальнейших расчетов, проектирования новых конструкций, установки нового оборудования. Взаимодействие обследователя с ВІМ-моделью на данных этапах представлено на следующей блок-схеме (рис. 1).

Для сбора, хранения и обработки информации в рамках работ по обследованию (для моделирования конструкций зданий и сооружений) может применяться профессиональное программное обеспечение, например, Tekla Structures, Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, Solibri Model Checker, SCAD Office, ЛИРА-САПР, STARK ES и т. д. Возможности указанного программного

обеспечения включают создание и объединении моделей, подготовку проектной и рабочей документации, выполнение расчётов.

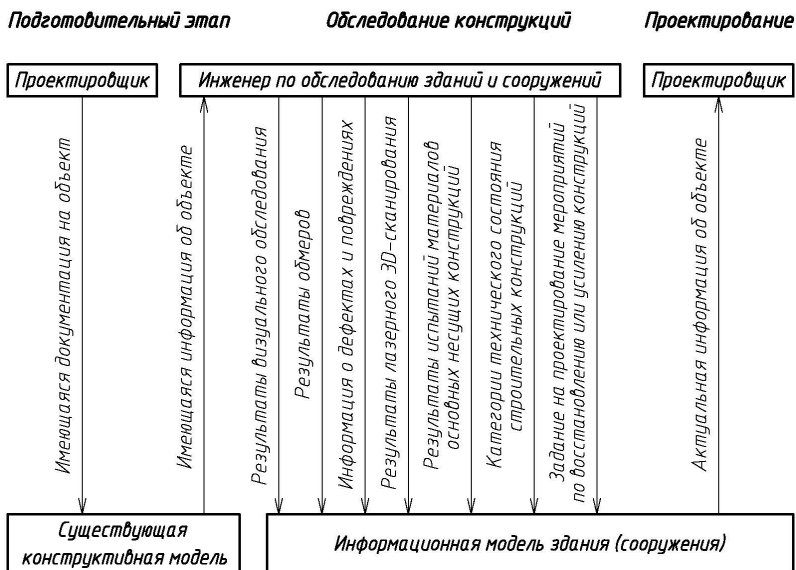


Рис. 1. Блок-схема взаимодействия обследователя с BIM-моделью

Несмотря на существенную стоимость оборудования и программного обеспечения для информационного моделирования, благодаря использованию BIM-технологий снижается риск проектных ошибок (которые могут повлечь удорожание стоимости строительства), как следствие, снижение затрат на устранение коллизий.

Результатом информационного моделирования можно назвать информационную модель существующего здания или сооружения. При этом конфигурирование информационной модели может быть достаточно гибким, учитывающим, выделение стадий жизненного цикла («существующие», «демонтируемые», «проектируемые» элементы), включение необходимого набора атрибутов конструкций (материалы, типоразмеры и т. п.). На основе

информационной модели могут быть сформированы необходимые чертежи для графической части отчёта по обследованию зданий и сооружений.

Резюмируя следует отметить, что информационное моделирование (применение технологий ВІМ) позволяет существенно повысить качество документации, получаемой при обмерах и обследовании строительных конструкций зданий и сооружений, как при последующем плоском (классическом) проектировании, так и при проектировании с применением информационного моделирования. Таким образом, ВІМ-технологии становятся одним из основных инструментов выполнения работ по обследованию технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений.

### **Литература**

1. Бобков С.В. ВІМ-технологии как составляющая инновационного развития строительной отрасли // Студенческий научный форум 2018: материалы X Междунар. студ. науч. конф. М., 2018. С. 30–36.
2. О применении инновационных технологий в строительстве. 4 марта 2014 г. URL: <http://government.ru/news/10883/> (дата обращения: 03.03.2021).
3. Чигинский Д.С. Информационное моделирование сооружений при обследовании и усилении // Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и промышленности: материалы XVII Междунар. науч.-технич. конф. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. С. 230–231.
4. Беркетов В.П. Применение ВІМ-технологий при проведении технического обследования зданий и сооружений // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 243–247. DOI: 10.23968/ВІМАС.2019.045.
5. Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представляемой на рассмотрение в ФАУ «Главгосэкспертиза России» в связи с проведением государственной экспертизы проектной документации. URL: [https://gge.ru/upload/iblock/ab4/Методические\\_рекомендации.pdf](https://gge.ru/upload/iblock/ab4/Методические_рекомендации.pdf) (дата обращения: 14.03.2021).
6. Талапов В.В. Основы ВІМ: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.



## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.033

**Hamdan Mahmud A. M.**, postgraduate student  
(Voronezh State Technical University)

*E-mail: mahmoud.walajy@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7522-8136*

**Abusad Munther M. H.**, postgraduate student  
(Voronezh State Technical University)

*E-mail: munther.ps@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7029-7450*

### **USING BIM TECHNOLOGY TO DEVELOP ENERGY EFFICIENCY IN SUSTAINABLE BUILDINGS**

This article shows the benefit of using an algorithm that depends on BIM technology to create models that help develop the energy efficiency of sustainable buildings. In this algorithm, there are three major tasks (modeling, testing, and feedback). As a result, sustainable constructions can be easily analyzed, tested, developed, and quantified. The emulation results allow for reducing construction and operational costs through the elimination of design errors. Furthermore, design improvements can affect energy consumption. Reducing energy consumption also lowers the greenhouse gas emissions that result from conventional electricity generation.

*Keywords:* sustainable building, BIM, energy saving, energy modeling, building modeling.

Buildings and the construction sector combined are responsible for over 33 % of global final energy consumption and about 40 % of total direct and indirect CO<sub>2</sub> emissions [1]. Lately, engineers around the world have been trying to find a practical solution to reduce the percentage of energy consumption in buildings [2]. Fortunately, as a result, a new concept has been born: “sustainable building”, which takes environment, society, and economics into consideration.

BIM Technology. The main aim of BIM is to create simulations of buildings according to data entered by engineers. Next, BIM data (materials’ properties and functional characteristics) are processed, showing simulation results, recommendations, and feedback regarding the building’s life cycle. Afterward, the engineers may optimize and edit the data according to their goals, ensuring that they have the best vision and plan before the construction process begins (Fig. 1) [1, 3].

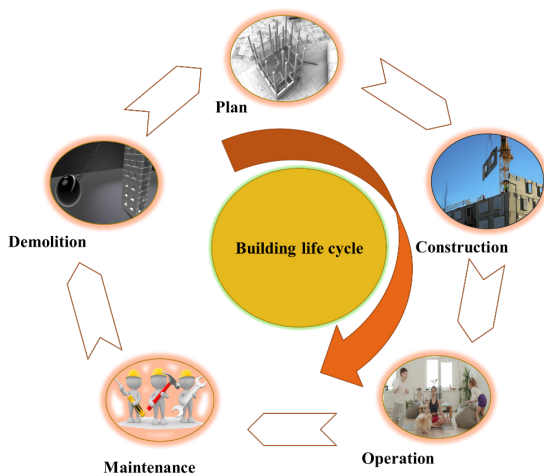


Fig. 1. Building's life cycle

Using BIM Technology in Sustainable Buildings. Energy saving and environmental impact are the essential factors in sustainable buildings. Using BIM software is very fruitful, as it is a time and money saver. Moreover, simulation forms can be developed, tested, and optimized efficiently.

Energy Modeling. Energy modeling is based on how the building consumes energy from various energy-related systems, such as air conditioning, lighting, hot water, etc. It is also employed for evaluating green energy solutions like solar panels, photovoltaics, wind turbines, and high-efficiency devices that can be used in the building. To understand the concept of energy modeling, we must understand how construction simulation works. Construction simulation is the process of using a computer to model the construction process. Construction simulation is a way to predict the future, so it has great value. The construction modeling process (Fig. 2) includes the energy modeling process, which can be divided into two sub-processes: the Macro-Level Energy Analysis (from the first step to the end of the second step) and the Micro-Level Energy Analysis (from the third to the fifth step). The Macro-Level Analysis considers the building's size, shape, and orientation (Fig. 3); the Micro-Level Analysis takes into account the various details of the building (Fig. 4).

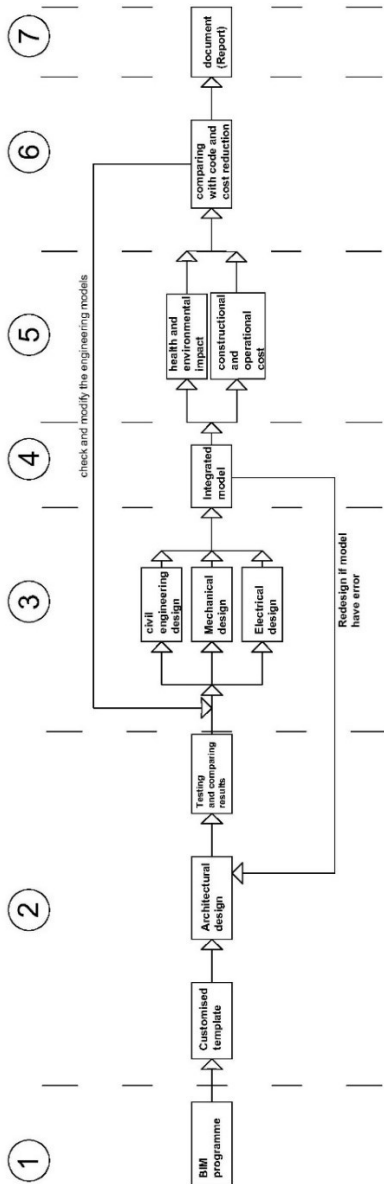


Fig. 2. Process of creating an energy-efficient sustainable building

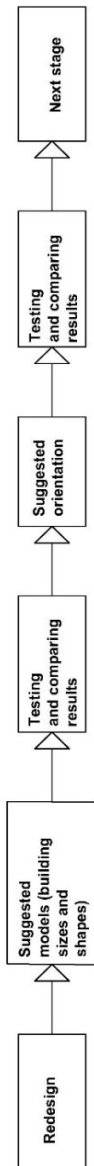


Fig. 3. Macro-Level Energy Analysis algorithm

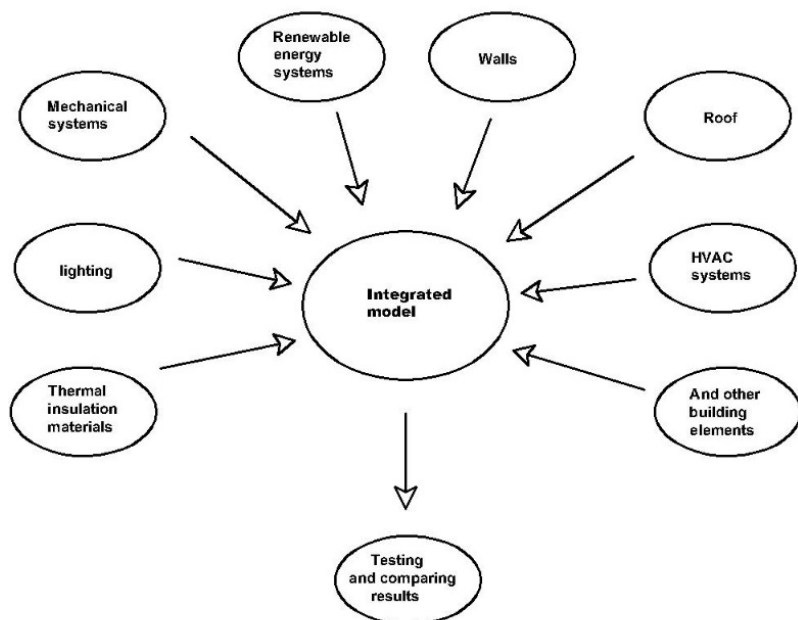


Fig. 4. Micro-Level Energy Analysis algorithm


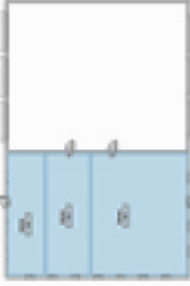
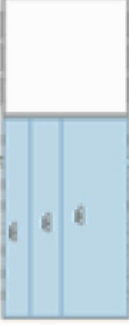



#### CASE STUDY:

**Project Description.** Let us consider a station that provides fire fighting, medical, and police support services for a residential neighborhood in Fayetteville city in North Carolina. The station includes offices, training rooms, a physical exercise area, a day room, a kitchen, a dormitory area, an apparatus room, a decontamination room, a storage area/rooms, restrooms, communication and electrical closets, and a mechanical room. The station area is 771 square meters [5].

**Station's Modeling Process.** Macro-Level: the engineers suggested three different models for the station that met the requirements. Moreover, they calculated the energy consumption for these models; see Table 1. As a result, the third model was chosen.

Table 1

Comparison of building configurations

Model	1	2	3
Type	Two separate buildings	Two-story building	One-story building
Plan			
3D			
Estimated annual energy costs, \$	6724	7114	5696

After that, the engineers redesigned the station plan by rotating the apparatus room’s orientation by 15 degrees in relation to the rest of the building to allow emergency vehicles to exit easily onto the access street. The second step of Macro-Level Energy Modeling was to determine the structure’s orientation; see Fig. 5. As a result, the engineers requested a 15+degree rotation in the south, as shown in Table 2.

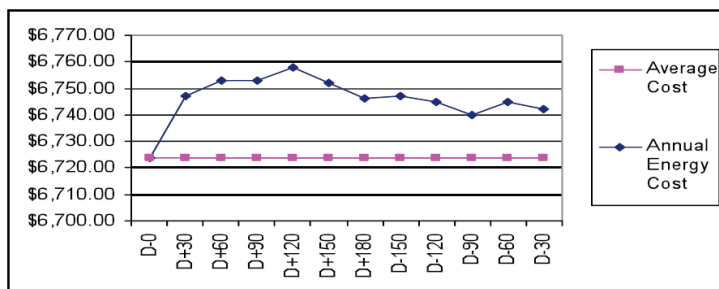


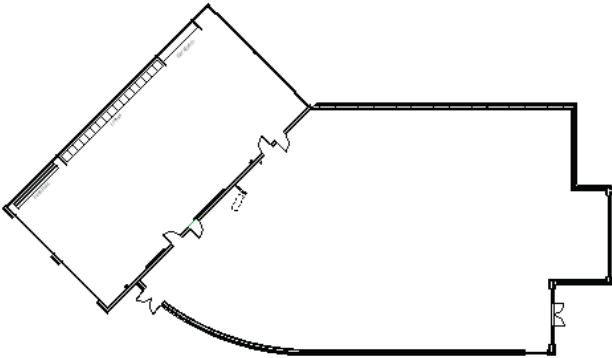
Fig. 5. Comparison of estimated annual energy costs of different structure orientations

Micro-Level Energy Analysis. After selecting the general building configuration and orientation, the next step was to develop a detailed (Micro-Level) energy analysis (Fig. 4), incorporating design and system details. This analysis considered several options for building elements, such as HVAC, a roof, walls, windows, mechanical systems, and lighting. Building energy cost comparisons were made for design alternatives. The alternative design options were grouped into six categories (10 different HVAC options, 17 glazing options, 20 roof options, 15 wall options, 4 lighting options, and 3 lighting control options). As a result, the following design options were recommended:

- HVAC: 17 SEER/0.85 AFUE Split/Pkgd < 5.5 ton
- Lighting efficiency: LPD 40% less than base run.
- Lighting control: Occupancy sensors.
- Roof: Cool Roof — R38 continuous ins. over roof deck.
- Wall construction: Insulated Concrete Form (ICF) Wall, 14” thick form.
- Glazing: Clear Wall Panel, (U-0.10, SHCG 0.06, Tvs 0.04).

Table 2

**Result of the Macro-Level process**

Model	4
Type	One-story building (15-degree rotation)
Plan	
Orientation	15+degrees along the long axis to the south
Estimated annual energy costs, \$	6736

The Building Information Modeling (BIM) technology is an essential part of the sustainable building design process because it provides analytical capabilities, especially when accumulating input data and factors affecting the design. Moreover, it has an important role in analyzing energy performance in the building. It helps to evaluate the pre-recommended scenarios for energy conservation and environmental impact, which is crucial. Lastly, this technology makes the decision-making process more comfortable than ever. The role of BIM at the design stage is significant: it provides statistics and hypothetical performance measurements.

## **References**

1. International energy agency. URL: <https://www.iea.org/topics/buildings> (accessed: 07.02.2021).
2. Krygiel E., Nies B. Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modelling. Indianapolis: Wiley Publishing, 2008. P. 75–86.
3. Bernstein H.M., Jones S.A., Russo M.A. Green BIM: How Building Information Modelling is Contributing to Green Design and Construction. Smart Market Report. Bedford: McGraw-Hill Construction, 2010.
4. Lewis A.M. The perceived value of using BIM for energy simulation. Colorado State University, 2014. URL: <https://arb.smrtenr.com/energy-modelling/> (accessed: 07.02.2021).
5. Stumpf A., Kim H., Jenicek E. Early design energy analysis using BIMs (Building Information Models) // Construction Research Congress, 2009. P. 426–436. DOI: 10.1061/41020(339)44.

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.034

**Ibraheem Anas Akram**, PhD student  
(Saint Petersburg State University)  
*E-mail: anasibraheem80@yahoo.com*

## **AMS: A NEW SOFTWARE FOR STRUCTURAL ANALYSIS, MODELING, AND DESIGN WITH BIM SUPPORT**

This paper contains information about AMS, a new software package developed by the author. The program performs three-dimensional structural analysis, modeling, and design. It is based on the finite element method (FEM) in terms of carrying out static, dynamic and seismic analysis. AMS has a graphical environment (plan view, elevation view, 3D view). It also supports BIM. AMS can import IFC files, store them in structural data as elements and materials, and load them with full characteristics defined. It also can import DXF files. AMS contains many drawing utilities (grid system, object snap tools, elements' extrusion and duplication tools, graphical elements' drawing tools). The program allows the user to define various sections of frame and surface elements. In addition, its capacities include the definition of construction materials (concrete and steel) as well as their linear and non-linear properties. The program menus support both Russian and English languages.



At the present stage, the analysis and design in the program are limited to only the frame (beams, columns) made out of rectangular-section reinforced concrete elements. The surface elements (slabs, walls) can be drawn within the model but they are ignored in analysis, and their functions are limited to transferring loads only. The program allows for static elastic linear analysis. It also provides a schematic representation of the structure's capacity curve (force-displacement), using static elastic-plastic analysis.

*Keywords:* structures, buildings, modeling, analysis, design, FEM, BIM, finite elements method.

## Introduction

The construction sector is undergoing major development in the field of software and information technology. Recently, the BIM (Building Information Modeling) technology has entered this sector, and many programs for building simulation and analysis have been published. These programs are still continuing to evolve. In addition, they are developed to perform design work in accordance with the standards in the developers' countries, which creates some confusion when the programs are used under different standards. That makes it necessary to develop a program capable of adapting and carrying out the process of analysis and design according to Russian standards. The purpose of our work is to enhance structural engineering with a new program, which can be developed according to the requirements for working in Russia.

The program is still under construction. But even at the current stage, when compared with many other types of commercial finite elements software (for example, Computers and Structures, Inc. (CSI) software), our software provides many features that are not found in other programs:

- a modeling environment that supports drawing graphical elements, making the model creation process easier;
- practical automated individualization of reinforcement elements during the design phase;
- a new analytical feature that introduces the impact of the foundation settlement on the analysis: the program performs iterative analysis to calculate the settlement and saves the data as an additional loading pattern that the user can enter during the design phase with any load combinations.

## **Program interface**

AMS has a graphical environment that shows the structural elements in an easy and obvious way (plan view, elevation view, 3D view). Elevation view represents a vertical section of the structure at specific coordinates. Plan view represents a horizontal section of the structure at a specific level. 3D view represents a perspective of the structure from a specific angle (Fig. 1).

## **Modeling with the program**

1. The program can create grid systems as coordinated lines in the horizontal section of the structure.

2. The drawing tools provide a drawing environment for graphical elements (Line, Polyline, Polygon, Circle, Arc, Ellipse, Arc Ellipse, Region, Text, Dimension). All graphical elements can be transformed (with Extend, Trim, Offset, Move, Scale functions), which is similar to what can be done in AutoCAD.

3. The program is equipped with reinforcement design tools that provide powerful capabilities for easily designing and drawing the longitudinal and transverse reinforcement in all its details.

4. The snapping tool guides users and helps them in drawing. It can ensure direct capturing of joints, ends and midpoints of lines, grid intersections, nearest lines and frames, perpendiculars, etc.

5. The program can duplicate elements in three forms: linear (duplication according to coordinates  $X$ ,  $Y$ ), radial (duplication according to rotation angle), and mirror (duplication symmetrically in relation to an axis).

6. The linear and radial extrusion tools extrude joints into frames and extrude frames into shells.

7. The program can search and select elements according to their types, properties, materials, or coordinates.

8. The user can create a set of the most popular forms of frame elements required in the design, and calculate their geometric properties: steel sections (I, channel, Tee, angle) or concrete sections (rectangular, circle, Tee, L), in addition to the definition of sections for shear walls, slabs, footings, architectural walls, and stairs.

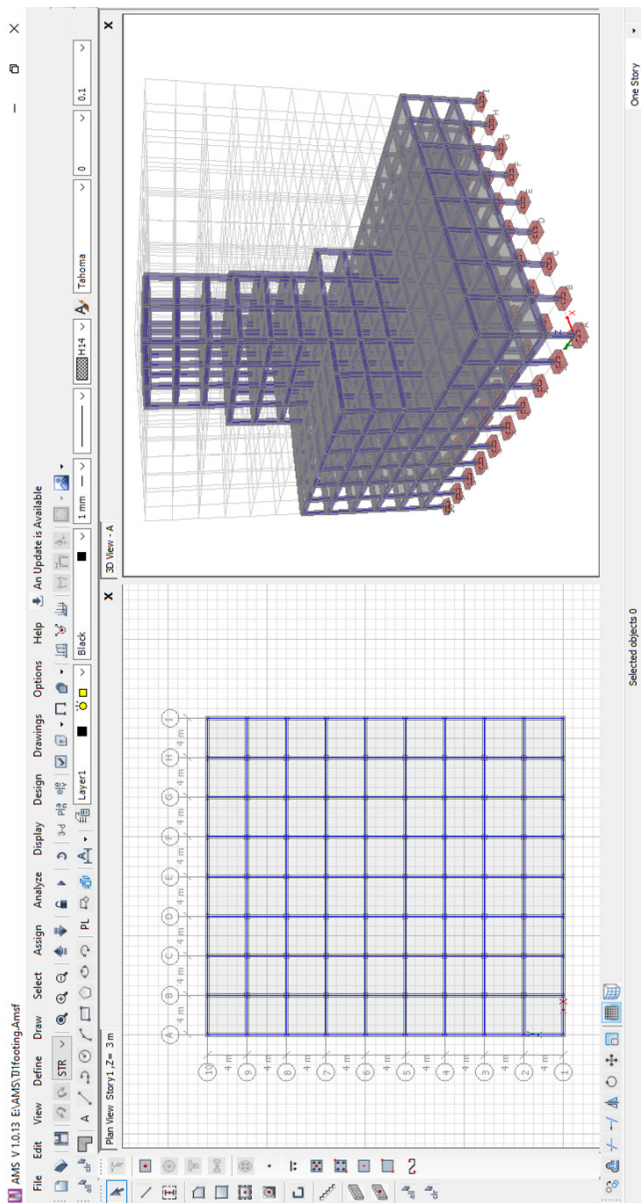


Fig. 1. AMS program interface (plan view and 3D view)

9. AMS imports and exports files from and to AutoCAD in the DXF format. It stores these files in graphical data as graphical elements and can convert these elements into structural elements as desired by the user.

10. It can also import and export a structural file from and to programs that support the IFC (Industry Foundation Classes) format. IFC files are platform-neutral and can be read and edited by any BIM software. AMS stores such files in structural data as elements and materials and loads them with full characteristics defined.

### **Analyzing with the program**

The most important references that were used to implement the analysis process in the program are found in [1–11]. The program effectively analyzes the structure according to the finite element method, using two types of solvers, direct and iterative. At the present stage, the analysis and design in the program are limited only to the linear reinforced concrete elements of rectangular section. Shell elements will be included later. The program can work with membrane slabs. A membrane slab is defined as a surface element that, when subjected to a load, transfers this load, as well as its own weight, to the surrounding beams according to the principle of lines of refraction (bisector of the angle between two adjacent linear elements). The stiffness of this element is not included in the global stiffness matrix. This same method is followed in all CSI (Computers and Structures, Inc.) programs for surface elements of this type [12]. The membrane slab can also be forced to work in one direction. The program introduces architectural wall and stairs elements, which are also ignored in analysis: their functions are limited to transfer their weight to the carrying frame elements (beams).

The program allows for static elastic linear analysis. In addition, it also includes static elastic-plastic analysis, which takes into account the non-linear properties of the elements' materials and their elastic-plastic behavior, represented by hinges positioned at the ends of the linear elements (only the moment hinges have been developed at the current stage).

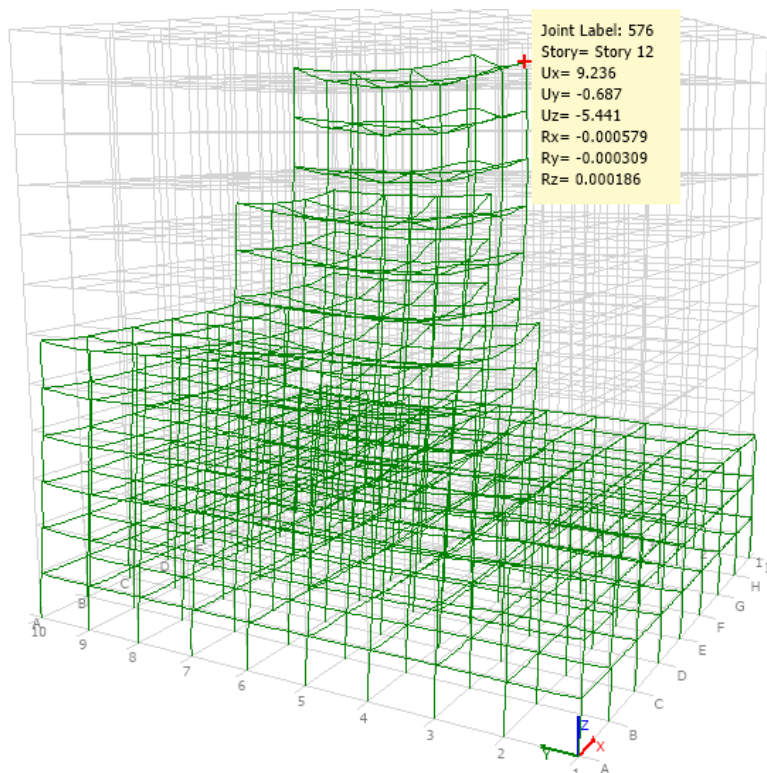


Fig. 2. Deformed shape of the structure in 3D view in AMS

The program introduces the impact of foundation settlement on the analysis, where it performs iterative analysis to calculate the settlement and saves the data as an additional loading pattern that the user can enter during the design phase with any load combinations.

In order to perform structural analysis, the program provides the following capabilities:

1. Introduction and appointment of all forms of loads, distributed (trapezoidal, uniform) and concentrated, which affect structural elements, as well as the appointment of concentrated loads and displacements, which affect joints in all directions.

2. Definition of construction materials (concrete and steel).

3. Frame assignment: releases at the start and the end of the frame elements, and frame elements' property modifiers.

4. Joint assignment: restraints (translation and rotation) in global directions ( $X, Y, Z$ ).

After analysis, the program displays the deformed shape of the structure (Fig. 2), and the resulting internal forces in the structural frame elements (moments, shear forces, axial forces, support reactions) in plan (Fig. 3), elevation and 3D views.

When applying static elastic-plastic analysis, the program provides a schematic representation of the structure's capacity curve (force-displacement), reflecting the response of the multi degrees of freedom (MDOF) of the structure with an equivalent response to the single degree of freedom (ESDOF).

### **Designing with the program**

The most important references that were used to implement the design process in the program are found in [13–20]. The design of frame elements (beams, columns) follows the guidelines of ACI (American Concrete Institute), using load and resistance factor design (LRFD). The ACI guidelines have been adopted for the design as the starting stage, but the program will be developed for adopting Russian codes at the next stage.

Columns. The user can design all columns together quickly and easily by determining the initial dimensions of the columns and choosing some parameters: the minimum and maximum diameter of the reinforcing bars, the side of the increase in dimensions, and the amount of this increase. The program finds the appropriate column section to withstand the forces (axial forces and moments  $M_{22}$ ,  $M_{33}$ ) on each floor and distributes the reinforcement within, generating three-dimensional biaxial interaction surfaces for the column section, and achieving its bearing capacity according to ACI. The program designs the reinforcement details of the columns and calculates overlap lengths, the distribution of the stirrups, the spacing, etc. within the requirements of the code used. The user can also specify the direction of the column overlap between the floors, and the program will automatically calculate the reinforcement and ensure individualization of reinforcement elements.

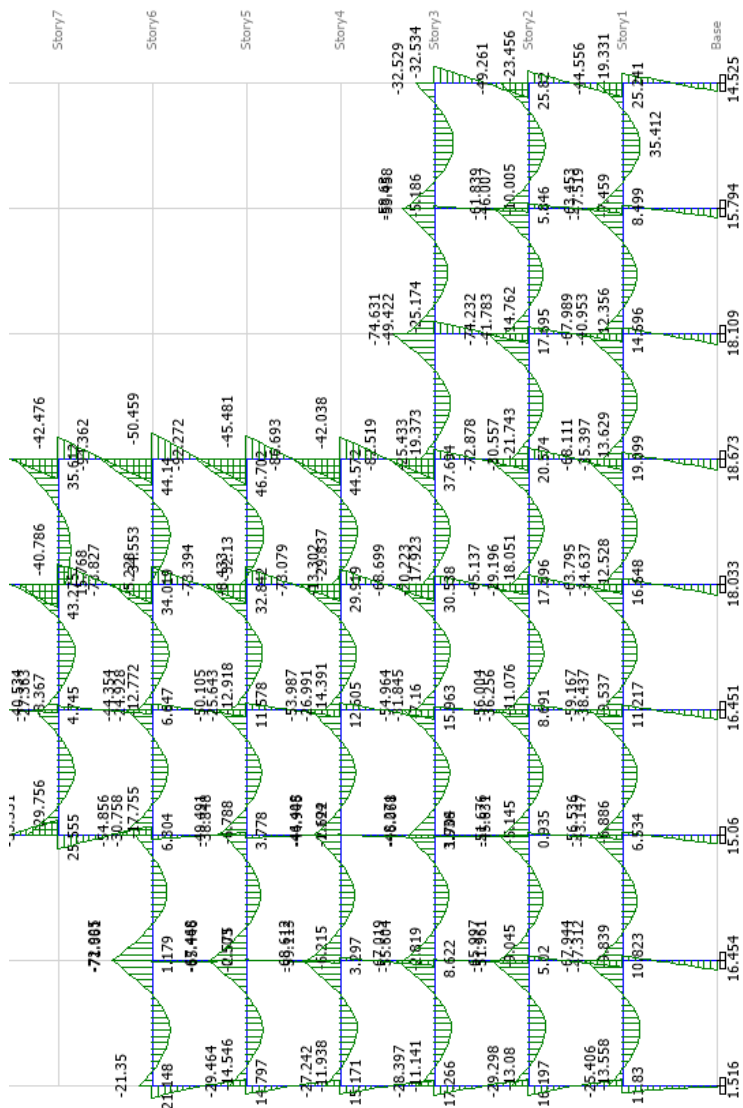


Fig. 3. Structure element moments, as shown in AMS in elevation view

Beams. The program lets the user design all the beams within the structure in one go, by introducing some starting parameters for the design process, such as the diameter of bars, the minimum and maximum spacing of bars, the specifications of the stirrups, and the inclusion of the upper or lower reinforcement. The program designs the beam according to the shear force and the bending moment (M33), and increases the cross-section in the event of failure to achieve the appropriate value according to the selected reinforcement ratio. The program automatically chooses the diameter and number of bars, distributes them within the cross-section, and adjusts the overlap distances and anchoring depending on the code used. It also merges bars automatically so as to achieve the economic factor that provides the greatest continuity of bars within the beam.

The program offers many windows with options to modify the columns and beams more precisely and individually. It also performs section design as a separated function, which helps to analyze various types of sections (concrete, steel) using the fiber approach. It creates stress-strain curves for confined and unconfined concrete according to Mander's model. Park stress-strain curve for steel. P-M-M (Axial Power – Moment22 – Moment33) interaction curves in 2D and 3D. Moment-curvature and moment-rotation curves of the plastic hinge.

The design results can be presented in detail in elevation and 3D views, in addition to a rendered 3D perspective of the structure with all reinforcement details (Figs. 4, 5).

## **Conclusion**

The result of this study is working software for 3D structural analysis and design, which includes FEM and supports BIM.

The program is available for free at: <https://www.amsprogram.ru/>.



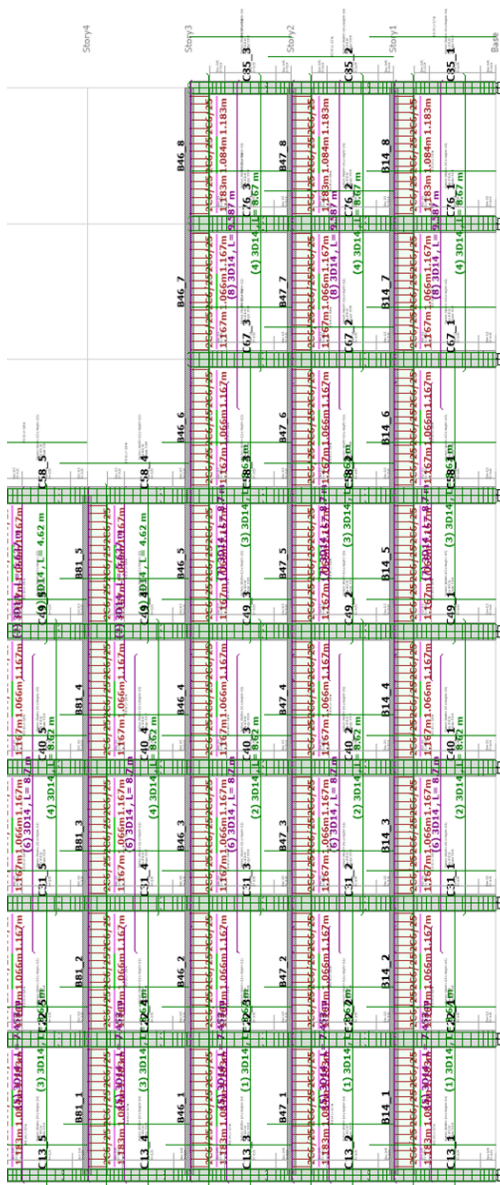


Fig. 4. Reinforcement details, as shown in AMS in elevation view

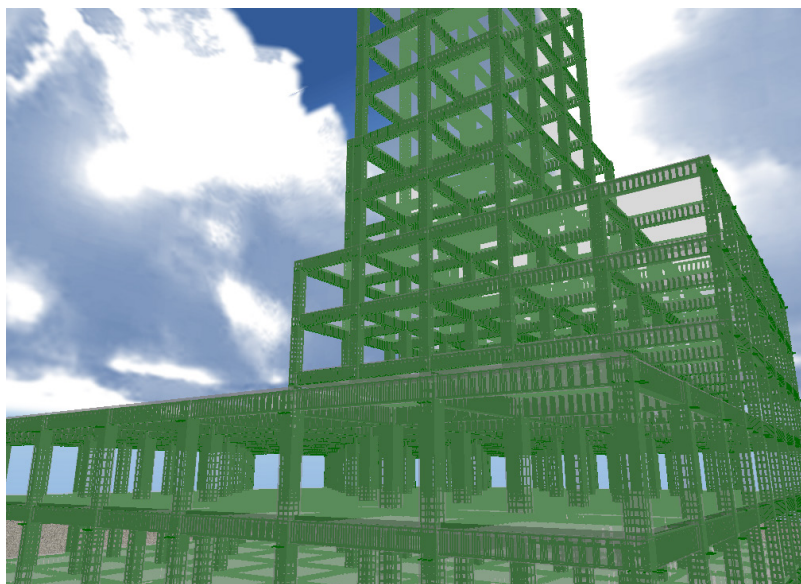


Fig. 5. Rendered 3D perspective of the structure with all reinforcement details, as shown in AMS

## References

1. Bathe K.J. Finite element procedure. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 1043 p.
2. Karadeniz H. Stochastic analysis of offshore steel structures, an analytical appraisal. Delft University of Technology, 2012. 408 p. DOI: 10.1007/978-1-84996-190-5.
3. Gavin H.P. Geometric stiffness effects in 2D and 3D frames. Duke University, 2012. 14 p.
4. Farhat C., Wilson E. A Parallel active column equation solver // Computers & Structures. 1988. Vol. 28, No. 2. P. 289–304. DOI: 10.1016/0045-7949(88)90050-8.
5. Wilson E.L., Dovey H.H. Solution or reduction of equilibrium equations for large complex structural systems // Advances in Engineering Software. 1978. Vol. 1, No. 1. P. 19–25.
6. ALGLIB: A cross-platform numerical analysis and data processing library. URL: <https://www.alglib.net> (accessed: 18.03.2021).
7. Dereniowski D., Kubale M. Cholesky factorization of matrices in parallel and ranking of graphs. In: Parallel Processing and Applied Mathematics. Lecture

Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer, 2003. Vol. 3019. P. 985–992. DOI: 10.1007/978-3-540-24669-5\_127.

8. Wang Q., Guo Y.C., Shi X.W. An improved algorithm for matrix bandwidth and profile reduction in finite element analysis // *Progress in Electromagnetics Research Letters*, 2009. Vol. 9. P. 29–38. DOI: 10.2528/PIERL09042305.

9. Cuthill E., McKee J. Reducing the bandwidth of sparse symmetric matrices. In: *Proceedings of 24th National Conference ACM*. 1969. P. 157–172. DOI: 10.1145/800195.805928.

10. Gibbs N.E., Poole W.G., Stockmeyer P.K. An algorithm for reducing the bandwidth and profile of a sparse matrix // *SIAM Journal on Numerical Analysis*. 1976. Vol. 13, No. 2. P. 236–250. DOI: 10.1137/0713023.

11. Hestenes M.R., Stiefel E. Methods of conjugate gradients for solving linear systems // *Journal of Research of the National Bureau of Standards*. 1952. Vol. 49, No. 6. P. 409–436. DOI: 10.6028/JRES.049.044.

12. CSI. Computers and Structures, Inc.: Integrated analysis, design and drafting of building systems. URL: <https://www.csiamerica.com> (accessed: 18.03.2021).

13. ACI. American Concrete Institute: Concrete frame design manual (ACI 318-14). 2017. 82 p.

14. CSI. Computers and Structures, Inc.: Section designer manual ETABS® Three dimensional analysis and design. 2016. 191 p.

15. Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. Theoretical stress-strain model for confined concrete // *Journal of Structural Engineering*. 1988. Vol. 114, No. 8. P. 1804–1826. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1988)114:8(1804).

16. CSI. Computers and Structures, Inc.: Technical note material stress-strain curves. 2008. 18 p.

17. ACI. American Concrete Institute: Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and commentary (ACI 318R-14). 2014. 518 p.

18. Furlong R.W., Hsu C.-T.T., Ali M.S. Analysis and design of concrete columns for biaxial bending – Overview // *ACI Structural Journal*. 2004. Vol. 101. No. 3. P. 413–423. DOI: 10.14359/13101.

19. Bresler B. Design criteria for reinforced columns under axial load and biaxial bending // *ACI Journal*. 1960. Vol. 57, No. 11. P. 481–490. DOI: 10.14359/8031.

20. Parme A.L., Nieves J.M., Gouwens A. Capacity of reinforced rectangular columns subject to biaxial bending // *ACI Journal*. 1966. Vol. 10, No. 7. P. 911–923.

**УДК 624.05**

**DOI: 10.23968/ВМАС.2021.035**

**Галиев Ильяс Халимович**, ассистент

(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: galiev-ih@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-8845-217X*

**Ибрагимов Руслан Абдирашитович**, канд. техн. наук,  
заведующий кафедрой

(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: rusmag007@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8879-1190*

**Ашрапов Азат Халилович**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой

(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: 32116@kgasu.ru, ORCID: 0000-0002-5202-3867*

Galiev Ilyas Khalimovich, assistant

(Kazan State University of Architecture and Engineering)

Ibragimov Ruslan Abdirashitovich, PhD of Sci. Tech., Head of Department

(Kazan State University of Architecture and Engineering)

Ashrapov Azat Khalilovich, PhD of Sci. Tech., Head of Department

(Kazan State University of Architecture and Engineering)

## **ВОЗМОЖНОСТИ 3D СКАНЕРОВ ПРИ МОНИТОРИНГЕ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ**

### **CAPABILITIES OF 3D SCANNERS FOR MONITORING RECONSTRUCTED BUILDINGS**

При оценке безопасности строительно-монтажных работ при строительстве, реконструкции и приспособлении возникает необходимость проведения геодезического мониторинга за деформациями конструкций зданий. В настоящее время для этих целей широкое использование получили электронные тахеометры, имеющие погрешность измерений до 3 мм в зависимости от условий съемки. Для повышения точности наблюдений, получения объемных снимков этапов проведения работ и более информативного представления результатов обработки данных предлагается использование 3D-сканеров и лазерных трекеров. В статье показаны недостатки и основные преимущества данных приборов при их использовании в геодезическом мониторинге зданий. Предложена новая конструкция марки, позволяющая выполнять геодезические измерения.

*Ключевые слова:* мониторинг, 3D-сканер, лазерный трекер, реконструкция, геодезические марки, деформации.

When assessing the safety of construction and installation operations during construction, reconstruction and adaptation, there is a need for the geodetic monitoring of structural deformations in buildings. Currently, electronic total stations, which have a measurement error of no more than 3 mm (depending on the shooting conditions), are widely used for this purpose. We propose using 3D scanners and laser trackers in order to improve observation accuracy, obtain 3D footage of different work stages, and present the results of data processing in a more informative way. The article shows which advantages and disadvantages these devices have when being used in geodetic building monitoring. It also suggests a new geodetic mark configuration that allows for geodetic measurements.

*Keywords:* monitoring, 3D scanner, laser tracker, reconstruction, geodetic marks, deformations.

В процессе строительства и реконструкции зданий и сооружений, при выполнении мероприятий, затрагивающих несущие конструкции, с возможными силовыми воздействиями на конструктивные элементы здания, влияющими на пространственную жесткость, а также демонтажем, углублением и усилением фундаментов, стен и перекрытий возникает необходимость контроля горизонтальных и вертикальных деформаций обследуемого объекта. Данные наблюдения относят к работам по мониторингу, который обычно входит в состав работ научно-технического сопровождения объекта [1–2].

Согласно СП 22.13330.2016 геотехнический мониторинг – комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в том числе грунтового массива, и строительных конструкций близлежащих сооружений. Данный мониторинг проводится в период строительства (включая период сноса до начала строительства) и на начальном этапе эксплуатации вновь возводимых или реконструируемых объектов.

Главной целью геотехнического мониторинга является обеспечение безопасности строительства и эксплуатационной надежности объектов нового строительства или реконструкции, включая здания и сооружения окружающей застройки, за счет своевременного выявления изменения контролируемых параметров конструкций и грунтов оснований, которые могут привести к переходу объектов в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

При данном мониторинге применяют различные методы: визуально-инструментальный, геодезический, параметрический, гидрогеологический и др.

В соответствии с нормативными документами [1, 2] для технического обеспечения геодезического метода применяют электронные, лазерные тахеометры, сканеры, теодолиты, а также нивелиры. Иногда пользуются навигационными спутниковыми системами. Однако в табл. 6.1 СП 305.1325800.2017, в основных геодезических методах и средствах измерений, где представлены приборы от нивелиров до автоматических АПС (аппаратно-программные системы), не представлены данные по использованию трехмерных наземных лазерных сканеров и трекеров.

В процессе проведения работ научно-технического сопровождения объекта культурного наследия дома купца Лисицына в г. Казани, применялись в основном визуально-инструментальный и геодезический методы.

После проведения визуального обследования здания и сравнения с предыдущими результатами обследования предусматривалось проведение следующего перечня работ. Установка устройств наблюдения:

- 1) разметка и установка точек для снятия контрольных замеров;
- 2) установка угловых маяков с целью выявления возможных смещений в углах здания;
- 3) гипсовых маяков на трещины;
- 4) установка измерительных меток на наружной стене здания со стороны двора и соседних зданий;
- 5) монтаж анкеров для замера перемещений стен в горизонтальной плоскости;
- 6) установка точек для замера перемещений стен в вертикальной плоскости (в количестве 17 шт.);
- 7) разметка точек на стенах здания для снятия изменений контрольных размеров.

Программа наблюдения включала в себя:

- 1) снятие отчетов со средств наблюдения;
- 2) статистический анализ полученных данных;

3) разработка технических решений предупреждения и устранения возникших отклонений, превышающих предусмотренные в проекте, а также осуществление контроля за выполнением принятых решений.

В данной статье, в дополнение к работе [3] приводится более подробное описание геодезических наблюдений и перспективные наработки в данной области.

При мониторинге объекта реконструкции измерения осадок изначально велись с помощью электронного тахеометра Sokkia SET 550RX. В электронно-оптических тахеометрах используется фазовый метод [4]. Также среди последних тенденций, появляются модели, оснащенные сервоприводом, самостоятельно направляющем ось луча на отражатель, что делает их схожими с трекерами. Для передачи материала работы специалисты конвертируют файл тахеометра в требуемую программу и обрабатывают результаты.

В последнее время для таких работ широкое распространение получили 3D-сканеры различных типов [5–8]. По принципу действия данные типы приборов разделяют на контактные и бесконтактные. Наиболее широко распространены бесконтактные типы сканеров. Такие сканеры получили название наземные лазерные сканеры (НЛС), либо 3D-сканерами [5, 7].

По результатам работ [8, 9] установлено, что метод НЛС имеет минимальные погрешности, зачастую меньшую, заявленную производителем. В исследовании также говорится об ограничениях при использовании данного метода, связанных с отсутствием достаточной нормативной документации.

Однако, для получения максимально точных результатов мониторинга, необходимо наличие предварительно установленных неподвижных марок (рис. 1, тип *a*). В данном случае указанные широкие функциональные возможности НЛС полностью не реализуются. Анализ результатов выполняется в основном по координатам относительного перемещения заранее установленных геодезических марок. В качестве усовершенствования методов исследования авторами предложена новая конструкция марки, позволяющая выполнять геодезические измерения всеми

представленными типами приборов. Для повышения точности контактного метода измерений, к типовой конструкции марки приваривается держатель с магнитным сердечником для сферического отражателя трекера (рис. 1, тип б). Используемое программное обеспечение: FARO® SCENE software is specifically designed for all FARO►Recap►AutoCAD, Revit и т. п.

В данной статье с целью определения деформаций реконструируемого здания, кроме широко известного метода с применением тахеометра, предлагается использовать следующие виды 3D-сканеров: 3D-сканер FARO Focus S 150 [10–11] и трекер API RADIAN R20 [7].

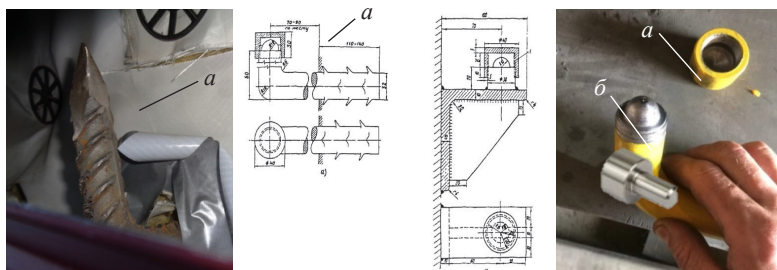


Рис. 1. Классическая конструкция деформационной марки по [2] (а) и приваренный к ней магнитный держатель (б) для сферического отражателя трекера

Сравнительные технические характеристики используемых в исследовании типов сканеров представлены в табл. 1.

По результатам измерения времени работы сканеров на начальной позиции сканирования получены следующие данные:

- среднее время работы тахеометра на 1-ой точке стоянки – 45 минут при первом цикле и до 18 минут на последующих точках;
- среднее время работы трекера на 1-ой точке стоянки составляет 127 минут на первом цикле, при работе бригадой из двух человек и до 48 минут на последующих точках той же бригадой;
- среднее время работы 3D-сканера на 1-ой точке стоянки – 47 минут при первом цикле и до 24 минут на последующих точках.



Таблица 1

**Технические характеристики используемых приборов и 3D сканеров**

Характеристики	Тахеометр Sokkia SET 550RX [4]	Трекер API RADIAN R20 [7]	3D-сканер FARO Focus S 150 [11]
Внешний вид			
Диапазон измеряемых расстояний, м.	до 400	от 0 до 30	от 0,6 до 150
Диапазон измеряемых углов: – вертикальных – горизонтальных	– –	от +79° до –60° ±320°	300° 360°
Пределы допускаемой погрешности измерений расстояний интерферометром, мкм/м	± (3+2×106×D)	±0,5	2 мм на 10 м, 3,5 мм на 25 м
Масса, кг, не более	7,7 кг	9 кг	4,2 кг
Диапазон рабочих температур, °С	от –20 до +50	от –10 до +45	от –20 до +55
Скорость сканирования	–	1000 точек/в сек в динамическом режиме	от 122,000 до 976,000 точек/в сек
Источник питания	Встроенный	Внешний, 220 В	Встроенный
Стоимость	от 0,7 млн руб.	от 11 млн руб.	от 9 млн руб.

## **Выводы**

Из представленных данных следует, что представленные типы приборов имеют свои преимущества и недостатки. Для частых и простых замеров наиболее оптимальным является тахеометр. Для отслеживания изменений по этапам выполнения реконструкции, уточнения геометрических размеров элементов здания, оптимально использование 3D-сканера. Для получения наиболее точных результатов мониторинга рекомендуется использовать трекеры. Предложена новая конструкция марки, позволяющая выполнять геодезические измерения всеми представленными типами приборов.

## **Литература**

1. СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения гео-технического мониторинга при строительстве. М.: Стандартинформ, 2017. 61 с.
2. РД 34.21.322-94. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений, строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. М.: СПО ОРГРЭС, 2005. 56 с.
3. Галиев И.Х., Ашрапов А.Х., Ибрагимов Р.А. Научно-техническое сопровождение объекта культурного наследия дома купца Лисицына при проведении строительно-монтажных работ по его реставрации и реконструкции // Известия КГАСУ. 2018. № 1(43). С. 211–218.
4. Универсальные тахеометры серии FX. URL: <https://www.sokkia.ru/products/optical-instruments/reflectorlessprism/fx-advanced-total-station-series> (дата обращения: 01.03.2021).
5. Киямов И.К., Мингазов Р.Х., Музафаров А.Ф., Ибрагимов Р.А., Сибгатуллин А.А. Технология лазерного сканирования в 3D проектировании // Экспозиция Нефть Газ. 2013. № 7(32). С. 41–43.
6. Крутиков Д., Барабанщикова Н. Моделирует лазерный сканер // ТехНАДЗОР. 2010. № 3(40). С. 70–71.
7. Трекер Radian PRO. URL: <https://nevatec.ru/equipment/radian.html> (дата обращения: 01.03.2021).
8. Цифровые метрологические решения. URL: <https://dismet.ru> (дата обращения: 01.03.2021).
9. Середович В.А., Иванов А.В. Исследования точности измерений, выполненных наземным лазерным сканером // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. Т. 1, № 3. С. 134–143.

10. Feng P., Zou Y., Hu L., Liu T.Q. Use of 3D laser scanning on evaluating reduction of initial geometric imperfection of steel column with pre-stressed CFRP // Engineering Structures. 2019. Vol. 198. P. 109527. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.109527.

11. FARO Focus S 150. URL: <http://www.faro.com.ru> (дата обращения: 01.03.2021).

### **УДК 69.003**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.036

**Губинская Ксения Юрьевна**, канд. архит., старший преподаватель; главный специалист отдела Адмиралтейского района (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры)

*E-mail: kgub@yandex.ru*

**Волков Алексей Васильевич**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой (Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: geo@spbgasu.ru*

**Ерёменко Артём Валерьевич**, специалист Управления сохранения исторической среды (Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры)

*E-mail: eremenko@kgiop.gov.spb.ru*

**Дьяконов Николай Павлович**, специалист Управления сохранения исторической среды (Комитет по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры)

*E-mail: djaknvn@kgiop.gov.spb.ru*

**Тюлькин Даниил Александрович**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: tulkindaniilal@gmail.com*

Gubinskaya Ksenia Yrievna, PhD of Architecture, Senior Lecturer,  
Chief Specialist of the Admiralty District Department  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,  
Committee for the State Preservation of Historical and Cultural Monuments in  
Saint-Petersburg)

Volkov Alexey Vasilievich, PhD of Sci. Tech., Head of Department

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)  
Eremenko Artem Valerievich,  
Specialist of the Department of Historical Environment Preservation  
(Committee for the State Preservation of Historical and Cultural Monuments in  
Saint-Petersburg)  
Diakonov Nikolay Pavlovich,  
Specialist of the Department of Historical Environment Preservation  
(Committee for the State Preservation of Historical and Cultural Monuments in  
Saint-Petersburg)  
Tulkin Daniil Aleksandrovich, student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

**ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО ОБОСНОВАНИЮ  
ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ  
ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ДЛЯ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО  
НАСЛЕДИЯ**

**A PROPOSAL TO JUSTIFY THE USE OF THE INFORMATION  
MODELING TECHNOLOGY FOR ARCHITECTURAL  
AND URBAN HERITAGE**

Статья посвящена исследованию архитектурного и градостроительного наследия, при котором специалист (архитектор, архитектор-реставратор, инженер-реставратор) собирает максимально доступное количество информации об объекте исследования, в том числе данные и сведения о строительной истории. Объединение полученной информации в комплексе с данными цифрового построения модели позволяет предложить новый подход к вопросу сохранения объектов архитектурного и градостроительного наследия. Информационная модель архитектурного и градостроительного наследия является смешанной, т.е. объединяющей фактические геометрические и физические характеристики объекта, при этом включающей в себя оцифрованные документально-исторические свидетельства. Предлагаемая авторами концепция и подход пока не имеют широкого распространения в России, но безусловно имеет необходимость в разработке.

*Ключевые слова:* ТИМ (технология информационного моделирования), НВИМ, архитектурное наследия, сохранение культурного наследия, урбанизованная территория, информационная модель архитектурного и градостроительного наследия.

The article reviews the process of studying architectural and urban heritage, wherein the expert (architect, restoration architect, restoration engineer) collects the maximum amount of information available on the object in question, including records of its construction history. By integrating the information obtained into the data revealed by the digital model construction, we can offer a new approach to the issue of preserving architectural and urban heritage sites. The information model of architectural and urban heritage is mixed, i.e. it combines the site's actual geometric and physical characteristics, while also accounting for digitized historical records. The concept and approach proposed by the authors are not yet widely used in Russia, but they certainly need to be developed.

*Keywords:* BIM, HBIM, architectural heritage, preservation of cultural heritage, urbanized area, information model of architectural and urban heritage.

Опыт работы в органах государственной власти, уполномоченных в вопросах сохранения культурного наследия Российской Федерации, а также в высших учебных заведениях, подготавливающих профессиональные кадры в области градостроительства, архитектуры, строительства и реставрации, дает возможность оценить несовершенство системы исследования, хранения и использования информации о многообразии форм архитектурного и градостроительного наследия.

1 декабря 2020 г. вступили в силу положения статьи 57.6 Градостроительного кодекса Российской Федерации, определяющие понятие и область применения классификатора строительной информации, а также компетенцию Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на осуществление деятельности по его формированию и ведению с использованием государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации (ГИСОГД РФ) [1]. В нашей стране в настоящее время BIM-классификатор (Building Information Modeling) находится в стадии разработки. Государственный стандарт для него готовит Научно-инженерный центр цифровизации и проектирования в строительстве [2].

Сфера сохранения культурного наследия в целом согласуется с градостроительной деятельностью, однако, к сожалению, она не отражается в разрабатываемых сегодня отечественных информационных классификаторах.

В зарубежной строительной практике существуют следующие системы классификаторов, основанные на международном стандарте ISO 12006-2 [3]: Omniclass (США), Uniclass (Великобритания), SFG20 (Швейцария), CCS (Дания), CoClass (Швеция), Talo 2000 (Финляндия), NS 3451&TFM (Норвегия). Все из перечисленных классификаторов разработаны для строительства, но применимы для сохранения архитектурного наследия лишь отчасти [4].

Система Omniclass, имеющая наибольшее распространение, включена в ряд программ для создания ВІМ-моделей, например, Revit. Однако есть недоработки, связанные с глубиной уровней таблиц, из которых состоит классификатор. Их количество варьируется от двух до восьми уровней иерархии, что приводит к несогласованности уровня описания компонентов. Кроме того, описание объектов внутри таблиц иногда предназначено для групп объектов, а иногда для отдельных объектов, что может вызвать расхождения в спецификации. В Uniclass, как и в Omniclass, не все архитектурные элементы можно описать с помощью таблиц, составляющих классификатор [4].

Вышеупомянутые недостатки создают необходимость разработки отдельной, более подходящей системы классификации для архитектурного наследия.

На данный момент за рубежом существует и активно развивается научное направление, созданное на стыке двух областей: сохранения архитектурного наследия и информационного моделирования – Historical Buildings Information Modeling (НВІМ), которое занимается разработкой классификаторов, подходящих для работы с архитектурным наследием [5]. Работа с архитектурным наследием предполагает научно-исследовательскую деятельность, поэтому используя технологии НВІМ возможно создавать трехмерные модели объектов архитектурного и градостроительного наследия на основе изучения совокупности данных об объекте исследования.

Необходимость разработки отдельного классификатора для отечественного аналога НВІМ и его гармонизация с обозначенным в российской нормативной базе классификатором обусловлена сложностью структуры исторических поселений и невозможностью

полной совместимости с существующими классификаторами. В исследовательских целях для обобщения понятий историческая городская среда, историческое поселение и пр., авторами предложен термин – урбанизированная территория.

Анализ многообразия законодательных актов Российской Федерации позволяет выделить ряд определений, которые могут служить наполнением системы классификации элементов урбанизированной территории: историческое поселение [6]; зона охраны [7]; территория объекта культурного наследия; объект культурного наследия (памятник, ансамбль, достопримечательное место); предмет охраны [8].

Безусловно, это только выборка из многообразия терминологии отечественного законодательства, однако и она дает понимание необходимости разработки «универсального» классификатора, который позволил бы перенести опыт BIM-технологий строительной сферы на цифровизацию отрасли сохранения архитектурного и градостроительного наследия.

BIM-технологии применительно к сохранению и восстановлению архитектурного и градостроительного наследия имеют ряд недостатков, не позволяющих полностью реализовать концепцию цифровой модели. Для архитектурного наследия важен не только сам объект как твердотельное представление, но и его существование в историческом и природном контексте. Урбанизированные территории являются пространственными комплексами, которые отражают развитие общества и его культурную идентичность, а также являются неотъемлемой частью более широкого природного или созданного человеком контекста и вместе должны рассматриваться как неотделимые от него [9].

Рассматривать урбанизированную территорию можно в двух аспектах. С одной стороны, город можно представить как целостный объект – масштабное инженерное и архитектурное «сооружение», изменяющееся во времени. С другой стороны, возможно исследование отдельных компонентов или фактов городской среды [10]. Рассмотрение урбанизированной территории в виде целостного объекта влечет за собой необходимость морфологического зонирования внутри выбранных для исследования границ

территории. Стоит отметить, что понятие морфологии урбанизированной территории присутствует в «Принципах Валлетты» [9], однако современная нормативная документация, в частности рекомендованные к использованию «Методические рекомендации оценки историко-культурной ценности поселения» [11], не учитывает и не регламентирует использование принципов морфологического зонирования городской среды.

Под морфологическим зонированием подразумевается определение территориальных элементов урбанизированной территории, характеризующихся размещением на них однотипных градостроительных компонентов или фактов городской среды [12].

Обобщая международный и отечественный опыт, а также действующее законодательство, авторы статьи предлагают схему классификации элементов урбанизированной территории, сформированной под воздействием природных и антропогенных факторов (рис. 1).

Авторами предлагается расширение термина технология информационного моделирования (ТИМ), введенного в законодательство Российской Федерации [13], термином – технология информационного моделирования в архитектурно-градостроительном наследии (ТИМ-АГН).

Приступая к исследованию архитектурного и градостроительного наследия, специалист (архитектор, архитектор-реставратор, инженер-реставратор) собирает максимально доступное количество информации об объекте исследования, в том числе данные и сведения о строительной истории. Объединение полученной информации в комплексе с данными цифрового построения модели, позволяет предложить новый подход к вопросу сохранения объектов архитектурного и градостроительного наследия.

Фактически информационная модель становится хранилищем сведений об объекте и инструментом исследовательской работы, а также применяется в учебно-просветительской деятельности и популяризации культурного наследия. Кроме того, информационная модель позволяет осуществлять оперативный мониторинг состояния объекта.



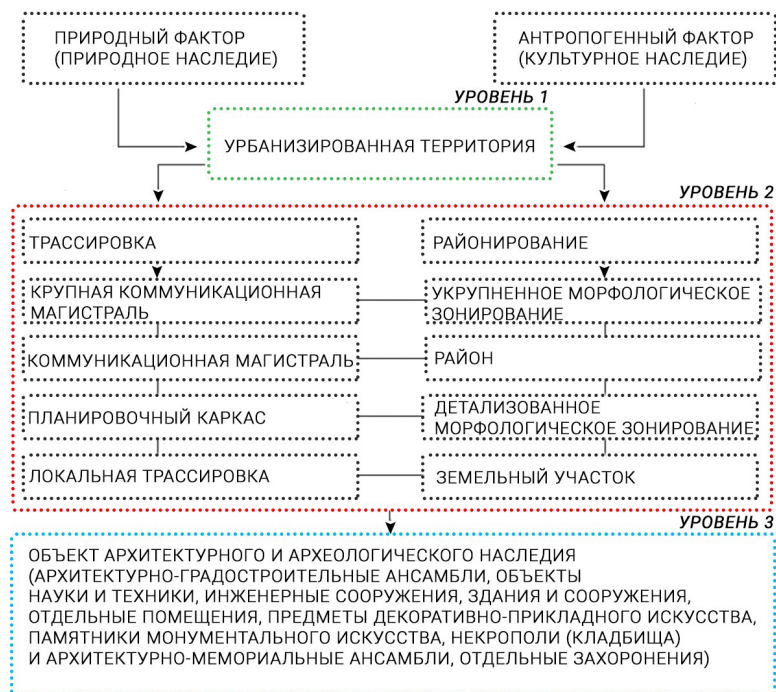


Рис. 1. Схема классификации элементов урбанизированной территории

В дополнение к основным требованиям, предъявляемым к информационным моделям для архитектурного и градостроительного наследия, появляется необходимость привязки к объекту исторических документов и ресурсов. Такая информация может реализовываться через добавление в модель текстовых или графических документов (чертежи, планы, схемы, фотоматериалы и т. д.), либо подключением ссылок на интернет-порталы [14].

Таким образом, информационная модель архитектурного и градостроительного наследия ТИМ-АГН является гибридной, объединяющей как метрические, так и историко-культурные параметры объекта.

Информационная модель ТИМ-АГН – это не просто виртуальная копия объекта, а «интеллектуальный контейнер» с взаимосвязанной информацией об объекте, причем объем этого «контейнера» практически не ограничен [14].

### **Литература**

1. Информационное сообщение на сайте Федерального центра нормирования и стандартизации при Минстрое России. URL: <http://ksi.faufcc.ru/> (дата обращения: 05.03.2021).
2. Волкодав В.А., Волкодав И.А. Разработка структуры и состава классификатора строительной информации для применения ВМ-технологий // Вестник МГСУ. 2020. № 6(15). С. 867–906. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.6.867-906.
3. ISO 12006-2:2015(en) Building construction – Organization of information about construction works – Part 2: Framework for classification. 2015. 23 p. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12006:-2:ed-2:v1:en> (дата обращения: 02.03.2021).
4. Saleeb N., Marzouk M., Atteya U. A comparative suitability study between classification systems for BIM in heritage // International Journal of Sustainable Development and Planning. 2018. No. 1(13). P. 130–138. DOI: 10.2495/SDP-V13-N1-130-138.
5. Diara F., Rinaudo F. IFC Classification for FOSS HBIM: Open Issues and a Schema Proposal for Cultural Heritage Assets // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, No. 23. P. 8320. DOI: 10.3390/app10238320.
6. Ст. 59 Федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 29.12.2020) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации».
7. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ и ст. 34 Федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 29.12.2020) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации».
8. Ст. 56.4 Федерального закона от 25.06.2002 № 73-ФЗ (ред. от 29.12.2020) «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации».
9. Принципы Валлетты. URL: [https://www.icomos.org/charters/RUSS\\_Valletta\\_principles.pdf](https://www.icomos.org/charters/RUSS_Valletta_principles.pdf) (дата обращения: 05.03.2021).
10. Рекомендация о международном обмене культурными ценностями. Найроби, 1976. URL: <https://base.garant.ru/2564859/> (дата обращения: 05.03.2021).
11. Шевченко Э.А. Методические рекомендации оценки историко-культурной ценности поселения. Применение критериев историко-культурной

ценности поселения в оценке недвижимости, расположенной в границах исторического поселения. СПб.: ЗАО «Издательство Зодчий», 2014. 263 с.

12. Росси А. Архитектура города. М.: Strelka Press, 2015. 264 с.

13. Перечень поручений по итогам конференции по искусственному интеллекту. 2020. URL: <http://www.kremlin.ru> (дата обращения: 11.01.2021).

14. Козлова Т.И., Куликова С.О., Талапов В.В., Чжан Гуаньин. Технология BIM: уникальная возможность работы с памятниками деревянной архитектуры. 2016. URL: <https://ardexpert.ru/article/6134> (дата обращения: 03.03.2021).

**УДК 004.946+72**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.037

**Згода Юрий Николаевич**, аспирант, ассистент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [yurii.zgoda@mail.ru](mailto:yurii.zgoda@mail.ru), *ORCID:* 0000-0001-6714-500X

**Семенов Алексей Александрович**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [sw.semenov@gmail.com](mailto:sw.semenov@gmail.com), *ORCID:* 0000-0001-9490-7364

Zgoda Iurii Nikolaevich, postgraduate student, assistant  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering.)  
Semenov Alexey Aleksandrovich, PhD of Sci. Tech., Head of Department  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕРИРУЕМОЙ СРЕДСТВАМИ DYNAMO REVIT ГЕОМЕТРИИ В ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

### **VR VISUALIZATION OF GEOMETRY GENERATED IN DYNAMO REVIT**

На данный момент отсутствуют какие-либо решения для визуализации в виртуальной реальности геометрии, моделируемой с использованием расширения Dynamo Revit. В то же время подобная визуализация обладает значительно более высокой эффективностью в сравнении со стандартными средствами визуализации Dynamo.

В рамках данной работы описывается разработанный авторами программный комплекс, позволяющий выполнить VR-визуализацию геометрии, созданной в Динамо. В ходе разработки данного комплекса был проведен анализ исходного кода Динамо, выявлены наиболее эффективные способы извлечения геометрии, создано ПО для визуализации геометрии Динамо в виртуальной среде.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, Динамо, Revit, BIM, визуализация, параметрика.

Currently, there are no solutions for VR visualization of geometry designed with the use of Dynamo Revit. Such visualization is significantly more effective in comparison with the standard Dynamo visualization tools.

This paper describes the software complex developed by the authors, which allows users to perform VR visualization of geometry created in Dynamo. During the development of the complex, we analyzed the Dynamo source code, identified the most effective methods for extracting geometry, and created software for visualizing Dynamo geometry in a virtual environment.

*Keywords:* virtual reality, Dynamo, Revit, BIM, visualization, parametrics.

Одним из актуальных направлений развития BIM-технологий является расширение функциональности BIM-ПО путем использования специально разработанных плагинов и скриптов. Современные программные комплексы BIM-моделирования зачастую содержат встроенные средства визуального программирования [1], которые позволяют автоматизировать различные задачи, не требуя при этом со стороны пользователя навыков программирования. К подобным решениям можно отнести расширение Dynamo для Autodesk Revit и Rhinoceros/Grasshopper для Graphisoft ArchiCAD.

Возможным направлением для автоматизации через визуальное программирование является применение параметризма в архитектурном проектировании. До появления приведенных выше программных решений, идеи параметризма развивались преимущественно на основе теоретического поиска и эксперимента [2]. Параметрическое моделирование позволяет решать самые разнообразные задачи, например, оптимизация конструкций [3] или размещение солнечных элементов по поверхности здания [4].

Как показано в работах [5–7], эффективность применения BIM-технологий может быть существенно повышена путем

использования технологий виртуальной и дополненной реальности. Для визуализации BIM-моделей с использованием виртуальной и дополненной реальности существуют различные программно-аппаратные решения, такие как Lumion, Twinmotion, Fuzor и др. В то же время для визуализации геометрии, генерируемой или обрабатываемой с использованием средств визуального программирования, подобное решение (Mindesk VR) имеется только для Rhinoceros + Grasshopper.

Для визуализации геометрии из Dynamo подобные решения отсутствуют. В то же время визуализация геометрии через штатные средства Dynamo зачастую недостаточно наглядна (рис. 1). Наиболее очевидным решением этой проблемы является импорт этой геометрии в Revit, ее экспорт в FBX и дальнейшая визуализация в одном из решений для интерактивной визуализации (Twinmotion или Lumion). Но появление промежуточных действий усложняет подготовку итоговой визуализации, что сказывается на частоте итераций при подготовке визуализаций [8].

Целью данной работы является реализация функциональности по визуализации в виртуальной реальности объектов, моделируемых с использованием Dynamo. Для реализации данной цели необходимо решить такие задачи, как получение геометрии из Dynamo средствами его API, передачу этой геометрии в программно-аппаратный комплекс визуализации и ее последующую визуализацию.

Исходный код Dynamo является открытым, т. е. для разработчиков ПО, обладающих необходимым знанием языка программирования C# и платформы .NET имеется возможность создания собственной модифицированной версии Dynamo. В контексте данной работы это означает, что существует возможность создания авторской модификации Dynamo со встроенными средствами интерактивной VR-визуализации.

С другой стороны, создание модифицированной версии Dynamo приведет к тому, что пользователям подобного решения будет необходимо устанавливать в Revit дополнительное расширение. При появлении новых версий Dynamo необходимо постоянно обновлять авторскую версию Dynamo и передавать ее пользователям.

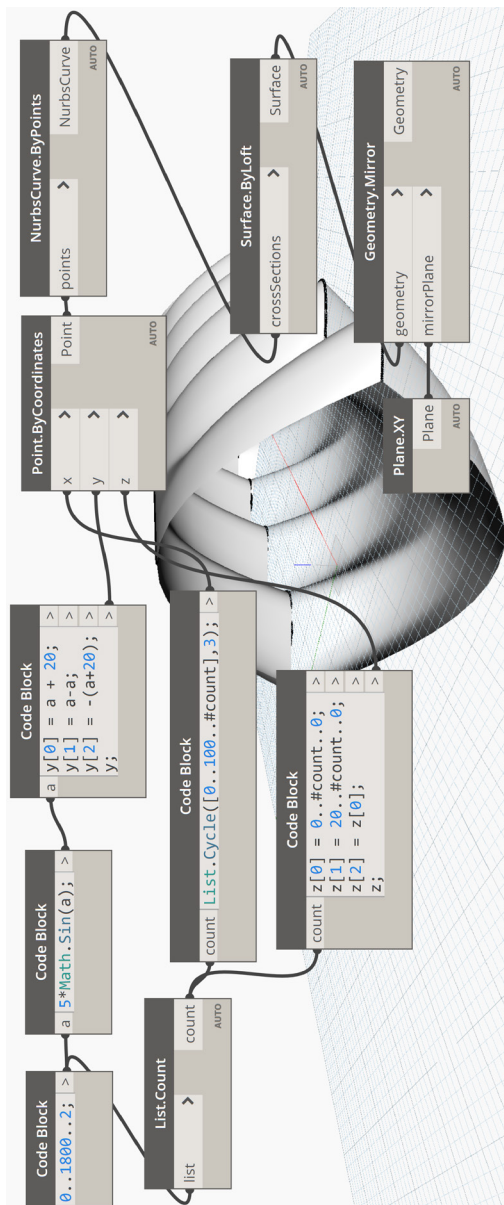


Рис. 1. Визуализация с использованием встроенных средств Дупато

Другим немаловажным фактором является то, что исходный код Dypamo практически не документирован. И хотя исходный код программы доступен для изучения всем желающим, отсутствуют какие-либо пояснения относительно внутренней структуры Dypamo, что существенно усложняет внесение в его исходный код изменений.

В связи со всем вышесказанным, оптимальным по результатам данного исследования оказался подход, позволяющий выполнять визуализацию из Dypamo в VR/AR через разработку специального расширения для Dypamo. Таким образом, средство визуализации геометрии дополняет уже установленный у пользователя Dypamo, что упрощает установку и настройку.

Основным способом расширения функциональности в Dypamo является разработка собственных узлов. Для создания пользовательских узлов программисту доступны языки программирования Python и C#. В данной работе был выбран язык программирования C# в среднем обеспечивающий более высокую (по сравнению с Python) производительность, а также более удобный с точки зрения инструментария разработчика.

Как показало исследование, в Dypamo отсутствует возможность запросить отображаемую в окне 3D-вида геометрию. Список со всеми геометрическими элементами присутствует в исходном коде Dypamo в подмодуле пользовательского интерфейса, но модификаторы доступа этого подмодуля не позволяют обратиться к этому списку без внесения изменений в исходный код Dypamo. В связи с этим, единственным решением, позволяющим использовать оригинальную версию Dypamo является ручное формирование списка объектов для визуализации внутри Dypamo (рис. 2). Данная процедура включает в себя преобразование визуализируемой геометрии в экземпляры класса Mesh библиотеки Dypamo Mesh Toolkit и добавление этих элементов в одномерный список.

Для того, чтобы выполнить визуализацию экспортируемой геометрии был использован формат хранения сведений об элементах BIM-моделей, а также модуль визуализации геометрии, представленный в [9]. Результаты визуализации с использованием Dypamo и с использованием разработанного решения приведены на рис. 3.

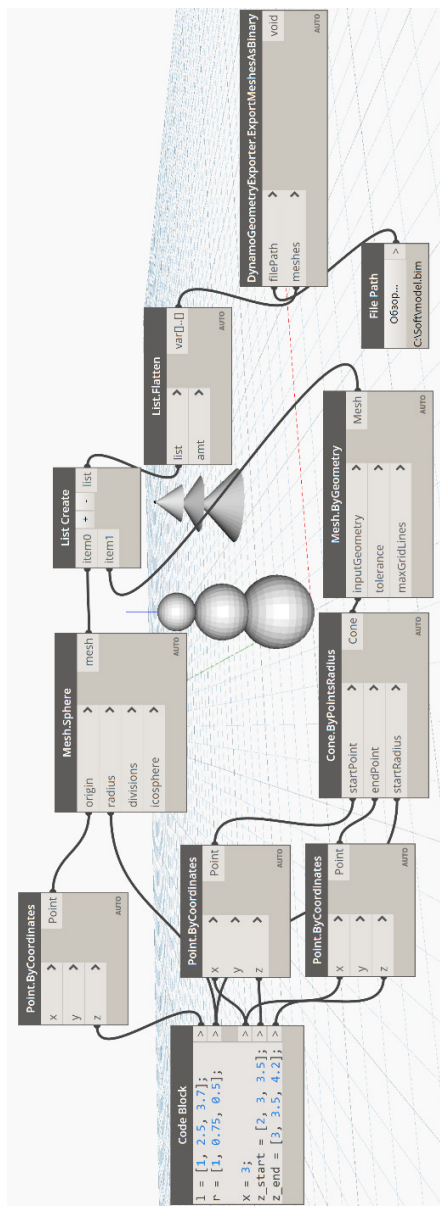


Рис. 2. Формирование списка геометрических объектов для экспорта



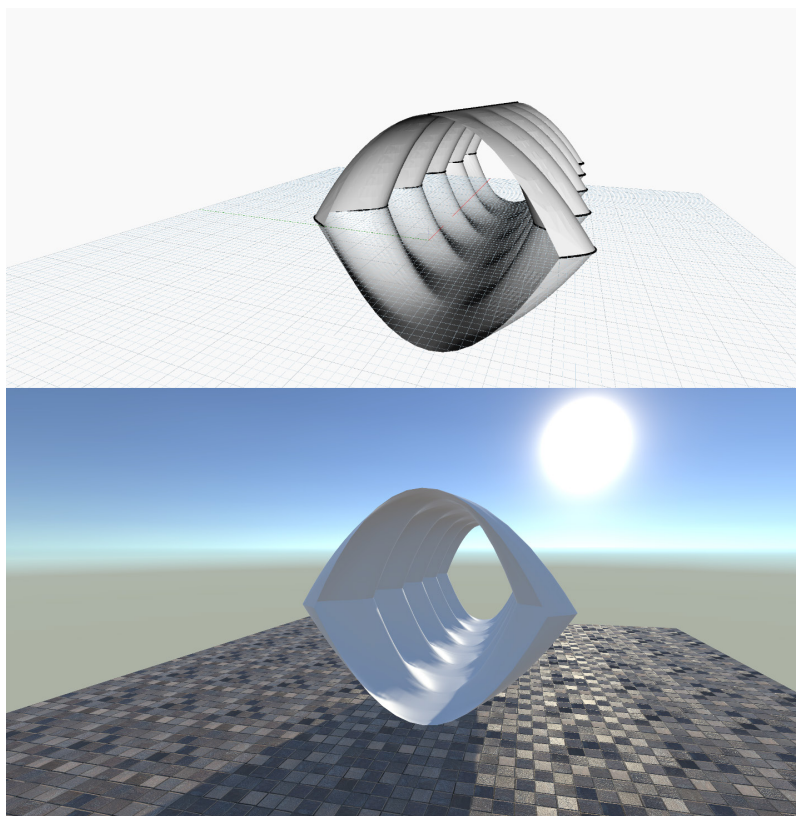


Рис. 3. Визуализация с использованием Dynamo (сверху)  
и с использованием разработанного решения (снизу)

Таким образом, в рамках данной работы был разработан программный комплекс, позволяющий выполнять визуализацию моделей, спроектированных в Dynamo, с использованием технологии виртуальной реальности. Описанное решение не требует изменения исходного кода Dynamo и обладает высокой производительностью. Данное решение является уникальным и существенно расширяет возможности визуализации геометрии Dynamo.

Работа выполнена в рамках проекта BIM-ICE (<https://bim-ice.com/>), финансируемого за счет средств гранта Программы ПС «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014–2020».

### **Литература**

1. Семенов А.А. Обучение ВІМ в университете: необходимые технологии // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 118–123. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.041.
2. Стессель С.А. Проблемы применения идей параметризма в архитектурном проектировании // Архитектура и строительство России. 2015. № 9. С. 32–39.
3. Touloupaki E., Theodosiou T. Optimization of building form to minimize energy consumption through parametric modelling // Procedia environmental sciences. 2017. Vol. 38. P. 509–514. DOI: 10.1016/j.proenv.2017.03.114.
4. Salimzadeh N., Vahdatikhaki F., Hammad A. Parametric modeling and surface-specific sensitivity analysis of PV module layout on building skin using BIM // Energy and Buildings. 2020. Vol. 216. P. 109953. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109953.
5. Чистяков А.В. Интерактивное виртуальное прототипирование в архитектурном проектировании // Вестник ЮУрГУ, Серия «Строительство и архитектура». 2017. Т. 17, № 4. С. 74–78. DOI: 10.14529/build170411.
6. Chi H.-L., Kang S.-C., Wang X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction // Automation in Construction. 2013. Vol. 33. P. 116–122. DOI: 10.1016/j.autcon.2012.12.017.
7. Li X., Yi W., Chi H.-L., Wang X., Chan A.P.C. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety // Automation in Construction. 2018. Vol. 86. P. 150–162. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.11.003.
8. Згода Ю.Н., Семенов А.А., Вагер Б.Г. Особенности подготовки ВІМ-модели при создании фотореалистичной интерактивной визуализации в виртуальной и дополненной реальности // Вычислительные технологии. 2020. Т. 25, № 4. С. 69–82. DOI: 10.25743/ICT.2020.25.4.007.
9. Згода Ю.Н., Шумилов К.А. Автоматизированное построение интерактивной визуализации ВІМ-моделей с отображением метаданных // Архитектон: известия вузов. 2019. № 4(68). URL: [http://archvuz.ru/2019\\_4/15](http://archvuz.ru/2019_4/15).

УДК 625.421

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.038

**Иовлев Григорий Алексеевич**, канд. техн. наук, ассистент

(Санкт-Петербургский горный университет)

*E-mail: gregoriiovlev@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8615-390X*

**Павленко Георгий Дмитриевич**, студент

(Санкт-Петербургский горный университет)

*E-mail: gosha.906@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8506-6847*

**Петров Никита Евгеньевич**, студент

(Санкт-Петербургский горный университет)

*E-mail: ohneblut@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0114-5127*

Iovlev Gregorii Alekseevich, PhD of Sci. Tech., assistant

(Saint Petersburg Mining University)

Pavlenko Georgy Dmitrievich, student

(Saint Petersburg Mining University)

Petrov Nikita Evgenievich, student

(Saint Petersburg Mining University)

## **ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ПРОЕКТИВАННІ ПЕРЕСАДОЧНОГО СТАНЦІОННОГО КОМПЛЕКСА МЕТРОПОЛІТЕНА**

### **USE OF BIM IN DESIGNING A METRO INTERCHANGE STATION**

В работе представлены некоторые возможности и преимущества BIM-технологий при проектировании основных объемно-планировочных и конструктивных решений пересадочных станционных комплексов метрополитена по сравнению с традиционным 2D-проектированием. В программном комплексе Autodesk Revit создана BIM-модель строящейся станции Путиловская Красносельско-Калининской линии и пересадочный узел Путиловская-Кировский завод Санкт-Петербургского метрополитена. В программном комплексе Autodesk Navisworks выполнялось 4D-моделирование участка станции с отслеживанием хода строительства по календарному плану возведения платформенного узла, а также проводилась проверка на коллизии. Установлен ряд особенностей использования BIM-технологии при работе с подземными сооружениями метрополитенов.

*Ключевые слова:* BIM-модель, метрополитен, 4D, совместная работа, объемно-планировочные решения, классификатор.

The article presents some of the capabilities and advantages of BIM technologies in the context of designing the main spatial planning and structural solutions for metro interchange stations, as compared with traditional 2D design. We used Autodesk Revit to create a BIM model of the Putilovskaya station on the Krasnoselsko-Kalininskaya line of the Saint Petersburg Metro, which is currently under construction, and the interchange between Putilovskaya and Kirovsky Zavod stations. A 4D simulation of the station section was performed in Autodesk Navisworks. This involved tracking the construction progress according to the platform node construction schedule, as well as checking for collisions. The study has allowed us to discover a number of special features associated with applying the BIM technology to underground metro structures.

*Keywords:* BIM, metro, 4D, work-sharing, spatial planning solutions, classifier.

Мировой тренд урбанизации создаёт необходимость тщательного планирования инфраструктуры крупных городов и мегаполисов, в том числе при комплексном освоении подземного пространства. Возрастает ответственность принимаемых проектных решений, возникающие неточности и ошибки в проекте могут привести к существенным негативным последствиям. Данный вопрос особо актуален на объектах, сооружение которых происходит в условиях плотной городской застройки в центральных районах [1].

Специфика строительства инфраструктурных подземных сооружений в условиях плотной городской застройки подразумевает следующие особенности:

- для представления всей структуры метрополитена необходимо совмещать свойства линейных, плоскостных и точечных объектов;
- уникальность проектируемых объектов и, как следствие, их высокий уровень ответственности, ввиду чего проектирование усложняется за счёт учёта дополнительных влияющих факторов и выполняемых специальных расчётов;
- представление проекта в виде совокупности в основном неконвертируемых файлов различных форматов, представляющих собой данные: по объёмно-планировочным решениям, обработки расчетных, календарных, сводных и сметных данных.

Вышеперечисленные аспекты являются источниками строительных рисков, связанных, по большей части, с качеством разрабатываемого проекта. К ним можно отнести:

- высокую сложность организации увязки проектных решений и трудности обнаружения коллизий;

- сроки корректировки всех данных проекта при значительном числе участников строительного процесса;
- сложность при отслеживании сроков строительства (ввиду необходимости постоянной корректировки графика возведения) и выполнении функций строительного контроля;
- недостаточность и низкое качество передаваемой документации застройщику или эксплуатирующей службе при вводе объекта в эксплуатацию, на основании которой затруднительно сразу и в полной мере использовать все функциональные возможности объекта.

На практике, при выполнении проекта традиционным способом выявленные строительные риски реализуются в полной мере. В конечном счёте это выражается в крайне негативном влиянии на качество, сроки и стоимость крупных инфраструктурных объектов подземного строительства.

Данные обстоятельства ставят под сомнение качество проектов, реализуемых в комплексах традиционного процесса 2D-проектирования [2]. BIM-подход при проектировании метрополитена, особенно станционных пересадочных комплексов глубокого заложения, позволит увязать все смежные разделы проекта в одной базе данных, называемой BIM-моделью сооружения [3], контролировать и снижать, вплоть до их исключения, установленные риски. В свою очередь, такая связь позволит модели подстраиваться под изменения, которые при традиционном подходе не могут быть актуализированы автоматически.

Созданная BIM-модель станционного комплекса метрополитена прошла следующие стадии разработки: разбивка общей модели на части, создание и проработка основных конструктивных элементов пересадочного узла [4]. Затем проводилась сборка с первичной координацией файлов всех узлов станции для задания общей системы координат [5]. Выгрузка модели в программный комплекс Autodesk Navisworks для проверки проекта и поиска коллизий.

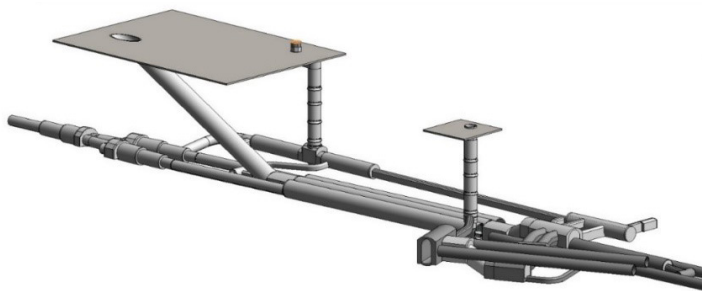
В рамках работы было выполнено моделирование возведения участка станции по календарному плану. Для создания календарного графика строительства всем элементам и конструкциям был присвоен уникальный код по классификатору (рис. 1).

Структура классификации:		XX	YY	ZZZ
Пример: Свол шахты 844, обобщенная модель, первая стадия - 22				
XX - Номер сооружения из экспликации сооружений				
YY - Тип элемента/Шаблон				
ZZZ - Номер по последовательности возведения внутри сооружения				
Коды элементов				
<b>Категория</b>	<b>Код</b>			
Обобщенные модели	1			
Стены	2			
Колонны	3	и т.д.		
Семейства Блоков обделки	4			
Семейства колец	5			
		<b>N</b>	<b>Наименование</b>	
		1	Наклонный ход №1 на 4 Ленты	
		2	Натяжная камера, камера металлоконструкций	
		3	ТПП-6,2	
		4	Ходки к ТПП-6,2	
		5	Вентиляционный ходок	
		6	Ходок к ТПП совмещенный с эвакуационной	
			Экспликация сооружений	

Рис. 1. Разработанная структура классификации элементов

**Первым этапом** создания информационной модели [6] стало определение основных объемно-планировочных решений пересадочного узла станций Путиловская и Кировский завод Санкт-Петербургского метрополитена и создание трехмерной модели в программном комплексе Autodesk Revit 2021 (рис. 2). Практически все элементы создаваемой модели выполнялись с помощью контекстных семейств, также были использованы системные семейства – стены и перекрытия и пользовательские семейства – колонны. Модель разрабатывалась на основе шаблона для железобетонных конструкций компании «BIM2B» к BIM Стандарту AUTODESK 2.0.

а)



б)

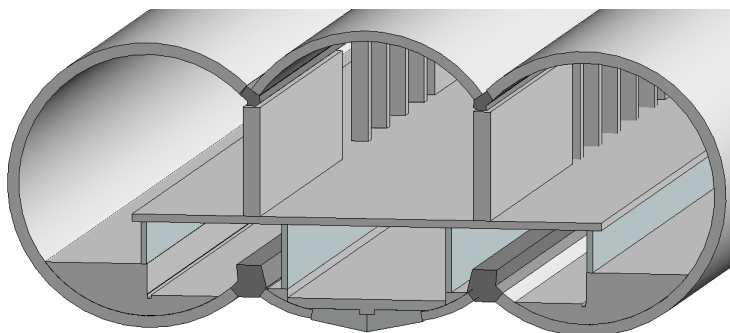


Рис. 2. а) Общее объемно-планировочное решение пересадочного узла;  
б) внешний вид платформенного узла

**На втором этапе** для оптимизации модели было принято решение разделить ее на несколько конструктивных узлов и связать их в системе общих координат. На сколько частей разбивать исходную модель – решает сам проектировщик в зависимости от специфики сооружений, количества смежных разделов и требуемой производительности при работе с моделью.

**На третьем этапе** с помощью глобальных параметров проекта каждому элементу модели присваивался код по классификатору (см. рис. 1). Далее код по классификатору используется при создании модели возведения сооружения. С помощью глобальных параметров возможно также назначение цен на материалы и конструкции, но в самом комплексе для ВМ-моделирования это делать не рекомендуется, потому что необходимо всегда иметь актуальную информацию о стоимости, что вынуждает постоянно обновлять модель. Актуализировать информацию в таблицах с классификаторами рациональней, при этом она будет связана с проектом.

Дальнейшая работа с моделью осуществлялась в программном комплексе Autodesk Navisworks Manage 2021. Там же проводилась проверка на коллизии и был визуализирован временной график строительства.

Для создания графика планирования был использован дистрибутив Microsoft Office Project (рис. 3). В новой графе каждой задаче было присвоено создание того или иного конструктивного элемента с помощью уникального кода. Возможность задавать плановые даты возведения, сравнивая их затем с фактическими в Navisworks, позволяет гибко отслеживать и контролировать процесс выполнения строительно-монтажных работ (СМР).

В качестве источника данных для формирования календарного плана послужил документ MS Project, из которого была заимствована иерархия задач и код по классификатору, информация о котором содержалась и в самой подгружаемой модели. Далее после создания иерархии задач необходимо задать фактические даты и на основе этого запустить процесс 4D-моделирования (рис. 4). В результате была получена анимация хода выполнения СМР платформы, в которой можно наблюдать отставания или опережения по графику.



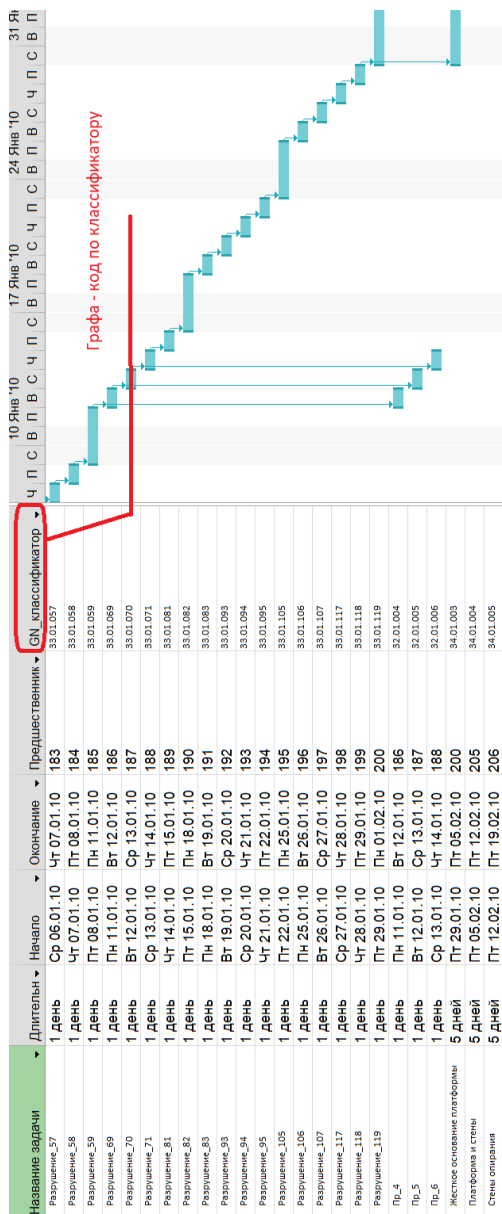


Рис. 3. Иерархия задач и структура календарного графика

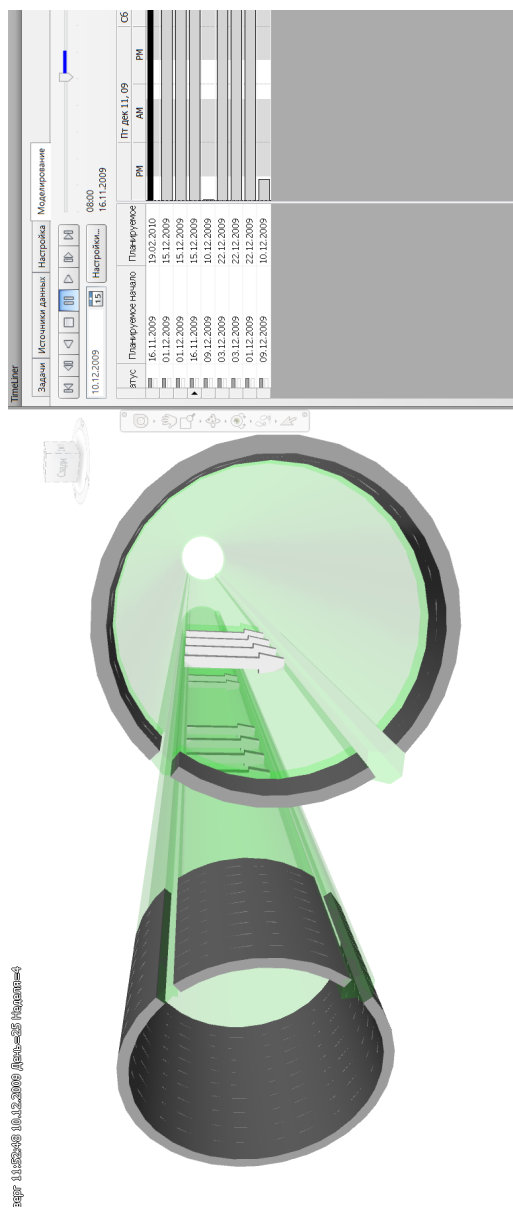


Рис. 4. Моделирование процесса возведения

Дополнительно в работе была осуществлена проверка на соблюдение допустимых расстояний в модели и соответствие габаритам приближений. Согласно требованиям, ГОСТ 23961-80 п 2.1 [7] конструктивные элементы и инженерное оборудование не должно мешать свободному проезду подвижного состава (рис. 5). Проверка обнаружила геометрическую коллизию. Отчет о проверке экспортируется в формат XML/HTML и др. Конфликтующие элементы можно затем найти в Revit по ID элемента.

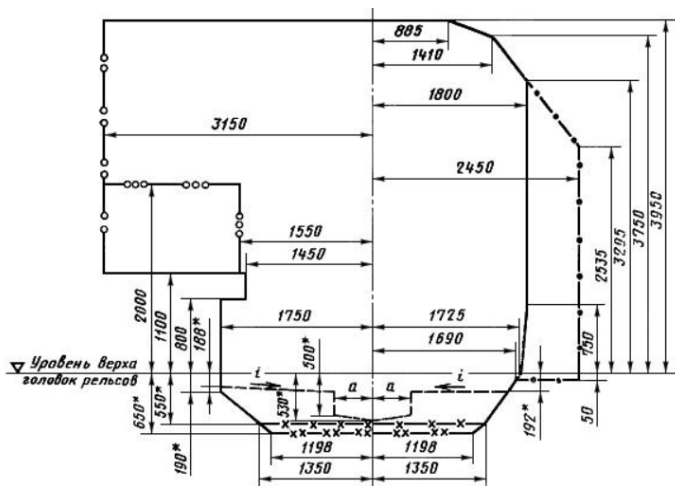
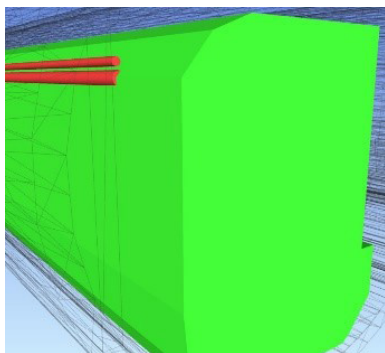


Рис. 5. Пересечение оборудования с габаритом приближения для станций

К особенностям создания проекта пересадочного станционного комплекса метрополитена с помощью ВМ-технологий относительно использования информационного моделирования при наземном строительстве следует отнести:

– в подавляющем большинстве в модели используются кон-  
текстные семейства, что в целом характерно для создания моделей  
уникальных сооружений;

– значительное количество узлов и сопряжений элементов  
конструкций требуют дополнительной проработки при детали-  
зации проекта;

– для возможности представления и учёта технологических  
операций создания пересадочного узла (создание пилот тоннелей,  
уступная проходка станционного тоннеля и т. д.) возникает необ-  
ходимость отображения грунта в модели и возможности гибко из-  
менять его геометрию и взаимодействовать с ним.

Каких-либо специфических особенностей, при работе над  
4D-моделированием и проверке проекта на коллизии, отличаю-  
щих его от наземного строительства, установлено не было.

На примере пересадочного узла станции метрополитена глубо-  
кого заложения были показаны преимущества информационного мо-  
делирования перед традиционным. Во-первых, такой подход позво-  
ляет получать любую востребованную информацию из модели, если  
изначально правильно подойти к ее наполнению информационными  
компонентами. Во-вторых, гибкость и прозрачность такой модели по-  
зволяет контролировать процесс проектирования и вносить изменения  
с одновременной актуализацией этой информации, отслеживать пара-  
метры модели на протяжении всего жизненного цикла сооружения.

## **Литература**

1. Куприяновский В.П., Воропаев Ю.Н., Покусаев О.Н., Климов А.А.,  
Добрынин А.П., Гапанович Д.А. Технологии ВМ для туннелей, используемых  
в метрополитенах, на железных и автомобильных дорогах и на Hyperloop – си-  
стемы реального времени на базе IFC и подрывные инновации // International  
Journal of Open Information Technologies. 2020. Vol. 8, № 9. С. 70–93.

2. Романович М.А., Сахтерева М.И. Особенности создания цифровых  
двойников подземных комплексов-станций метро // ВМ-моделирование

в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 152–160. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.018.

3. Штанюк В.И. Проектирование объектов Минского метрополитена с применением BIM-технологии // Метро и тоннели. 2020. № 2. С. 40–42.

4. Богомолов Г.М., Голицынский Д.М., Сеславинский С.И. Справочник инженера-тоннельщика. М.: Транспорт, 1993. 389 с.

5. Романович М.А., Всеволожская В.Г., Кузьминых А.Р., Попова Е.М. Опыт создания цифровой модели здания в рамках международной образовательной программы на платформе BIM 360 // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 362–371. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.047.

6. СП 333.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. М.: ФГУП ЦПП, 2017. 41 с.

7. ГОСТ 23961-80 «Метрополитены. Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава». М.: Путей сообщения, 1980. 37 с.

#### УДК 69.04

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.039

**Корелина Татьяна Валерьевна**, канд. техн. наук, главный специалист  
(АО «Газпроектинжиниринг»)

*E-mail: tkorelina@gasp.ru, ORCID: 0000-0003-1446-5004*

**Канду Владимир Валерьевич**, канд. техн. наук, главный специалист  
(АО «Атомэнергопроект»)

*E-mail: kandu\_vv@aep.ru, ORCID: 0000-0002-9083-5460*

Korelina Tatyana Valerievna, PhD of Sci. Tech., Chief Specialist  
(JSC Gazproektinzhiniring)

Kandu Vladimir Valerievich, PhD of Sci. Tech., Chief Specialist  
(JSC Atomenergoproekt)

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ САПР В ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

## INTERACTIONS BETWEEN SPECIALIZED CAD SYSTEMS IN INFORMATION MODELING

На сегодняшний день ни один из программных продуктов в полной мере не покрывает потребности всех специальностей при информационном

моделировании объекта строительства, поэтому большинство проектных организаций имеют в своем арсенале несколько различных САПР по определенным дисциплинам проектирования. По этой причине получение общей сборки модели сопряжено с определенными трудностями. В статье рассматривается одна из схем возможных вариантов взаимодействия САПР, что позволит автоматизировать работу внутри проектной организации. В схеме рассматриваются зарубежные программы, используемые зачастую в проектировании промышленных объектов. Междисциплинарное взаимодействие при проектировании данных объектов требует особого внимания на этапах внедрения.

*Ключевые слова:* информационная модель здания, BIM проектирование, 3D моделирование, управление проектами, междисциплинарный процесс проектирования.

Today, none of the software products fully cover the needs of all fields when it comes to the information modeling of a construction site. Therefore, most design organizations are equipped with several different CAD systems, corresponding to specific design disciplines. For this reason, assembling a general model is fraught with certain difficulties. The article discusses one of the possible options for CAD interaction, which will automate work within the design organization. We review the foreign software that is often used in the design of industrial facilities. Interdisciplinary interaction in the design of these facilities requires special attention at the implementation stages.

*Keywords:* building information model, BIM design, 3D modeling, project management, interdisciplinary design process.

За последние годы, ввиду нарастания темпов гражданского и промышленного строительства на территории Российской Федерации [1], возросла потребность налаживания междисциплинарного взаимодействия: архитектурной, конструкторской, инженерной, электротехнической и т. д. для повышения качества и уменьшения сроков проектирования.

Программное обеспечение на основе технологии BIM [2] позволяет проанализировать и учесть требования клиентов на начальном этапе, повысить качество выпускаемой проектной документации и улучшить эффективность проектировщиков не только с помощью перехода от концептуального проектирования к созданию документации при мощи 3д проектирования с необходимыми атрибутивными свойствами модели, но и с помощью совместной работы. Совместная работа подразумевает

межотраслевую координацию разработки модели, что позволяет создать единую информационную модель здания, которая будет являться единой для всех участников процесса проектирования. Такой тип проектирования позволит не только распараллелить работу, тем самым сократить сроки выдачи документации, но избежать междисциплинарные коллизии. Создание реалистичных визуализаций и объектов виртуальной реальности на основе моделей позволит более точно оценить проектный замысел архитектора. Передача смежным объектам позволит в полную меру запроектировать такие дисциплины как ОВ, ВК, ЭО, КМ и КЖ. Также ситуационный план можно проанализировать и просмотреть на местности возможные варианты расположения здания. После стадии проектирования, благодаря информационному моделированию, существует возможность осуществления проверки на междисциплинарные коллизии для выявления на стадии проектирования пересечений и устранения их. Это позволяет уменьшить количество ошибок и несостыковок на строительной площадке. Следующим этапом является привязка модели к графику производства работ. Данный этап пока мало распространен на территории РФ, но несет в себе огромный потенциал, который позволит избежать перерасхода строительных материалов и точное время необходимости использования их.

Всё раннее перечисленное возможно только при внедрении в учебные программы ВУЗов дисциплин, связанных с BIM проектированием. Пионерами в данной области являются коллеги из-за рубежа, поэтому необходимо перенять их навыки и разработки [3–5].

Обследование зданий также благодаря развитию информационного моделирования позволило перейти на новый уровень. Все чаще можно услышать про лазерное сканирование зданий, что более точно позволит определить и устранить деформации, трещины и другие повреждения зданий. Данный тип обследования с каждым годом становится наиболее удобным и мобильным [6].

Стремительные темпы развития цифрового моделирования требуют внедрения современных способов проектирования,

моделирования и анализа на всех этапах строительства объектов [7]. На данный момент имеется дефицит на рынке труда высококвалифицированных специалистов в данной области, что препятствует конкуренции с коллегами из-за рубежа.

Весь междисциплинарный процесс проектирования можно изобразить схематично следующим образом (рис. 1), где используются программы, протестированные на практике. Так, часть моделей, например, таких как модели марок AP, OB, BK, можно запроектировать в Autodesk Revit. Электротехническое проектирование можно выполнить в Bentley BRCM. Также отдельно следует отметить, что технологическую часть также возможно осуществить в AVEVA или SP3D, где помимо 3д модели можно получить P&ID, что сильно сокращает процесс монтажа и проверку на корректность. Конструкторскую часть также выполнить можно в Autodesk Revit или Tekla Structures. Оба варианта хорошо взаимодействуют с SP3D.

На рис. 1 представлена схема взаимодействия специализированных САПР на практике. На ней представлены расчетные комплексы для конструкторов: ЛИРА-САПР и Scad Office. Программой для архитектурных решений выбрана Autodesk Revit, что позволяет совместно работать в связке OB, BK и KP. Перечисленные дисциплины объединяются в одну модель, которая впоследствии экспортируется в Navisworks для последующего обнаружения междисциплинарных коллизий.

Данный пример схемы взаимодействия специализированных САПР является одним из множества возможных. Состав схемы зависит от поставленных задач фирмы, компетенций сотрудников и технической оснащенности. Внедрение ВМ необходимо осуществлять в несколько этапов – медленно, так как требуется изменить весь рабочий процесс фирмы. В заключении можно отметить, что с каждым годом все больше отечественных программ на рынке, особенно в гражданском строительстве, и их безупречное взаимодействие – будет являться основной задачей, так как это лучшая возможность конкурирования с зарубежными программами для проектирования.



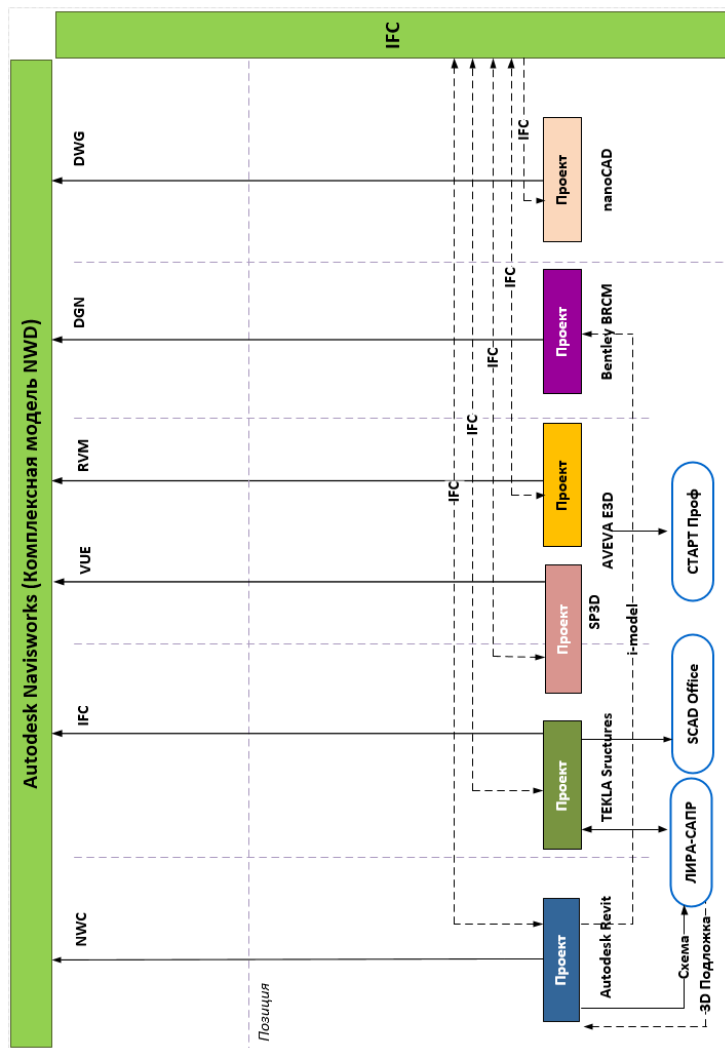


Рис. 1. Схема взаимодействия специализированных САПР

## **Литература**

1. Жахунина У.А., Елифанцева Л.Р. Особенности ВІМ. Опыт применения ВІМ в России // Новые технологии – нефтегазовому региону: Материалы Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2018. С. 175–177.
2. Талапов В.В. Основы ВІМ: введение в информационное моделирование зданий. М.: Изд-во «ДМК Пресс», 2011. 392 с.
3. Sampaio A.Z. The Introduction of the BIM Concept in Civil Engineering Curriculum // International Journal of Engineering Education. 2015. Vol. 31, No. 1(B). P. 302–315.
4. Casey M.J. Work in progress: How building informational modeling may unify IT in the civil engineering curriculum // 2008 38th Annual Frontiers in Education Conference, Saratoga Springs, NY, USA, 2008. P. S4J-5-S4J-6. DOI: 10.1109/FIE.2008.4720644.
5. Kovacic I., Filzmoser M., Kiesel K., Oberwinter L., Mahdavi A. BIM teaching as support to integrated design practice // Gradjevinar. 2015. Vol. 67, No. 6. P. 537–546. DOI: 10.14256/JCE.1163.2014.
6. Kim H.-J., Park C.-S. Smartphone Based Real-Time Location Tracking System for Automatic Risk Alert in Building Project // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 256-259. P. 2794–2797. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.2794.
7. Астафьева Н.С. Преимущества использования и трудности внедрения информационного моделирования зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 8(59). С. 42–62. DOI: 10.18720/CUBS.59.3.

УДК 624.131.3

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.040

**Ломакин Евгений Алексеевич**, канд. геол.-мин. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: lomakin@metrotunnel.ru, ORCID: 0000-0001-5681-0844*

**Пеньков Даниил Валерьевич**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: danokp@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5405-2071*

Lomakin Evgeniy Alekseevich, PhD of Sci. Geo-Min., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Penkov Daniil Valerevich, student

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ GEO+BIM-МОДЕЛЕЙ**

### **ENGINEERING AND GEOLOGICAL SUPPORT OF GEO-BIM MODELS**

Действующая нормативная документация устанавливает необходимость совместного расчета сооружений с грунтовым основанием. Первым шагом по достижению этой цели является использование GEO+BIM-моделей, которые позволяют реализовать переход к управлению объектом капитального строительства на всех этапах жизненного цикла при помощи единой информационной модели. В работе приведены основные инструменты (системы «Светофор», «Интергратор» и «Унификатор»), которые позволят качественно обработать исходную инженерно-геологическую информацию для формирования объемной информационной модели, служащей основой для специализированного картирования, гидрогеомеханического моделирования, многовариантного проектирования, экспертизы проектов и их сопровождения на всех этапах жизненного цикла.

*Ключевые слова:* BIM, GEO+BIM, инженерная геология, взаимодействие сооружения с грунтовым основанием, информационное моделирование объекта в пределах жизненного цикла, классификатор.

According to the current codes and standards, engineers have to design structures while accounting for the influence of the soil base. The first step is to implement the GEO-BIM models; this will make it possible to proceed to major construction site management at all stages of the life cycle while using a single information model. This paper presents the main tools (Traffic Light, Integrator, and Unifier systems) that will allow users to qualitatively process the initial engineering and geological information in order to create a 3D information model, which will then serve as the basis for specialized mapping, hydrogeomechanical modeling, multivariate design, project review, and project maintenance at all stages of the life cycle.

*Keywords:* BIM, GEO-BIM, engineering geology, soil structure interaction, information modeling within the facility's life cycle, classifier.

Действующая нормативная документация устанавливает необходимость совместного расчета сооружений с основанием [2], что также должно находить отражение и в создаваемых информационных моделях, а именно, посредством реализации концепции GEO+BIM (где GEO – информационная модель основания, BIM – информационная модель сооружения) [3, 4]. Применение данного подхода позволяет реализовать переход к управлению объектом капитального строительства на всех этапах жизненного цикла (включая инвестиционно-строительный цикл) при помощи при помощи объемной информационной модели, в обязательном порядке отстраиваемой на основе классификаторов для всех этапов инвестиционно-строительного цикла [5].

Данная работа посвящена инженерно-геологическому обеспечению GEO+BIM моделей: основным принципам и подходам, которые необходимо применять для создания информационной среды, которая может быть использована не только инвесторами, изыскателями и проектировщиками, но и всеми субъектами инвестиционно-строительного цикла, обеспечивающими выполнение жизненного цикла объекта в рамках инвестиционно-привлекательных проектов комплексного использования ресурсов подземного пространства [6].

Первый этап перехода к использованию GEO+BIM-моделей – создание единого инженерно-геологического предметного классификатора (инструмента унификации информации в рамках от-

дельного предметного направления) на базе уже имеющейся нормативной документации (например, [7, 8]). Такой предметный классификатор позволит рассматривать и сравнивать инженерно-геологическую информацию не только в рамках одного объекта, а в масштабах целого региона, для которого он был составлен. Стоит отметить, что для Санкт-Петербурга такой классификатор уже был разработан в ОАО «Ленметрогипротранс» (Е.А. Ломакин, А.В. Кузьмин, С.Я. Нагорный) [9]. Этот классификатор может быть также адаптирован под специфику других регионов.

После проведения классификации инженерно-геологической информации в рамках предметного классификатора необходимо провести ее обработку с использованием системы «Светофор» (рис. 1) [10], которая позволяет:

- определить принадлежности опробованных образцов к выделенным интервалам изменения конкретного ИГЭ;
- идентифицировать интервалы нормативных характеристик грунтов в зависимости от технологии работы с ними (систему «Светофор» следует применять итерационно: после корректировки выявленных ею неточностей необходимо вновь провести обработку данных вплоть до решения всех возможных конфликтов);
- представить данные опробования в виде средних, минимальных и максимальных значений;
- проверить средние значения на предмет их попадания в обозначенный интервал нормативных изменений физико-механических характеристик грунтов;
- наглядно, в рамках принципа стратификации, визуализировать результаты подобного сравнения (зеленый, желтый, красный цвет ячеек).

Результатом применения системы «Светофор» является инженерно-геологическая информация высокого (насколько это позволяет исходный материал) качества.

Обработанная приведенным образом инженерно-геологическая информация может быть дополнена архивными данными. Однако в таком случае сами архивные данные должны также пройти через систему «Светофор».

Глубина (м)	Разрез после сопоставления (модельный)			Мощн. слоек (м)	Оценка подполья (м)	Влажр.	Число пластичности			Показатель текучести			Естественная влажность (%)				
	ИГЭ	Разрез	Опр.				max	med	min	нормативное	max	med	min	ИПК	экспертное	max	med
2	(1,20),6,1			3,5	3,5	ЮIV		8,00	7,50	7,00	-0,37	-0,40	-0,43	1,70	37,00	34,50	32,00
4	(7,22),3,1			2,1	6,5		1,00<math>F_p=7,00</math>	15,00	15,00	15,00	0,20	0,20	0,20	7,22	31,00	31,00	31,00
6	(7,21),3,1			2,3	4,4	g <sub>a</sub> I,мQ <sub>III</sub> vd	7,00<math>F_p=17,00</math>	11,00	9,00	7,00	0,71	0,63	0,54	7,21	29,00	28,50	28,00
8				7,9	2,1		7,00<math>F_p=17,00</math>										
10																	
12																	
14	(8,27),3,1			14,0		gQ <sub>III</sub> z	7,00<math>F_p=17,00</math>	8,00	8,00	8,00	0,75	0,42	0,13	8,27	25,00	22,33	20,00
16																	
18																	
20																	
22	(9,17),2,1			21,9	-11,9		7,00<math>F_p=7,00</math>	6,00	5,50	5,00	-0,17	-0,28	-0,40	8,17	14,00	13,50	13,00
24	(9,21),3,1			24,0	12,8	ImQ <sub>III</sub> vd	7,00<math>F_p=17,00</math>	13,00	12,00	11,00	0,84	0,78	0,72	9,21	38,00	33,00	30,00
26	(11,8),3,1			30,0	6,0	gQ <sub>III</sub> ms	1,00<math>F_p=7,00</math>	4,00	4,00	4,00	-0,25	-0,25	-0,25	11,18	11,00	11,00	11,00
28					-20,0												

Рис. 1. Результаты использования системы «Светофор» на примере числа пластичности, показателя текучести и естественной влажности

Следующим этапом будет использование систем «Интегратор» (служит для пространственной увязки архивной информации по генезису и физико-механическим характеристикам) и «Унификатор» (служит для восполнения информации по скважинам, глубина которых и детальность описания инженерно-геологических элементов не соответствуют решаемой на их основе задаче), чтобы корректно использовать архивную информацию в связке с новыми изысканиями [10]. Результатом их работы будет снятие возможных расхождений в архивных и новых данных, существенное уменьшение «пестроты» разреза за счет объединения ИГЭ, которые в действительности имеют одинаковое происхождение и близкий набор физико-механических характеристик (рис. 2).

Описанные методы делают исходные данные пригодными для составления пространственной модели геологического массива и наполнения его необходимой информацией (содержание зависит от того, каким участником инвестиционно-строительного цикла будет данная модель использоваться) с последующей ее передачей в геотехнические расчетные комплексы (на рисунке 3 приведен пример реализации данной процедуры с использованием PLAXIS-3D). Реализация же требования нормативных документов о необходимости совместного расчета сооружения с основанием [2] может быть достигнута путем использования такого инструмента как «PLAXIS-Structure Interaction» [11].

Таким образом, механизмы для формирования GEO+BIM-моделей уже разработаны и могут быть успешно применены с удовлетворением требований действующей нормативной документации. При этом стоит обратить особое внимание на предпочтительность использования не просто BIM-моделей, а GEO+BIM-моделей, так как инженерно-геологические характеристики основания оказывают решающее влияние на конструктивные, управленческие и организационные решения, принимаемые в рамках BIM-моделей на всех этапах инвестиционно-строительного цикла. Учет данной информации позволяет улучшить качество принимаемых решений и снизить возможные экономические риски.

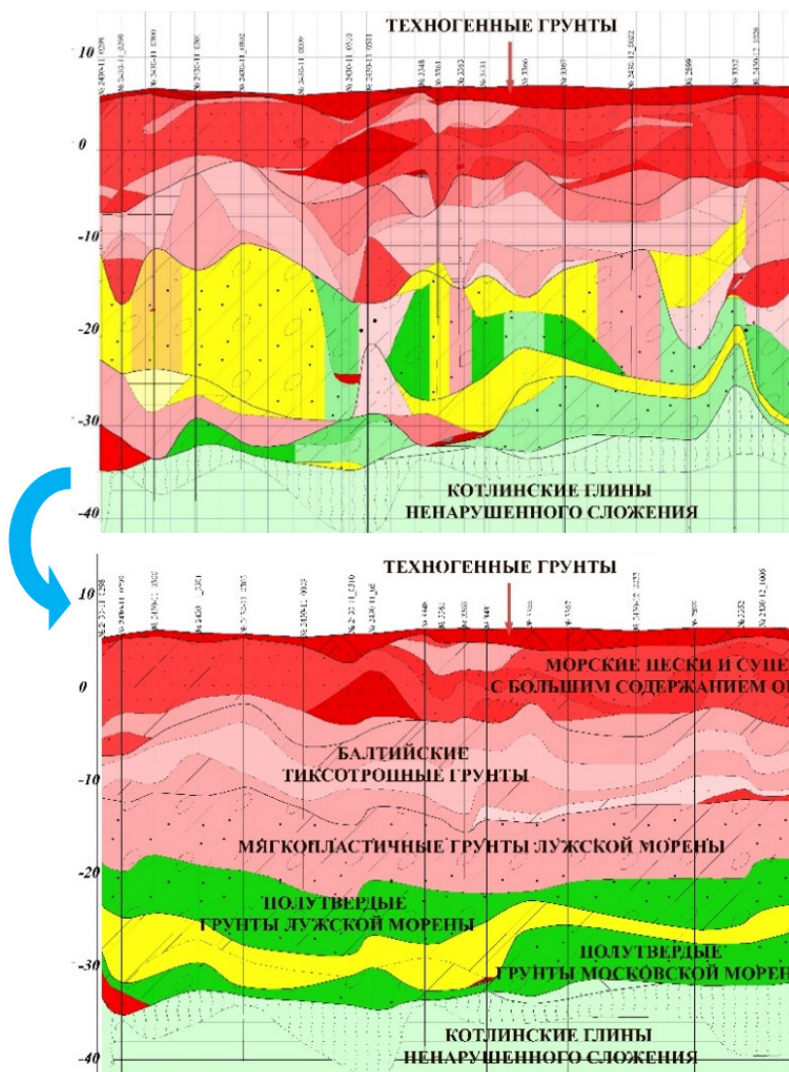


Рис. 2. Результат использования систем «Интегратор» и «Унификатор»: сверху – разрез до применения; внизу – после применения [10]



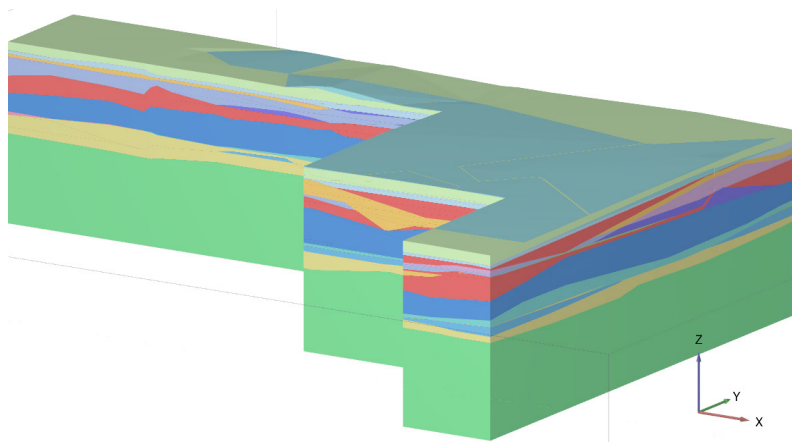


Рис. 3. Пример импорта обработанной геологической модели в PLAXIS-3D

## Литература

1. Ломакин Е.А. GEO+BIM: ключ к реформированию отрасли // Подземные горизонты. 2017. № 13. С. 24–27.
2. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. М.: ФГУП ЦПП. 2016. 220 с.
3. Ломакин Е.А., Нагорный С.Я., Лехов А.В., Румынин В.Г., Смоленцев В.Г. Чем поможет трехмерное картирование подземного пространства // Инженерные Изыскания. 2008. № 6. С. 20–27.
4. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука: пер. с англ. М.: Мир, 1978. 424 с.
5. Постановление Правительства от 15 сентября 2020 года № 1431 «Правила формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства».
6. Умнов В.А. Экономическое обоснование рационального использования подземного пространства: дис. д-ра экон. наук: 11.00.11 / Моск. гос. горный университет, Москва, 2000. 213 с.
7. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2020. 38 с.
8. ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. СПб.: Стройиздат СПб, 2004. 59 с.

9. Ломакин Е.А., Прокопчук Д.И. Современные информационные технологии – инструмент повышения качества изысканий, или средство презентации его результатов // Подземные горизонты. 2014. № 2. С. 36–43.

10. Ломакин Е.А., Заводчикова М.Б. Проектно-изыскательское управление в градостроительстве (на примере концепции комплексного использования ресурсов подземного пространства). СПб.: СПбГАСУ.

11. PLAXIS: PLAXIS-Structure Interaction. URL: <https://www.plaxis.ru/plaxis-structure-interaction/> (дата обращения: 02.03.2021).

**УДК 69.001.5**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.041

**Митрофанов Валентин Алексеевич**, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [mitrofmep@gmail.com](mailto:mitrofmep@gmail.com), *ORCID:* 0000-0003-0062-3171

**Чиковская Ирина Николаевна**, советник директора по ТИМ

(ООО «Бюро ЕСГ»)

*E-mail:* [ichikovskaja@esg.spb.ru](mailto:ichikovskaja@esg.spb.ru)

Mitrofanov Valentin Alekseevich, master student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)  
Chikovskaya Irina Nikolaevna, BIM-Advisor of Director  
(LLC “Bureau ESG”)

**ПОДГОТОВКА ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
МОДЕЛЕЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ  
ПРОХОЖДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ,  
СОЗДАННЫХ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ  
MAGICAD НА БАЗЕ AUTODESK AUTOCAD**

**PREPARING BIM MODELS OF ENGINEERING SYSTEMS,  
CREATED IN MAGICAD, BASED ON AUTODESK  
AUTOCAD, FOR STATE EXPERT REVIEW**

В статье описывается опыт подготовки цифровых информационных моделей (ЦИМ) инженерных систем здания для прохождения государственной

экспертизы на примере объекта, расположенного в г. Санкт-Петербург. Все цифровые информационные модели были включены в состав проектной документации стадии «Проект». Цифровые информационные модели разделов архитектурных, конструктивных и технологических решений создавались в ПО Autodesk Revit, а цифровые информационные модели раздела ИОС разрабатывались в программном комплексе MagiCAD на базе Autodesk AutoCAD.

Цифровые информационные модели были представлены в экспертизу в формате IFC (Industry Foundation Classes – формат данных с открытой классификацией) в соответствии с требованиями технического задания на разработку цифровой информационной модели и с требованиями СПб ГАУ «Центр государственной экспертизы».

*Ключевые слова:* ЦИМ, IFC, MagiCAD, BIM, экспертиза.

The article describes the experience of preparing BIM models of engineering systems for state expert review, as exemplified by a facility in St. Petersburg. All the models were included in the design documentation at the Project stage. The BIM models of architectural, structural and process solutions were created in Autodesk Revit, and all engineering models were created in MagiCAD, based on Autodesk AutoCAD.

The BIM models were exported for inspection purposes in the IFC (Industry Foundation Classes) format in accordance with the terms of reference for BIM models and the requirements of the Center of State Expert Review in St. Petersburg.

*Keywords:* BIM, IFC, MagiCAD, expert review.

В данной статье внимание уделено моделям систем инженерно-технического обеспечения (ИОС), а именно, разделам отопления и вентиляции (ОВ), водоснабжения и канализации (ВК), электрооборудования (ЭО), систем автоматического пожаротушения (АУПТ).

Задача, поставленная перед проектировщиками на данном объекте, заключалась в разработке проектной документации реконструкции центра социальной реабилитации в г. Санкт-Петербург. Помимо сдачи основного комплекта чертежей, проектировщики должны были подготовить и передать Заказчику цифровые информационные модели объекта в соответствии с требованиями к цифровым информационным моделям СПб ГАУ «Центр государственной экспертизы» [1].

Ключевыми требованиями к ЦИМ инженерных систем являются: отсутствие коллизий; состав параметров и их наполнение

для всех элементов инженерных систем, а также самих систем; экспорт цифровых информационных моделей в формат IFC [2].

Проектная документация по инженерным разделам изначально разрабатывалась средствами ПО MagiCAD версии 2019 UR-2, установленным на Autodesk AutoCAD 2018, несмотря на то, что остальные разделы выполнялись на платформе Autodesk Revit. Это потребовало слаженной работы по междисциплинарному взаимодействию. Важным моментом была необходимость экспорта ЦИМ инженерных систем в формат IFC.

Встроенные возможностям MagiCAD позволяют проектировщикам работать не с примитивами AutoCAD, а с элементами инженерных систем, такими как трубы, воздуховоды, лотки, фитинги, запорно-регулирующая арматура, а также с элементами оборудования, размещая их в пространство модели AutoCAD как трёхмерные объекты [3]. Важно отметить, что именно применение MagiCAD позволило экспортировать цифровые информационные модели в формат IFC, так как ПО AutoCAD не имеет механизмов экспорта в IFC. При этом выяснилось, что настройки экспорта в IFC в MagiCAD довольно гибкие и могут использоваться для схем IFC2x3 и IFC4. Для экспорта ЦИМ данного объекта использовалась схема IFC2x3.

Работа в комплексе AutoCAD + MagiCAD строилась так, что каждому этажу каждого раздела соответствовал отдельный набор файлов форматов .dwg, .epj (файл проекта MagiCAD), .lin (файл типов линий) и .qpd (файл базы данных оборудования).

Экспортированные файлы IFC должны были иметь общую систему координат. Поэтому необходимо было добиться, чтобы при импорте в сторонний САПР каждая модель ИОС помещалась в правильное для данного объекта положение.

Для достижения поставленной задачи изначально с архитектурным отделом было согласовано положение базовой точки проекта в Autodesk Revit (пересечении осей А и I на уровне чистого пола первого этажа). Затем с помощью инструментов ПО AutoCAD по архитектурной подложке, полученной от архитекторов, в данной точке устанавливалась пользовательская система координат (ПСК).

В дальнейшем эта ПСК использовалась для экспорта: в меню настроек IFC при экспорте модели указывалась правильная привязка, а именно, привязка к ПСК (рис. 1).

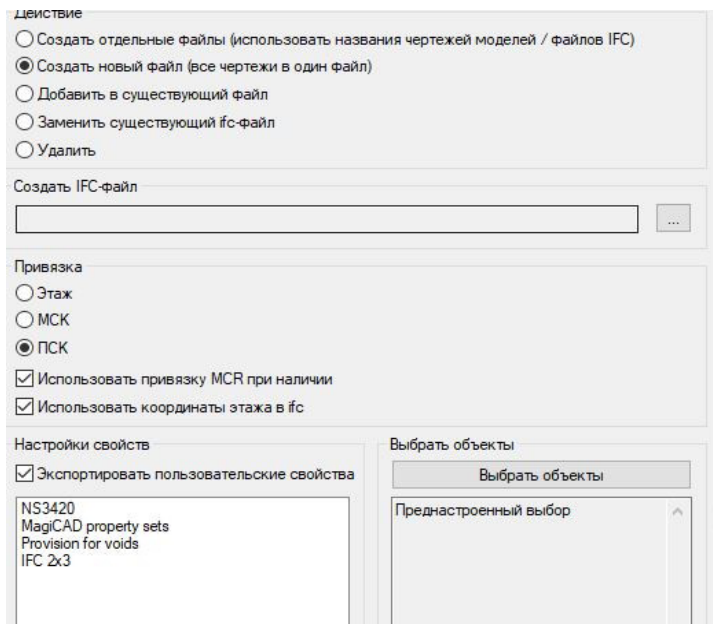


Рис. 1. Настройки экспорта IFC

Особое внимание было уделено настройке экспорта элементов ЦИМ из программного комплекса AutoCAD + MagiCAD в формат IFC2x3. Для корректной выгрузки в формат IFC каждый элемент модели должен относиться к определенному классу IFC [4].

Если говорить о геометрии (образе) оборудования, то в MagiCAD элементы стандартного оборудования (объекты), а также оборудования, загружаемого из баз данных производителей, уже изначально соответствует правильному классу IFC, что не противоречит таблице 5.2 в [1]. При этом настройки «Экспортировать в IFC как» и «тип IFC» задаются

сразу при добавлении оборудования в проект и не требуют дополнительных настроек. Исключения составляют случаи, когда геометрия оборудования изначально представлена иным способом – блоком AutoCAD. В данном случае необходимо воспользоваться функцией «Добавить свойства MagiCAD к объектам AutoCAD», что позволит включить эти объекты в список экспортируемых в IFC [5]. Важно отметить, что в свойствах любого компонента есть возможность задать класс и тип экспорта в IFC по своему усмотрению (рис. 2).

Параметры	
Тип компонента:	Проч.
Тип системы:	Воздуховоды
Система:	E1 Extract 1
Код пользователя:	UC1
Код компонента:	PC-100
Нац. стандарт:	
Описание:	
Статус:	Не определен
ID объекта:	
Гиперссылка:	
Экспортировать в IFC как	IfcBuildingElementProxy (IFC2X3, IFC)
Тип IFC	notdefined (IFC2X3, IFC4)

Рис. 2. Окно описания параметров MagiCAD

Следующим важным шагом было наполнение модели всеми необходимыми для инженерного оборудования параметрами, сгруппированными по определенным наборам свойств. Среди большого списка параметров есть параметры, соответствующие абсолютно всем элементам модели, такие как наименование, имя, этаж, имя системы, и есть параметры, присваиваемые лишь определенным типам элементов.

Следует отметить, что в целом, логика группирования требуемых параметров соответствует логике формированию наборов свойств IFC в MagiCAD. Набор свойств IFC представляет собой коллекцию свойств оборудования, которые характеризуют его особенности и конструкцию. С помощью менеджера настроек MagiCAD [5] можно создавать любые типы наборов свойств. К примеру, для раздела отопления и вентиляции были сформированы 5 основных наборов свойств, таких как «Местоположение», «Маркировка», «Строительные материалы», «Идентификация», «Данные». Все они включаются при экспорте в один файл конфигурации. При этом первые 4 набора применяются ко всем типам объектов, а последний набор свойств может иметь отличия для разных категорий элементов. И каждой категории элементов будет назначен свой уникальный набор с различными свойствами.

Отдельного внимания заслуживают ситуации, когда нужно сформировать наборы свойств с одинаковыми именами, но для разных категорий модели. И эти ситуации возможно решить с помощью инструментов MagiCAD. В этом случае необходимо создавать данные наборы, назначать им нужные категории элементов и оставлять всем одинаковое наименование, изменяя только текст в описании (рис. 3).

Свойства	Трубы_Отопление_Обратка
Свойства	Отопительные приборы
Маркировка	ЦГЭ_Маркировка_Радиаторы
Маркировка	ЦГЭ_Маркировка_Трубы
Маркировка	ЦГЭ_Маркировка_Оборудование
Маркировка	ЦГЭ_Маркировка_Арматура
Маркировка	ЦГЭ_Маркировка_Изоляция

Рис. 3. Одноимённые параметры

Все эти наборы свойств с одним и тем же именем нужно просто включить в сборку конфигурации, и тогда в экспортированной модели в зависимости от категории элемента пятым набором свойств, в нашем случае «Данные», будет именно тот, которому мы присвоили эту категорию. В программном обеспечении,

используемом для проверки цифровых информационных моделей, у каждого элемента будет ровно пять требуемых наборов свойств, хотя изначально их может быть создано гораздо больше.

Не менее важный этап подготовки любой цифровой информационной модели – это определение списка параметров, которые мы будем включать в имеющиеся или созданные наборы свойств. Не все элементы классифицируются автоматически согласно требованиям [1]. И не всегда тот или иной параметр элемента существует, либо имеет правильный формат представления или верное значение. Для решения таких задач в MagiCAD приходится прибегать к использованию переменных компонента (всего 15 позиций) и переменных пользователя (всего 4 позиции). Все эти переменные можно переименовать по своему усмотрению. Например, выбрав в качестве первой переменной типа P1, задать ей, к примеру, наименование типа элемента; в качестве второй P2, и задать ей материал и так далее. На эти переменные можно сослаться при определении параметров в наборах свойств (рис. 4).

Рис. 4. Фрагмент окна свойств объекта

Еще один способ правильно присвоить наименование элементу – это задать его ID. Преимущество такого способа в том, что можно делать сложносоставные наименования. К примеру, в соответствии с нормативной документацией требуется наименование «Воздуховод прямоугольный из оцинкованной стали 200×200 мм». В этом случае для всех прямоугольных воздуховодов



в настройках «Формата ID объекта» мы можем объединить наименование компонента, материал и размер соединения.

Благодаря возможностям комплекса AutoCAD + MagiCAD задача по подготовке цифровых информационных моделей к экспорту в формат IFC2×3 была выполнена.

Получение цифровых моделей из Autodesk Revit в формате dwg с заранее согласованными координатами и программный комплекс AutoCAD + MagiCAD позволили выполнить требования по отсутствию коллизий.

В результате работы для указанных в начале статьи подразделов раздела ИОС были сформированы собственные цифровые информационные модели в формате IFC2×3 [2]. Все модели были согласованы по единой базовой точке архитектурной модели (рис. 5).

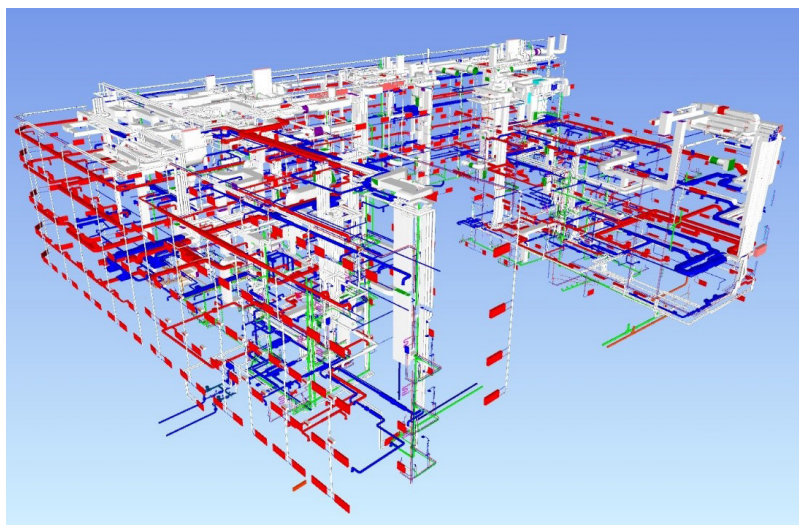


Рис. 5. Сводная модель ИОС

Подготовленные модели были приняты СПб ГАУ ЦГЭ к рассмотрению в составе проектно-сметной документации.

Работа выполнена в рамках проекта BIM-ICE (<https://bim-ice.com/>), финансируемого за счет средств гранта Программы ПС «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020».

### **Литература**

1. Требования к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства, предъявляемым для проведения экспертизы ЦГЭ. ЦИМ-2.1. URL: [https://www.spbexp.ru/upload/iblock/906/trebovaniya\\_k\\_tsim\\_redkatsiya\\_18\\_06\\_2020.pdf](https://www.spbexp.ru/upload/iblock/906/trebovaniya_k_tsim_redkatsiya_18_06_2020.pdf) (дата обращения: 02.04.2021).
2. IFC 2x Edition 3 Technical Corrigendum 1. URL: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/> (дата обращения: 02.04.2021).
3. Креницкий Е.В., Маскинская А.Ю. Информационное моделирование инженерных систем зданий с применением MagiCAD // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2020. № 2(218). С. 76–79.
4. Unterstützte IFC-Klassen. URL: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2018/DEU/?guid=GUID-EE6C0CF8-7671-4DCC-B0C7-EEA7513C90A9> (дата обращения: 02.04.2021).
5. MagiCAD Common functions 2019 User guide. URL: <http://www.help.magicad.com/mcac/2019/EN> (дата обращения: 02.04.2021).

УДК 004.94

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.042

**Нафикова Марина Витальевна**, студент

(Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: nafikova.mv@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0003-4378-3028*

**Астафьева Наталья Серафимовна**, канд. экон. наук, доцент

(Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: natalia.astafeva@inbox.ru*

**Мамаев Антон Евгеньевич**, соискатель ученой степени кандидата наук

(Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: anton.mamaev@etalongroup.com*

Nafikova Marina Vitalevna, student

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Astafeva Natalia Serafimovna, PhD of Sci. Ec., Associate Professor

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Mamaev Anton Evgenevich, Applicant

(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ**

### **USE OF CLOUD SERVICES IN THE EXECUTION OF INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS**

Цифровые данные в наши дни играют важную роль во всех сферах бизнеса. Строительная сфера – не исключение. В 2017 году в РФ была утверждена национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», согласно которой разработана концепция внедрения системы управления жизненным циклом объектов капитального строительства с использованием технологий информационного моделирования (BIM-технологии).

С появлением BIM-технологий существенно увеличился спрос на информационные системы, разработанные на базе облачных технологий. Это вызвано ростом потоков цифровой информации и необходимостью в решении проблем хранения, обмена, обработки, анализа большого количества данных. Программное обеспечение для строительства от компании Autodesk – платформа BIM 360 и приложения, разработанные на основе семейства облачных сервисов Forge, могут помочь строительным компаниям

выгодно использовать технологии информационного моделирования зданий в управлении инвестиционно-строительным проектом. В статье рассмотрены виды облачных сервисов, особенности их функционала и преимущества. Представлена экономическая эффективность от их внедрения в строительное производство на примере ГК «Эталон».

*Ключевые слова:* Облачные технологии, веб-сервисы, инвестиционно-строительный проект, BIM, цифровизация, BIM 360, Autodesk Forge.

Digital data play an important role in all areas of business today. The construction industry is no exception. In 2017, the “Digital Economy of the Russian Federation” national program was approved, which contains guidelines for adopting a system of major construction project life cycle management that uses Building Information Modeling (BIM).

The demand for information systems based on cloud technologies has increased significantly after the advent of BIM. This is due to the increasing flow of digital information and the need to solve the problems of storing, sharing, processing, and analyzing large amounts of data. Autodesk’s BIM 360 solution and applications based on Autodesk Forge can help construction companies profitably to use BIM in the management of investment and construction projects. The article discusses the different types of cloud services, their functional features, and their advantages. The economic efficiency of cloud service implementation in construction is exemplified by the Etalon Group case study.

*Keywords:* cloud technologies, web services, investment and construction project, BIM, digitalization, BIM 360, Autodesk Forge.

Создание единой цифровой информационной среды – самая актуальная тенденция для современных строительных компаний на сегодняшний день. При работе на строительной площадке очень важно, чтобы данные были получены своевременно и в полном объеме. Поэтому эффективная организация и управление проектами является основной задачей, стоящей перед облачными решениями, которые должны гарантировать всем участникам инвестиционно-строительного проекта больше свободы в своей сфере ответственности [1].

Облачные сервисы делятся на 3 основных уровня (рис. 1) [2].

**Облачная платформа BIM 360.** Одним из представителей облачного решения от компании-поставщика программного обеспечения для строительства Autodesk является набор готовых веб-сервисов BIM 360. Это глубоко интегрированная экосистема

облачных сервисов и настольных приложений, которая позволяет оптимизировать рабочие процессы.

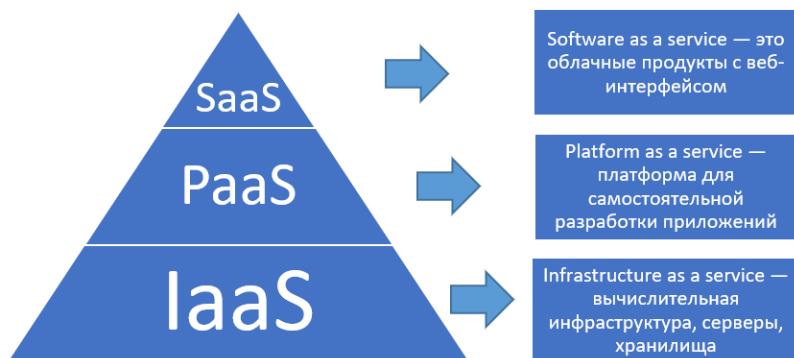


Рис. 1. Виды облачных сервисов

Использование Autodesk BIM 360 в строительном производстве позволяет решать такие важные задачи, как выделение персонального облачного пространства каждому пользователю, где сохраняется вся строительная документация; возможность совместной работы с BIM-моделями и CAD-чертежами; интеграция своих приложений любой сложности, которые привлекают в работу данные BIM-моделей [3].

Семейство веб-сервисов Autodesk BIM 360 разработано с использованием технологий Autodesk Forge. Благодаря интеграции через API (Application Programming Interface, программный интерфейс приложения) этих облачных платформ разработчики могут подключать дополнительные сторонние приложения или создавать свои.

**Облачная платформа Autodesk FORGE.** Это набор облачных компонентов, на базе которых, программисты могут создавать веб-сервисы различного назначения, используя данные информационных BIM-моделей (рис. 2).

Использование платформы Forge ускоряет процесс разработки систем по управлению строительством, помогает контролировать

различные бизнес-процессы во время строительства от задумки до эксплуатации. Технологии набора облачных модулей, называемых API REST, позволяют разработчикам адаптировать программы под новые версии форматов файлов [4].

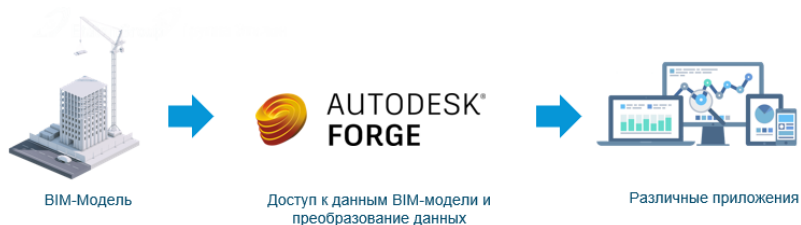


Рис. 2. Иллюстрация процесса взаимодействия ВМ-моделей, Autodesk Forge и программных приложений

### **Примеры использования ВМ и облачных технологий.**

В ряде стран применение ВМ и облачных технологий обусловлено не только стремлением компаний к высокому уровню цифровизации процессов, но и является обязательным для реализации государственных и коммерческих проектов.

В Великобритании, Испании, Австралии, США применение технологий информационного моделирования стало обязательным для всех государственных проектов. Аэропорт Чанги в Сингапуре – пример успешного внедрения облачного сервиса. Здесь применяют Forge для управления механическими и электронными системами, системами безопасности, видеокамерами. Эксплуатация платформы, позволила снизить энергопотребление объекта на 40–60 % [5].

В России информационное моделирование используется на всех этапах строительства. Активно работает в этом направлении один из крупнейших девелоперов в РФ – Группа «Эталон». Компания успешно внедряет ВМ с 2013 года, сейчас создает комплексную систему на платформе Forge для сбора, анализа данных со строительных площадок в режиме реального времени [6].

**Экономическая эффективность внедрения облачных сервисов в строительное производство на примере ГК «Эталон».** Рассмотрим некоторые этапы инвестиционно-строительного проекта.

– При проектировании и строительстве инженерных систем здания происходит экономия денежных средств за счет устранения логических и пространственно-временных коллизий. До внедрения платформы компания затрачивала значительные средства на устранение недочётов. Так, например, на стадии проектирования подземного паркинга ЖК «Московские ворота» была произведена проверка на коллизии разделов ОВ и ВК, ЭО и ЭМ. В ходе проверки были выявлены пересечения трубных прокладок отопления с электрическими сетями. Без своевременно выявленных ошибок в проектировании удалось избежать крупных затрат на исправления.

– Отлажена работа с большинством проектных форматов, что позволяет не только принимать исходные данные в любом виде, но и эффективно взаимодействовать с подрядчиками в процессе проектирования и строительства. Это способствует сокращению времени на принятие решений и оптимизации работы различных проектных и строительных подразделений компании.

– Наличие актуальной и точной модели здания. Комплексная система на платформе Forge позволяет сделать модель здания предельно детализированной. Каждый элемент информационной модели и этап реализации проекта: от инженерных и строительных изысканий до эксплуатации объектов – в целом учитываются в процессе планирования строительства. Проектные организации, работающие в CAD, не могут дать настолько же качественные решения по проекту и планированию процесса строительства.

– На стадии возведения строительного объекта происходит оптимизация всех строительных процессов, где возникающие ошибки можно не просто устранить, но и выявить пути ускорения и удешевления строительства.

Так на объекте ЖК «Дом на Космонавтов» анализ производства работ с помощью функционала облачного сервиса помог

оптимизировать и более тщательно спланировать работу. В ходе моделирования фактического выполнения объемов строительно-монтажных работ и создания прогноза до конца строительства, была выявлена недостаточная загруженность одного из башенных кранов. Оперативное усиление бригады рабочих и реорганизации производства монолитных работ позволило сократить время работы крана.

**Заключение.** Появление инновационных инструментов для групповой работы и динамичный переход на IaaS и PaaS, где до этого применялись устаревшие информационные технологии, привело к значительному прогрессу в строительной отрасли. В результате применения в работе облачных решений накапливается бесценный опыт реализации проектов. Правильное обращение с большими объемами информации может существенно улучшить экономику строительства.

Реализация инвестиционно-строительного проекта осуществляется в реальном времени, что помогает:

- производить точные расчеты затрат на материалы, оборудование и работы;
- мгновенно актуализировать и систематизировать сведения из различных источников;
- снизить сроки и затраты на проектирование и планирование;
- сократить количество ошибок и изменений на стадии строительства;
- уменьшить длительность календарного плана объекта строительства.

Платформа Autodesk BIM 360 и приложения, разработанные на основе семейства облачных сервисов Forge, позволяют решить целый ряд проблем на разных этапах жизненного цикла строительного объекта (от начальной стадии проектирования и согласования до получения разрешения на ввод в эксплуатацию и саму эксплуатацию), приводят к общему повышению эффективности работы и получению высоких показателей в управлении инвестиционно-строительным проектом.



## Литература

1. Мамаев А.Е., Шарманов В.В., Золотова Ю.С., Свинцицкий В.А., Городнюк Г.С. Прикладное применение BIM-модели здания для контроля инвестиционно-строительного проекта // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1–3. С. 83–87.
2. Внедрение «облачных» технологий для управления и обмена данными открывает мир новых возможностей в строительной отрасли. URL: <https://dmstr.ru/articles/kak-raskryt-sokrovischnicu-stroitelnyh-dannyh/> (дата обращения: 03.02.2021).
3. Аминов Р.Р. BIM-моделирование. Autodesk BIM 360 и Autodesk Revit, основные преимущества и недостатки // Информационные и графические технологии в профессиональной и научной деятельности. Сборник статей III Международной научно-практической конференции. Тюмень: ТИУ, 2019. С. 145–147.
4. FORGE. A cloud-based developer platform from Autodesk. URL: <https://forge.autodesk.com/> (дата обращения: 05.02.2021).
5. Autodesk Forge: кому и зачем нужна цифровая трансформация. URL: [https://cad.kz/articles/autodesk\\_forge\\_komu\\_i\\_zachem\\_nuzhna\\_tsifrovaya\\_transformatsiya/](https://cad.kz/articles/autodesk_forge_komu_i_zachem_nuzhna_tsifrovaya_transformatsiya/) (дата обращения: 05.02.2021).
6. Разработка среды общих данных на основе BIM и Autodesk Forge. URL: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Razrabotka-sredy-obshchikh-dannykh-na-osnove-BIM-i-Autodesk-Forge-2020#presentation/> (дата обращения: 20.01.2021).

**УДК 69.04**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.043

**Осипов Виталий Алексеевич**, технический специалист / BIM-менеджер  
(ООО «Полиметрика»)

*E-mail:* [v.osipov@polymetrica.ru](mailto:v.osipov@polymetrica.ru), *ORCID:* 0000-0002-2844-9059

**Серебrenников Климентий Олегович**, инженер-конструктор  
(ООО «Полиметрика»)

*E-mail:* [k.serebrennikov@polymetrica.ru](mailto:k.serebrennikov@polymetrica.ru), *ORCID:* 0000-0003-1857-0792

**Могучев Сергей Борисович**, генеральный директор  
(ООО «Полиметрика»)

*E-mail:* [s.moguchev@polymetrica.ru](mailto:s.moguchev@polymetrica.ru), *ORCID:* 0000-0002-5106-6531

Osipov Vitaly Alexeyevich, Technical Specialist / BIM Manager  
(Polymetrica LLC)

Serebrennikov Klimentiy Olegovich, Structural Engineer  
(Polymetrica LLC)

Moguchev Sergey Borisovich, CEO  
(Polymetrica LLC)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИВЕДЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ МОДЕЛИ В СООТВЕТСТВИЕ С ДАННЫМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛАНДШАФТНОГО АТТРАКЦИОНА «ЛЕНТА МЁБИУСА» НА ТЕРРИТОРИИ ВДНХ**

**AUTOMATING THE HARMONIZATION OF THE DESIGN  
MODEL AND LASER SCANNING DATA: CASE STUDY OF  
THE “MÖBIUS STRIP” LANDSCAPE ATTRACTION AT VDNH**

Освещается решение проблемы сопоставления проектной и эксплуатационной модели строительного объекта на примере конструкции ландшафтного аттракциона «Лента Мёбиуса» на территории ВДНХ. Предлагается алгоритм автоматизации процесса приведения проектной модели в соответствие с данными лазерного сканирования конструкции. В результате изысканий разработаны методы и инструменты для решения задач синхронизации проектной модели с физическим объектом строительства, позволяющие существенно экономить время и ресурсы для выполнения поставленной задачи. Важной частью является то, что алгоритм не является узко направленным

и может применяться для актуализации данных для любых конструкций на металлическом каркасе.

*Ключевые слова:* BIM, информационное моделирование, параметрическое моделирование, лазерное сканирование, облако точек, металлические конструкции.

This study reviews the issue of comparing the design model and the “as-built” structure, using the “Möbius Strip” landscape attraction at VDNH as an example. We propose an algorithm for automating the process of harmonizing the design model and the data obtained through laser scanning of the structure. The study’s insights include methods and tools for solving the problems of synchronizing the design model with the physical structure, which significantly save time and resources required for completing the task. The important aspect of the study is that it is not specific to a narrow field, as the algorithm can be used to update data for any structures based on a metal frame.

*Keywords:* BIM, information modeling, parametric modeling, laser scanning, point cloud, steel structures.

Информационное моделирование зданий (BIM) – очень широкий термин, который описывает процесс создания и управления цифровой информацией о построенном объекте. Согласно международным стандартам PAS-1192-3:2013 и ISO 19650, информационные модели подразделяются на два типа – проектную (PIM) и эксплуатационную (AIM) [1, 2].

В сложившейся мировой практике эти процессы разделяют между собой, регламентируя, что к PIM относится всё связанное с проектированием и возведением объекта строительства, а к AIM – всё, что связано с эксплуатацией сооружения. Подразумевается, что после завершения строительства, объединенная информационная модель, содержащая в себе комплексные данные со всех этапов проекта, превращается в информационную модель актива (AIM), которая будет использоваться на этапе эксплуатации [1, 2].

Несмотря на то, что изначально в концепции BIM эти процессы часто считались равнозначными, последовательно следующими один за другим [3–5], по мере развития BIM произошло радикальное их переосмысление. Это обусловлено тем, что на ранней стадии развития технологий и подходов информационного

моделирования, отсутствовала возможность опираться на прежний опыт и производить анализ протекающих процессов на этапе АИМ ввиду значительно более длительного срока эксплуатации здания, исчисляемого десятилетиями, что не сопоставимо с этапом возведения [1, 2].

Современный подход к ВМ состоит в том, что центральное место здесь занимает прежде всего информационная модель актива, как фундаментальный и гораздо более сложный процесс, включающий в себя всё остальное [1–7]. РИМ в данном контексте рассматривается как подпроцесс, многократно повторяющийся в течение жизненного цикла сооружения. Строительство, ввод в эксплуатацию, капитальный ремонт, реконструкция, переоснащение и перепрофилирование, вывод из эксплуатации и прочие действия вносящие существенные изменения в существующий объект, инициализируют РИМ как подпроцесс [1–3]. Это требует обратной связи, актуализации цифровой модели сооружения.

Самым современным, быстрым, качественным, а также экономически целесообразным инструментом для сопоставления между физическим объектом строительства и его цифровой моделью, безусловно является технология лазерного сканирования. Результатом такого сопоставления является цифровая модель сооружения и его окружающего пространства, представленная набором (облаком) точек с пространственными координатами [7–11] (рис. 1).

Проблема заключается в том, что облако точек, обладая высокой точностью и наглядностью, геометрическим телом при этом не является и требует дополнительной интерпретации [7–11].

Современные САПР, как правило, обладают функционалом для работы с облаком точек, но направленным на использование результатов сканирования в качестве «цифровых подложек» модели. Контроль отклонений от проектной модели, анализ коллизий, а также внесение необходимых корректировок в большинстве случаев осуществляется инженерами в ручном режиме, на основе визуальной оценки (рис. 2).

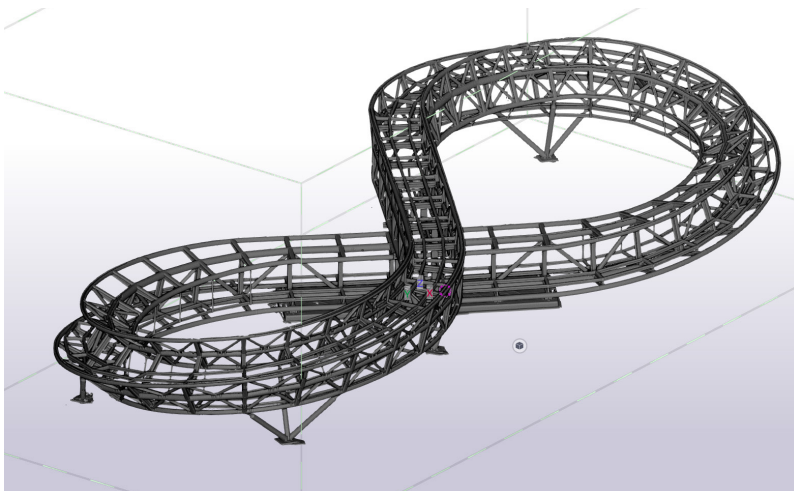


Рис. 1. Данные сканирования объекта «Лента Мёбиуса»  
(территория ВДНХ, декабрь 2020 г.)

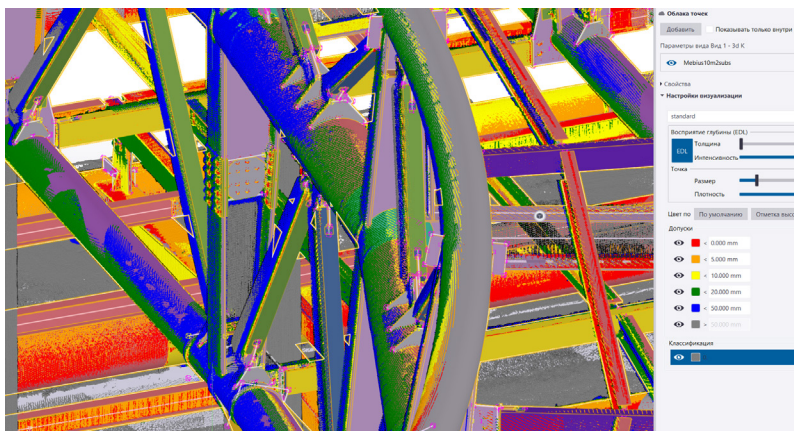


Рис. 2. Встроенный инструмент визуальной проверки коллизий объектов информационной модели по заданному облаку точек Tekla Structures 2020

Несмотря на стремительно растущую отрасль информационного моделирования и развитие технологии промышленного сканирования, на данный момент не существует полностью автоматических инструментов анализа облака точек, способных выявлять и распознавать узлы, конструктивные элементы, корректно сопоставлять их с информационной моделью [7, 9–11]. Имеющиеся инструменты имеют в основном узко отраслевые решения, высокую стоимость и как следствие низкую доступность. И если в отношении восстановления относительно простой геометрии домостроения, состоящей в большей степени из плоскостных объектов, некоторые рабочие инструменты имеются, то с восстановлением сложной геометрии, например, металлоконструкций, состоящей из большого количества профильных деталей и узлов, дела обстоят намного хуже.

Ярким примером подобной геометрии высокой сложности является ландшафтный аттракцион «Лента Мёбиуса» расположенный в зоне парка «Природа культивируемая», на территории ВДНХ, г. Москва. Данное сооружение, высотой около восьми метров в виде знака бесконечности, представляет собой непрерывный пешеходный маршрут протяженностью около 300 метров, протянувшийся по несущей части конструкции (рис. 3).

С инженерной точки зрения это топологический объект, частный случай представления неориентируемой поверхности, требующий отдельного подхода к актуализации информационной модели. Нестандартная геометрия объекта строительства, отсутствие плоскостных участков, фактически сводит к нулю возможность восстановления геометрии в автоматическом режиме и требует длительной и кропотливой обработки модели инженером-конструктором. Ситуация осложняется тем, что точность обработки таких криволинейных элементов в ручном режиме на отдельных участках будет ниже требований проекта, составляющих 5–10 мм.

Оптимальным средством решения поставленной инженерной задачи явилась разработка собственного алгоритма обработки и синхронизации облака точек, основанного на методах графического (визуального) программирования. Алгоритм представляет из себя сложную разветвлённую структуру в виде блок-схемы,

выполненную в модуле Grasshopper (рис. 4), который представляет из себя визуальный редактор программирования, имплементированный в программный комплекс Rhinoceros v6. Выбор Grasshopper был не случайным, и обусловлен, в первую очередь, прямым взаимодействием в реальном времени исходной среды разработки PIM – Tekla Structures 2020 и Rhinoceros v6.



Рис. 3. Фотография объекта «Лента Мёбиуса»  
(территория ВДНХ, декабрь 2020 г.)

Блоки алгоритма, являющиеся по сути «функциями» или «механизмами», в традиционной терминологии языков программирования, объединяются между собой в «ноды», отвечающие за определённый функционал: загрузка и базовая фильтрация облака точек, импорт/экспорт объектов информационной модели, создание сегментарных выборок из облака (рис. 5). Ноды, в свою очередь, объединяются в общую блок-схему, реализующую искомый алгоритм.

Суть алгоритма сводится к захвату определенной области точек и анализе этой области. Алгоритм запрашивает выбранный в исходной модели объект (либо группу объектов, при условии идентичности профилей) и анализирует его. Затем создается область: ограничивающий цилиндр, либо параллелепипед, в зависимости от того, в какую геометрию лучше вписывается профиль исходного объекта.

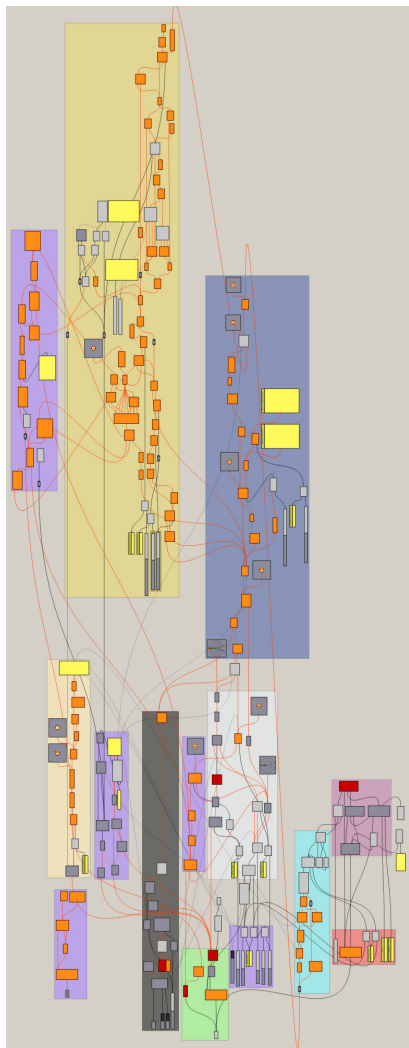


Рис. 4. Общий вид алгоритма обработки облака точек в Grasshopper

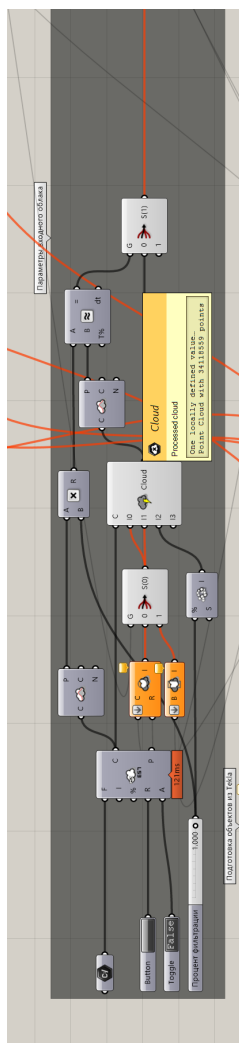


Рис. 5. Нода, отвечающая за загрузку и базовую фильтрацию облака



Ограничивающее тело захватывает точки из облака, и формирует подоблако (выборку точек) для анализа. В случае, если исходная PIM отсутствует, то область точек для анализа возможно задать любым другим способом: например, выделением сегмента облака или ограничивающим телом. Стоит отметить, что такой метод будет наименее оптимальным, а искомые профиля необходимо будет задавать вручную.

Далее через «центр масс» выборки строится NURBS (неоднородный рациональный B-сплайн) и анализируется с заданным допуском на искривление. Идеальным состоянием попадания в допуски считается приведение сплайна к прямой линии, либо дуге, в противном случае NURBS остается без изменений. Далее с заданным шагом либо количеством, строятся секущие плоскости, нормальные к кривой центра масс. В области секущих плоскостей формируются дополнительные срезы облака точек в заданном диапазоне и точки, попавшие в срез, отдельно проецируются на каждую из плоскостей сечения (рис. 6).

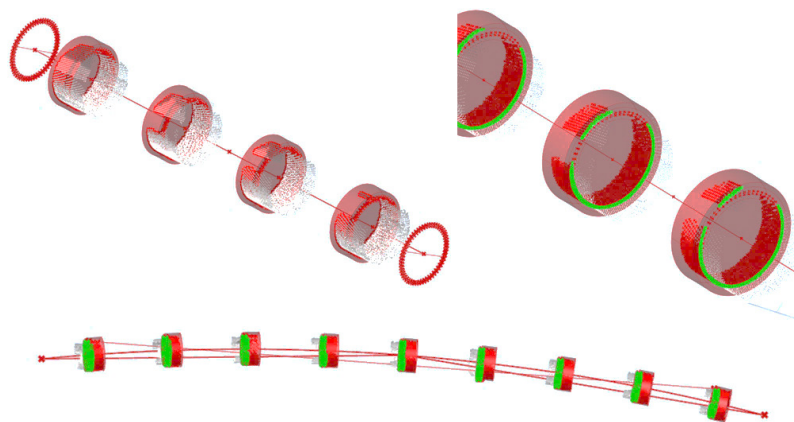


Рис. 6. Создание сегментарных выборок из облака

После чего следует несколько степеней фильтрации точек от разного рода мусора и искажений сканирования (рис. 7).

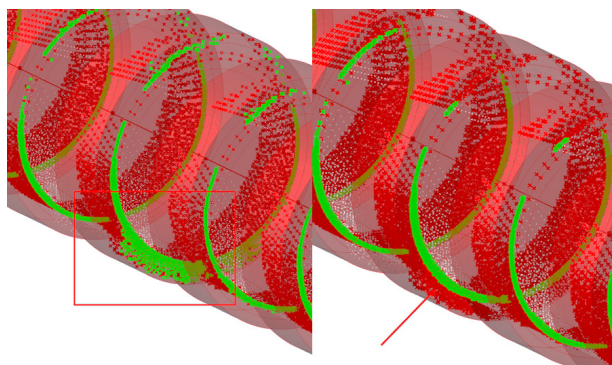


Рис. 7. Процесс фильтрации точек, спроецированных на плоскости

Затем происходит построение образующего контура, отдельно на каждой из плоскостей, взаимное усреднение положения контуров через все плоскости в несколько итераций, и более точное позиционирование исходного NURBS, с учетом положения и ориентации построенных контуров (рис. 8).

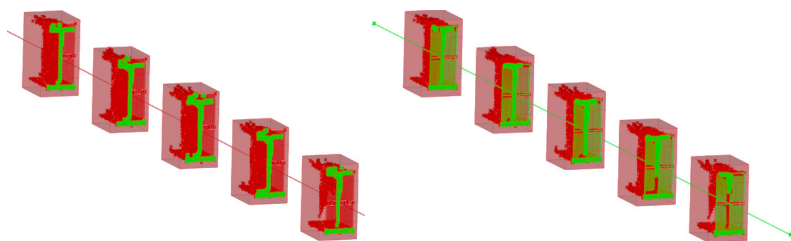


Рис. 8. Процесс построения образующих контуров

В итоге данный NURBS будет являться новой центральной осевой линией для искомого объекта РМ, который будет автоматически перестроен в исходной модели, благодаря прямой обратной связи (рис. 9).



Рис. 9. Визуальная проверка преобразованных объектов информационной модели по заданному облаку точек в требуемом диапазоне 5–10 мм

## **Заключение**

В результате проделанных изысканий были разработаны методы и инструменты для решения задач синхронизации BIM с физическим объектом строительства, позволяющие существенно экономить время и ресурсы для выполнения. Рассматривая данный процесс в качестве подзадачи AIM, которая может циклично возникать на протяжении всего жизненного цикла здания, положительные эффекты от реализации алгоритма для данного проекта многократно усиливаются.

Важной частью является то, что алгоритм не является узко направленным на конкретную задачу, и может быть применён для актуализации любых конструкций на металлическом каркасе.

В дальнейшем алгоритм может быть многократно усовершенствован для достижения более высокой точности и большей автоматизации. Возможным усовершенствованием алгоритма может быть, например, задействование внешней нейросети для автоматического распознавания начертания сечения профиля и его сопоставление с загруженной библиотекой типовых профилей ГОСТ/ISO [7, 12]. Хорошей идеей также является применение эволюционного алгоритма, который будет производить множественные итерации построения объекта и оптимально подбирать настройки фильтрации, количество сечений профиля, диапазон выборки, осуществлять контроль результата и т.д., для достижения максимального приближения объектов модели к облаку точек [13].

## **Литература**

1. Талапов В.В. BIM и эксплуатация: не надо путать информационную модель с вечной иглой для примуса. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=20900](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=20900) (дата обращения: 01.03.2021).
2. Талапов В.В. Университет Минстроя НИИСФ РААСН, доклад BIM 065. BIM на этапах жизненного цикла объекта, связанных с его эксплуатацией. URL: <https://youtu.be/1PZDPUO-p3I> (дата обращения: 01.03.2021).
3. Беляев А.В., Антипов С.С. Жизненный цикл объектов строительства при информационном моделировании зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 1. С. 65–72.
4. Талапов В.В. Технология BIM и эксплуатация зданий. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17409](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17409) (дата обращения: 01.03.2021).

5. Талапов В.В. Жизненный цикл здания и его связь с внедрением технологии BIM. URL: <https://ardexpert.ru/article/8445> (дата обращения: 01.03.2021).
6. Университет Минстроя НИИСФ РААСН, доклад BIM 106. Управление информацией объекта строительства, «цифровой двойник» и моделирование. URL: <https://youtu.be/lwPigCub0LQ> (дата обращения: 01.03.2021).
7. Александрова О.А. Университет Минстроя НИИСФ РААСН, доклад BIM 068. Моделирование реальности – как 1 этап создания цифрового двойника объекта. URL: <https://youtu.be/WZPWD8vv5Lc> (дата обращения: 01.03.2021).
8. Хайруллин М.Ф. Анализ современных методов создания эксплуатационной BIM-модели здания // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей 77-ой всероссийской научно-технической конференции. Самара: СГТУ, 2020. С. 555–562.
9. Фураев Д. Опыт внедрения Tekla Structures в ЗАО «ПМП» с применением технологии лазерного сканирования // САПР и графика. 2017. № 3(245). С. 30–34.
10. Катрич А.Е. Получение и обработка данных наземного лазерного сканирования // Современные исследования основных направлений гуманитарных и естественных наук: сб. науч. тр. междунар. науч.-теор. конф. Казанский кооперативный институт (филиал) АНО ОВО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2017. С. 120–121.
11. Лапыгин А.А. Университет Минстроя НИИСФ РААСН, доклад BIM 135. ТЗ на лазерное сканирование – что учесть для оптимального результата. URL: <https://youtu.be/TeSDQ1l2odk> (дата обращения: 01.03.2021).
12. Манин П.А. Университет Минстроя НИИСФ РААСН, доклад BIM 140 Искусственный интеллект (AI) для решения задач строительной индустрии. URL: <https://youtu.be/C7dBPvcebqE> (дата обращения: 01.03.2021).
13. Rutten D. Evolutionary Principles applied to Problem Solving. URL: <https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles> (дата обращения: 01.03.2021).

**УДК 69.003.13**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.044

**Петроченко Марина Вячеславовна**, канд. тех. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E-mail: petrochenko\_mv@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-4865-5319*

**Бойко Олег Романович**, магистрант  
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)  
*E-mail: bojko.or@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-8743-9731*

Petrochenko Marina Vyacheslavovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)  
Boyko Oleg Romanovich, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ПРОЦЕСС КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА «AS-BUILT» BIM МОДЕЛИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ**

### **QUALITY CONTROL OF “AS-BUILT” BIM MODELS WITH LASER SCANNING**

В настоящее время тема цифровых двойников, цифровых теней и «as-built» моделей является одной из наиболее востребованных и актуальных в мире информационного моделирования. Одновременно с важностью разработки «as-built» модели поднимается проблема ее контроля качества с использованием современных технических средств. В данной статье рассматривается проблемы при создании первичной «as-built» модели, возможность контроль качества «as-built» моделей объектов капитального строительства с использованием технологии лазерного сканирования, предлагается алгоритм контроля качества первичной «as-built» модели и обновления до текущего состояния, отмечаются ответственные параметры при проверке «as-built» модели.

*Ключевые слова:* «as-built», цифровой двойник, информационное моделирование, лазерное сканирование, управление недвижимостью, реконструкция.

At present, the topics of digital twins, digital shadows and “as-built” models are among the most popular and relevant in the world of information modeling. Simultaneously with the importance of developing an “as-built” model, the issue of its quality control through modern technical means is raised as well. This article

discusses the problems in creating a primary “as-built” model and the possibility of using laser scanning technology for the quality control of “as-built” models for major construction projects. It also proposes a process for controlling the quality of the primary “as-built” model and updating it to the current state, and notes the critical parameters of verifying “as-built” models.

*Keywords:* “as-built”, digital twin, information modeling, laser scanning, facility management, reconstruction.

Жизненный цикл проекта объекта строительства сопряжен с несколькими стадиями BIM-моделирования: концепт, проектная модель, рабочая модель и эксплуатационная модель «as-built», отражающая все решения, принятые в итоговом объекте. «As-built» модель представляет собой фактическое состояние физического состояния здания, окружающей среды и его активов. Общее понятие «as-built» модели связано с понятием цифровой тени и дано в работе А. И. Боровкова [1] и Д. С. Кокорева [2], также рассматривается выгода предприятий от использования данного типа моделей. Проводя аналогию со строительной сферой, можно выделить два основных направления развития «as-built» моделирования объектов капитального строительства: управление недвижимостью, реконструкция здания.

Для применения при эксплуатации, «as-built» модель должна отвечать действительному состоянию здания, что описывается в СП 333.1325800.2017, где также дается перечень необходимых элементов эксплуатационной модели. Соответственно, необходим качественный процесс передачи отклонений выполненных работ от проектных решений в модель. Данный вопрос поднимается в работе «Контроль строительной площадки с помощью информационной модели», что дает понимание актуальности темы несоответствия выполненных работ и принятых проектных решений, а также возможные пути решения с помощью BIM-технологий [3].

На строительной площадке в ходе приемочного строительного контроля исполнители должны зафиксировать факт отклонения в завершенном строительстве объекта от планируемых проектных решений, указанных в проектной документации. Исполнители фиксируют изменение по следующей схеме (рис. 1).



Рис. 1. Процесс фиксации отклонений фактических параметров конструкции от плановых

Область допустимых отклонений. Если зафиксированное отклонение от заданных параметров находится в рамках допустимых ограничений, то никаких действий не производится. В противном случае исполнители строительно-монтажных работ должны направить запрос проектной группе застройщика с целью определения дальнейших действий на строительной площадке.

Основными сложностями при создании «as-built» модели являются:

- некачественный перенос осуществленных решений в модель;
- трудность проверки процесса создания «as-built» модели у подрядчиков и субподрядчиков;
- недостаточность требований в техническом задании;
- при изменениях в существующем здании – трудности при переносе результатов текущих работ, ремонтов и т. д. в уже существующую «as-built» модель.

Для минимизации данных проблем необходим четкий процесс внесения изменений в модель, а также технология, способная в короткие сроки передавать большой объем данных в модель. Возможный способ – выделение небольшой команды, основной задачей которой является контроль изменений на строительной площадке и при эксплуатации объекта строительства, а также перенос данных изменений в модель посредством технологии лазерного сканирования.

Возможности использования лазерного сканирования в строительстве рассматриваются в работах Н. Б. Хахулина и А. А. Черкасова [4], Г. Г. Шевченко, Д. А. Гура, Г. Т. Акопян [5], что дает возможность рассуждать о целесообразности применения лазерного



сканирования при коррекции «as-built» модели здания. Практическое применение лазерного сканирование при эксплуатации здания подробно описывается в работе Кононова [6] на примере Ленинградской АЭС. Основные шаги Scan-to-BIM процесса рассматриваются в статье В. Л. Баденко [7].

Технологии лазерного сканирования позволяют отобразить фактическое исполнение и положение архитектурных, конструктивных и инженерных частей здания. В зависимости от объема данные передаются в различных форматах, в том числе и доступных для интеграции в BIM-модель. Собранные данные сканирования используются для проверки предыдущей «as-built» модели и ее актуализации до окончательного состояния «как построено».

Целью данной работы является разработка алгоритма контроля качества «as-built» модели с использованием технологий BIM и лазерного сканирования. Статья основывается на опыте применения лазерного сканирования при обследовании подземного паркинга жилого комплекса, расположенного в городе Санкт-Петербург, с целью дальнейшего создания точной «as-built» модели.

**1. Алгоритм контроля качества «as-built» модели с помощью лазерного сканирования** показан на рис. 2 и представляет собой набор следующих этапов.

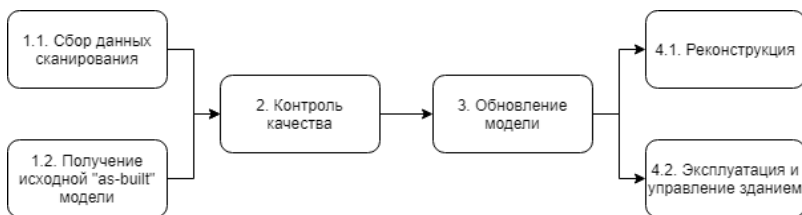


Рис. 2. Общий процесс контроля качества «as-built» модели

**1.1. Сбор данных сканирования.** В качестве данных сканирования применяются материалы полученные с помощью оборудования для лазерного сканирования и специализированным программным обеспечением (на данном примере оборудованием служил

лазерный сканер Leica BLK 360, для первичной обработки облаков точек использовалось ПО Leica Cyclone Field 360, для точной обработки и сшивки облаков точек использовалось ПО Leica Register 360, первичные результаты сканирования приведены на рис. 3, 4).



Рис. 3. Фотографии области точки стояния со сканера

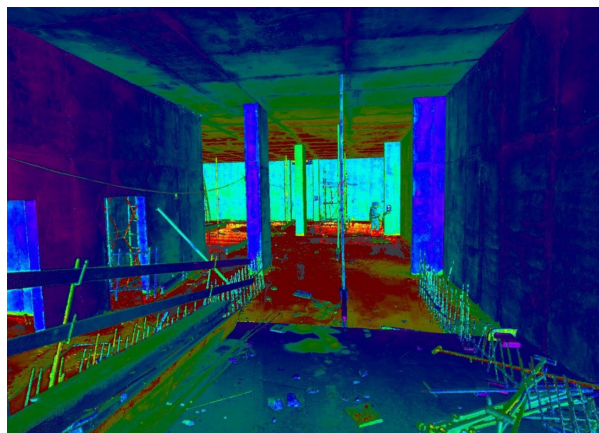


Рис. 4. Результаты лазерного сканирования области в виде облака точек (с индикацией плотности точек)

**1.2. Получение первичной «as-built» модели.** Первичная или исходная «as-built» модель получается несколькими способами:

- первичное лазерное сканирование. Сканирование данных и получение облаков точек, по которым строится первичная BIM-модель с использованием специализированного ПО (например, Autodesk ReCap);
- создание модели по рабочим чертежам и исполнительной документации (данный метод использовался на рассматриваемом объекте, рис. 5, 6);

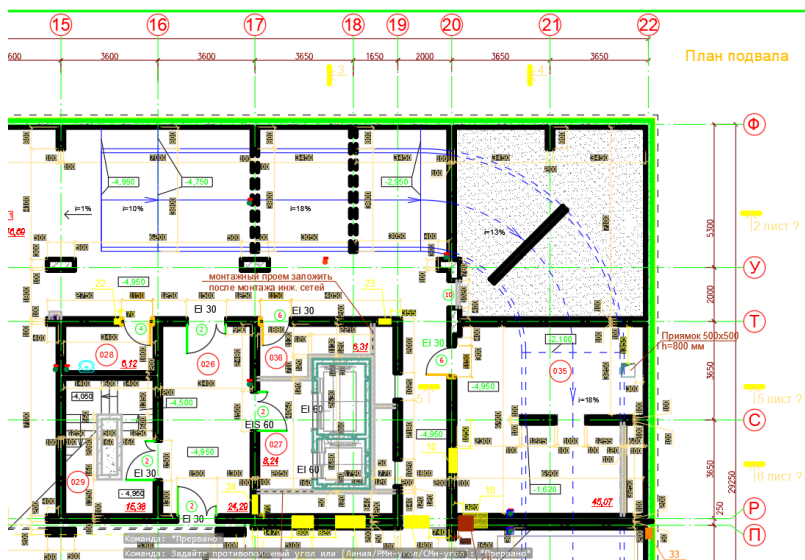


Рис. 5. Фрагмент плана подземного паркинга из рабочей документации

- перевод строительной BIM-модели в статус «as-built» по завершению строительства.

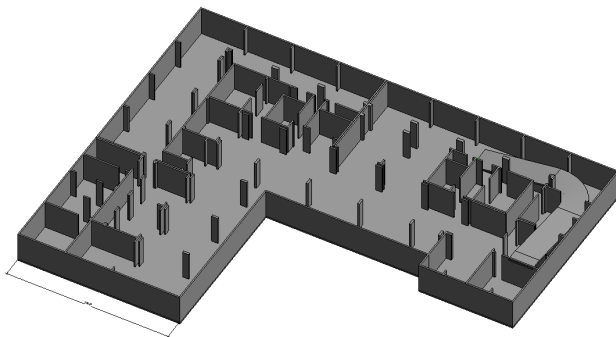


Рис. 6. Фрагмент исходной BIM модели подземного паркинга

**2. Контроль качества.** После получения данных сканирования и модели на основе Revit, для процесса контроля качества необходимо три основных шага (рис. 7).

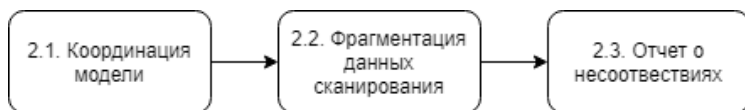


Рис. 7. Механизм контроля качества модели

**2.1. Координация моделей.** Координация данных лазерного сканирования и BIM-модели – ответственный этап, влияющий на последующую точность «as-built» модели. Происходит по ключевым элементам.

В данном примере координация облака точек и модели происходила по заранее заложенным на строительной площадке маркам, а также ключевым пересечениям осей в ПО CloudCompare (рис. 8).

**2.2. Фрагментация данных сканирования.** Данные лазерного сканирования делятся на меньшие части, с целью проверки модели по частям, а не полностью.

В статье рассматривается фактическое исполнение пандуса на подземном этаже.



Рис. 8. Координация исходной BIM модели и облака точек по закрепленным маркам

**2.3. Отчет о несоответствиях.** Элементы модели сравниваются с соответствующими данными сканирования. Три возможных результата проверки:

- элемент модели без соответствующих данных сканирования;
- данные сканирования без соответствующего элемента модели;
- элемент модели с соответствующими данными сканирования, но вне допуска.

В ходе координации моделей были зафиксированы отклонения от рабочей документации при исполнении конструкции пандуса. Конструкция пандуса должна быть отдельно стоящей, не опирающейся на несущие стены паркинга. В то же время, фактически, поворотная площадка выполнена до подпорных стен, с опорой на них, отсутствует зазор между стенами и пандусом. Отчетное изображение представлено на рис. 9.

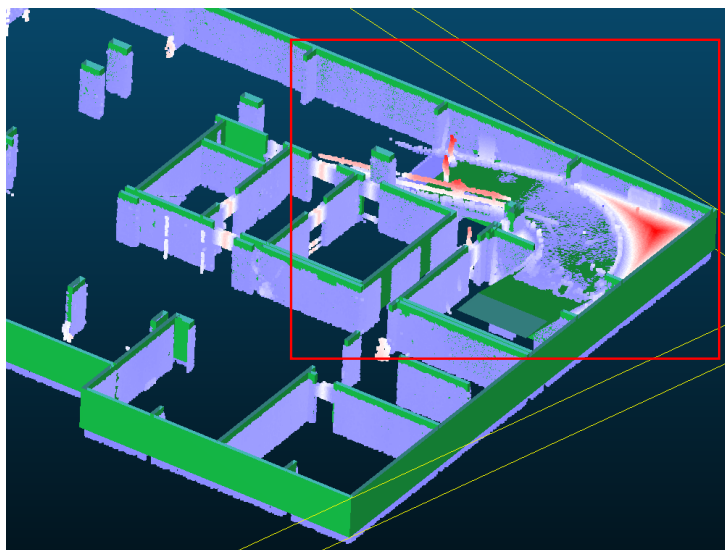


Рис. 9. Отчетное изображение сравнения облака точек и рабочей модели (белым и красным цветом обозначены отсутствующие в рабочей модели элементы, зафиксированные сканером на площадке, зеленым – элементы в пределах допуска)

**3. Обновление модели по результатам проверки.** По результатам проверки элементы модели обновляются по типу несовпадения. Исправления заключаются в удалении избыточных элементов, добавлении недостающих элементов и исправлении элементов вне допуска для соответствия данным сканирования.

Исходя из графического отчета фрагмента рассматриваемого объекта, организуется корректировка исходной BIM-модели с целью отображения фактического состояния пандуса (рис. 10).

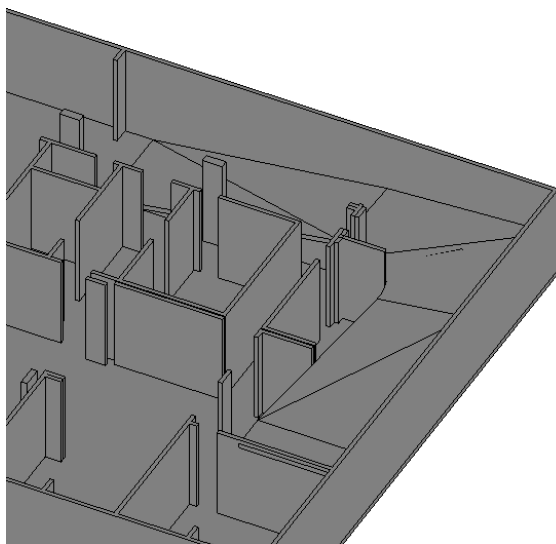


Рис. 10. Скорректированная модель пандуса

Полный алгоритм контроля качества представлен на рис. 11.

По результатам работы получен подробный алгоритм создания и контроля качества «as-built» модели с использованием BIM программного обеспечения и технологии лазерного сканирования.

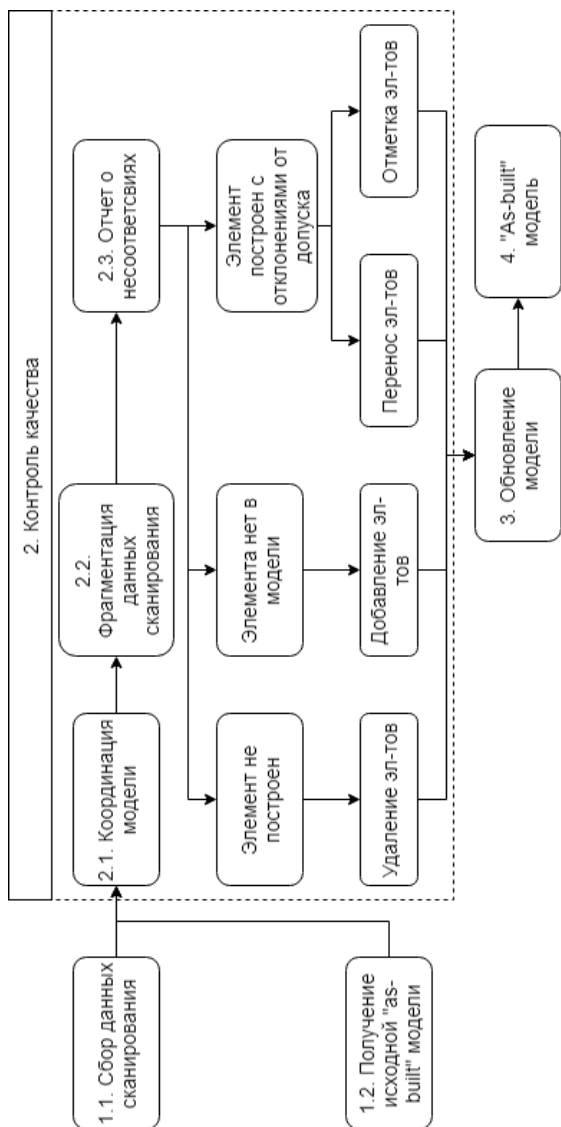


Рис. 11. Алгоритм контроля качества «as-built» модели с использованием BIM и лазерного сканирования



## Литература

1. Боровков А.И., Рябов Ю.А. Цифровые двойники: определение, подходы и методы разработки // Цифровая трансформация экономики и промышленности: материалы науч.-практич. конф. с зарубежным участием. СПб.: СПбПУ, 2019. С. 234–245. DOI: 10.18720/IEP/2019.3/25.
2. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // COLLOQUIUM-JOURNAL. 2019. № 10-2(34). С. 101–104.
3. Гришина О.С., Савченко А.В., Маричев А.П., Залата Е.С., Петроченко М.В. Контроль строительной площадки с помощью информационной модели // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 12(63). С. 7–19. DOI: 10.18720/CUBS.63.1.
4. Хахулина Н.Б., Черкасов А.А. Лазерное сканирование, как метод сбора пространственной информации для кадастра недвижимости // Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях: материалы международной науч.-практич. конф. Воронеж.: ВГТУ, 2018. С. 260–264.
5. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Акопян Г.Т. Применение наземного лазерного сканирования в строительстве и BIM технологиях // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2018. № 2. С. 251–260.
6. Кононов В.В., Тихоновский В.Л., Сальников Н.В. Создание трехмерной модели as-built Ленинградской АЭС с помощью лазерного сканирования // Автоматизация проектирования. 2013. № 1. С. 50–52.
7. Badenko V., Fedotov A., Zotov D., Lytkin S., Volgin D., Garg R.D., Liu Min. Scan-to-BIM methodology adapted for different application // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. Vol. XLII-5/W2.

**УДК 004.942**

**DOI: 10.23968/VIMAC.2021.045**

**Пресняков Артур Андреевич**, курсовой офицер-преподаватель  
(Пензенский артиллерийский инженерный институт Военной академии  
материально-технического обеспечения)

*E-mail: artypres@mail.ru*

**Добрышкин Евгений Олегович**, адъюнкт  
(Военный институт (инженерно-технический) Военной академии  
материально-технического обеспечения)

*E-mail: edobryshkin@mail.ru*

Presnyakov Artur Andreevich, course officer-teacher  
(Penza Artillery Engineering Institute of the Military Academy of Logistics)

Dobryshkin Evgeny Olegovich, Associate Professor  
(Military Institute (Engineering and Technical) of the Military Academy  
of Logistics)

## **ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАКАЗА**

### **INTRODUCTION OF THE INFORMATION MODELING TECHNOLOGY IN THE CONTEXT OF FULFILLING ORDERS COMMISSIONED BY THE GOVERNMENT**

Востребованность в более эффективном возведении зданий и сооружений привела к необходимости усовершенствования механизмов разработки проектной документации. Технология информационного моделирования имеет большой потенциал и спрос, что подтверждает опыт западных стран. Использование данной технологии существенно сокращает расходы при составлении проектно-сметной документации и позволяет значительно упростить процесс управления и обмена всеобъемлющими данными об объекте. В данной статье описываются перспективы внедрения технологии информационного моделирования, позволяющие добиться значительного снижения финансовых затрат на всех этапах строительства и повышения эффективности управления объектом на протяжении всего его жизненного цикла.

*Ключевые слова:* ВМ-моделирование, организация строительства, эффективность, планирование, проектирование, технологии.

The demand for more efficient construction of buildings and structures has led to the need to improve the process of developing project documentation. The information modeling technology has great potential and demand, which is confirmed by the experience of Western countries. The use of this technology significantly reduces the cost of preparing design estimates and allows users to significantly simplify the process of managing and sharing comprehensive data about the facility. This article describes the prospects for the introduction of the information modeling technology, which makes it possible to significantly reduce financial costs at all stages of construction and improve facility management efficiency throughout its life cycle.

*Keywords:* BIM, construction organization, efficiency, planning, design, technology.

Согласно данным независимого информационного агентства Интерфакс на исправление ошибок, допущенных при проектировании, тратят около 15 % бюджета, выделенного на обновление городской территории. Технология BIM-моделирования позволяет сократить время и расходы со стороны заказчика при организации планирования и снабжения ресурсами на уровне проекта. Именно поэтому интерес к технологии BIM постоянно растет.

Опыт зарубежных строительных компаний представляет интересные с экономической точки зрения перспективы использования технологии информационного моделирования [1]. Таким образом, с использованием BIM-технологии при составлении проектной документации сократили практически в 2 раза количество ошибок и время, затраченное на проектирование будущего здания. Время на проверку проекта сократилось до 6 раз. Значительно упростился процесс согласования проектной документации, и сократились сроки координации. Всё это влечет за собой уменьшение срока реализации проекта почти в половину и, соответственно, на одну треть снижаются расходы на организацию строительства и дальнейшую эксплуатацию. Ввиду малой распространенности по рынку BIM, в России подобной аналитики нет.

На сегодняшний день количество BIM-проектов постоянно растет. Это вызвано в том числе снижением стоимости BIM-работок. Заказчики осознают финансовые выгоды, которые дает использование технологии информационного моделирования при проектировании, и спрос на выполнение данных работ существенно повышается [2].

На уровне, сочетающем 3D-моделирование и 2D-чертежи, в настоящее время работает большая часть строительных компаний (табл. 1). На данном уровне отсутствует взаимодействие между системами проектирования, и каждая использует собственные данные. На следующем уровне строительные организации используют свои собственные 3D-модели, которые не имеют между собой связи. Взаимодействие между подрядчиками происходит путем обмена имеющейся информацией. За счёт сохранения проектной информации в общем формате подрядчики при обмене чертежами могут использовать заимствованную проектную документацию при разработке своего проекта. И максимальный, в обозримом будущем, уровень – это уровень полноценного взаимодействия между всеми системами с помощью использования единой общей 3D-модели проекта, которая будет доступна подрядчикам, участвующим в организации строительства. На указанном уровне развития ВМ-моделирования все организации, задействованные в строительстве, имеют доступ к общей модели объекта и могут вносить изменения в течение всего процесса строительства. Информация об объекте единая и позволяет устранить риски двойственности, которые возникают в настоящее время в строительстве [3].

*Таблица 1*

**Этапы совершенствования информационных технологий в проектной документации строительства**

Этапы	Краткое описание	Годы постройки
1 уровень	Чертежи используют в основном, для получения проекта производства работ	
2 уровень	Сочетание 3D-моделирования будущего сооружения и 2D-чертежей для разработки нормативной документации	2000–2010
3 уровень	Наличие возможности совместной работы между 3D и 2D	2010–2020
4 уровень	Все стороны используют ВМ-технологии информационного моделирования на всех этапах организации и управления строительством	с 2021

Помимо улучшения взаимодействия между подрядными организациями и повышения эффективности проектирования, использование технологии информационного моделирования открывает перед нами возможности решения финансовых издержек на организацию строительства. Так, при использовании информации об объекте упрощается процесс расчета сметы на необходимые материалы, их доставку, а также стоимость строительно-монтажных работ [4].

Нельзя не отметить, что технология информационного моделирования позволяет, кроме визуализации объекта, собрать в библиотеке данных информацию о всех элементах конструкции, из какого они материала созданы и как взаимосвязаны. Таким образом BIM-технология позволяет объединить в одном проекте всеобъемлющие архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические данные, взаимодействие между которыми дает возможность оперативно вносить необходимые поправки в проект для его максимальной эффективности. Примеры увеличения эффективности проектов приведены в статье [5]. Формирование проекта будущего здания с насыщением информацией о его конструктивных элементах с использованием технологии информационного моделирования позволяет с помощью исходных данных об объекте строительства спрогнозировать процессы, которые будут происходить в уже построенном объекте [6–7].

Для раскрытия потенциала возможностей BIM-технологии целесообразно рассмотреть порядок проектирования монтажа оконного блока традиционным способом и посредством информационного моделирования:

Традиционный вариант проекта производства работ. Как правило, для монтажа оконного блока проектировщику необходимо, согласно требованиям ГОСТ, подобрать параметры оконного блока. Затем внести выбранный оконный блок в проектно-сметную документацию, сделав при этом необходимые расчеты в смету. Без проектно-сметной документации вести строительно-монтажные работы в Российской Федерации запрещено. После этого проектно-сметная документация направляется на государственную

экспертизу и утверждение у заказчика. Организация работы таким методом требует определенного времени.

ВМ-моделирование с использованием облачного сервиса PlanRadar. Проектировщик выбирает необходимый по параметрам оконный блок в библиотеке данных используемой системы ВМ-моделирования. Далее устанавливает оконный блок в готовую 3D-модель объекта с сохранением спецификации оконного блока (рис. 1). Затем в системе сметного расчета обновится информация о стоимости материалов, из которых состоит оконный блок, и стоимости выполнения строительно-монтажных работ. Сметный расчет хранится в базе данных используемой программы.

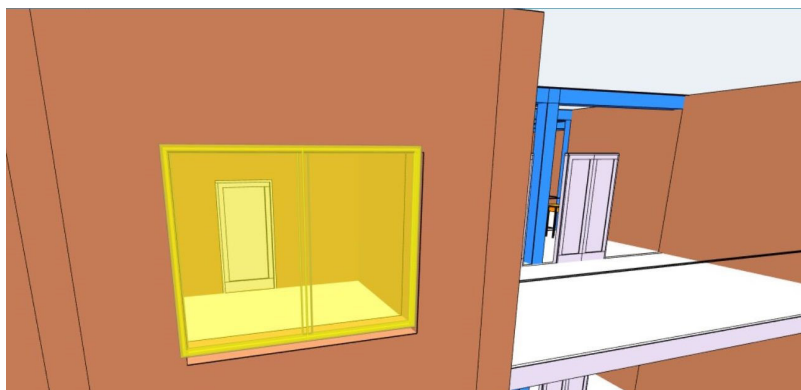


Рис. 1. Демонстрация установки окна в программе PlanRadar

Использование технологии информационного моделирования на примере монтажа оконного блока демонстрирует упрощение процесса внесения изменений в текущий проект и дальнейшую логистику по организации строительно-монтажных работ, связанных с этими изменениями.

Очевидно, что появление технологии информационного моделирования способно кардинально изменить алгоритм взаимодействия между проектировщиками, технологами, инженерами

и исполнителями строительно-монтажных работ [8]. Всеобъемлющая информация об объекте строительства – материалы, их цена, конструктивные решения, а также логистика, затраты на человеческие и автоматизированные ресурсы, эксплуатация объекта после возведения. Примеры совершенствования логистики и используемых материалов приведены в исследованиях [9–13].

Согласно информации с официального сайта администрации Санкт-Петербурга, в середине сентября 2020 года Госстройнадзор Санкт-Петербурга выдал первое разрешение на строительство объекта с BIM-моделью, что подтверждает заинтересованность государства в внедрении данной технологии и развитие строительной отрасли в направлении цифровой визуализации.

Для реализации максимальной эффективности технологии информационного моделирования возникает необходимость формирования единой информационной платформы, хранящей в себе всеобъемлющие данные с соблюдением требований государственных стандартов, и организации доступа подрядных организаций к этому информационному пласту. В настоящее время ряд строительных компаний занимается разработкой BIM-моделей. Количество проектов, реализуемых с помощью технологии информационного моделирования, постоянно растет. Согласно поручению Президента Российской Федерации, в 2018 году технология информационного моделирования определялась приоритетной областью развития строительной отрасли. Существенным препятствием по внедрению BIM-технологии на данном этапе является закрепление понятийного и функционирующего аппарата технологии информационного моделирования в нормативно-правовой базе.

Важно отметить, что в сентябре 2020 года вышло Постановление Правительства РФ №1431 «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» [14]. Данный документ позволяет на законодательном уровне сформировать нормативно-правовую базу и требования государственных стандартов по использованию технологии информационного моделирования и утвердить поправки ВІМ в градостроительный кодекс.

Для формирования единой системы информационного моделирования предполагается создание ряда государственных стандартов; классификация и идентификация элементов информационных моделей и объектов; требования к информационному моделированию объектов [15].

В настоящее время НИЦ «Строительство» разработало проекты ГОСТ Р «Организация информации о строительных работах. Информационный менеджмент в строительстве с использованием технологии информационного моделирования. Часть 1. Понятия и принципы» (пересмотр ГОСТ Р 58439.1-2019) и ГОСТ Р «Организация информации о строительных работах. Информационный менеджмент в строительстве с использованием технологии информационного моделирования. Часть 2. Стадия капитального строительства» (ГОСТ Р 58439.2-2019). Таким образом, стандартизация процессов и эффективное применение технологий информационного моделирования при проектировании объектов капитального строительства задает вектор информационного моделирования на последующих стадиях жизненного цикла объекта недвижимости.

В результате изучения преимуществ внедрения технологии информационного моделирования в условиях реализации государственного заказа сделаны следующие выводы:

- использование ВІМ-технологий позволяет сократить время и расходы на этапе проектирования объекта;
- с помощью ВІМ-технологии в одном проекте возможно объединить всеобъемлющие данные, взаимодействие между которыми значительно повысит эффективность проектирования;
- перспективные возможности технологии информационного моделирования превосходят традиционные формы проектирования, использующиеся на сегодняшний день;



- вышеперечисленные проекты государственных стандартов подтверждают совершенствование нормативно-правовой базы, так необходимой для внедрения BIM-технологий.

## Литература

1. Рахматуллина Е.С. BIM-моделирование как элемент современного строительства // Российское предпринимательство. 2017. Т. 18, № 19. С. 2849–2866. DOI: 10.18334/гр.18.19.38345.

2. Якубов С.А. BIM технологии в России. URL: [https://www.cnews.ru/articles/2020-02-21\\_bim\\_v\\_rossiichto\\_ego\\_stimulirueta](https://www.cnews.ru/articles/2020-02-21_bim_v_rossiichto_ego_stimulirueta) (дата обращения: 07.02.2021).

3. Ключевые аспекты развития BIM в организации. URL: <https://www.im-center.ru/building-information-modeling-implementation> (дата обращения: 07.02.2021).

4. Бирюков А.Н., Добрышкин Е.О. Планирование капитального ремонта объектов силового компонента государства // Технология и организация строительства: материалы I Всероссийской межвузовской научно-практической конференции молодых ученых. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 50–60.

5. Кравченко И.Н., Федоров А.О., Бирюков Ю.А., Бирюков А.Н., Тростин В.П. Применение цифровых технологий проектирования для выбора рациональных технических решений мобильных строительно-дорожных комплексов // Строительные и дорожные машины. 2020. № 1. С. 35–44.

6. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 393 с.

7. Бирюков А.Н., Бирюков Ю.А., Добрышкин Е.О., Кравченко И.Н. Технические решения по мониторингу технического состояния объектов энергетики в условиях Арктики // Механизация и автоматизация строительства. Самара: СамГТУ, 2019. С. 66–72.

8. BIM-технологии в строительстве. URL: <https://www.planradar.com/ru/bim-tekhnologii-v-stroitelstve-2020/#2> (дата обращения: 07.02.2021).

9. Бирюков А.Н., Добрышкин Е.О. Совершенствование логистики процесса поставок материальных ресурсов автомобильным транспортом на объекты военно-строительного комплекса // Военный инженер. 2019. № 1(11). С. 13–20.

10. Бирюков А.Н., Дудурич Б.Б., Бирюков Ю.А. Новые быстротвердеющие цементные составы для проведения текущего, капитального ремонтов и ликвидации чрезвычайных ситуаций на объектах Министерства обороны Российской Федерации // Военный инженер. 2018. № 1(7). С. 37–45.

11. Kazakov Y., Birjukov A. Fast assembly of quality suspended ventilated facades // Architecture and Engineering. 2017. Vol. 2, No. 1. P. 32–40. DOI: 10.23968/2500-0055-2017-2-1-32-40.

12. Birjukov A., Dobryshkin E., Birjukov Y., Tishchenko V. Complex approach to organizations' capital assets reproduction // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 157. P. 04026. DOI: 10.1051/e3sconf/202015704026.

13. Birjukov A., Lebedkin A., Birjukov Y., Pchelkin V. Determination of the type of repair work based on the results of survey and monitoring of the technical condition of buildings // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 157. P. 06023. DOI: 10.1051/e3sconf/202015706023.

14. Постановление Правительства РФ от 15 сентября 2020 года № 1431 «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». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74544278/> (дата обращения: 07.02.2021).

15. Бирюков А.Н., Добрышкин Е.О. Математическая модель формирования титульного списка зданий для проведения капитального ремонта в условиях ограниченности капиталовложений // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1(72). С. 76–82. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-76-82.

УДК 519.685.1

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.046

**Пученков Илья Сергеевич**, магистрант, ТИМ-мастер  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail: ilya.puchenkov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-1756-3830*

**Евтушенко Сергей Иванович**, д-р техн. наук, профессор  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail: evtushenkosi@mgsu.ru, ORCID: 0000-0003-3708-380x*

Puchenkov Ilya Sergeevich, master student, BIM-master  
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University))

Evtushenko Sergey Ivanovich, Dr. of Sci. Tech., Professor  
(Moscow State University of Civil Engineering (National Research University))

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫГРУЗКИ И ОБРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ

### AUTOMATING MODEL EXPORT AND PROCESSING

В статье приведен анализ проблемы подготовки моделей к экспорту, обработке и передаче участникам бизнес-процесса. Приведен метод, который позволяет полностью отказаться от ручного труда и автоматизировать данный процесс. Описан метод написания скриптов в bat-файлах. Рассмотрен способ применения утилиты командной строки RevitServerToolCommand, применения утилиты Batch для экспорта моделей в формат .lwc, очистки моделей с помощью утилиты eTransmit. Также продемонстрирован способ автоматической выгрузки моделей в облачный сервис BIM360 с помощью надстройки Autodesk Desktop Connector. Производится поэтапный процесс экспорта и обработки информационных моделей с графическим пояснением процесса.

*Ключевые слова:* RevitServerToolCommand, Batch Utility, eTransmit, Autodesk Desktop Connector, скрипт, утилита, автоматизация, информационная модель объекта.

The article analyzes the issues of preparing models for export, processing, and sharing with business process participants. We propose a method making it possible to completely abandon manual work and automate this process. We also describe a method for writing scripts in bat files. The study further examines the methods of using the RevitServerToolCommand utility, exporting models in the

.nwc format with the Batch utility, and clearing models with the eTransmit utility. The paper presents a way to automatically upload models to the BIM360 cloud service using the Autodesk Desktop Connector add-in. We also review a step-by-step process of exporting and processing information models, complete with a graphical explanation.

*Keywords:* RevitServerToolCommand, Batch Utility, eTransmit, Autodesk Desktop Connector, script, utility, automation, BIM model.

Процесс информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла здания должен осуществляться в среде общих данных (СОД) [1] для оперативного обмена и изменения информации всеми участниками инвестиционно-строительного процесса. На этапе проектирования к передаче моделей предъявляются определенные обязательные требования [2]. Например, если процесс информационного моделирования происходит в программном комплексе Autodesk Revit, то модели должны быть очищены от неиспользуемых семейств, листов и ссылочных связей. Данный процесс есть возможность пакетно ко всем информационным моделям автоматизировать. Если организация одновременно занимается разработкой сразу нескольких проектов, то ручная обработка всех моделей может занять не один день. Большое значение играет то, каким образом организована среда общих данных внутри организации [3]. Если в процессе информационного моделирования использован аппаратно-операционный способ организации СОД с RevitServer [4], то необходимо затрачивать время, на выгрузку моделей с RevitServer на локальный компьютер или корпоративную сеть [5].

Рассмотрим вариант автоматизации, когда организация имеет следующие условия:

1. Модель разрабатывается в программном комплексе Autodesk Revit.
2. Файлы-хранилища находятся на RevitServer.
3. Организация имеет физический сервер, на котором хранит данные.
4. В организации BIM-регламентом установлена определенная структура папок (рис. 1).
5. Модели необходимо три раза в неделю выгружать в облачный сервис BIM360 [6].

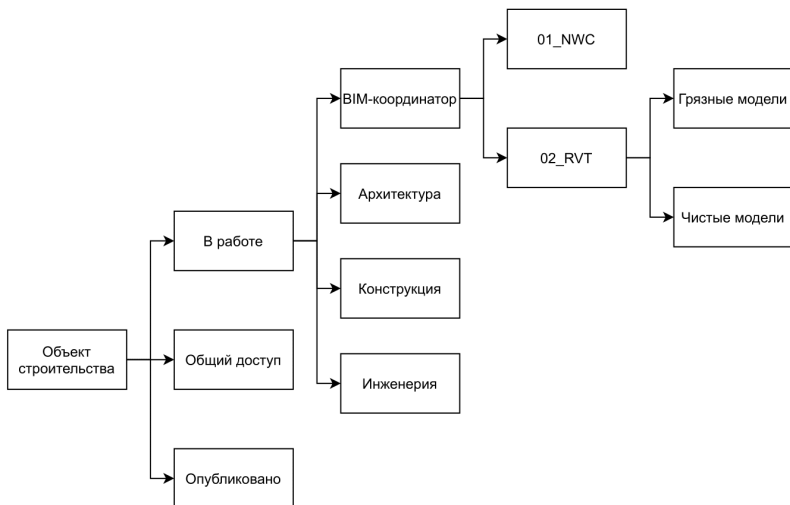


Рис. 1. Структура папок

Процесс автоматизации будет иметь определенную последовательность действий:

1. Экспорт моделей в формате .rvt с RevitServer на локальный компьютер или в структурные папки на сервер организации.
2. Если модели были экспортированы на локальный компьютер, то их необходимо переместить в структурные папки на сервер организации. Данная операция выполняется быстрее, чем экспорт моделей сразу в структурные папки на сервер организации.
3. Копирование моделей из структурных папок в производственную папку BIM-координатора «Грязные модели».
4. Пакетная очистка моделей в папку «Чистые модели» с помощью утилиты eTransmit. Процесс выполняется вручную.
5. Экспорт моделей формата .rvt в папке «Грязные модели» в формат .nwc с помощью утилиты Batch.
6. Перемещение файлов формата .nwc в папку «01\_NWC».
7. Перемещение очищенных файлов формата .rvt в облачный сервис BIM 360 с помощью надстройки Autodesk Desktop Connector.

Скрипт, который будет содержать весь код автоматизации необходимо разместить на локальном компьютере в папке с утилитой RevitServerTool.exe по адресу: C:\Program Files\Autodesk\Revit 2019\RevitServerToolCommand. Утилита устанавливается одновременно с Autodesk Revit.

В данной папке требуется создать текстовый файл. Редактировать его необходимо с помощью Notepad++. Код следует выделить и перевести в кодировку OEM 866 (кириллица).

На RevitServer находятся файлы-хранилища в формате .rvt. Сервер имеет свою структуру папок и управляется администратором. Код скрипта (рис. 2) обращается к утилите RevitServerTool.exe, которая будет экспортировать все модели по указанному пути с сервера.

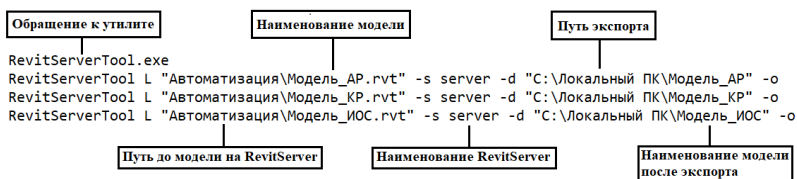


Рис. 2. Код экспорта моделей с RevitServer на локальный компьютер

В данном коде (рис. 2) есть команды, с помощью которых работает скрипт:

L – создание локальной модели на основе указанной модели из хранилища;

-d – путь, указывающий папку и имя файла создаваемой модели;

-s – имя хоста Revit Server, на котором хранится модель из хранилища;

-o – перезапись целевой модели, если она уже существует.

Если модели были экспортированы на локальный компьютер, то их необходимо перенести в структурные папки на корпоративном сервере. Этот процесс также возможно автоматизировать. Код каждого действия можно прописывать в разных файлах, но также есть возможность весь код разместить в одном файле.

Для перемещения файлов добавим в файл автоматизации код (рис. 3):

```
move /y "C:\Локальный ПК\Модель_АР.rvt" "K:\В работе\Архитектура"  
move /y "C:\Локальный ПК\Модель_КР.rvt" "K:\В работе\Конструкция"  
move /y "C:\Локальный ПК\Модель_ИОС.rvt" "K:\В работе\Инженерия"
```

Рис. 3. Код для перемещения файлов

Команда `move` перемещает файлы из одной указанной папки в другую.

Команда `/y` перезаписывает существующие файлы назначения без предупреждения.

Следующим действием необходимо копировать все модели из структурных папок в рабочую папку VIM-координатора «Грязные модели» для дальнейшей их очистки и передачи заказчику или субпроектным организациям.

Для копирования файлов добавим в файл автоматизации код (рис. 4):

```
copy /y "K:\В работе\Архитектура\*.rvt" "K:\В работе\VIM_координатор\Грязные модели"  
copy /y "K:\В работе\Конструкция\*.rvt" "K:\В работе\VIM_координатор\Грязные модели"  
copy /y "K:\В работе\Инженерия\*.rvt" "K:\В работе\VIM_координатор\Грязные модели"
```

Рис. 4. Код для копирования файлов

Команда `copy` копирует файл из одной указанной папки в другую.

Код «`*.rvt`» – позволяет копировать все файлы формата `.rvt` из одной папки в другую. Таким образом, если в папке несколько моделей формата `.rvt`, то все они будут скопированы.

На данном этапе необходимо пакетно очистить модели в папку «Чистые модели» с помощью утилиты `eTransmit`. Процесс выполняется вручную.

Запустив программный комплекс Autodesk Revit необходимо, не открывая модели, перейти во вкладку «Надстройки» и выбрать «Передать модель(и)» в разделе `eTransmit`.

Запустив утилиту, необходимо указать путь, в котором лежат все модели для очистки, а затем путь, куда будут сохранены модели после обработки. Далее указать все необходимые действия, которые будут выполнены и нажать «Передать модель(и)».

Далее необходимо настроить автоматизацию экспорта моделей в формат .nwc. Для этого необходимо запустить программный комплекс Autodesk Navisworks Manage и запустить утилиту Batch Utility. В данной утилите необходимо указать, какие модели будут экспортированы выбрать функцию «Запланировать».

В появившемся окне, необходимо скопировать код из строки «Выполнить», после этого можно закрыть данное окно (рис. 5), а код вставить в файл с автоматизацией. Данный код после активации будет запускать утилиту и выполнять экспорт в фоновом режиме.

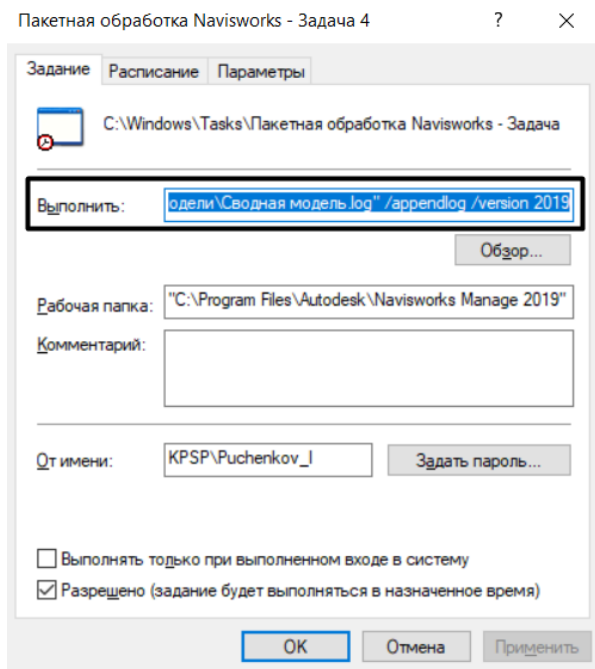


Рис. 5. Код для автоматизации экспорта в формат .nwc



Экспортированные файлы формата .nwc сохраняются рядом с файлами формата .rvt. Если запустить скрипт автоматизации повторно, то экспорт моделей отработан не будет. Для дальнейшей отработки необходимо после экспорта перемещать файлы формата .nwc в другую папку. Для этого добавим в файл автоматизации код (рис. 6):

```
move /y "К:\В работе\BIM_координатор\Грязные модели\*.nwc" "К:\В работе\BIM_координатор\01_NWC"
```

Рис. 6. Код для перемещения файлов формата .nwc

После того, как все файлы формата .rvt были отработаны в утилите eTransmit, их необходимо передать заказчику или субпроектным организациям в облачный сервис BIM 360.

Для автоматизации данного процесса необходимо установить надстройку Autodesk Desktop Connector. После установки, в файле автоматизации необходимо прописать код для перемещения моделей из папки Чистые модели в структурные папки на BIM 360. Доступ к облаку появится в системе локального компьютера.

На данном этапе весь код автоматизации сформирован. Требуется сохранить текстовый файл и изменить его формат .txt на формат .bat. Данный bat-файл можно запускать вручную, а можно запланировать запуск скрипта в определенный момент времени с помощью Планировщика заданий Windows.

## Литература

1. СП 333.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М.: Стандартинформ, 2018. 28 с.
2. Семенов А.А., Суханова И.И. Проект BIM-ICE – интеграция BIM в высшее и профессиональное образование // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 372–378. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.048.
3. Мальцев В.Л. Опыт решения проблем внедрения BIM-технологий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 148–152. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.026.

4. Пученков И.С., Евтушенко С.И. Создание Информационной модели здания в среде общих данных // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9, № 1(30). С. 74–78. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-1-74-78.

5. Букунов А.С., Букунова О.В. Обмен информацией в единой системе при создании ВІМ // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 59–64. DOI: 10.23968/ВІМАС.2019.010.

6. Романович М.А., Всевожская В.Г., Кузьминых А.Р., Попова Е.М., Перцева А.Е. Опыт создания цифровой модели здания в рамках международной образовательной программы на платформе ВІМ 360 // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 362–371. DOI: 10.23968/ВІМАС.2020.047.

7. Поляков И.С. Оптимизация интерфейса и организация работы ВІМ // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всеросс. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 168–172.

УДК 004.6

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.047

**Семенов Виталий Адольфович**, д-р физ.-мат. наук, заведующий отделом  
(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)

*E-mail: sem@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-8766-8454*

**Аришин Семен Васильевич**, аспирант

(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)

*E-mail: arishin@ispras.ru*

Semenov Vitaly Adolfovich, Dr. of Sci. Phys.-Math., Head of Department  
(Ivannikov's Institute for System Programming, RAS)  
Arishin Semen Vasilevich, postgraduate student  
(Ivannikov's Institute for System Programming, RAS)

## **НОВЫЙ ФАЙЛОВЫЙ ФОРМАТ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ BIM-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЖУРНАЛИЗАЦИИ ТРАНЗАКЦИЙ С IFC ДАННЫМИ**

### **A NEW FILE FORMAT FOR ENSURING THE INTEROPERABILITY OF BIM APPLICATIONS, BASED ON LOGGING IFC-DRIVEN DATA TRANSACTIONS**

Обсуждаются проблемы обеспечения интероперабельности BIM-приложений и построения развитых программных интегрированных комплексов для осуществления проектной деятельности в области архитектуры, инженерии и строительства. Указываются принципиальные отличия между уровнями технической, синтаксической, семантической, прагматической, динамической и концептуальной интероперабельности. Приводятся примеры аномалий, возникающих при использовании обменных файлов в проприетарных и открытых форматах, в том числе, основанных на стандартной информационной схеме IFC. Предлагается и описывается новый файловый формат, предназначенный для журнализации транзакций и изменений с IFC данными. Ожидается, что поддержка формата перспективными BIM-приложениями позволит обеспечить концептуальную интероперабельность как автономных приложений с функциями обмена файлами, так и приложений, интегрированных и функционирующих в составе клиент-серверных систем.

*Ключевые слова:* BIM, IFC, модель интероперабельности LCIM, журнализация транзакций.

This paper discusses the issues of ensuring the interoperability of BIM applications and the development of advanced integrated systems for architecture, engineering and construction projects. We highlight the fundamental differences between the levels of technical, syntactic, semantic, pragmatic, dynamic, and conceptual interoperability. The study provides examples of anomalies that occur when exchanging files in proprietary and open formats, including those based on the IFC standard information scheme. A new file format for logging transactions and changes with IFC-driven data is proposed and described. We expect that the format will allow for providing conceptual interoperability for both standalone applications with the capabilities to exchange data files and the integrated applications that function within client-server systems.

*Keywords:* BIM, IFC, LCIM interoperability model, logging transactions.

Технологии информационного моделирования зданий и сооружений (BIM) получили широкое распространение в практике осуществления проектной деятельности в области архитектуры, инженерии и строительства. Благодаря единой цифровой модели сооружения, используемой на всем жизненном цикле, достигается ряд известных улучшений, которые в конечном счете приводят к уменьшению проектных рисков, сроков и затрат. Несмотря на активное развитие BIM-технологий и наличие разнообразных программных приложений, на практике пользователи нередко сталкиваются с проблемами, ключевой из которых, на наш взгляд, является отсутствие функциональной совместимости (интероперабельности) приложений. Ранее проведенные исследования выявили многочисленные случаи потери данных и их неправильной интерпретации при файловом обмене между приложениями [1, 2]. Причем подобные аномалии возникают как при использовании проприетарных BIM-форматов, так и при обмене данными в открытых форматах, в частности, в формате, основанном на стандартной информационной схеме IFC (Industry Foundation Classes) для архитектурно-строительной области [3].

Заметим, что первая версия схемы IFC появилась в 1994 году как результат деятельности международного альянса по интероперабельности (International Alliance for Interoperability), позднее переименованного в buildingSmart. В 2018 году официальная версия IFC 4.0 была принята в качестве международного стандарта ISO 16739-1. Схема IFC в сочетании с файловым форматом открытого кодирования STEP (ISO 10303-21) принимается в качестве

основы для обеспечения интероперабельности ВМ приложений. В настоящее время стандарт IFC является наилучшим и, пожалуй, единственным среди открытых и независимых от производителей решением для достижения данной цели. Вместе с тем, следует признать, что наличие у приложений функций импорта/экспорта IFC файлов не гарантирует полноту передачи данных и правильность их интерпретации. Это говорит о проблемах более фундаментального характера, чем отсутствие поддержки ВМ-приложениями единой модели данных или единого файлового формата.

Рассмотрим лишь две распространенные аномалии, возникающие при использовании IFC файлов. Аномалия двустороннего обмена (groundtrip) возникает, когда внутренние данные приложения экспортируются в IFC файл, а затем импортируются в виде нового проекта (рис. 1, а). Из-за различий между внутренней моделью данных приложения и схемой IFC часть проектных данных не может быть корректно передана и итоговое представление обычно существенно отличается от исходного. Аналогичная ситуация возникает, когда исходный файл IFC сначала импортируется в приложение, а затем экспортируется в новый файл IFC. Символами  $X$ ,  $Y$  на рисунках обозначены приложения и реализуемые ими функции экспорта и импорта IFC файлов. В качестве операндов и результатов функций указываются ревизии проектных данных  $x$ ,  $y$ ,  $z$  во внутреннем представлении приложений  $X$ ,  $Y$  и схемы IFC соответственно. Другая распространенная аномалия связана с невозможностью продолжения работы с проектными данными после их изменения сторонним приложением (рис. 1, б). Последовательная передача проектных данных в другое приложение и получение обновленных данных обратно, используя функции экспорта и импорта IFC файлов, обычно делают невозможным продолжение рабочей сессии из-за потери части внутренних данных и взаимосвязей.

Приведенные примеры аномалий объясняют, почему обмен IFC файлами не решает проблему интероперабельности приложений. К сожалению, в публикациях по тематике ВМ понятие интероперабельности часто размыто, его употребляют как синоним способности приложений обмениваться данными, без уточнения как это должно помочь в их совместном использовании и решении прикладных задач междисциплинарного характера.

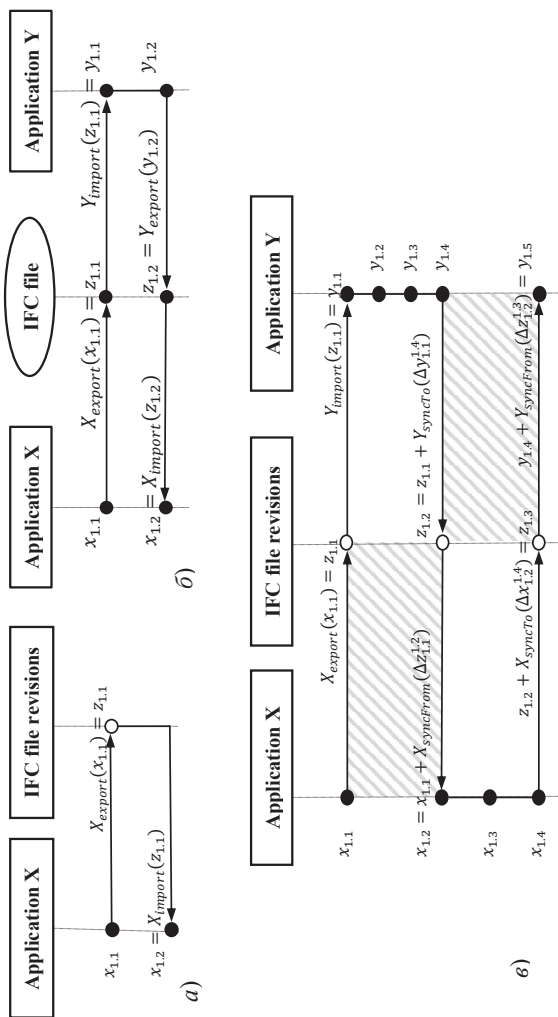


Рис. 1. Сценарии и аномалии взаимодействия приложений: а) аномалия двустороннего обмена; б) аномалия рабочей сессии; в) сценарий с синхронизацией проектных данных

В дальнейшем будем следовать принятой многоуровневой модели интероперабельности LCIM (Levels of Conceptual Interoperability Model) [4], определяющей следующие семь уровней:

- техническая интероперабельность или способность системы к обмену информацией (битами и байтами) посредством файловой системы или сети при наличии однозначно определенных файловых утилит или коммуникационных протоколов соответственно;
- синтаксическая интероперабельность или способность системы к обмену информацией, представленной в общем, однозначно определенным формате данных;
- семантическая интероперабельность или способность системы интерпретировать передаваемую информацию в соответствии с единой, однозначно определенной моделью данных;
- прагматическая интероперабельность или способность взаимодействующих систем учитывать контекст использования информации (методы, правила, запросы, процедуры, параметры);
- динамическая интероперабельность или способность взаимодействующих систем учитывать эффект передачи информации и интерпретировать изменения состояний друг друга;
- концептуальная интероперабельность как наивысший уровень функциональной совместимости систем, достигаемый в результате реализации единой формальной модели передаваемой информации и процессов взаимодействия (типы данных, ограничения, методы, интерфейсы, параметры, условия, события, сценарии).

Таким образом, ключевой является проблема обеспечения интероперабельности BIM-приложений на концептуальном уровне. В настоящей работе применяется подход к ее решению на основе функций синхронизации проектных данных [5]. Синхронизация позволяет привести данные в состояние, согласованное с внешними изменениями, и продолжить работу в приложении без необходимости восстановления потерянных данных и взаимосвязей. На рис. 1, в представлен сценарий совместной работы BIM приложений путем передачи IFC данных и их последующей синхронизации на основе журнала транзакций с IFC данными.

Заметим, что приложения должны поддерживать не только функции экспорта и импорта IFC файлов, но и функции формирования журнала транзакций и синхронизации проектных данных с заданным журналом.

В работе предлагается новый файловый формат для обеспечения интероперабельности ВМ-приложений на основе журнализации транзакций с IFC данными. Формат основан на нотации JSON, которая широко применяется для передачи объектных данных в силу открытости и компактности представления, а также эффективности сериализации и синтаксического анализа. Формат предусматривает заголовок, в котором указывается официальное название схемы IFC, а также одну или несколько секций для определения ревизий проектных данных, определяемых в соответствии с указанной схемой. Для каждой ревизии задается глобальный идентификатор, назначение, дата и время создания, а также приложение, с помощью которого она была создана. Каждая ревизия определяется либо как полный и согласованный набор IFC данных, либо как транзакция, применение операций которой к некоторой исходной ревизии порождает финальную ревизию. В случае задания ревизии как транзакции дополнительно указывается глобальный идентификатор исходной ревизии и опциональная строка URL ресурса, на котором она опубликована и с которого при необходимости может быть загружена. Если ресурс не указан, то неявно предполагается, что исходная ревизия определяется в том же журнале, что и сама транзакция.

Для задания IFC данных (экземпляров IFC сущностей и атрибутов) применяются формальные правила отображения объектно-ориентированных данных, определяемых некоторой произвольной EXPRESS схемой, в нотацию JSON [6]. Для задания операций с IFC данными (создания, удаления и модификации экземпляров, а также добавления, удаления и замены элементов коллекций) предусмотрены соответствующие конструкции. Параметры операций представляются в полном соответствии с формальными правилами отображения данных. На рис. 2 приведен пример спецификации IFC сущности и фрагмент журнала транзакций с ее экземплярами.



```

a) TYPE IfcLabel = STRING(255);
   END_TYPE;

ENTITY IfcPostalAddress;
   InternalLocation : OPTIONAL IfcLabel;
   AddressLines : OPTIONAL LIST [1:?] OF IfcLabel;
   PostalBox : OPTIONAL IfcLabel;
   Town : OPTIONAL IfcLabel;
   Region : OPTIONAL IfcLabel;
   PostalCode : OPTIONAL IfcLabel;
END_ENTITY;

{
  "schema": "IFC4",
  "revisions": [
    {"id": "1087a972-3524-47dd-9571-03284baf1773",
     "type": "dataset",
     "data":
      [
        {"oid": "7edb4183-6aad-4109-9c19-0dc118fa68c3",
         "type": "IfcPostalAddress",
         "Town": "Москва",
         "AddressLines": [
           "ул. Ленина, д.1",
           "ул. Пирогова, д.2",
           "ул. Садовая, д.1"],
           "PostalCode, 3 ": "101000"}},
        {"oid": "3a5e0f2e-6f33-4cff-81e4-9a2e27c4ea7b",
         "type": "IfcPostalAddress",
         "Town": "Киров",
         "PostalCode ": "610000"}]},
    {"id": "631de089-4f27-4651-90dd-6158e45fccbb",
     "type": "transaction",
     "revision": "1087a972-3524-47dd-9571-03284baf1773",
     "create": [{
       "oid": "61697abf-b1ec-4639-bbf7-d42433245a7b",
       "type": "IfcPostalAddress",
       "Town": "Калуга",
       "PostalCode ": "248000"}],
     "change": [{
       "oid": "7edb4183-6aad-4109-9c19-0dc118fa68c3",
       "AddressLines":{
         "add": [{"position": 4, "value": ул. Морская, д.1}],
         "replace": [{"position": 1, "value": ул. Мира, д.1}],
         "remove": [{"position": 3}]}]},
     "delete": [{"3a5e0f2e-6f33-4cff-81e4-9a2e27c4ea7b"}]}
  ]}
}

```

Рис. 2. а) Пример спецификации IFC сущности  
и б) фрагмент журнала транзакций

Представленный формат успешно апробирован в ходе разработки многопользовательской системы 4D-моделирования проектов. Ожидается, что поддержка формата BIM приложениями позволит обеспечить новые возможности для построения перспективных междисциплинарных программных комплексов в области архитектуры и строительства.

### **Литература**

1. Eadie R., McClean M. An Investigation of Interoperability Issues Between Building Information Modelling (BIM) and E-Procurement // 5th International Education, Science and Innovations conference. Permik: EPU, 2015. P. 7–12.
2. Muller M., Garbers A., Esmanioto F., Huber N., Rocha Loures E., Canciglieri Jr O. Data interoperability assessment through IFC for BIM in structural design – a five-year gap analysis // Journal of Civil Engineering and Management. 2017. Vol. 23, No. 7. P. 943–954. DOI: 10.3846/13923730.2017.1341850.
3. ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. 2018.
4. Tolk A., Muguirra J. The Levels of Conceptual Interoperability Model // Fall Simulation Interoperability Workshop. Orlando, Florida, 2003. P. 03F-SIW-007.
5. Semenov V., Arishin S., Semenov G. Towards conceptual interoperability of BIM applications: transaction management versus data exchange // eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction – Proceedings of ECPPM 2021.
6. Semenov G. Formal Rules to Produce Object Notation for EXPRESS Schema-Driven Data – Proceedings of SYRCOSE 2020. URL: [http://syrco.se.is-pras.ru/2020/presentations/SYRCOSE\\_2020\\_slides\\_10\\_90.pdf](http://syrco.se.is-pras.ru/2020/presentations/SYRCOSE_2020_slides_10_90.pdf) (дата обращения: 05.03.2021).

УДК 004.9

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.048

**Семенов Виталий Адольфович**, д-р физ.-мат. наук, заведующий отделом  
(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)

*E-mail: sem@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-8766-8454*

**Шуткин Василий Николаевич**, аспирант

(Институт системного программирования им. В.П. Иванникова РАН)

*E-mail: v451ly@ispras.ru*

**Морозкин Никита Константинович**, студент

(Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»)

*E-mail: nmzik@ispras.ru*

Semenov Vitaly Adolfovich, Dr. of Sci. Phys.-Math., Head of Department  
(Ivannikov's Institute for System Programming, RAS)

Shutkin Vasily Nikolayevich, postgraduate student  
(Ivannikov's Institute for System Programming, RAS)

Morozkin Nikita Konstantinovich, student  
(Higher School of Economics – National Research University)

## **ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОДХОД К 4D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАСШТАБНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ И ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ДЕТАЛИЗАЦИИ**

### **AN EFFECTIVE APPROACH TO 4D VISUALIZATION OF LARGE-SCALE CONSTRUCTION PROJECTS AND PROGRAMS USING HIERARCHICAL DYNAMIC LEVELS OF DETAIL**

Обсуждаются современные технологии пространственно-временного (4D) визуального моделирования и планирования проектной деятельности в области архитектуры, инженерии и строительства. Описывается функционал популярных программных систем 4D-моделирования, предусматривающий качественно новые средства для пространственно-временной визуализации, верификации, мониторинга и документирования календарно-сетевых графиков и индивидуальных заданий. Указываются принципиальные ограничения систем в случае моделирования сложных строительных проектов

и масштабных инфраструктурных программ. Предлагается подход к реализации перспективных систем 4D-визуализации, основанный на использовании иерархических динамических уровней детализации (HDLOD) и мульти-проектной организации данных, представленных в соответствии с международным информационным стандартом IFC. Подход обеспечивает интерактивную пространственно-временную визуализацию больших объемов IFC данных во внешней памяти. Применение подхода иллюстрируется на примере разработанного программного приложения 4D-визуализации масштабных строительных проектов и программ.

*Ключевые слова:* BIM, IFC, 4D-моделирование, интерактивная визуализация, рендеринг данных во внешней памяти, HDLOD.

This study discusses the emerging technologies of spatial and temporal (4D) visual modeling and planning of project activities in the architecture, engineering, and construction industry. It further describes the functions of popular 4D modeling software systems, which provide new opportunities for spatial and temporal visualization, verification, monitoring, and logging project schedules and individual assignments. We point out the essential limitations that the modeling systems run into when being used for complex construction projects and large-scale infrastructure programs. We propose deploying highly promising advanced 4D visualization systems, basing our approach on the use of hierarchical dynamic levels of detail (HDLOD) and multi-project data management, presented in accordance with the IFC international information standard. The approach ensures interactive spatial and temporal visualization of large volumes of IFC-driven data allocated in external memory. The deployment of the approach is illustrated by a newly developed software application for 4D visualization of large-scale construction projects and programs.

*Keywords:* BIM, IFC, 4D modeling, interactive visualization, out-of-core rendering, HDLOD.

Сегодня невозможно представить реализацию сложных строительных проектов и масштабных инфраструктурных программ без программных средств и технологий информационного моделирования зданий и сооружений BIM. Для планирования и контроля процессов строительства получили широкое применение системы управления проектами, такие как Oracle Primavera, MS Project, Powerproject и Spider Project. В их основе лежат известные математические методы расчета критических путей, оценки освоенного объема, анализа программных рисков, а также визуальные средства в виде диаграмм Ганта, структур

декомпозиции работ, сетевых диаграмм, графиков планируемых и фактических затрат, гистограмм использования ресурсов. Несмотря на популярность, подобные системы не учитывают конструктивные особенности реализуемых проектов, что неизбежно приводит к ошибкам планирования и дополнительным затратам на их устранение в ходе реализации. Более перспективными представляются системы визуального пространственно-временного моделирования, в которых календарно-сетевой график работ (1D) и трехмерная модель сооружения (3D) консолидируются в виде единой 4D-модели проекта. Модель визуализируется, верифицируется, документируется, а при необходимости корректируется с учетом актуализированной информации и выявленных ошибок [1].

На рис. 1 показан графический интерфейс пользователя популярной системы Bentley Synchro Pro. Диаграмма Гантта используется для визуализации структуры проектного плана и базовых календарно-сетевых графиков. Модельное время проекта отображается на диаграмме в виде красной вертикальной черты – временного репера и предопределяет текущий вид возводимого сооружения в окнах просмотра 3D-сцен. Передвигая временной репер, пользователь моделирует и анимирует ход работ на строительной площадке. Перемещая камеру в одном из окон просмотра, пользователь получает возможность навигации по сцене и анализа строительных работ с наиболее удобных ракурсов. Функционал системы довольно разнообразен и охватывает средства построения календарно-сетевых графиков, обнаружения пространственно-временных конфликтов, документирования проектов в виде серий изображений и видео материалов. Более подробное описание системы и многочисленные индустриальные проекты, реализованные с ее помощью, можно найти на сайте продукта.

В настоящее время системы 4D-моделирования получили широкое распространение и с успехом применяются как для простых, так сложных строительных проектов, реализация которых сопряжена с множеством факторов технологического, логистического, финансового характера. Вместе с тем, применение

The screenshot displays the Bentley Synchro Pro software interface, which is used for 4D construction simulation. The main window shows a 3D perspective view of a building under construction, with various elements highlighted in different colors. The interface is divided into several panels:

- RESOURCES:** A list of resources used in the project, including Railing, Interiors, and Masonry.
- Task Properties:** A panel on the right showing details for a selected task, such as ID, Name, Calendar, URL, Comments, Progress, and Durations.
- 3D Using Dates [Best] Colours [Appearance Profiles] [70...]:** A panel for configuring the 3D model's appearance and dates.
- 3D Using Dates [Best] Colours [Appearance Profiles] [69...]:** Another panel for configuring the 3D model's appearance and dates.
- Task Properties Table:** A table listing tasks with their IDs, names, start and finish dates, and durations.

ID	Name	Start	Finish	Durations
55	ST100... Structural Framing, Area 3	9:00 AM 8/9/20...	5:00 PM 7/4/20...	19d
56	ST100... Structural Framing, Area 4	9:00 AM 8/24/20...	5:00 PM 7/14/20...	15d
57	ST100... Exterior Stairs	9:00 AM 10/3/20...	5:00 PM 10/1/20...	8d
58	ST100... Interior Stairs, Ground Floor	9:00 AM 8/9/20...	5:00 PM 8/15/20...	5d
59	ST100... Interior Stairs, First Floor	9:00 AM 8/10/20...	5:00 PM 8/15/20...	5d
60	ST100... Handrails	9:00 AM 7/24/20...	5:00 PM 8/10/20...	5d
61	Composite Metal Sliding / Backup Framing (Front)	9:30 AM 8/11/20...	11:00 AM 10/17/20...	47d, 2h
62	Exterior Metal Sliding / Backup Framing (Back)	9:00 AM 8/11/20...	5:00 PM 8/19/20...	6d
63	Exterior Metal Sliding / Backup Framing (Left)	9:00 AM 8/11/20...	5:00 PM 8/19/20...	6d
64	Exterior Metal Sliding / Backup Framing (Right)	9:00 AM 8/20/20...	5:00 PM 8/19/20...	12d
65	ST100... Exterior Metal Sliding / Backup Framing (Back)	9:00 AM 8/20/20...	5:00 PM 8/28/20...	7d
66	ST100... Exterior Metal Sliding / Backup Framing (Left)	11:00 AM 8/29/20...	11:00 AM 10/17/20...	12d
67	ST100... Exterior Metal Sliding / Backup Framing (Right)	9:30 AM 8/5/2018...	5:00 PM 8/22/20...	4d
68	ST100... Blockwork / Elevator Shaft, Ground Floor	9:00 AM 8/5/20...	5:00 PM 8/10/20...	4d

Рис. 1. Графический интерфейс пользователя системы Bentley Synchro Pro

систем для крупных проектов и масштабных инфраструктурных программ обнаруживает серьезные препятствия, связанные с недостаточной масштабируемостью программных средств по отношению к сложности трехмерных полигональных моделей и календарно-сетевых графиков. Детальные трехмерные модели крупных проектов могут состоять из сотен тысяч элементов, соответствующих не только строительным конструкциям и технике, но и инженерным коммуникациям, оборудованию, интерьерам. Некоторые элементы могут быть представлены полигональными сетками из миллионов треугольных примитивов. Интерактивная визуализация и рендеринг таких моделей на современных графических системах представляет собой фундаментальную научную и техническую проблему [2], особенно с учётом того, что данные могут не уместиться в оперативную память. Динамический характер моделей строительных проектов, а также их высокая сложность в случае масштабных инфраструктурных программ существенно усложняют решение проблемы. Перспективные системы 4D-моделирования, по-видимому, должны отвечать следующим требованиям:

- возможность работы со сложными проектами и масштабными программами, объём данных которых может превышать доступные значения оперативной и видеопамати на компьютере пользователя;
- интерактивное отображение трехмерной динамической модели проекта или программы с приемлемым уровнем реалистичности при навигации по сцене (перемещении камеры) и ее анимации (изменении модельного времени).

Предлагаемый подход к реализации средств визуализации для перспективных систем 4D-моделирования заключается в использовании иерархических динамических уровней детализации HDLOD (Hierarchical Dynamic Levels of Detail) [2] и мульти-проектной распределенной организации данных, представленных в соответствии с международным информационным стандартом IFC (Industry Foundation Classes) [3].

Традиционными техниками реализации графических средств являются отсечение по пирамиде видимости (frustum culling),

удаление невидимых элементов сцены (occlusion culling), балансировка загрузки CPU и GPU процессоров (load balancing), оптимизированное использование графического интерфейса (texture packing, draw call optimizations, geometry instancing), кэширование графических данных (geometry caching) и их спекулятивная загрузка в оперативную память (prefetching), приоритизация отображаемых элементов (prioritized layered projection). В сочетании с методами упрощения полигональных моделей (mesh simplification) и уровнями детализации с учетом положения камеры (view-dependent LOD) [4], данные техники обеспечивают существенный прирост производительности. Однако для больших сцен они имеют естественные ограничения, обусловленные необходимостью индивидуального анализа и предобработки большого числа элементов. Иерархические уровни детализации (HLOD) [5] отчасти решают эту проблему, однако из-за необходимости предварительной пространственной кластеризации элементов и больших затрат на обновления, они плохо подходят для динамических сцен.

Метод HDLOD учитывает динамическое поведение элементов в сцене и использует их многоуровневую пространственно-временную кластеризацию. Это позволяет отказаться от перманентного пересчета уровней детализации при изменениях модельного времени и обеспечить высокую производительность отображения динамических сцен с заданным качеством. Метод сочетается с техниками кэширования и спекулятивной загрузки применительно к уровням детализации. В случаях, когда проектная модель не помещается в оперативной памяти, она визуализируется и анимируется в результате последовательной загрузки и отображения отдельных уровней детализации. Метод допускает распределенную организацию HDLOD, при которой отдельные уровни и фрагменты детализации хранятся в разных файлах, возможно, на разных узлах компьютерной сети.

Предлагаемый подход предусматривает использование стандарта IFC для представления иерархически организованных проектов и проектных портфолио. Схема IFC определяет типы данных,



необходимые для описания индивидуального проекта в виде физических объектов (IfcProduct) с приписанными геометрическими моделями и связанных рабочих процессов (IfcProcess) с соответствующей календарной и ресурсной информацией. При этом специальные конструкции (IfcRelAssociatesDocument) позволяют задать отношения между проектами, хранимыми в отдельных файлах стандартного обменного формата STEP Part 21. Более подробное описание механизма мульти-проектной организации IFC данных можно найти в нашей работе [6].

Представленный подход реализован в программном приложении, предназначенном для 4D-визуализации строительных проектов и программ. Приложение написано на языке C++ с использованием программного интерфейса OpenGL. Экранные снимки приложения на рис. 2 иллюстрируют процессы навигации по сцене.

Приложение обеспечивает интерактивную 4D-визуализацию масштабных проектов и программ, хранимых во внешней памяти, на современных компьютерах с типовой конфигурацией. Проведенные вычислительные эксперименты подтверждают высокую эффективность предложенного подхода.

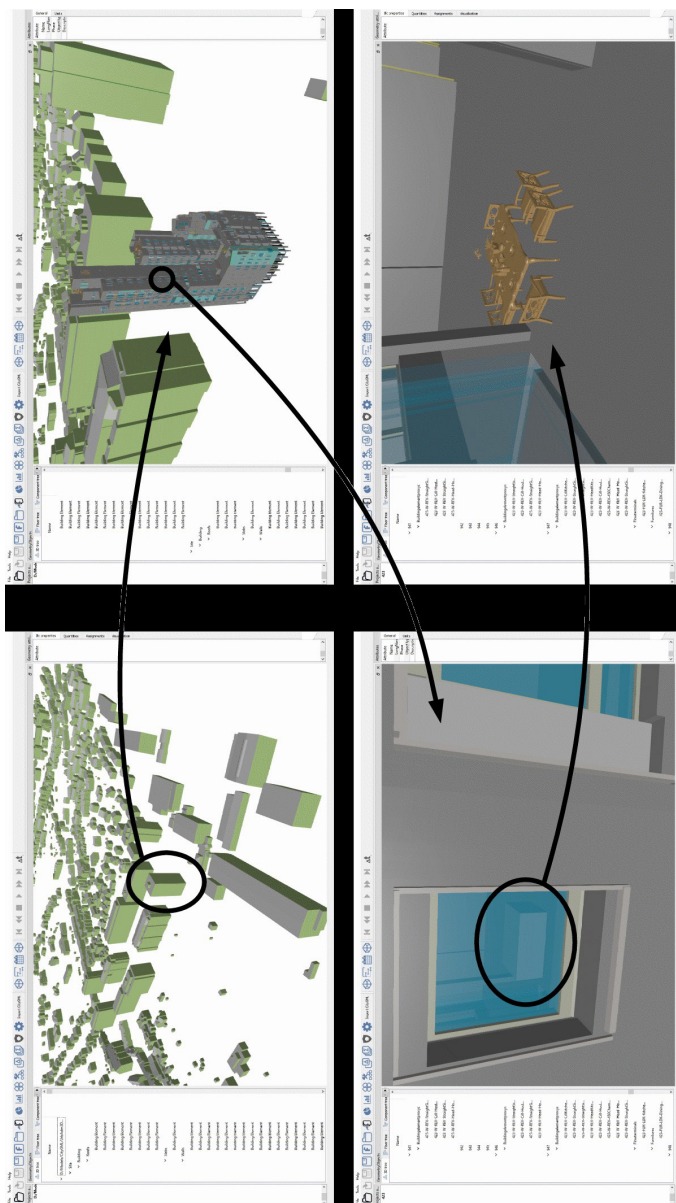


Рис. 2. Экранные снимки приложения для 4D-визуализации строительных проектов и программ

## Литература

1. Semenov V.A., Kazakov K.A., Morozov S.V., Tarlapan O.A., Zolotov V.A., Dengenis T. 4D modelling of large industrial projects using spatio-temporal decomposition // eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction – Proceedings of ECPPM 2010. P. 69–77. DOI: 10.1201/b10527.
2. Semenov V., Shutkin V., Zolotov V., Morozov S., Gonakhchyan V. Visualization of Large Scenes with Deterministic Dynamics // Programming and Computer Software. 2020. Vol. 46. P. 223–232. DOI: 10.1134/S036176882003007X.
3. ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. 2018. 1474 p.
4. Luebke D., Reddy M., Cohen J.D., Varshney A., Watson B., Huebner R. Level of Detail for 3D Graphics. Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, USA. 2002. 432 p.
5. Erikson C., Manocha D., Baxter III W.V. HLODs for Faster Display of Large Static and Dynamic Environments // I3D '01 Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics. P. 111–120. DOI: 10.1145/364338.364376.
6. 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 ECPPM 2021.

**УДК 004.9+726.5**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.049**

**Семина Анастасия Евгеньевна**, ст. преподаватель

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

*E-mail: semina.ae@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7786-5526*

**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*

**Шамарина Анна Александровна**, ст. преподаватель

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)

*E-mail: annashamarina@mail.ru, ORCID: 0000-0001-8405-7626*

Semina Anastasia Evgenievna, Senior Lecturer  
(Perm National Research Polytechnic University)

Maksimova Svetlana Valentinovna, Dr. of Sci. Tech., Head of Department  
(Perm National Research Polytechnic University)

Shamarina Anna Aleksandrovna, Senior Lecturer  
(Perm National Research Polytechnic University)

## **ЦИФРОВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛОКОЛЬНИ ТРОИЦКОГО СОБОРА В ГОРОДЕ СОЛИКАМСК**

### **BUILDING INFORMATION MODELING OF THE TRINITY CATHEDRAL BELL TOWER IN SOLIKAMSK**

В статье описан опыт использования технологии цифрового информационного моделирования здания применительно к объекту культурного наследия – колокольня Троицкого собора в городе Соликамск. Моделирование колокольни в городе Соликамск проводилось на основании комбинации облаков точек, полученных в результате лазерного сканирования и фотограмметрии. Фотограмметрическое облако точек получено с помощью аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата. Параметрическая модель современного состояния объекта позволила лучше понять конструктивные особенности здания, впоследствии визуализировать вид колокольни начала XX века, а также создать библиотеку декоративных элементов.

*Ключевые слова:* информационное моделирование, цифровая модель, библиотека декоративных элементов, колокольня, Соликамск, конструктивные особенности, архитектурное наследие.

The article describes the experience of applying the BIM technology to a cultural heritage landmark: the bell tower of the Trinity Cathedral in the city of Solikamsk. The process of modeling the bell tower in Solikamsk relied on a combination of point clouds obtained through laser scanning and photogrammetry. The photogrammetric point cloud was based on aerial shots made with the help of a drone. The parametric model of the landmark's current state made it possible to better understand its structural features, subsequently visualize the appearance of the bell tower in the early 20th century, and create a library of its ornamental elements.

*Keywords:* information modeling, digital model, library of ornamental elements, bell tower, Solikamsk, design features, architectural heritage.

Активное внедрение цифровых технологий в область архитектуры открывает новые возможности и подходы применительно к сохранению и реконструкции памятников истории и культуры. Развитие технологии цифрового информационного моделирования (BIM – Building Information Modeling) позволяет улучшить, дополнить и зафиксировать знания о зданиях.

Цель создания BIM-моделей для вновь проектируемого объекта отличается от целей создания цифровых информационных моделей архитектурного наследия. При строительстве новых объектов BIM-модели позволяют контролировать и связывать процессы проектирования, производства строительных работ и эксплуатации в едином комплексе на основании трехмерной документации, что в полной мере не применимо к уже существующим объектам. В связи с этим, в статьях зарубежных авторов используется термин HBIM (Heritage Building Information Modeling) [1, 2], который обозначает процесс моделирования объектов архитектурного наследия в соответствии с их архитектурно-конструктивными и историко-художественными характеристиками [1]. Основой для построения модели в случае уже существующих объектов являются облака точек.

Метод построения цифровой информационной модели здания с помощью облаков точек, полученных в результате лазерного сканирования, сегодня широко обсуждается исследователями, архитекторами и реставраторами [2, 3]. В некоторых исследованиях как альтернатива дорогостоящему лазерному сканированию

рассматривается технология фотограмметрии [4, 5]. Совместное применение двух этих технологий нечасто упоминается в научных работах, но именно комбинация двух методов может дать наиболее полное облако точек исследуемого объекта.

Создание цифровой информационной модели на основе облаков точек рассмотрено далее на примере колокольни Троицкого собора в городе Соликамске. Соборная колокольня входит в центральный ансамбль города. Центральный ансамбль Соликамска – главная архитектурная достопримечательность города, ведущее место в котором занимает Троицкий собор (рис. 1). Стройная вертикаль отдельно стоящей «на палатах» колокольни возвышается чуть в стороне с северной стороны храма [6]. Колокольня построена в 1713 г. и служила общей звонницей как для Троицкого (летнего) собора, так и для Крестовоздвиженского (зимнего) собора. «Палаты», на которых располагается колокольня, также принадлежали собору. Подклеть использовалась для хранения купеческих товаров, верхние этажи занимали городские и уездные учреждения, переведенные сюда из старых деревянных зданий: магистрат, суд, училище, городская дума, духовное правление. Сегодня здание принадлежит краеведческому музею, и в нем располагаются выставочные залы.

Целью моделирования колокольни было создание информационной модели для определения ее крена и воспроизведения конструкций здания, а также для последующей виртуальной реконструкции. Вызовом при моделировании колокольни стала ее высота (58,67 м), для которой трудоемко получить необходимые обмерные данные, разнообразие форм декоративных элементов, а также сложная внутренняя конфигурация (особенно подклети).

Конструкция башни оригинальна и не имеет прямых аналогов в русской архитектуре. Так как диаметр восьмерика существенно меньше размеров подклети, для строительства колокольни применён сложный строительный приём, с помощью которого сформирована конструкция, несущая нагрузку от башни. Нижний объём здания разделен на четыре равных сводчатых помещения мощными крестообразными в плане стенами. Над сводами устроены соединяющие диагональные арки, на которые в совокупности со стенами опирается башня восьмерика [6, 7].

Трехъярусный восьмерик завершен аркадой яруса звона, переходящей в три сужающихся яруса кокошников. Ребра восьмерика в уровне 2-го и 3-го ярусов выделены полуколоннами с четырьмя язычками в капителях (рис. 2).

Для подготовки точной BIM модели и фиксации архитектурно-конструктивных особенностей сложной внутренней конфигурации колокольни были выбраны два метода получения облаков точек: фотограмметрия и наземное лазерное сканирование.

Лазерное сканирование проводилось сканером Leica ScanStation C10. Для моделирования всех нюансов архитектуры колокольни (рис. 3), сканирование проводилось как внутри, так и снаружи колокольни, что в сумме дало 54 станции стояния сканера.

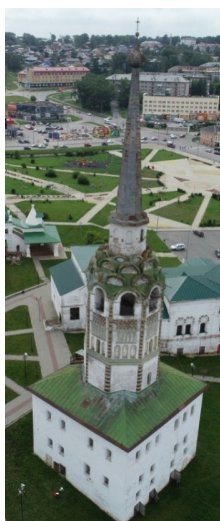


Рис. 1. Современный вид колокольни, фото 2019 года



Рис. 2. Колокольня, исторический вид, фото архива МБУК «Соликамский краеведческий музей»



Рис. 3. Разрез облака точек для понимания внутренней структуры колокольни

С помощью применения технологии фотограмметрии были получены трехмерные данные, недостающие после обработки облаков точек лазерного сканирования (рис. 4). В частности, с помощью наземной фотограмметрии (съемка цифровыми фотокамерами) было получено облако точек открытой лестницы на крыше четверика. Аэрофотосъемка с беспилотного летательного аппарата позволила получить облако точек конфигурации крыши и завершающего шпиля.

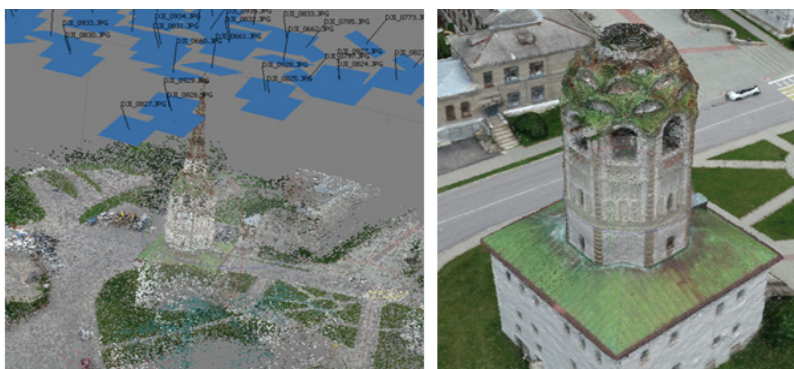


Рис. 4. Фотограмметрические данные для моделирования крыши

Данные лазерного сканирования и фотограмметрии были объединены в единое облако точек в программном комплексе Leica Cyclone 9. Далее облака точек обрабатывались в программе ArchiCAD, а затем были переведены в формат IFC для обеспечения совместимости с другими ВМ системами.

После создания современного вида модели (рис. 5) был визуализирован исторический вид колокольни. Реконструкция проводилась на основании фотографий и архивных данных краеведческого музея Соликамска. Отсутствие исторических планов и обмерных данных объекта было препятствием для точного восстановления колокольни. Исторические фотографии с разных ракурсов позволили восстановить вид колокольни начала XX века.





Рис. 5. Цифровая модель современного вида колокольни

Моделирование, проведенное на основе комбинации облаков точек, полученных с помощью двух технологий (лазерное сканирование и фотограмметрия) позволяет наиболее точно визуализировать модель. Технология НВМ может работать как инструмент визуализации объектов, на основе которого специалисты получают готовые чертежи. Такая цифровая модель может стать основой дальнейшего анализа архитектурных и конструктивных особенностей. Зафиксированная с помощью цифровой модели внутренняя структура здания, построенная по принципам параметрического описания объекта, может применяться для дальнейших конструктивных расчетов. Библиотека декоративных элементов, которая является неотъемлемой частью информационной модели, может быть полезна при реставрации исследуемого объекта или объектов, схожих по стилю и времени строительства.

### **Литература**

1. Rocha G., Mateus L., Fernández J., Ferreira V.A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings // *Heritage*. 2020. Vol. 3. P. 47–67. DOI: 10.3390/heritage3010004.
2. Attenni M. Informative Models for Architectural Heritage // *Heritage*. 2019. Vol. 2. P. 2067–2089. DOI: 10.3390/heritage2030125.
3. Гура Т.А., Катрич А.Е. Обработка данных наземного лазерного сканирования для получения обмерных чертежей объектов культурного наследия // *Молодой ученый*. 2016. № 26(130). С. 25–28.
4. Максимова С.В., Чеклецова И.А., Шамарина А.А. Архитектурно-строительное обследование церкви Успения Пресвятой Богородицы в Чердыни с применением наземного лазерного сканирования // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. № 2(47). С. 332–345.
5. Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carridondo P., Yero-Paneque L., Agüera-Vega F. UAV photogrammetry and NBIM for the virtual reconstruction of heritage // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-2/W15. P. 271–278. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-271-2019.
6. Косточкин В.В. Чердынь. Соликамск. Усолье. М.: Стройиздат, 1988. 181 с.
7. Памятники истории и культуры Пермской области / под ред. Л.А. Шатрова. Пермь: кн. изд-во, 1971. 234 с.

УДК 711.52-112

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.050

**Синицына Иветта Анатольевна**, соискатель

(Московский архитектурный институт (государственная академия))

*E-mail: ivetta\_vershinina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2184-5235*

**Моисеев Юрий Михайлович**, д-р архит., профессор

(Московский архитектурный институт (государственная академия))

*E-mail: iouri.moisseev@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5069-1266*

Sinitsyna Ivetta Anatolyevna, PhD Candidate

(Moscow Institute of Architecture (State Academy))

Moiseev Iouri Mikhailovich, Dr. of Architecture, Professor

(Moscow Institute of Architecture (State Academy))

## **ВІМ-МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТАКСИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА**

### **BIM AND URBAN SPACE SYNTAX ANALYSIS**

Трансформация структуры городского пространства обусловлена меняющимися функциональными потребностями населения. Эффективное управление всем комплексом изменений составляет важную задачу градостроительства. Однако нелегко найти решения задач из-за отсутствия оценок пригодности территорий для удовлетворения возрастающих пространственных потребностей и меняющихся требований. В статье на примере анализа пространственной структуры двух городов (Новосибирска и Омска) рассмотрена возможность интеграции BIM-технологий с инструментарием моделей пространственного синтаксиса (Space Syntax). Представлены примеры анализа центральности территории и ее доступности.

*Ключевые слова:* ГИС, градостроительный анализ, пространственной синтаксис, модели оценки центральности и связанности

The structure of urban space is being transformed by the changing functional needs of the population. Effective management of the entire range of changes is an important task of urban planning. However, it is not easy to find solutions to the current issues as it has not been assessed whether or not the territories are suitable for meeting the increasing spatial needs and the changing requirements. In the article, we use an example of analyzing the spatial structure of two cities (Novosibirsk and Omsk) to consider the possibility of integrating BIM technologies

with the toolkit of spatial syntax models (Space Syntax). We present examples of analyzing the territory's centrality and accessibility.

*Keywords:* GIS, urban planning analysis, spatial syntax, models for assessing centrality and connectivity.

Рост и развитие городов, трансформация их пространственной организации и преобразование внутренних структур ставит новые задачи для градостроительного анализа. Ограниченность наших представлений о синтаксисе пространства, понимания закономерностей формообразования в градостроительстве и обусловленность пространственного контекста семантических характеристик их взаимодействием с окружающей средой порождают новые исследовательские задачи. Полученные данные могут не только обеспечить работу самой системы градостроительного планирования, но и усовершенствовать механизмы координации пространственным развитием.

На стадиях предпроектного анализа важно определить ключевые факторы оценки для сравнений и последующего анализа альтернативных вариантов и предложений. Без их обоснования, а затем и оценки всех возможных последствий, трудно будет добиться эффективного решения задач городского развития. Сегодня огромный массив информации, необходимый для хранения и удобного использования при решении таких задач, объединяется в единую информационную модель BIM (Building Information Modeling), которая расширяет инструментарий планирования. Проведенный анализ различных подходов к определению информационного моделирования отмечает ряд сложностей, с которыми сталкиваются исследователи в части объединения и сведения данных [1]. Данный вопрос решается созданием: а) федерированной модели (Federated Model), которая собирает форматы файлов различных специалистов с помощью специальных программ (типа Autodesk NavisWorks, Bentley Navigator или Tekla BIMsight), но не приводит автоматически к изменениям в других составных частях модели; б) интегрированной модели (Integrated Model), которая также собирает информацию из различных частей, но используются только форматы

типа IFC; в) гибридной модели (Hybrid Model), позволяющей прикреплять гиперссылки на отдельные необходимые альбомы, документацию и чертежи.

Однако отдельные BIM-файлы не могут претендовать на роль инструмента оперирования городскими активами. Объединение ГИС контекста и BIM-аппарата открывают новые возможности для градостроительства. Пример упрощенной 3D-модели зданий с необходимыми подгружаемыми данными о мощности и категории объекта представлен на рис. 1 (источник: <https://www.youtube.com/watch?v=qQt-8P-Zf8Y>). Систематизация данных в 3D формате обеспечивается такими программами, как: InfraWorks, Esri ArcGIS, Autodesk Civil 3D. Детальный обзор примеров программных комплексов для «градостроительного BIM» был показан Е. Ширинян [2]. Помимо управленческих задач, автор рассматривает возможность использования модели для создания наглядного интерактивного портала публичных проектов, способного донести через браузер информацию о планируемых изменениях городской среды (Гетеборг, Берлин). Для интеграции BIM и ГИС данных предлагается использовать инструментарий FME, InfraWorks, ESRI CityEngine.

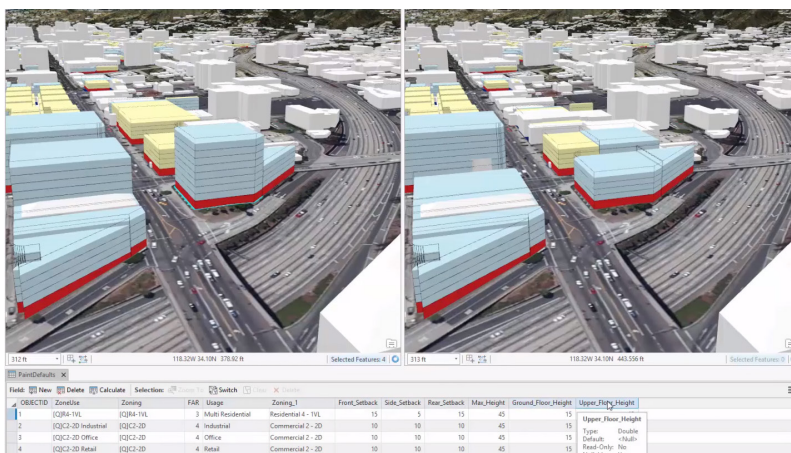


Рис. 1. Пример 3D города компании ESRI

Учитывая имеющийся опыт объединения ВМ и ГИС технологий, предлагается создание интеграционной модели, соединяющей данные с необходимой атрибутивной информацией о зданиях и линейных объектах.

Для характеристики центральности территории были проанализированы территории двух городов (Новосибирск, Омск), исходя из оценок их доступности, связности и полицентричности. Исследование выстраивалось на принципах теории перемещений и Space Syntax [3]. В первом случае речь идет о положении центра, определяемого методами теории графов и дальнейшего построения тепловых карт для детальной визуализации интегрированных территорий: в Новосибирске – Большевицкая и Фабричная улицы, в Омске – проспект Карла Маркса (рис. 2).

Оценки «связности» выстраиваются на основе автоматического просчета количества осей, доступных для каждого направления. Полученные карты показывают частичное дублирование основных осей интеграции и их подключения к общей системе планировочной сети. Полученные данные указывают на удобство и доступность выявленных структур в структуре планировочного каркаса. Возможность наглядно и детально проанализировать составляющие элементы городской среды к выявленным осям позволит не только проводить дальнейшие исследования, но уже на этой стадии создаст удобный инструмент для обоснования планировочных предпочтений.

Предпосылки для формирования полицентричной городской структуры можно выявить с помощью инструмента локальной интеграции и подбора параметров для качественного анализа. В данном случае рассмотрен пример просчета интеграционного центра планировочной структуры с радиусом анализа осевой карты в пять метров ( $R = 5$ ). Расположение центральных мест на полученных схемах соответствует логике повышенной плотности улично-дорожной сети без учета параметра возможной разрешенной скорости передвижения и категории улиц и дорог.



Рис. 2. Интеграционные оценки планировочной структуры (Rn) городов: а) Новосибирск, б) Омск



Рис. 3. Интеграционный центр планировочной структуры с радиусом анализа осевой карты  $R = 5$  для городов: а) Новосибирск и б) Омск



Пространственная морфология территории выявляет отражение непосредственной связи между характеристиками освоения территории (плотность застройки, населения, функциональных систем, капиталовложений в строительство) и коммуникационными данными (затраты времени на передвижение, плотность сети коммуникаций, дальность поездок). Возможность наложения интеграционных карт на информационную градостроительную модель с упрощенными данными BIM слоя повысит эффективность градостроительного анализа, создаст возможность наглядного анализа пересекающихся параметров для определения причин формирования центральности, а также понимания факторов взаимосвязи пространственных компонентов (рис. 3). Полученный инструмент окажет влияние на оптимизацию структуры городского плана с позиций расположения центральных мест, на вариативность их развития и динамику перемещений, исходя из допустимых вариантов изменения городской планировочной структуры.

### Литература

1. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. Second edition. NJ: Wiley, 2011. 626 p.
2. Ширинян Е. Туманные картины: BIM в градостроительстве. В поисках общей схемы. URL: [https://prosapr.blogspot.com/2016/09/bim\\_17.html](https://prosapr.blogspot.com/2016/09/bim_17.html) (дата обращения: 19.02.2021).
3. Синицына И.А. Влияние конфигурации плана города на формирование сети центров: элементы граданализа // Architecture and Modern Information Technologies. 2020. № 4(53). С. 204–215. DOI: 10.24411/1998-4839-2020-15313.
4. Hillier B., Hanson J. The social logic of space. Cambridge university press, 1989. 296 p.
5. Hillier B. Space is the Machine: A Configurational Theory of Architecture. Cambridge: Cambridge University Press, 1999. 344 p.

**УДК 69.059.4**

**DOI:** 10.23968/ВИМАС.2021.051

**Черных Александр Григорьевич**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [ag1825831@mail.ru](mailto:ag1825831@mail.ru), *ORCID:* 0000-0001-9805-1428

**Корольков Дмитрий Игоревич**, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [korol9520@yandex.ru](mailto:korol9520@yandex.ru)

**Пакина Анастасия Станиславовна**, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail:* [nastyu.p.72@rambler.ru](mailto:nastyu.p.72@rambler.ru), *ORCID:* 0000-0001-5680-9122

Chernykh Alexander Grigorievich, Dr. of Sci. Tech., Head of Department  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Korolkov Dmitry Igorevich, postgraduate student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Pakina Anastasia Stanislavovna, master student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## **РАСЧЕТ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО МОДИФИЦИРОВАННОМУ МЕТОДУ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ DYNAMO**

### **ASSESSING THE RESIDUAL OPERATING LIFE OF BUILDINGS STRUCTURES THROUGH A MODIFIED METHOD USING THE DYNAMO VISUAL PROGRAMMING TOOL**

В данной статье представлен поэтапный алгоритм расчета остаточного ресурса модифицированным методом с использованием экспоненциального распределения в ВМ-среде. Решение показано на примере информационной модели пятиэтажного жилого дома с использованием средства визуального программирования Dynamo (Autodesk Revit 2020). Основной целью данного исследования является повышение эффективности и качества обследования зданий и сооружений в области технической эксплуатации. Прежде всего, оценивая остаточный ресурс конструкций, появляется возможность

определения срока службы здания до капитального ремонта (предельного состояния). В таком случае можно обеспечить безопасное функционирование объекта в течение всего жизненного цикла.

*Ключевые слова:* информационное моделирование, BIM-система, здания и сооружения, эксплуатация, остаточный ресурс.

This article presents a step-by-step algorithm for assessing the residual operating life through a modified method using exponential distribution in a BIM environment. The solution is illustrated by an information model of a five-story residential building created in the Dynamo visual programming tool (Autodesk Revit 2020). The main goal of this study is to improve the efficiency and quality of inspection of buildings and structures in the technical maintenance context. First of all, through assessing the residual operating life of structures, it becomes possible to determine the useful life of a building before major repairs (limiting state). This, in turn, allows for ensuring the safe operation of the building throughout its entire life cycle.

*Keywords:* information modeling, BIM system, buildings and structures, operation, residual operating life.

Остаточный ресурс (residual operating life) – это «суммарная наработка» строительных конструкций, отсчет которой начинается «от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние», согласно ГОСТ 27.002-2015 [1]. Информационное моделирование здания (BIM, Building Information Model) – это процесс создания информационного продукта, включающего в себя данные обо всех стадиях цикла жизни объекта строительства. На данный момент не создано необходимых условий в среде BIM для корректной и быстрой оценки остаточного ресурса строительных конструкций или всего объекта в целом. А современное прогнозирование технического состояния строительных конструкций (например, оценка срока службы до капитального ремонта) является важной составляющей безопасного цикла жизни здания или сооружения [2].

Для проведения таких расчетов в среде BIM необходимо предварительное создание эксплуатационной модели уровня 6D, представляющую из себя виртуальную копию существующего объекта, на котором осуществляется система мониторинга и эксплуатации здания. Все фактические решения строительства,

отклонения от проекта данного объекта, исполнительные схемы и съемки вносятся в модель. Эксплуатационные характеристики конструкций отображаются в свойствах элементов в виде параметров (физический износ, предельный срок службы элемента и т. д.).

В данной статье рассчитывается остаточный ресурс [1] строительных конструкций на примере информационной модели каркасного жилого дома, состоящего из пяти этажей. Принятый материал конструкций – древесина. Из многослойных CLT-панелей выполнены стены, плиты перекрытия и покрытия, а колонны – клееные.

Прежде всего, производится анализ выбранного метода расчета (модифицированного по [3]) для оценки остаточного ресурса несущих конструкций и заполняются созданные в проекте параметры (табл. 1) недостающими данными.

Затем выполняется непосредственно сам алгоритм (скрипт) расчета (рис. 1, 2, 3) в среде ВМ с использованием средства визуального программирования – Дупано (Autodesk Revit 2020). При последовательном соединении нодов (готовых узлов Дупано) при помощи определенных связей и после запуска скрипта получается значение остаточного ресурса той или иной конструкции.

Алгоритм, приведенный на рис. 1–3 можно подробно описать следующим образом:

1. Перед началом написания скрипта удобнее всего образовать спецификации для каждого вида конструкций – «Перекрытия», «Стены», «Колонны несущие» и т. д. Рекомендуется вынести позицию, марку, число и все параметры, которые будут задействованы в расчете (табл. 1).

2. Для выполнения расчета сначала создается нод «Categories», позволяющий выделить из информационной модели необходимую для расчета категорию конструкций. В выпадающем списке выбирается нужное значение – «Перекрытия» (либо «Стены», «Колонны несущие» и т. д.).

3. Создается список элементов категории «Перекрытия» при помощи нода «All Elements of Category».

Таблица 1

Параметры, созданные в проекте (Revit 2020)

№ п/п	Обозначение	Параметр	Описание	Формула
1	$\lambda$	Постоянная физического износа	Рассчитываемый параметр на основе относительной надежности и срока эксплуатации конструкции (объекта)	$\lambda = \frac{-Im\gamma}{t_{\phi}} + \lambda_c$ (1)
2	$\lambda_c$	Поправочный коэффициент к постоянной физической износа	Задается в зависимости от величины отказов по общей причине*. Если отсутствует материал по видам таких отказов, подтвержденный экспериментально или теоретически, то принимается значение поправочного коэффициента эмпирически	–
3	$\alpha$	Коэффициент значимости	Принимается по [4]. В случае отсутствия конкретных данных коэффициент значимости принимается: для плит и панелей перекрытия и покрытия $\alpha = 2$ , для балок $\alpha = 4$ , для ферм $\alpha = 7$ , для колонна $\alpha = 8$ , для несущих стен и фундаментов $\alpha = 3$ , для прочих строительных конструкций $\alpha = 2$	–
4	$t_{\phi}$	Срок эксплуатации, лет	Фиксируется на основании результатов обследования объекта	–

Окончание табл. 1

№ п/п	Обозначение	Параметр	Описание	Формула
5	$T$	Остаточный ресурс, лет	Результат расчета остаточного ресурса по модифицированному методу [3] (по экспоненциальному распределению)	$T = \frac{0,16}{\lambda} \quad (2)$
6	$\gamma$	Относительная надежность	Задается на основании заключения о техническом состоянии строительных конструкций по [4]	—

\* Примечание. Отказы по общей причине – это отказы элементов, появляющиеся из-за отказа одного элемента, а также из-за внутреннего или внешнего воздействия на объект (землетрясение, экстремальные температуры и т. д.).

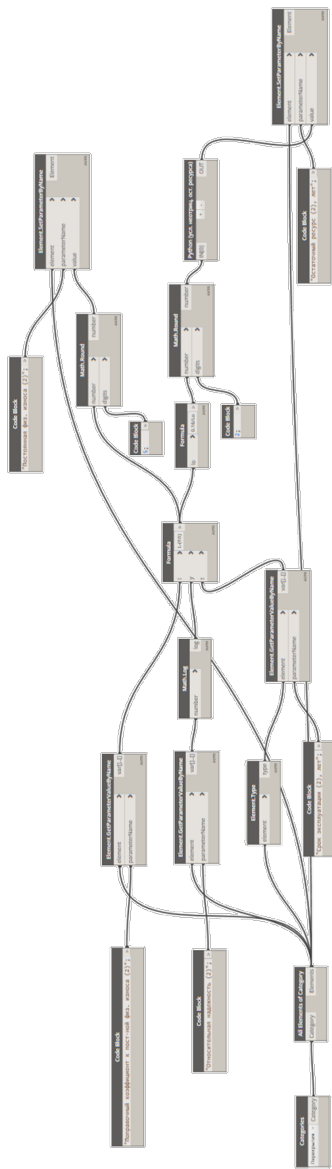


Рис. 1. Общий вид алгоритма расчета остаточного ресурса, созданный в Дулато

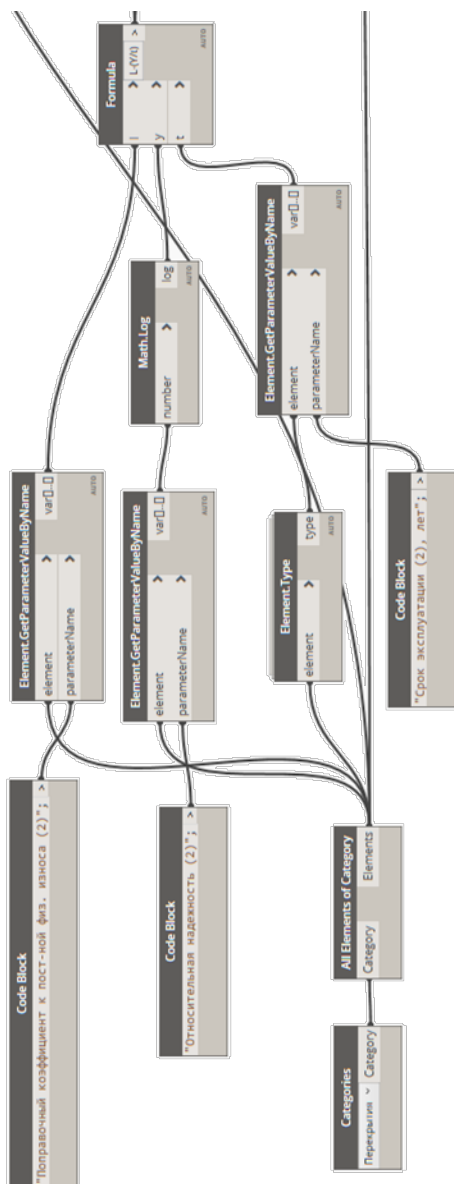


Рис. 2. Первая часть алгоритма расчета остаточного ресурса

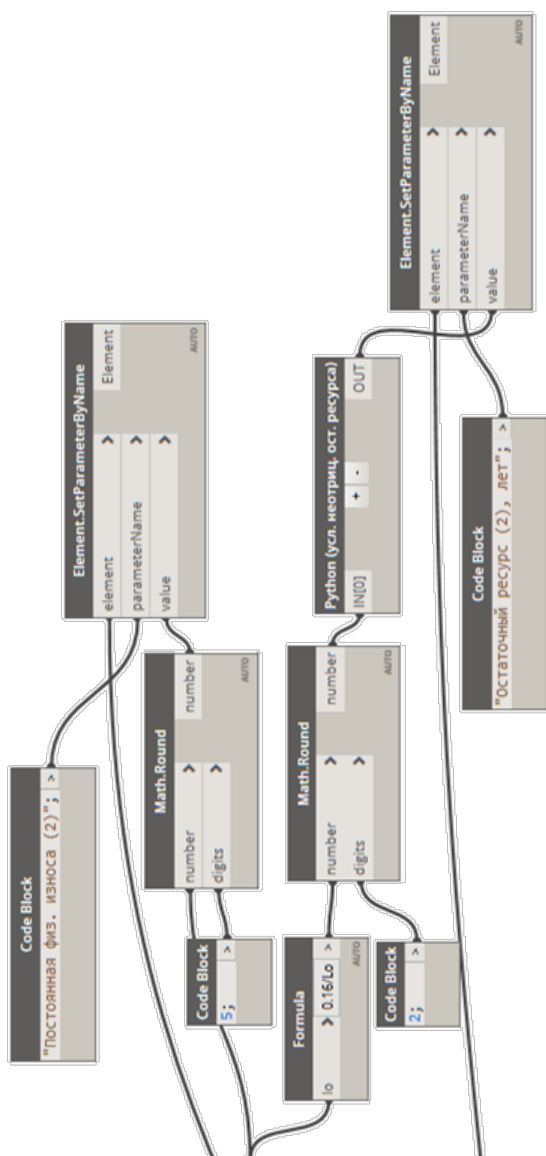


Рис. 3. Вторая часть алгоритма расчета остаточного ресурса



4. Затем из составленного списка элементов (п. 3) извлекаются данные (табл. 1), необходимые для оценки остаточного ресурса при помощи нод «Element.GetParameterValueByName». Значения параметров «Поправочный коэффициент к постоянной физического износа»; «Коэффициент значимости»; «Срок эксплуатации, лет»; «Относительная надежность» подводятся при помощи связи в нод «Formula», описывающий формулу (1) постоянной физического износа (табл. 1). Важное замечание – для корректного извлечения из модели параметров типа семейства, а не конкретного элемента рекомендуется добавлять нод «Element.Type» перед узлом «Element.GetParameterValueByName».

5. Далее полученное значение постоянной физического износа округляется с точностью до 2-х знаков (узел «Math.Round» и вспомогательный «Code Block»). Далее результат вносится в соответствующий параметр проекта «Постоянная физического износа» нодом «Element.SetParameterByName». Рекомендуется сразу отслеживать в спецификации правильность полученных значений.

6. Выполняется расчет (нод «Formula») остаточного ресурса по формуле (2), указанной в табл. 1. Далее округляется результат с точностью до 2-х знаков. Затем рекомендуется добавить несложный код Python, позволяющий избежать отрицательных значений остаточного ресурса (нод Python Script, рис. 4).

```
a = IN[0]
if a>0:
    c=a
elif a==0:
    c=0
else:
    c=0
```

Рис. 4. Код Python для получения корректного результата остаточного ресурса

7. Результат назначается в параметр модели «Остаточный ресурс, лет» (требуемые ноды – см. п. 5).

8. Значения результатов расчета отслеживаются в итоговых спецификациях и для наглядности отображаются на 3D модели (рис. 5, 6) с помощью настроенного фильтра вида.

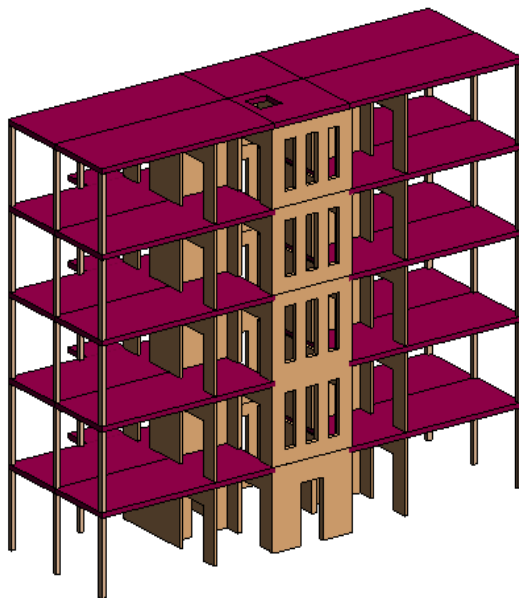


Рис. 5. Выделение (бордовым цветом) строительных конструкций, остаточный ресурс которых менее 4-х лет

Таким образом, оценка остаточного ресурса строительных конструкций в ВМ-системе средствами визуального программирования (на примере вышеприведенного метода) доказывает целесообразность и возможность ускорения процесса рутинных расчетов. Разработка алгоритмов в Дупато позволяет повысить качество современного обследования и эксплуатации зданий и сооружений.

Спецификация перекрытий (2)								
Поз.	Марка	Число	Поправочный коэффициент к пост-ной физ. износа (2)	Коэффициент значимости (2)	Относительная надежность (2)	Срок эксплуатации (2), лет	Постоянная физ. износа (2)	Остаточный ресурс (2), лет
1	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
2	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
3	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
4	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
5	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
6	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
7	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
8	ПБ-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
9	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
10	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
11	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
12	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
13	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
14	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
15	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
16	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
17	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
18	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
19	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
20	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
21	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
22	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
23	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
24	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
25	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
26	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
27	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
28	ПП-1	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
29	ПП-2	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11
30	ПП-3	1	0,05	2	0,95	35	0,05147	3,11

Общий итог: 30

Рис. 6. Результаты расчета остаточного ресурса перекрытий по модифицированному методу по экспоненциальному распределению

Важно отметить, что после применения на одной информационной модели уровня 6D нескольких подобных алгоритмов расчета остаточного срока службы объекта (различными методами), возникает понимание графика оптимального распределения времени между последующими капитальными ремонтами [5], а также происходит своевременное прогнозирование перехода здания в другую категорию технического состояния.

## **Литература**

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2016. 28 с.
2. Орехов С.Е., Корольков Д.И., Пакина А.С. Информационные технологии при оценке остаточного ресурса зданий // Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК: материалы междунар. науч.-практич. конф. молодых ученых и обучающихся. СПб.: СПбГАУ, 2020. С. 116–118.
3. Гаврильев И.М., Корольков Д.И., Гравит М.В. Модифицированная методика расчета остаточного ресурса с использованием экспоненциального распределения // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11, № 2. С. 49SAVN219. URL: <https://esj.today/PDF/49SAVN219.pdf> (дата обращения: 03.02.2021).
4. Рекомендации по оценке надежности строительных конструкций зданий и сооружений по внешним признакам. М.: АО ЦНИИПромзданий, 2001. 101 с.
5. МДС 13-14.2000. Положение о проведении планово-предупредительного ремонта производственных зданий и сооружений. М.: ФГУП ЦПП, 1974. 74 с.

УДК 69.059.25

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.052

**Чубарова Карина Валерьевна**, канд. техн. наук, доцент

(Донской государственный технический университет)

*E-mail: karina.chubarova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3004-6275*

**Тальников Денис Михайлович**, магистрант

(Донской государственный технический университет)

*E-mail: kkt161@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-8328-8190*

Chubarova Karina Valerievna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor

(Don State Technical University)

Talnikov Denis Mihailovich, master student

(Don State Technical University)

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ**

### **PROSPECTS FOR THE USE OF BIM IN MAJOR REPAIRS AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS**

Жизненный цикл здания можно разделить на несколько периодов, среди которых самыми крупными будут этапы проектирования, строительства, эксплуатации и сноса здания. Процесс информационного моделирования здания затрагивает главным образом этапы проектирования и строительства здания, минимально влияя на этапы эксплуатации и сноса. На это влияет ряд факторов, таких как малая степень развития нормативной литературы, или недостаток современной технической базы для осуществления мероприятий по эксплуатации здания с использованием информационных моделей. В данной статье был рассмотрен краткий пример использования программного комплекса ИАС ЖКХ для проектирования мероприятий по ремонту здания, а также сделаны выводы о перспективах применения иных комплексов в среде информационного моделирования.

*Ключевые слова:* капитальный ремонт, информационное моделирование, информационная модель, BIM, текущий ремонт

The life cycle of a building can be divided into several phases. The most significant phases are: design, construction, operation, and demolition. Building Information Modeling is primarily concerned with the design and construction

phases of a building, with minimal impact on the operation and demolition phases. This is influenced by a number of factors, such as the poor development of regulatory literature, or the lack of a modern technical base for the adoption of information model-based measures relevant to building operation. In this article, we briefly consider an example of using the IAS Housing and Communal Services software complex to design measures for building repair and draw conclusions about the prospects for the use of other complexes in the information modeling environment.

*Keywords:* major repairs, information modeling, information model, BIM, maintenance.

Информационная модель здания (BIM) – такая модель, которая включает в себя всю существующую информацию о здании в электронном виде в одном месте. Она экономит затраты труда, времени и средств, ускоряя создание рабочего проекта модели и уменьшая вероятность коллизий при строительстве.

Реализация информационного моделирования зданий (BIM) при проектировании очевидна: средствами данного подхода легко проектировать архитектуру и конструктив здания, получать наиболее оперативно и полно те данные, которые требуются для проектирования различных систем, узлов и элементов.

На этапе инвестиций и возведения здания BIM пользуется куда большей популярностью и является более эффективным рабочим инструментом, чем на этапе эксплуатации [1, 2].

Это определяется рядом причин, среди которых наиболее явной является тот факт, что срок службы здания, в зависимости от капитальности, может достигать 150 лет, а срок службы информационной модели определяется сроком жизни уровня развития технологий, в которых была создана эта модель.

Иными словами, к моменту очередного капитального ремонта информационная модель конкретного здания с использованием технологий того времени может стать морально устаревшей, в связи с чем снизится её эксплуатационная ценность.

Данный недостаток ставит под сомнение вопрос о целесообразности применения технологий информационного моделирования при эксплуатации здания, в частности, в рамках капитального ремонта [3].

Однако стоит отметить, что, несмотря на данное утверждение, существуют ситуации, где технологии информационного моделирования при осуществлении мероприятий капитального ремонта могут быть весьма полезны и информативны.

Рассмотрим возможность планирования мероприятий по капитальному ремонту с применением технологий информационного моделирования. Для этого обратимся к данным программы «ИАС ЖКХ» и рассмотрим целесообразность проведения мероприятий по капитальному ремонту дома, располагающегося по адресу: г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 73А.

Информационно-аналитическая система «ИАС ЖКХ» содержит информацию о существующих несущих конструкциях здания, коммуникациях, наличии дефектов и неисправностей, а также позволяет рассчитать приблизительный процент износа систем и элементов здания. На основании этих данных можно сделать вывод о целесообразности проведения капитального ремонта жилья. Она была разработана силами учёного состава кафедры ГСХ РГСУ для систематизации жилищного фонда [4].

Согласно техническому паспорту здания, полученному из системы ИАС ЖКХ (рис. 1), дом, располагающийся по адресу г. Ростов-на-Дону, ул. Суворова, 73А – пятиэтажный одноподъездный жилой дом с подвалом, построенный в 1963 году. Это дом первой группы капитальности, срок его службы составляет 150 лет.

Обратимся к характеристикам степени износа конструкций и инженерных сетей здания (рис. 2).

Согласно данной системе, износ фундамента составляет 60,06 %, процент износа конструкций стен, включая цоколь и отмостку, варьируется от 49 % до 75 %, износ кровли составляет 75 %, Конструктивные элементы находятся в аварийном состоянии, соответственно, необходимо произвести капитальный ремонт систем здания. При желании существует возможность произвести более детальный анализ с обследованием в т.ч. коммуникаций здания.

Смоделируем нарастание общего износа зданий с течением времени и учётом текущего состояния конструкций до 2021 года. Общий износ дома по состоянию на 1 января 2021 года составляет 57,77 %

(рис. 3). Это неудовлетворительный показатель согласно Методике определения физического износа гражданских зданий.

Технический паспорт – Суворова, 73А

Инвентарный номер		Кадастровый номер	
Дата составления техпаспорт	03.04.2001		
<b>Благоустройство площади квартир здания и строения</b>		<b>Распределение площади квартир здания</b>	
<b>Уборочные и прочие площади</b>		<b>Сведения о принадлежности и прилагаемые документы</b>	
<b>Архитектурно-планировочные и эксплуатационные показатели</b>			
Серия, тип проекта			<input type="checkbox"/> Памятник архитектуры
Год постройки	1963	переоборудован/недостроено в	0 году
Год последнего капитального ремонта	0	Количество этажей	5
Число лестниц	1	их уборочная площадь кв.м	50,30
Средняя высота помещений, м	0,0	Строительный объем, куб.м	3770,00
Уборочная площадь общих коридоров и мест общего пользования, кв.м		0,00	
Площадь здания, кв.м	901,60	из нее: жилые помещения: общая площадь квартир, кв.м	851,30
полезная площадь, кв.м	851,30	в том числе жилая площадь, кв.м	581,40
Средняя площадь квартиры, кв.м	0,00	Количество лифтов	0
<b>Площади</b>		Количество мусоропроводов	
Кровли, кв.м	210,00	0	
Подвала, кв.м	249,20	0	
Технического этажа, кв.м	0,00	0	
Технического подполья, кв.м	0,00	0	
Чердака, кв.м	0,00	0	
Балконов (лоджий), кв. м.	0,00	0	
		<b>Стоимость</b>	
		Полная балансовая	111177,00 в ценах 1969 года
		Восстановительная	0,00 в ценах 0 года
		Инвентаризационная	71376,00 в ценах 1969 года
		Восстановительная в текущих ценах (по сб. 2)	3527227,42
		Восстановительная в ценах 1969 на 1 куб.м.	21,51

Рис. 1. Технический паспорт обследуемого дома

Методика определения физического износа зданий – действующий на 2021 год нормативный документ, разработанный институтом «Мосжилпроект» Главного управления жилищного хозяйства Мосгорисполкома и утверждённый 27 октября 1970 года. Методика вводится взамен таблиц признаков для определения процента изношенности зданий и служит для определения физического износа здания и отдельных его конструкций [5].

Согласно тому же документу, дальнейшая эксплуатация здания может быть продолжена после значительного капитального



ремонта, стоимость которого может доходить до 90 % от восстановительной стоимости конструктивных элементов.

В данном случае целесообразность капитального ремонта подвергается сомнению, а дальнейшая судьба здания должна решаться на основе собрания с собственниками – если капитальный ремонт здания будет признан нецелесообразным, то в этом случае жители дома должны быть расселены в рамках проекта реновации, а дом – снесён.

Обследование технического состояния жилищного фонда - Суворова, 73А

Этажность: 5    Количество подъездов: 1    Дата обследования: 01.01.2021    Год постройки: 1963

Основные элементы    Вспомогательные элементы    Инженерное оборудование    Дополнительные сведения

Элементы	Основные материалы	Повреждения и дефекты	Износ	Ремонт
Фундамент	Ленточные каменные	замачивание, неравномерная осадка	60,06	
цоколь	Кирпич, оштукатурен	трещины до 3-мм	65,06	ДО
отмостки	Асфальтобетонные	трещины	75,00	ДО
Несущие	Кирпичные	трещины до 3-4мм, вымывание кирпича из ка	49,31	КР
Перегородки	Гипсобетонные и шлакобе	трещины в местах сопряжений с конструкциями	67,08	ДО
Перекрытия	Сборные железобетонные	оголение арматуры, следы протечек	42,40	ВКР
Лестничные	Железобетонные	сколы, трещины	39,31	ВКР
Нес. констр. кровли	Совмещенные железобет	следы протечек, трещины в стыках	42,40	ВКР
Кровля	Рулонные	массовые вздутия, порывы, нарушение сопря	75,00	ДО
Окна	Деревянные	гниль, рассыхание	75,00	ДО
Двери	Деревянные	грибок в 1 кв.	75,00	ДО
Полы	Паркетные Деревянные	трещины, грибок в 1 кв.	47,82	КР
Внутренняя	Штукатурка		68,08	ДО
отделка МОП	Окраска водными состава	удовл.	48,08	КР
отделка МОП комм.			0,00	
Наружняя			0,00	

Сохранить    Отменить

Рис. 2. Основные элементы здания

Помимо расчета целесообразности ремонта здания, информационное моделирование зданий может использоваться для дефектовки зданий и визуализации выполненных работ после капитального ремонта.

Дата обследования	Ф.И.О. эксперта	Физический износ здания	Сф.
01.01.2008	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2007	48,08	Ав
01.01.2008	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2007	48,08	Ав
01.01.2009	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2008	49,21	Ав
01.01.2010	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2009	50,34	Ав
01.01.2011	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2010	51,47	Ав
01.01.2012	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2011	52,5	Ав
01.01.2013	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2012	53,57	Ав
01.01.2014	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2013	54,13	Ав
01.01.2015	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2014	54,7	Ав
01.01.2016	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2015	55,22	Ав
01.01.2017	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2016	55,69	Ав
01.01.2018	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2017	56,18	Ав
01.01.2019	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2018	56,69	Ав
01.01.2020	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2019	57,22	Ав
01.01.2021	Акт сгенерирован на основе акта от 01.01.2020	57,77	Ав

Рис. 3. Физический износ здания

Эти и многие другие предназначения требуют детального рассмотрения, но применение информационного моделирования при капитальном ремонте позволит существенно улучшить качество капитального ремонта и принимать оптимальные решения при планировании мероприятий эксплуатации зданий.

## Литература

1. Петров К.С., Швец Ю.С., Корнилов Б.Д., Шелкоплясов А.О. Применение BIM-технологий при проектировании и реконструкции зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4(51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-bim-tehnologiy-pri-proektirovanii-i-rekonstruktsii-zdaniy-i-sooruzheniy> (дата обращения: 18.03.2021).
2. Куприяновский В.П., Тищенко П.А., Синягов С.А., Раевский М.А., Савельев С.И., Кононов В.В., Сачик А.И. BIM – основы и преимущества применения технологии // Журнал ArcReview. 2015. № 2(73). URL: <https://arcreview.esri-cis.ru/2015/05/03/bim-основы-и-преимущества-применения>.

3. Поняев А.Н., Дворников Ю.Я., Абрамова Д.О. Проблемы проектирования в строительстве, их решение // Техника. Технологии. Инженерия. 2019. № 3(13). С. 13–17.

4. Серая Е.С., Шеина С.Г., Петров К.С., Матвейко Р.Б. Интеллектуальная городская среда. Интеграция ГИС и BIM // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1(52). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnaya-gorodskaya-sreda-integratsiya-gis-i-bim> (дата обращения: 18.03.2021).

5. Методика определения физического износа гражданский зданий. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005761> (дата обращения 26.02.2021).

УДК 721.001

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.053

**Шамардин Анатолий Борисович**, канд. техн. наук, заместитель директора (ООО Строительная компания «Дальпитерстрой»)

*E-mail: shamardin@dalpiterstroy.ru*

**Шамардин Артем Денисович**, программист (ООО Строительная компания «Дальпитерстрой»)

*E-mail: an.shabo@yandex.ru*

Shamardin Anatoly Borisovich, PhD of Sci. Tech., Associate Director (LLC Construction Company “Dalpiterstoy”)

Shamardin Artem Denisovich, programmer (LLC Construction Company “Dalpiterstoy”)

## **КОМПЛЕКС ПРОГРАММ В C++ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПOTЕРЬ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ КОТТЕДЖНЫХ ПОСЕЛКОВ**

### **USING A C++ BASED PROGRAM COMPLEX FOR CALCULATING HEAT LOSSES IN INDIVIDUAL RESIDENTIAL BUILDINGS IN COTTAGE COMMUNITIES**

В статье рассмотрены вопросы потери тепла индивидуального жилого дома с помощью разработанных программ теплотехнического расчета на языке C++. Программы разработаны в соответствии с требованиями нормативных документов в строительстве. Представлены результаты расчетов восьми

вариантов конструкций стен для трех вариантов оконных заполнений, имеющих различные значения сопротивления теплопередаче. Заказчик может принять соответствующий вариант конструкций стен и окон жилого дома и снизить затраты на отопление на 90 % за счет применения более энергоэффективных конструктивных решений. Данные разработки реализуются на практике при проектировании и строительстве объектов в ООО «Строительная компания «Дальпитерстрой».

*Ключевые слова:* индивидуальный жилой дом, конструкции стен, теплопотери, сопротивление теплопередаче, радиаторы отопления.

The article considers heat losses in individual residential buildings with the help of heat engineering calculation programs, specifically developed in C++. The programs are compliant with the requirements of regulatory documents in construction. We present the results of analyzing eight wall structure variants for three window fill options, all of which have different values of heat transfer resistance. The customer can select the appropriate version of the residential building's wall and window structures and reduce heating costs by 90 % through the use of more energy-efficient design solutions. These insights have been applied in practice to the design and construction of buildings at Dalpiterstroy Construction Company.

*Keywords:* individual residential building, wall structures, heat losses, heat transfer resistance, heating radiators.

Проектирование отопления загородного дома имеет свои особенности, определяемые местоположением строительства, заключающиеся, чаще всего, в удаленности от централизованных сетей энергоснабжения и индивидуальными предпочтениями застройщика. В опубликованных в последнее время статьях приведена структурированная информация о достижении энергоэффективности жилья с помощью ВІМ-технологий [1, 2]. В указанных работах поднимается тема технологий энергетического моделирования в строительстве, оценки эффективности тепловой защиты зданий и её сертификации. В некоторых работах, посвященных теплотехническим расчетам зданий [3] сравниваются расчеты ограждающих конструкций наружных стен по нормам [4, 5] и по существующим программным комплексам в упрощенном и подробном виде, когда учитывается коэффициент теплотехнической неоднородности. В работе [6] рассматривается ВІМ-модель с расчетом теплового баланса здания

и возможностью применения альтернативных источников тепла. Модель применима для частного жилого дома.

В ООО «Строительная компания «Дальпитерстрой» разработан комплекс программных средств теплотехнического расчета индивидуальных жилых домов в C++, основанный на требованиях существующих строительных норм и рекомендаций [4, 5] с введением индивидуальных коэффициентов неоднородности для различных вариантов ограждающих конструкций. Следует отметить, что для индивидуальных домов не распространяются обязательные требования, предъявляемые к нормируемому значению сопротивления теплопередаче для стен [4]. Алгоритмы расчета разработанных программ учитывают коэффициенты теплотехнической неоднородности, зависящие от материала кладочных растворов, заполнения швов в деревянных стенах, типа и количества анкеров, крепящих минеральную вату к стене [7]. Программы рассчитаны на то, что каждый частный застройщик вправе выбирать любые конструкции для возведения стен и окон [8] для своего дома, сопротивление теплопередаче которых может быть больше или меньше рекомендованных сводом правил [4] для соответствующего региона.

Нами разработана методика многовариантных теплотехнических расчетов, учитывающая большинство факторов для определения наиболее энергоэффективного способа тепловой защиты индивидуального жилого дома. В программах можно учесть стоимость топлива, стоимость отопительного оборудования, среднемесячную температуру воздуха в отопительный период, степень утепления жилища, способ проживания в доме: постоянное проживание или временное проживание в воскресные и праздничные дни.

Для создания программных средств решения задач теплопотерь через ограждающие конструкции жилого дома нами принят метод объектно-ориентированного программирования с использованием языка C++. Для наружных стен создается класс цифровых информационных моделей объектов, включающий расчетные блоки определения термического сопротивления теплопередаче различных конструкций стен (табл. 1).

Таблица 1

**Сопrotивления теплопередаче наружных стен жилых домов**

Класс	Сопrotивления теплопередаче конструкций стен жилого дома, $R_{\text{гес}}$ , ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт	
Объекты	Конструкция многослойных наружных стен жилого дома	Значения
1	Пустотелый кирпич 380 мм, внутренняя цементно-песчаная штукатурка до 25 мм	0,94
2	Профилированный деревянный брус 220×220 мм	1,46
3	Пустотелый кирпич 510 мм, тонкая наружная штукатурка до 5 мм, внутренняя цементно-песчаная штукатурка до 25 мм	1,50
4	Оцилиндрованное бревно диаметром 300 мм	1,69
5	Пустотелый кирпич 250 мм, утеплитель «Rockwool Fasade Batts» 50 мм, тонкая наружная штукатурка до 5 мм, внутренняя цементно-песчаная штукатурка до 25 мм	1,87
6	Крупноформатный (380×250×219) поризованный блок ЛСР толщиной 250 мм, тонкая наружная штукатурка до 5 мм, внутренняя цементно-песчаная штукатурка до 25 мм	2,21
7	Газобетон 350 мм, тонкая наружная штукатурка до 5 мм	2,62
8	Керамзитобетонные блоки 180 мм, утеплитель «Rockwool Fasade Batts» 100 мм, тонкая наружная штукатурка до 5 мм, внутренняя цементно-песчаная штукатурка до 25 мм	3,10

В качестве иллюстрации рассмотрим пример расчета теплопотерь трехэтажного жилого дома с мансардой со стенами с  $R_{\text{гес}} = 3,10$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}$ )/Вт. Весь алгоритм расчета разбивается на классы, которые включают в себя объекты с характерными для данного класса свойствами.

1. Класс № 1 – Показатели объемно-планировочных и конструктивных решений жилого дома, включающий следующие характерные объекты:

1.1. Площадь пола дома (полы по грунту) –  $A_{fh} = 93,6 \text{ м}^2$ .

1.2. Площадь наружных стен –  $A_{wh} = 381,2 \text{ м}^2$ .

1.3. Площадь окон дома –  $A_{gh} = 62,9 \text{ м}^2$ .

1.4. Площадь междуэтажного перекрытия этажа дома –  $A_{fh} = 83,8 \text{ м}^2$ .

1.5. Площадь крыши дома –  $A_{rh} = 128,4 \text{ м}^2$ .

1.6. Общая отапливаемая площадь дома –  $A_{shh} = 318,4 \text{ м}^2$ .

2. Класс № 2 – Теплотехнические параметры окружающей среды и ограждающих конструкций дома, включающий следующие характерные объекты:

2.1. Температура воздуха в зимний период –  $T_{ext} = -26 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2.2. Среднее значение температуры окружающей среды за отопительный сезон –  $T_{midj} = -2,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2.3. Расчетная температура воздуха в доме –  $T_{int} = +20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2.4. Температура в доме при дежурном отоплении –  $T_{intd} = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

2.5. Средневзвешенное значение сопротивления теплопередаче пола (по всем трем зонам утепленного пола по грунту) –  $R_{of} = 4,20 (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

2.6. Сопротивления теплопередаче стен –  $R_{ow} = 3,10 (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

2.7. Сопротивления теплопередаче окон –  $R_{og} = 0,54 (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

2.8. Сопротивления теплопередаче крыши –  $R_{or} = 3,82 (\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

3. Класс № 3 – Значения теплопотерь через ограждающие конструкции дома, включающий следующие характерные объекты:

3.1. Теплопотери через пол дома (полы по грунту) –  $Q_{fh} = 1077 \text{ Вт}$ .

3.2. Теплопотери через стены дома –  $Q_{wh} = 6159 \text{ Вт}$ .

3.3. Теплопотери через окна дома –  $Q_{gh} = 5623 \text{ Вт}$ .

3.4. Теплопотери через крышу дома –  $Q_{rh} = 1559 \text{ Вт}$ .

3.5. Общие теплопотери дома –  $Q_{hh} = 14419 \text{ Вт}$ .

4. Класс № 4 – Расчетное количество секций и мощность биметаллических радиаторов «Rifar Monolit», включающий следующие характерные объекты:

4.1. Расчетное значение мощности одной секции биметаллического радиатора «Rifar Monolit», соответствующая температуре теплоносителя  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $P_{sc} = 92,0\text{ Вт}$ .

4.2. Расчетное количество секций радиатора «Rifar Monolit» 500 мм 1-го этажа –  $N_{1c} = 47$  шт., расчетная мощность –  $P_{1c} = 4310\text{ Вт}$ .

4.3. Расчетное количество секций радиатора «Rifar Monolit» 500 мм 2-го этажа –  $N_{2c} = 39$  шт., расчетная мощность –  $P_{2c} = 3559\text{ Вт}$ .

4.4. Расчетное количество секций радиатора «Rifar Monolit» 500 мм 3-го этажа –  $N_{3c} = 35$  шт., расчетная мощность –  $P_{3c} = 3248\text{ Вт}$ .

4.5. Расчетное количество секций радиатора «Rifar Monolit» 500 мм мансарды –  $N_{4c} = 36$  шт., расчетная мощность –  $P_{4c} = 3301\text{ Вт}$ .

4.6. Общее расчетное количество секций радиатора «Rifar Monolit» 500 мм на весь дом –  $N_{hc} = 157$  шт., расчетная мощность –  $P_{hc} = 14419\text{ Вт}$ .

5. Класс № 6 – Показатели стоимости изделий, труб, фитингов, котлов, включающий следующие характерные объекты:

5.1. Стоимость одной секции биметаллического радиатора «Rifar Monolit» 500 мм –  $C_{sr}$ , руб.

5.2. Стоимость общего количества секций радиаторов отопления «Rifar Monolit» 500 мм –  $Ch_r$ , руб.

5.3. Стоимость полипропиленовых армированных труб диаметром 25 мм, стоимость 1 пог.м. –  $C_{lp}$ , руб; общая длина труб системы отопления дома  $L_{hp}$  м; общая стоимость труб системы дома –  $Ch_p$ , руб.

5.4. Стоимость обвязки одного радиатора отопления (заглушка  $\frac{3}{4}$ , клапан Маевского  $\frac{3}{4}$ , шаровой кран  $\frac{3}{4}$  – 2 шт, труба полипропиленовая диаметром 25 мм – 1,0 м, монтаж радиатора) –  $C_{lr}$ ; общее количество радиаторов на дом –  $N_{hr}$ ; стоимость монтажа радиаторов на дом –  $Ch_m$ , руб.

5.5. Стоимость газового котла отопления –  $C_{gb}$ , руб.

5.6. Стоимость электрического котла отопления –  $C_{eb}$ , руб.

5.7. Стоимость монтажа оборудования теплового пункта –  $Ch_h$ , руб.

5.8. Общая стоимость системы отопления дома –  $Ch_{sr}$ , руб.



Эти классы и объекты теплотехнических расчетов с соответствующими показателями легли в основу программ расчета теплопотерь в C++ для индивидуального жилого дома.

В нашем примере жилой дом запроектирован таким образом, что междуэтажные перекрытия имеют значительные сопротивления теплопередаче: для 1-го этажа –  $R_{olp} = 2,58$  (м<sup>2</sup> · °C)/Вт, для 2 и 3 этажей –  $R_{oper} = 1,61$  (м<sup>2</sup> · °C)/Вт. Лестничная клетка вынесена за пределы объема этажей и отделена от жилых помещений этажа блочными перегородками, стеклопакетами и утепленными дверями. В связи с этим передача тепла между этажами путем конвекции не происходит и осуществляется только за счет теплопроводности перекрытий, т. е. каждый этаж может функционировать отдельно.

В соответствии с этим объемно-планировочным решением принята коллекторная схема отопления с четырьмя поэтажными независимыми участками, системой дежурного отопления и резервной системой отопления. Разводка системы производится через коллектор с шестью регулируемыми отводами, установленный в тепловом пункте. Отопление осуществляется двумя независимыми котлами:

- электрический котел «Warmos Comfort-8», мощностью 8 кВт;
- газовый котел «BaltGaz Turbo E 24», мощностью 24 кВт.

Для основного одновременного отопления всего дома или нескольких этажей используется газовый котел на сжиженном газе при постоянном режиме. Электрический котел имеет возможность дистанционного управления, его можно использовать в режиме временного проживания, т. е. включать и регулировать температуру в доме за несколько часов до приезда для отдыха в выходные и праздничные дни. Коллекторная система запроектирована таким образом, что можно отапливать весь дом одновременно, можно отапливать отдельно какой-либо этаж, на других этажах поддерживать положительную дежурную температуру, чтобы в зимний период внутри дома не было попеременных колебаний отрицательных и положительных температур, недопустимых для конструкции стен, внутренней отделки и мебели.

В табл. 2 представлены итоговые значения теплопотерь для восьми вариантов стен и трех вариантов окон с сопротивлениями

теплопередаче. Рассмотренные конструкции стен имеют сопротивления теплопередаче, несколько ниже требований, принятых в действующих нормативных документах [4] для нормируемых сопротивлений теплопередаче многослойных стен от 0,94 до 3,10 ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ).

Из таблицы видно, что в зависимости от конструктивных решений стен и окон общие теплопотери дома меняются от 12899 до 24471 Вт. Т. е. единовременные затраты застройщика на строительство энергоэффективного индивидуального дома значительно (до 90 %) снижают эксплуатационные расходы на отопление.

В рассматриваемом нами примере общие теплопотери дома, при принятом значении сопротивления теплопередаче для стен  $R_{ow} = 3,10$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ), равны 14 419 Вт. Теплопотери дома через пол составляют 1 077 Вт, или 7,47 % от общих теплопотерь. Теплопотери дома через крышу составляют 1 559 Вт, или 10,8 % от общих теплопотерь. Площадь всего фасада дома составляет 443,9  $\text{м}^2$ , из них площадь окон равна 62,9  $\text{м}^2$ , что составляет 14,2 % от площади всего фасада. При этом теплопотери дома через окна, при  $R_{og} = 0,54$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ), равны 5 623 Вт, что составляет 39,0 % от общих теплопотерь. При увеличении сопротивления теплопередаче окон до значения  $R_{og} = 0,74$  ( $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ) общие теплопотери дома снижаются на 12,0 % до величины 12 899 Вт, что значительно увеличивает энергоэффективность жилья.

С помощью составленных программ разрабатываются соответствующие разделы технических условий и заданий на проектирование индивидуальных жилых домов для частных застройщиков. В дальнейшем принятые параметры уточняются при разработке рабочей документации коттеджных поселков. При этом индивидуальный застройщик имеет возможность выбрать любое конструктивное решение стен и окон жилого дома, которое зависит от его предпочтений, бюджета на строительство дома и учета дальнейших затрат на отопление дома в процессе эксплуатации. При проектировании особое внимание обращается на выбор конструкций окон и оптимизацию площади оконных заполнений, которые являются значительными источниками потерь тепла жилого дома.

Таблица 2

Значения теплототерь при различных вариантах стен и окон, Вт

Варианты окон	Варианты конструкций стен							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Ro, (м <sup>2</sup> ·°C)/Вт	0,94	1,46	1,50	1,69	1,87	2,21	2,62	3,10
№ 1, 0,54	24471	19332	19085	18068	17296	16180	15220	14419
	190 %	150 %	148 %	140 %	134 %	125 %	118 %	112 %
№ 2, 0,64	23592	18454	18206	17190	16417	15302	14342	13540
	183 %	143 %	141 %	133 %	127 %	119 %	111 %	105 %
№ 3, 0,74	22951	17813	17565	16549	15776	14661	13700	12899
	178 %	138 %	136 %	128 %	122 %	114 %	106 %	100 %

## **Литература**

1. Авдюкова К.И., Придвижкин С.В., Мальцева К.В. Энергоэффективное моделирование в Екатеринбурге // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб: СПбГАСУ, 2020. С. 186–192. DOI: 10.23968/ВІМАС.2020.023.
2. Маркарян С.Р., Суханов К.О. Подбор отопительных приборов в программном комплексе liNear Building // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб: СПбГАСУ, 2020. С. 263–269. DOI: 10.23968/ВІМАС.2020.034.
3. Жукова В.А., Буданцев А.В. Опыт разработки и внедрения каталога ВІМ-моделей от производителя оборудования РОСТерм // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб: СПбГАСУ, 2020. С. 211–216. DOI: 10.23968/ВІМАС.2020.027.
4. СП 50-13330-2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. 82 с.
5. СП 131.13330.2018. «СНиП 23-01-99\* Строительная климатология». М.: Стройинформ, 2019. 114 с.
6. Шакшак О.М., Евсиков И.А. VR-приложение на основе ВІМ-проекта с возможностью управления параметрами энергоэффективности здания // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектур: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб: СПбГАСУ, 2019. С. 189–194. DOI: 10.23968/ВІМАС.2019.034.
7. Шамардин А.Б., Шамардин А.Д. Комплекс программ в С++ для экспресс разработки и анализа объемно-планировочных решений жилых зданий для создания ВІМ-моделей в условиях проектного финансирования // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб: СПбГАСУ, 2020. С. 310–316. DOI: 10.23968/ВІМАС.2020.040.
8. Уланов А.В., Евтушенко С.И. Проблемы и решения применения ВІМ-технологий при проектировании окон // ВІМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб: СПбГАСУ, 2020. С. 286–295. DOI: 10.23968/ВІМАС.2020.037.

## **ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, ВЛАДЕЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯМИ BIM**

**УДК 37:372.862:004**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.054**

**Гурьева Юлиана Александровна**, канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: yual2017@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5814-423X*

**Козлова Евгения Михайловна**, старший преподаватель  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: e-kozlova-2014@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9052-9984*

**Долганова Ольга Игоревна**, ассистент  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: dolganova.personal@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3869-4867*

Guryeva Yuliana Aleksandrovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Kozlova Evgenia Mikhailovna, Senior Lecturer  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

Dolganova Olga Igorevna, Assistant  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЯМ**

#### **SOFTWARE FOR EFFECTIVE BIM TRAINING ORGANIZATION**

Проведен анализ некоторых программных средств и инструментов для обеспечения эффективной организации образовательного процесса и управления учебной деятельностью при изучении BIM-технологий. Кратко описаны наиболее популярные образовательные платформы, приведены их преимущества и недостатки. Представлены инструменты для создания

курсов, структурирования учебных материалов, совместной работы и проектирования совместной деятельности, программные продукты для проведения конкурсов, викторин, опросов и автоматизированного тестирования, в том числе и с использованием элементов игрофикации. Представленная информация может быть полезна для всех участников образовательной деятельности от руководителей, организаторов, представителей технической поддержки и преподавателей до обучающихся и слушателей.

*Ключевые слова:* BIM-технологии, обучение BIM, образовательная платформа, конструктор образовательных курсов, автоматизированное тестирование знаний, совместная работа.

In this study, we analyze some software resources and tools that help to effectively organize and manage the BIM training process. The most popular educational platforms are described in brief, with mentions of their advantages and disadvantages. We also present tools for creating courses, structuring training materials, working together and designing joint activities, as well as software for conducting contests, quizzes, surveys and automated testing, including those with gamification elements. The information provided can be useful for everyone involved in training activities, from managers, organizers, technical support representatives, and teachers to students and trainees.

*Keywords:* BIM technologies, BIM training, educational platform, course design platforms, automated knowledge testing, joint work.

Изучение BIM-технологий во многих архитектурно-строительных учебных заведениях является одним из основных направлений наряду с академическими и прикладными дисциплинами. Полноценное информационное моделирование включает в себя практически все аспекты строительной отрасли от идеи и замысла до воплощения, эксплуатации, сноса и утилизации объекта. Поэтому BIM-проектирование постепенно начинает срастаться не только с прикладными дисциплинами, но и обязательно основывается на академических знаниях. В этом и заключается одна из сложностей преподавания дисциплин, связанных с информационным моделированием.

Для полноценного освоения BIM-технологий требуется использование такого ПО, которое бы удовлетворяло потребностям всех участников учебного процесса. Доступ к необходимым учебным ресурсам в любое время может предоставить корректно настроенная образовательная платформа. Также она поможет

проконтролировать процесс обучения, выявить, на каких этапах обучения студенты сталкиваются со сложностями какого рода. Затем возможности правильно подобранной платформы помогут оценить знания обучающихся.

Некоторые существующие образовательные платформы позволяют управлять индивидуальным обучением, выстраивая личную образовательную траекторию, при этом учитывая особенности каждого студента. Таким образом, преподаватель сможет больше времени уделять непосредственно обучающимся, помогая изучению ВМ-технологий, корректируя путь изучения материала каждого студента или команды, в том числе используя индивидуальный подход.

Образовательная платформа также должна обеспечивать возможности командной работы, что необходимо при создании объектов ВМ, т. к. только командная работа позволяет полноценно погрузиться в информационное проектирование и получить практический опыт.

Образовательные платформы (Learning Platforms) представляют собой многофункциональные системы для организации учебного процесса, его управления. Они содержат различные программные продукты. Эти платформы входят в состав систем дистанционного обучения – СДО (в России) и в LMS (Learning Management System) – система управления обучением (за рубежом).

Вопросы, связанные с анализом существующих образовательных платформ, выбором инструментов для организации и управления образовательным процессом, всегда были актуальными и острыми [1, 2].

Для работы в востребованном сегодня смешанном формате обучения с возможностью быстрого перехода из он-лайн в офф-лайн и наоборот необходима разработка виртуальной образовательной среды (Virtual Learning Environment – VLE), включающей управляемую образовательную среду (Managed Learning Environment – MLE).

В настоящее время вузы в нашей стране начали активно искать новые подходы и методы для повышения эффективности и качества образовательной и исследовательской деятельности [3].

Основные и наиболее популярные **образовательные платформы** с возможностью свободного использования **без оплаты**:

- **Moodle** (Австралия) – Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда) – удобна в использовании, в том числе при преподавании ВІМ-технологий, позволяет создавать дополнительные модули с разными форматами обучения, поддерживает более 30 языков, индивидуальное управление обучением, асинхронное и синхронное обучение, проведение различных видеомероприятий, многопользовательский доступ, инструменты игрофикации, тестирование знаний, возможность сбора и анализа цифрового следа, наличие импорта/экспорта данных, есть мобильная версия, может работать из облака. Именно эта платформа в основном используется в высших учебных заведениях РФ, т. к. по своим функциональным возможностям и доступности дистрибутива LMS Moodle уверенно опережает аналоги [4]. Идеология LMS Moodle основывается на принципах педагогики социального конструкционизма, заключающихся в том, что лучшее усвоение материала происходит в процессе объяснения другому обучающемуся, а также во время работы в составе группы или команды [5]. Успешно зарекомендовала себя для организации изучения ВІМ-технологий.

- **АнтиТренинги** (Россия) – для организации обучения и управления учебным процессом (в том числе индивидуальным), простота в использовании, возможность проведения вебинаров и видеоконференций, синхронное и асинхронное обучение, инструменты геймификации, неограниченное количество пользователей, возможен импорт/экспорт данных, проведение тестирований знаний, возможность сбора и анализа цифрового следа, бесплатная постоянная техническая поддержка, двухфакторная аутентификация, есть мобильная версия, работает в облаке, но требуется дополнительная оплата при превышении лимита облака. Рекомендуется для организации изучения ВІМ-технологий.

- **TeachBase** (Россия) – удобна для использования в малых группах, простота и удобство интерфейса, гибкие настройки, но поддерживает файлы только в формате PowerPoint, Word, PDF,



проведение видемероприятий, синхронное и асинхронное обучение, многопользовательский доступ, мобильная версия, тестирование знаний, но отсутствует игрофикация, может использоваться бесплатно, но количество пользователей и объём хранилища зависят от стоимости пакета. Рекомендуется для организации изучения ВІМ- технологий при работе в небольших командах.

- **Edmodo** (США), **Google Classroom** (США), **Canvas** (США) имеют значительно меньше образовательных и организационных инструментов, но есть тестирование знаний. В **Edmodo** и **Google Classroom** отсутствует синхронное обучение, а **Canvas** не может работать из облака. Могут быть рекомендованы для успешной организации совместной работы ВІМ-команд, особенно за пределами основного учебного времени.

- **ATutor** (Германия) и **Ё-Стади** (Россия) не имеют возможности проведения видемероприятий, отсутствует синхронное обучение. **ATutor** можно рекомендовать для создания дополнительных интерактивных электронных учебных материалов, что часто бывает востребовано при обучении ВІМ-технологиям, а **Ё-Стади** – для эффективной организации работы над ВІМ-проектом в малых учебных группах.

Некоторые образовательные платформы на платной основе:

- **iSpring Learn** (Россия) – большой объём в облаке для хранения данных, возможность использования как в облаке, так и на сервере, поддерживает смартфоны и планшеты, простота в использовании, различные инструменты для организации образовательного процесса, индивидуальное управление обучением, тестирование знаний, игрофикация, возможность сбора и анализа цифрового следа, но минимальное количество пользователей 50 человек, отсутствуют видеоконференции и синхронное обучение. Рекомендуется для организации изучения ВІМ-технологий на начальном уровне.

- **MS Teams** (США) – не образовательная, а корпоративная платформа для командной работы, входит в состав пакета MS Office 365, многопользовательский доступ, настройка ролей и управление правами доступа, широкий набор инструментов для совместной работы, возможность проведения аудио- и видемероприятий, в том числе в формате он-лайн, многоязычное

взаимодействие, интеграция с различными приложениями, есть мобильная версия, распространение по подписке. Замечательно подходит для организации изучения ВІМ-технологий.

- **Adobe Captivate Prime** (США) – система управления обучением с учётом персонализированного опыта обучающегося, проведение видео-уроков и видеоконференций, синхронное и асинхронное обучение, инструменты игрофикации, проведение тестирований знаний, возможность сбора и анализа цифрового следа, есть мобильная версия, но отсутствует русскоязычная версия. Можно рекомендовать для организации изучения ВІМ-технологий, но только на английском языке.

- **Electude** (Нидерланды), **Академия-Медиа** (Россия), **MyLMS** (Россия) не имеют синхронного обучения и возможностей проведения видеоконференций. В **GetCourse** (Россия) отсутствует управление индивидуальным обучением. **eTutorium LMS** (Россия) состоит из двух платформ (одна для электронных курсов, другая для обучающихся семинаров). Описанные в абзаце платформы являются облачными системами, могут быть рекомендованы для эффективной организации работы над ВІМ-проектом в небольших учебных группах.

**Конструкторы курсов** предназначены, в том числе, и для структурирования курсов. Студентам могут быть предложены несколько разных образовательных траекторий изучения ВІМ-технологий, учитывающих их начальный уровень подготовки и индивидуальные особенности. При этом начальные и конечные точки этих траекторий должны совпадать по базовым курсам информационных технологий, а следующий этап (специализированный курс) необходимо привязать непосредственно к направлениям подготовки слушателей.

- **iSpring Page** (Россия) и **Gurucan** (Россия) имеют удобный и простой интерфейс, возможность проведения видеоуроков. Рекомендуются для разработки специализированных курсов ВІМ-технологий для разных направлений подготовки с узкой специализацией.

- **iSpring Suite** (Россия) – конструктор курсов с широким функционалом, наличие шаблонов курсов, простой и понятный

интерфейс, проведение тестирований знаний, инструменты игрофикации, есть мобильная версия, но отсутствует синхронное обучение, нет возможности проведения видеоуроков и видеоконференций, отсутствует работа в облаке. Рекомендуется для разработки начальных базовых курсов ВІМ-технологий.

• **Core** (Россия), **Liveworksheets** (Испания), **Padlet** (США) рекомендуются для разработки базовых и специализированных курсов ВІМ-технологий для разных направлений подготовки. Их преимуществом является возможность интеграции с многочисленными сервисами и платформами.

Для проверки знаний в процессе дистанционного и смешанного форматов обучения не обойтись без автоматизированных тестов. Их использование позволяет быстро определить уровень усвоения материала у большого количества студентов [6]. Существуют **системы тестирования** и программные продукты для проведения различных опросов и проверок знаний обучающихся, в том числе и в игровой форме: **myQuiz** (Россия), **Система тестирования INDIGO** (Россия), **Mentimeter** (Швеция), **Kahoot** (Норвегия), **Online Test Pad** (Россия), **Online Test Pad** (Россия), **StartExam** (Россия) и др. Их можно успешно использовать для организации контроля знаний при изучении ВІМ-технологий.

Программные продукты для **совместной работы** и проектирования совместной деятельности также могут быть использованы в учебном процессе: **Miro** (Россия), **Trello** (Австралия), **Padlet** (США). Особенно эффективно их применение при изучении ВІМ-технологий.

**Выводы.** Спектр программных средств, используемых учебными заведениями для организации различных форматов обучения, в том числе и при изучении ВІМ-технологий, в основном остаётся достаточно скудным. Многие преподаватели используют только те электронные ресурсы, которые были рекомендованы или обязательны к использованию в их учебном заведении.

Авторы хотели бы обратить внимание всех участников обучения на продемонстрированные программные средства и инструменты, которые помогут в организации учебного процесса, сделают

его более эффективным, интересным, увлекательным и помогут усвоению материала.

В Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете (СПбГАСУ) в качестве образовательной платформы применяется Moodle, в качестве инструмента для совместной работы, организации вебинаров и других мероприятий используется MS Teams [7]. Эти программные средства являются основными и обязательными к применению. При дополнительных настройках они показали эффективную работу для преподавания ВІМ. В качестве дополнительных средств, без которых не обойтись при изучении ВІМ-технологий, отдельные преподаватели успешно используют различные инструменты (в том числе из предложенного в тезисах списка).

### **Литература**

1. Давыдова Е.А., Карабаева Е.М. Понятие «образовательная платформа» и обзор некоторых образовательных платформ // Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и направления развития: сборник статей международной научно-практической конференции. Челябинск, 2017. С. 54–56.
2. Тиунова Н.Н. Образовательные платформы как средство интенсификации профессиональной подготовки студентов колледжа // Профессиональное образование в России и за рубежом. 2016. № 2(22). С. 103–108.
3. В.В. Путин: Нам нужно найти такие решения, которые повысят престиж, научный статус и доходы преподавателей и профессоров в регионах, обеспечат значительный рост качества образования и исследований в вузах // Высшее образование сегодня. 2020. № 3. С. 2–10. DOI: 10.25586/RNU.NET.20.03.P.02.
4. Иванова П.О. Преимущества LMS Moodle в сравнении с другими системами обучения e-learning // Вопросы методики преподавания в вузе. 2014. № 3(17). С. 219–223.
5. Официальный сайт Moodle.org: Philosophy. URL: <https://docs.moodle.org/39/en/Philosophy> (дата обращения: 08.09.2020).
6. Карабаева О.В., Борисова К.В. Разработка системы автоматизированного тестирования // Вестник науки и образования. 2018. № 13(49). С. 45–48.
7. Долганова О.И., Козлова Е.М. Технологии коммуникации студентов и преподавателей при переходе к дистанционной форме обучения // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: матер. III Всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Екатеринбург, 2020. С. 62.

УДК 69:004.9

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.055

**Игнатова Елена Валентиновна**, канд. техн. наук, доцент  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)

*E-mail: ignatova@mgsu.ru, ORCID: 0000-0002-8447-7484*

Ignatova Elena Valentinovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

## **РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С УЧЕТОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО СТАНДАРТА BIM-СПЕЦИАЛИСТА**

### **DEVELOPING EDUCATIONAL PROGRAMS WHILE TAKING INTO ACCOUNT THE PROFESSIONAL STANDARD FOR BIM EXPERTS**

Статья посвящена разработке новых образовательных программ высшего образования, соответствующих современным тенденциям цифровизации строительства. Образовательные программы могут быть построены на основе нового профессионального стандарта специалиста в сфере информационного моделирования в строительстве. Перечислены пути актуализации старых и разработки новых образовательных программ. Отмечено, что наибольшую эффективность имеют образовательные программы, созданные с учетом использования BIM-технологий в комплексе дисциплин. Значительные преимущества имеет разработка и быстрая реализация магистерских образовательных программ. Перечислены некоторые направления исследований, которые могут быть использованы при разработке и реализации образовательных программ магистратуры.

*Ключевые слова:* цифровизация строительства, информационное моделирование, BIM, образовательная программа, профессиональный стандарт.

The article is devoted to the development of new higher education programs that correspond to modern trends in the digital transformation of the construction industry. Educational programs can use the new professional standard for BIM experts as a base. We list the ways of updating old educational programs and developing new ones. We also note that the most effective educational programs account for the use of BIM technologies in multiple disciplines. The development

and prompt implementation of master's programs have significant advantages. The article lists some research areas that can be used in the development and implementation of master's programs.

*Keywords:* digital transformation in construction, information modeling, BIM, educational program, professional standard.

Строительство вошло в число приоритетных отраслей экономики для повышения уровня их цифровизации. Для строительства цифровизация во многом связана с внедрением, использованием и развитием технологии информационного моделирования объектов капитального строительства. Одним из инструментов достижения цифровизации отрасли является разработка новых или актуализация старых профессиональных стандартов, а на их основе создание новых или актуализация существующих образовательных программ, в том числе образовательных программ высшего образования.

В январе 2021 года был утвержден новый профессиональный стандарт «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве», который дает ориентир для включения в образовательные программы необходимых результатов обучения в виде знаний и умений, соответствующих определенному уровню квалификации и соответствующему уровню образования [1]. Обсуждение появившегося профессионального стандарта показывает, что он появился вовремя и востребован, а с другой стороны, показывает, что еще не понятно, как его применять на практике.

Цель данной статьи – проанализировать особенности разработки образовательных программ высшего образования с учетом тенденции цифровизации экономики и применения профессионального стандарта «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве».

Профессиональный стандарт «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве» разрабатывался по инициативе и финансировании организации «BIM-Ассоциация» и предназначался для масштабного внедрения технологии информационного моделирования в строительную сферу [2]. Было понимание, что BIM-специалистов катастрофически не хватает,

что специалисты должны решать множество разноплановых задач, сопровождающих жизненный цикл объектов капитального строительства, в том числе связанных со спецификой самих объектов капитального строительства. Соответственно профессиональный стандарт учитывал большое количество уровней и направлений подготовки, которые могут и должны получать знания и умения в сфере информационного моделирования объектов капитального строительства. Учитывалось, что квалификация специалиста в сфере информационного моделирования может быть основной, а может быть дополнительной к уже имеющимся.

Пока вышеупомянутый профессиональный стандарт два года проходил обсуждение и утверждение, некоторые включенные в него перечни знаний и умений в сфере информационного моделирования были рекомендованы МИНСТРОЙ России для цифровой актуализации ряда других профессиональных стандартов. Таким образом была создана предпосылка для создания системы согласованных (взаимодополняющих) профессиональных стандартов.

Существует несколько организационно-технических подходов включения в образовательные программы технологии информационного моделирования [3]:

- использование BIM-программ для автоматизации решения профильных задач на практических занятиях ряда дисциплин или в курсовом и дипломном проектировании;
- ограниченное включение теории и практики информационного моделирования в курсы информатики наряду с другими информационными технологиями;
- включение отдельной дисциплины по информационному моделированию с теорией, практикой и курсовым проектом;
- включение факультативного курса по информационному моделированию;
- разработка образовательной программы со всесторонней поддержкой изучения и практического использования технологии информационного моделирования в комплексе учебных дисциплин.

Наиболее эффективным, но и наиболее сложным решением, является разработка новой образовательной программы. Необходимо организовать и согласовать работу большого коллектива

преподавателей, чтобы обеспечить единство образовательных целей, технологий, в том числе с применением новых цифровых технологий, соответствующих направлению и профилю подготовки обучающихся [4–9].

В бакалавриате имеет смысл готовить к выполнению трудовых функций профессионального стандарта, отнесенных к шестому уровню квалификации, т. е. к решению профильных задач с применением технологии информационного моделирования. Независимо от направления и профиля подготовки бакалавры должны также иметь представление о трудовых функциях пятого уровня квалификации. Этот уровень относится к технической поддержке технологий информационного моделирования и часто ошибочно рассматривается как зона интересов исключительно IT-специалистов. При разработке образовательных программ существует общая проблема «перескока» через трудовые функции профессионального стандарта низких уровней квалификации. Учитывая, что профессиональные стандарты, как правило, строятся по принципу профессионального роста, образовательные программы должны также строиться по принципу освоения компетенций от простых к сложным. Теоретически, после первых двух курсов бакалавриата обучающийся должен быть готов получить квалификацию пятого уровня, а при завершении обучения – шестого уровня. Надо учитывать преемственность знаний и умений и не пропускать знания и умения базовые для профессии.

Реализация образовательной программы требует значительного времени. Самый быстрый путь развертывания и реализации образовательной программы высшего образования по изучению технологий информационного моделирования – это создание программы магистратуры. Уже через два года выпускники (даже те, которые в бакалавриате не успели ознакомиться с информационным моделированием) будут знать не только теорию информационного моделирования, но и смогут практически решать задачи по своему профилю обучения. Кроме того, выпускники магистратуры должны соответствовать седьмому уровню квалификации, а значит (в соответствии с профессиональным стандартом) должны готовиться к организации процессов информационного



моделирования на уровне проектов, а также к развитию технологий информационного моделирования на уровне организации. Это очень важно, т. к. именно некомпетентность управленческого звена тормозит внедрение технологий информационного моделирования в деятельность организаций.

Реализация магистерских программ имеет и другие дополнительные выгоды для развития технологий информационного моделирования. В соответствии с законодательством направление подготовки в магистратуре не обязано соответствовать направлению подготовки в бакалавриате, следовательно, к изучению технологий информационного моделирования могут привлекаться выпускники широкого круга направлений подготовки бакалавриата. Кстати, магистерские программы могут создаваться не только по строительному направлению подготовки, но и по IT-направлениям, а также по направлениям экономики, менеджмента, энергетики, землепользования и другим сопутствующим строительству направлениям.

В ситуации, когда технология информационного моделирования (как и любая цифровая технология) постоянно развивается, имеется высокая потребность в проведении научных исследований для повышения эффективности использования технологии на всем жизненном цикле объекта капитального строительства. Исследования ведутся в научных, коммерческих, производственных, образовательных организациях, а также в органах государственной власти. Магистерская образовательная программа также предполагает проведение научных исследований.

Десять лет назад в статье [10] анализировались направления исследований по тематике внедрения BIM. В настоящее время направления научных исследований, связанных с внедрением, использованием и развитием BIM продолжают обсуждаться. Среди них:

- цифровая трансформация организации на основе внедрения BIM;
- адаптация BIM-процессов под различные типы объектов капитального строительства и различные этапы их жизненного цикла;
- автоматизация работ и расширение базового функционала BIM приложений;

- объединение данных информационной модели с другими информационными системами, в том числе с ГИС и ГИСОГД;
- объединение технологии информационного моделирования с другими цифровыми технологиями (использование нейротехнологий и искусственного интеллекта, анализ больших данных, использование виртуальной и дополненной реальности, использование систем распределенного реестра для защиты информации, учет новых производственных технологий, в том числе генеративного дизайна и 3D-печати, создание цифровых двойников объектов капитального строительства и др.);
- переход на третий уровень развития технологий информационного моделирования (по классификации Бью-Ричардса).

В заключении обсуждения образовательных программ, связанных с информационным моделированием объектов капитального строительства, можно сделать следующие выводы.

1. Общая тенденция цифровизации экономики требует изменения и цифровизации образовательных программ. В строительстве цифровизация во многом связана с применением технологии информационного моделирования объектов капитального строительства.

2. Утвержденный профессиональный стандарт «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве» может стать базой для разработки дисциплин и целых образовательных программ высшего образования. Стандарт учитывает последовательный рост профессиональных компетенций специалиста.

3. Существует несколько методов внедрения технологий информационного моделирования в образовательные программы высшего образования. Наиболее перспективным путем можно считать разработку магистерских программ, причем по разным направлениям подготовки.

4. В настоящее время проводятся масштабные научные и прикладные исследования, связанные с развитием технологии информационного моделирования объектов капитального строительства. Исследования и их результаты необходимо внедрять в образовательные программы высшего образования.

## Литература

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 16.11.2020 № 787н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве». URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (дата обращения: 05.02.2021).
2. Игнатова Е.В., Прокопьева Н.А. Разработка профессионального стандарта «Специалист по информационному моделированию в сфере строительства» // Бюллетень строительной техники. 2019. № 3. С. 35–37.
3. Игнатова Е.В. Князева Н.В. Подготовка кадров в сфере информационного моделирования в строительстве // Инновации и инвестиции. 2020. № 2. С. 166–169.
4. Ануфриев Д.П., Петрова И.Ю., Шикунская О.М. Внедрение инструментов BIM в образовательный процесс строительного вуза // Перспективы развития строительного комплекса. 2015. № S1. С. 54–62.
5. Лежнина Ю.А., Хоменко Т.В. Проблемы внедрения новой информационной технологии Building Information Modeling в строительном ВУЗе // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2015. № 2(12). С. 78–82.
6. Голдобина Л.А., Орлов П.С. BIM-технологии и опыт их внедрения в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 263–272. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.263.
7. Гришина Н.М., Чалый Ю.Ю. Проблемы и перспективы BIM в ВУЗах: управление развитием в строительстве // Известия КГАСУ. 2017. № 3(41).
8. Тарасов М.В. Изучение технологий информационного моделирования зданий в образовательном процессе бакалавров по направлению «Строительство» // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование. Педагогические науки. 2019. Т. 11, № 1. С. 87–97. DOI: 10.14529/ped190109.
9. Семенов А.А. Обучение BIM в университете: необходимые технологии // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы II Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ. 2019. С. 223–227. DOI: 10.23968/BIMAS.2019.041.
10. Игнатов В.П., Игнатова Е.В. Анализ направлений исследований, основанных на концепции информационного моделирования строительных объектов // Вестник МГСУ. 2011. Т. 1, № 1. С. 325–330.

**УДК 004.9**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.056

**Мурадян Каринэ Ованесовна**, ассистент

(Российский университет транспорта)

*E-mail:* karine\_mur@mail.ru

**Смирнова Ольга Владимировна**, канд. техн. наук, доцент

(Российский университет транспорта)

*E-mail:* o\_v\_smirnova@mail.ru

**Нестеров Иван Владимирович**, канд. техн. наук, заведующий кафедрой

(Российский университет транспорта)

*E-mail:* saprforever@gmail.com

Muradian Karine Ovanesovna, Assistant

(Russian University of Transport)

Smirnova Olga Vladimirovna, PhD of Sci. Tech., Associate Professor

(Russian University of Transport)

Nesterov Ivan Vladimirovich, PhD of Sci. Tech., Head of Department

(Russian University of Transport)

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЯМ В УНИВЕРСИТЕТЕ В РАМКАХ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ**

### **ORGANIZING BIM CLASSES AT UNIVERSITIES AS PART OF TRAINING TRANSPORT PROFESSIONALS**

В представленной публикации рассматриваются особенности организации обучения студентов высших учебных заведений транспортной отрасли при освоении технологий информационного моделирования (BIM). Описаны достоинства обучения данным технологиям, а также возникшие трудности в начале процесса внедрения BIM в учебный процесс. В работе затронуты не только выполненные студентами проекты зданий, но и линейно-протяженные объекты, реализованные при подготовке выпускных квалификационных работ на кафедре «Системы автоматизированного проектирования» Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта (МИИТ). Рассмотрены основные задачи, стоящие при подготовке специалистов в области BIM-моделирования объектов транспортной инфраструктуры в России. Цель работы – показать достоинства и преимущества обучения BIM-технологиям в рамках подготовки студентов РУТ (МИИТ).

*Ключевые слова:* САПР, BIM, университет, информационная модель, Dynamo, транспортная отрасль.

This article discusses the specifics of training students of transport universities to use BIM (Building Information Modeling). It describes the advantages of BIM training, as well as the difficulties encountered when starting to integrate BIM into the education process. The article reviews both the projects of buildings completed by students and the projects of linear facilities created during graduation thesis preparation at the Department of Computer-Aided Design Systems at the Institute of Railway Track, Construction and Structures of the Russian University of Transport (МИИТ). It considers the main objectives of professional training in the field of transport infrastructure BIM in Russia. The purpose of the study is to demonstrate the advantages of teaching BIM technologies as part of student training at the Russian University of Transport (МИИТ).

*Keywords:* CAD, BIM, university, information model, Dynamo, transport industry.

## **Введение**

В настоящее время в строительной [1] и транспортной отраслях остро ощущается нехватка высококвалифицированных специалистов в области информационного моделирования зданий (Building Information Modelling, сокращённо BIM) – технологии, эффективно применяющейся в строительстве [2]. При этом стоит отметить, что связанные с базами данных модели требуются не только для зданий, но и для линейно-протяженных объектов, например, мостов. В контексте данной публикации термин BIM применяется для обозначения информационного моделирования объектов инфраструктуры в целом, а не только одной категории.

В связи с тем, что рассматриваемые технологии являются относительно новыми по сравнению с уже привычными методами и системами автоматизированного проектирования, встает вопрос о подготовке студентов профильных ВУЗов в качестве компетентных специалистов, способных осуществлять внедрение информационных моделей в строительство в процессе своей дальнейшей работы.

## **Описание методов преподавания**

Уже на протяжении нескольких лет преподаватели Российского университета транспорта обучают студентов методам,

позволяющим оперативно создать необходимую модель на примере использования программного комплекса Autodesk Revit.

Одной из особенностей преподавания ВМ в транспортном университете является то, что перед обучающимися стоит не просто задача смоделировать какой-либо объект, а создать определённую информационную модель по уже имеющимся данным – такой подход позволяет постепенно привыкать к работе с техническим заданием, приближая выполнение учебных проектов к работе в проектных организациях.

Безусловно, перед тем как ставить перед учениками выполнение нестандартных задач, обеспечивается освоение базовых инструментов моделирования.

Изучая программный комплекс Revit, студенты затрагивают моделирование объектов стандартными инструментами, учатся использовать формообразующие, адаптивные компоненты, оформлять спецификации и листы, знакомятся с визуальным программированием Dynamo. После прослушивания лекций, на практических занятиях обучающиеся постепенно, шаг за шагом создают выбранную ими модель. Предоставление выбора среди нескольких вариантов создаваемых моделей позволяет повысить интерес студента к изучаемой дисциплине. Такой подход в процессе обучения позволяет обучающимся в дальнейшем, при подготовке выпускных работ, использовать помимо стандартных средств, расширенные возможности ВМ, в том числе и языки программирования C#, Python для создания новых семейств и автоматизации необходимых процессов.

## **Результаты**

При подготовке выпускных квалификационных работ и магистерских диссертаций студенты успешно воссоздали комплекс зданий университета, наполнив их пользовательскими семействами [3–7]. Первый корпус Российского университета транспорта представлен на рис. 1.

Впервые в России в 2019 году аспирантом кафедры «Системы автоматизированного проектирования» Чжо Зин Аунгом защищена кандидатская диссертация по внедрению ВМ-технологий

в мостостроении на тему «Технология информационного моделирования эксплуатируемых мостов в Республике Мьянма» [8]. На рис. 2 и 3 показана модель моста Ситтаунг.

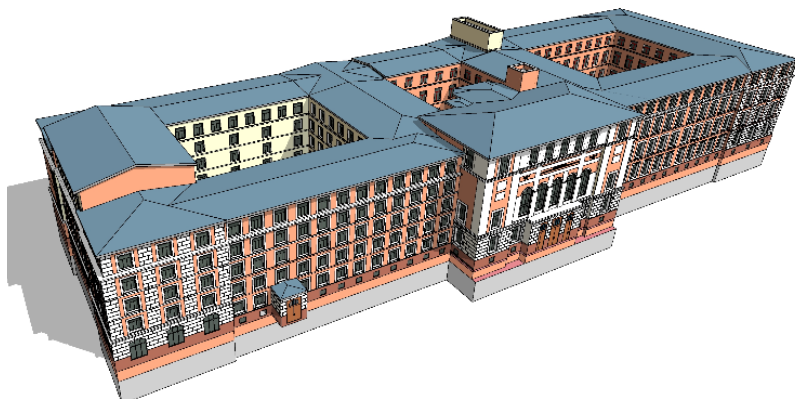


Рис. 1. Первый корпус Российского университета транспорта (МИИТ)

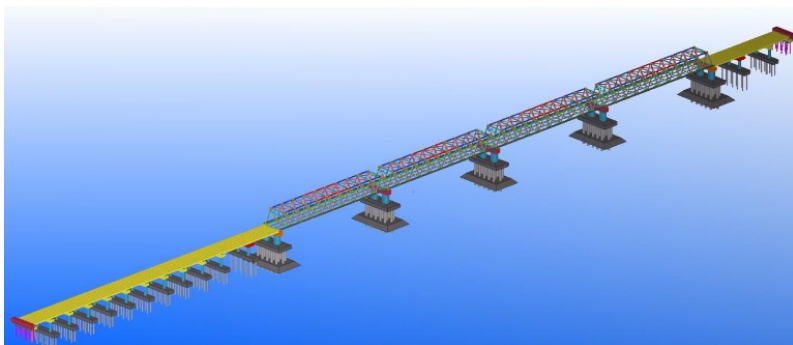


Рис. 2. Общий вид информационной модели моста Ситтаунг

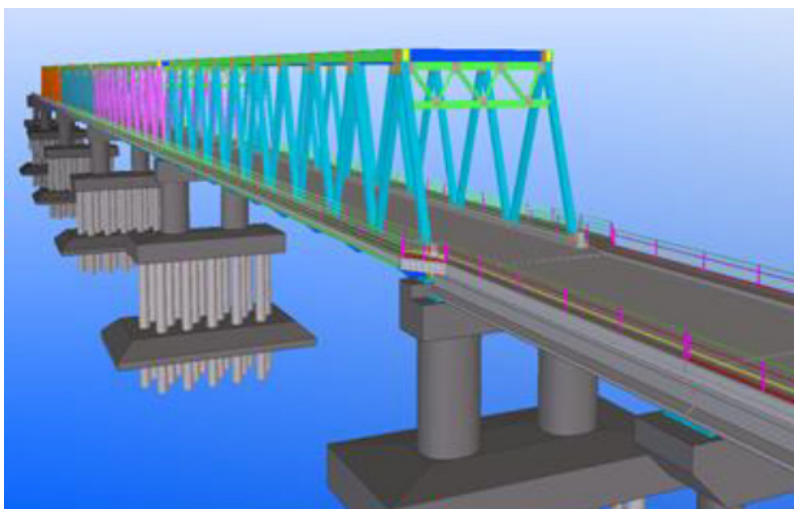


Рис. 3. Фрагмент информационной модели моста Ситтаунг

Студенты также создавали упрощенную архитектурную часть информационной модели станции Московского метрополитена «Румянцево», станции МЦД «Северянин», многофункционального комплекса «Северное сияние», а также транспортного пересадочного узла, что тесно связано с направлениями, имеющимся в Институте пути, строительства и сооружений. Визуализация созданных моделей выполнена в Lumion/3Ds Max.

### **Анализ**

Среди преимуществ обучения информационному моделированию объектов инфраструктуры в ВУЗе следует отметить то, насколько более увлеченными становятся ученики: работая с новыми, перспективными технологиями, они чувствуют себя более мотивированными и уверенными, осознавая, что становятся востребованными специалистами в развивающейся сфере, повышаются их компетенции. Разнообразие изучаемых инструментов помогает им удовлетворить потребность в профессиональном



самоопределении, кто-то углубляется в разработку скриптов и приложений, кто-то – в создание семейств; одни интересуются архитектурной частью проекта, другие – инженерной. После обучения студенты проходят стажировку в компаниях, например, Академии BIM, что также позволяет получить им больше опыта в данной сфере и определиться с направлением своей деятельности в будущем.

Таким образом, плавно переходя от простого к сложному, студенты осваивают новые, перспективные технологии, способные вывести строительные работы на более высокий уровень.

Среди трудностей внедрения технологии информационного моделирования в процесс обучения стоит отметить возникшую в начале проблему с нехваткой технических средств, способных обеспечить комфортную работу с программным обеспечением; необходимость переработки учебного плана, однако все эти вопросы удалось успешно решить и в настоящее время при обучении студентов каких-либо трудностей не возникает.

### **Заключение**

Успешно внедренная в процесс обучения технология информационного моделирования позволяет студентам принять решение о направлении своей дальнейшей деятельности. Используя множество инструментов BIM-моделирования, обучающиеся приобретают навыки, способные помочь им устроиться на интересную, высокооплачиваемую работу и с уверенностью идти в завтрашний день.

### **Литература**

1. Гришина Н.М., Чалый Ю.Ю. Проблемы и перспективы обучения BIM в ВУЗах: управление развитием в строительстве // Известия КазГАСУ. 2017. № 3(41). С. 277–288.
2. Красковский Д. Преимущества BIM-технологии в единстве источника информации об объекте // САПР и графика. 2015. № 12(230). С. 62–63.
3. Филиппова К.В. Создание информационной модели главного учебного корпуса МИИТ: выпускная квалификационная работа. МИИТ, 2018.
4. Макарова М.А. Создание информационной модели второго учебного корпуса МИИТ: выпускная квалификационная работа. МИИТ, 2018.

5. Бавиловская Э.А. Создание информационной модели учебного корпуса института экономики и финансов МИИТ: выпускная квалификационная работа. МИИТ, 2018.

6. Еникеев Р.Г. Создание информационной модели четвертого учебного корпуса МИИТ: выпускная квалификационная работа. МИИТ, 2018.

7. Сисемов В.Г. Создание информационной модели главного корпуса Дома химии МИИТ: выпускная квалификационная работа. МИИТ, 2018.

8. Чжо Зин Аунг Технология информационного моделирования эксплуатируемых мостов в Республике Мьянма: дисс. на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 05.23.11. М., 2019. 112 с.

**УДК 69:004.9**

**DOI:** 10.23968/ВМАС.2021.057

**Опарина Людмила Анатольевна**, д-р техн. наук, заведующий кафедрой  
(Ивановский государственный политехнический университет)

*E-mail:* [l.a.oparina@gmail.com](mailto:l.a.oparina@gmail.com)

**Карасев Иван Сергеевич**, аспирант

(Ивановский государственный политехнический университет)

*E-mail:* [van\\_ok93@mail.ru](mailto:van_ok93@mail.ru)

Oparina Lyudmila Anatolyevna, Dr. of Sci. Tech., Head of Department  
(Ivanovo State Polytechnic University)

Karasev Ivan Sergeevich, postgraduate student  
(Ivanovo State Polytechnic University)

**ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА  
SYNCHRO Pro В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ  
БАКАЛАВРОВ И МАГИСТРАНТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
«СТРОИТЕЛЬСТВО»**

**INTEGRATING THE SYNCHRO Pro SOFTWARE  
INTO BACHELOR'S AND MASTER'S PROGRAMS IN  
CONSTRUCTION**

Статья написана на актуальную тему подготовки специалистов для строительной отрасли со знаниями технологий информационного моделирования. После 1 января 2022 года все договора на строительство объектов,

финансируемых за государственный счет, должны содержать в себе положения о формировании и использовании BIM-модели. Соответственно, у заказчиков и исполнителей этих договоров должны быть в штате подготовленные специалисты. Статья посвящена вопросам организации и внедрения в образовательный процесс Ивановского государственного политехнического университета программного продукта SYNCHRO Pro для обучения бакалавров и магистров по направлению «строительство». Показана актуальность применения SYNCHRO Pro для 4D-моделирования процессов строительства зданий и сооружений. Представлены дисциплины, реализация которых осуществляется с применением SYNCHRO Pro.

*Ключевые слова:* BIM, 4D-моделирование, календарное планирование, управление сроками проекта, информационное моделирование строительства.

The article explores the topical issue of training construction professionals with knowledge of information modeling technologies. After January 1, 2022, all contracts for the construction of publicly funded facilities must contain provisions on the creation and use of BIM models. Accordingly, the customers and executors of these contracts must have on-staff professionals that are able to work with such information models. The article discusses the issues of arranging the integration of the SYNCHRO Pro software product into the educational process at the Ivanovo State Polytechnic University for training bachelors and masters in construction. We highlight SYNCHRO Pro's relevance as a tool for 4D modeling of construction processes. Finally, we list disciplines that use SYNCHRO Pro.

*Keywords:* BIM, 4D modeling, scheduling, project time management.

Развитие технологии информационного моделирования зданий (Building Information Model – BIM) в мировой практике проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений не теряет своей актуальности: появляются новые программные продукты, создаётся методология работы в цифровой среде, появляются нормативно-технические документация. В России этот процесс законодательно начат в 2014 году с появлением плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства [1]. Власти РФ ставят задачу в ближайшие один – два года практически полностью перейти на технологии информационного моделирования (BIM-технологии), что позволит экономить деньги и сократить сроки строительства. Обязательное применение BIM на объектах госзаказа с 1 января 2022 года узаконено Постановлением

Правительства России №331 от 05 марта 2021 года путём введения обязательного использования технологий информационного моделирования на объектах госзаказа. С 1 января 2022 года формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства становится обязательным для заказчика, застройщика, технического заказчика, эксплуатирующей организации, если на этот объект выделены средства «бюджетов бюджетной системы Российской Федерации».

Практика внедрения технологий информационного моделирования и цифровизации бизнес-процессов отечественной строительной отрасли показала, что для эффективного применения программных продуктов и организации строительства с их использованием стране необходимы специалисты соответствующего уровня, без научно-образовательной базы подготовки грамотных специалистов процессы цифровизации будут неэффективными. Решение данной проблемы должно быть системным, в том числе должна быть налажена система непрерывной подготовки специалистов: бакалавриат, магистратура, повышение квалификации работающих проектировщиков и строителей, представителей эксплуатирующих организаций. И прежде всего, специалистов высшей квалификации, которые обучаются в профильных университетах. Поэтому необходимо в учебные планы профильных университетов включать работу с ВМ-программами. Подготовка кадров, владеющих технологией ВМ, диктует необходимость разработки новых форматов обучения, новых методик преподавания, новых способов выработки практических навыков. Несмотря на то, что во многих других странах ВМ уже активно применяется на практике, система обучения этим технологиям в университетах пока слабо развита [2]. В данной статье рассмотрен один из примеров внедрения ВМ в учебный процесс Ивановского государственного политехнического университета, а именно, внедрение программного продукта SYNCHRO Pro компании Bentley, предназначенного для построения 4D-модели организации строительного производства. Это ПОС (проект организации строительства, построенный в 3D среде, например, Revit) с добавлением четвёртого измерения – времени. Все изменения на будущей стройке

возможно «проиграть» при помощи сценариев, позволяющих вносить оперативные изменения при изменении сроков стройки, технологических процессов строительства и так далее.

Таким образом SYNCHRO Pro позволяет планировать будущее строительство, без затрат на строительную площадку и экономить ресурсы, оперативно выявляя коллизии, которые могут возникать на будущей стройке до начала строительных процессов. В результате получается наглядная визуализация плана и факта выполнения работ, очевидная даже не специалисту. Модель содержит информацию о длительности, трудоемкости и стоимости выполнения строительно-монтажных работ, включая информацию о временных зданиях и сооружениях, управление строительной техникой и крановым хозяйством [2]. SYNCHRO Pro можно использовать одновременно и для планирования, и для 4D-моделирования проекта, приобретать дополнительное программное обеспечение и разделять функционал разработчика календарного графика и разработчика 4D-модели уже не нужно [3, 4].

Несмотря на то, что данный программный продукт в настоящее время в РФ широко не распространён, технология 4D-моделирования, лежащая в его основе, является эффективной и общепризнанной мировым сообществом, и в ближайшее время специалисты, владеющие этой технологией, будут очень востребованы и на отечественном рынке. Именно поэтому в декабре 2020 года авторы данной статьи провели ряд переговоров с компанией Bentley, в результате которых было заключено соглашение с ИВГПУ о предоставлении вузу 10 лицензий для профессорско-преподавательского состава и 500 лицензий для студентов, которые включают в себя:

Кампусные лицензии для профессорско-преподавательского состава вуза:

- доступ с SELECTserver;
- доступ к продуктам SACS, MOSES (продукты для морских сооружений) и Pointools (визуализация и программное обеспечение);
- доступ к SYNCHRO Pro.

Студенческие лицензии на домашнее использование:

- доступ с STUDENTserver со своей электронной почты;
- доступ к SYNCHRO Pro.

У Ивановского Политеха есть своё облако для загрузки проектов на сайте Bentley, обмена информацией, управления и отслеживания пользователей, позволяющее также просматривать отчет об использовании продуктов. Также имеется возможность загружать, управлять программным обеспечением и обращаться в техподдержку.

После регистрации на сервере пользователь получает доступ и возможность загрузить на свой компьютер SYNCHRO Pro. Входная информация для Synchro – проектные данные и актуальные сведения, получаемые в ходе строительства. Доступен импорт из ifc, dwg, dxf, а также получение планов из MS project, oracle primavera и многих других – всего около 50 видов файловых интерфейсов, включая импорт из excel. Также есть возможность импорта результатов моделирования 3D в САПР AutoCAD, Revit, Allplan, Tekla, Компас, Nanosad и т. д. Результатом работы SYNCHRO Pro является план строительства (список работ и диаграммы Ганта) – еженедельные, ежемесячные отчеты. В процессе строительства программа позволяет проводить план-фактный анализ стройки, ресурсов, управлять резервами времени, корректировать критический путь. Многие рутинные задачи планирования выполняются в Synchro автоматически или полуавтоматически, основываясь на информации из проектных моделей и дополнительно вводимых данных.

В ИВГПУ программный продукт SYNCHRO Pro внедрён в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров по следующим направлениям и дисциплинам (табл. 1).

Таблица 1

**Внедрение SYNCHRO Pro в учебные дисциплины ИВГПУ**

№ п/п	Направление подготовки	Дисциплина
1	08.03.01 «Строительство» (бакалавриат), все профили подготовки	Основы организации и управления в строительстве
2	07.03.01 «Архитектура» (бакалавриат), профиль подготовки «Архитектурное проектирование городской среды»	Экономика архитектурных решений и строительства

Окончание табл. 1

№ п/п	Направление подготовки	Дисциплина
3	08.04.01 «Строительство», магистерская программы «Моделирование и управление жизненным циклом строительных объектов (BIM-технологии)» и «Энергоресурсоснабжение городов и промышленных предприятий»	Организация и управление в строительной организации
4	08.04.01 «Строительство», магистерская программа «Ценообразование и управление проектами в строительстве и ЖКХ»	Управление инвестиционно-строительными проектами

Говоря об образовательной составляющей внедрения технологий 4D-моделирования строительства, нельзя не сказать о научной составляющей. В ходе изучения дисциплин студенты сначала знакомятся с методологией календарно-сетевое планирования, принципами построения диаграмм Ганта, календарных графиков, циклограмм, сетевых графиков, принципами расчёта резервов времени и управления критическим путём, и только после этого применяют полученные знания на практике работы с программой. На уровне магистратуры и аспирантуры работа с SYNCHRO Pro используется при написании магистерских и кандидатских диссертаций. Таким образом, использование такого мощного ПО как SYNCHRO Pro наряду с другими программами, реализующими технологии информационного моделирования, позволяет готовить высококлассных специалистов для строительной отрасли, подготовить их к участию в строительстве крупных, уникальных и сложных объектов.

### Литература

1. Карасев И.С., Опарина Л.А. Применение BIM-технологий для капитального ремонта многоквартирных домов и их инженерных сетей с целью повышения энергоэффективности // BIM-моделирование в задачах

строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 97–103. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.011.

2. Семенов А.А., Суханова И.И. Проект BIM-ICE – интеграция BIM в высшее и профессиональное образование // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 372–378. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.048.

3. Опарина Л.А. Дудаков А.Д., Мокин А.С. Современные тренды в организации строительного производства: от прошлого через настоящее к будущему // Объектно-пространственное проектирование уникальных зданий и сооружений. К 100-летию строительного образования в Ивановской области и создания инженерно-строительного факультета Иваново-Вознесенского Политехнического института: сборник материалов I научно-практического форума «SMART BUILD». Иваново: ИВГПУ, 2018. С. 228–236.

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

5. 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.



УДК 372.862+378.147

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.058

**Петухова Анна Викторовна**, канд. пед. наук, доцент  
(Сибирский государственный университет путей сообщения,  
Новосибирский архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: petukhovaav@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7775-5220*

Petukhova Anna Viktorovna, PhD of Sci. Ped., Associate Professor  
(Siberian Transport University,  
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))

## **ЭЛЕМЕНТЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В КЛАССИЧЕСКИХ КУРСАХ ИНЖЕНЕРНОЙ И КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКИ**

### **ELEMENTS OF INFORMATION MODELING IN CLASSIC ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS COURSES**

В статье рассмотрены вопросы, связанные формированием у студентов компетенций, включающих владение технологиями информационного моделирования в строительстве. Автор предлагает начинать обучение BIM уже с первой ступени вузовского образования, с дисциплин общинженерной направленности, таких как инженерная и компьютерная графика, начертательная геометрия. Наиболее важными аспектами, затронутыми в статье, являются методические вопросы, связанные с формированием содержательной и методической составляющих учебного процесса с опорой на современные информационные технологии. Подчеркивается важность своевременного внедрения элементов информационного моделирования на всех этапах обучения будущих специалистов.

*Ключевые слова:* информационное моделирование в строительстве, образовательные технологии, дисциплины графического цикла, современные программные комплексы.

The article deals with the issues related to the formation of students' competencies, including mastery of information modeling technologies in construction. The author suggests that BIM should be taught from the first stage of university education, and included in such disciplines as engineering and computer graphics or descriptive geometry. The article's most important aspects relate to methodological issues relevant to the formation of training content and process

components based on modern information technology. The author emphasizes the importance of the timely adoption of information modeling elements at all stages of training for future construction professionals.

*Keywords:* information modeling in construction, educational technologies, graphics courses, modern software systems.

Информационное моделирование (BIM) неминуемо проникает во все сферы строительного проектирования. Резкий скачок интереса профессионально сообщества к различным аспектам технологии информационного моделирования вызывает ответную реакцию информационной среды. Появляются новые площадки, на которых специалисты делятся опытом, размещают учебные материалы или техническую документацию [1, 2]. Одновременно специалисты констатируют, что уровень общей информационной грамотности специалистов все еще очень низок [3–5]. В процесс внедрения BIM-технологий включились далеко не все организации отрасли. Причин, вероятно, несколько. Но главная, на наш взгляд, заключается в том, что вузы пока не в состоянии заполнить рынок труда настолько востребованными сегодня BIM-специалистами, BIM-менеджерами, BIM-координаторами. Мы наблюдаем постоянный рост спроса на эти позиции [6].

Для решения проблемы необходимо развивать соответствующие направления подготовки в отраслевых вузах, а также пересмотреть подходы к построению образовательных траекторий студентов, обучающихся на классических строительных специальностях и направлениях. Для того, чтобы обеспечить рынок труда профессионалами, обладающими необходимым набором компетенций в области информационного моделирования, следует внедрять специализированные учебные курсы в образовательные программы университетов, реструктурировать программы уже существующих дисциплин. Необходимо консолидировать усилия специальных и общеобразовательных кафедр, выстроить последовательную логическую цепочку уровней освоения цифровых компетенций студентами, создать условия для формирования необходимых знаний, умений и навыков. Только совместные усилия всех участников образовательного процесса помогут создать ту форму образовательного

пространства студента, которая необходима для овладения комплексом современных знаний умений и навыков.

Постепенное внедрение элементов информационного моделирования в образовательные программы университетов уже началось. Есть вполне успешные практики, например, в Воронежском политехническом университете, в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете, Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете, Дальневосточном государственном университете путей сообщения, в Сибирском государственном университете путей сообщения и в других [7–9].

Базу для понимания технологии информационного моделирования можно заложить еще на младших курсах вуза, в процессе изучения таких дисциплин, как общая информатика, инженерная графика, начертательная геометрия, компьютерная графика, пространственное моделирование и других. Такой опыт уже накоплен.

Кафедры общеинженерной подготовки формируют тот самый базис, на основе которого затем выстраивается вся система профессиональных знаний. Внедрение в программы общеинженерных дисциплин разделов, ориентированных на освоение студентами основ информационного моделирования в строительстве, носит, в определенной степени, пропедевтический характер и позволяет подготовить студента к погружению в ВМ-технологии на старших курсах.

Если отвлечься на секунду от тех глобальных задач, которые решаются с помощью ВМ на предприятиях отрасли и опуститься до уровня элементарных базисных знаний, то можно увидеть, что даже классические задачи курса «Начертательная геометрия» могут быть решены в одном из ВМ-комплексов.

Для иллюстрации приведем следующий пример. В большинстве строительных вузов в программу обучения бакалавров включен курс Начертательная геометрия и компьютерная графика. В этом курсе, как правило, есть раздел, который называется «Проекция с числовыми отметками», в рамках которого рассматриваются теоретические и практические вопросы, связанные инженерными подходами к изображению данных топографических

поверхностей и земляных сооружений (дамбы, площадки, котлованы и пр.). В классическом курсе начертательной геометрии студенту предлагается решить несколько задач, связанных с построением горизонталей земли и проекций земляного сооружения. Чаще всего предполагается, что задача будет решена в 2D-графике на компьютере или на бумаге в карандаше. В этом случае, решение выглядит как иллюстрация, представленная на рис. 1.

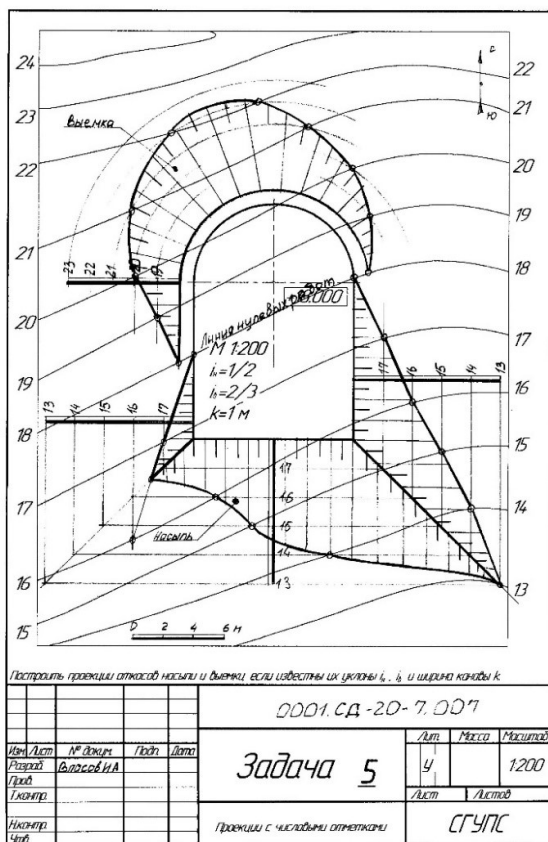


Рис. 1. Работа студента 1 курса СГУПС, Власова И.А. (выполнена в карандаше)

А теперь представьте себе, что студента уже на первом курсе научили азам работы в программном комплексе AutoCAD Civil 3D. Тогда, та же самая тема, в рамках той же самой дисциплины, приобретает совершенно иной уровень реализации. На рис. 2 представлены результаты контрольного упражнения, выполняемого студентами СГУПС, после всего лишь одного занятия, проведенного с использованием программного комплекса AutoCAD Civil 3D. При этом студент знакомится не только с теоретическими основами, он овладевает современным инструментом, который пригодится ему в дальнейшем.

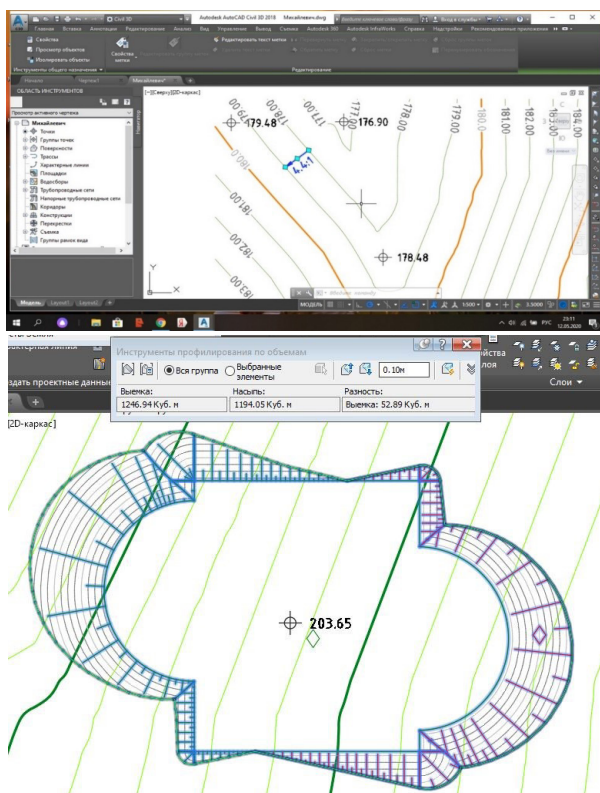


Рис. 2. Пример контрольного задания (работа выполнена в AutoCAD Civil3D)

Аналогичные примеры можно привести и для других тем, изучаемых в рамках общеобразовательных дисциплин. У нас есть опыт и примеры использования программных комплексов Renga Software, Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, AutoCAD Civil 3D и других для решения классических задач курсов начертательная геометрия, компьютерная графика и инженерная графика [10, 11].

Стоит особо отметить, что применение этих, довольно сложных программ не ощущается как «обременительное» для студентов, скорее наоборот, развивает профессиональный кругозор и мотивирует к освоению новых знаний.

С педагогической точки зрения, такие элементы играют важную роль для формирования профессиональных компетенций будущего специалиста, создают межпредметные связи, позволяют студенту понять взаимосвязь теоретических знаний и практики, а также формируют надежную базу для дальнейшего обучения.

Концепция и инструменты информационного моделирования в строительстве все более и более востребованы в областях архитектуры, проектирования и строительства и уже стали частью современного мира. Поэтому овладение этими инструментами и формирование у студента практического опыта их использования должно осуществляться как можно раньше. Несмотря на то, что общеобразовательные инженерные дисциплины имеют вполне устойчивую строгую структуру, даже в рамках этих дисциплин возможно ознакомление студента с базовым функционалом некоторых продвинутых ВМ-комплексов.

### **Литература**

1. ВМ. Проектирование. Строительство. Эксплуатация: Материалы Всероссийского форума. Воронеж: ВГТУ, 2018. 73 с.
2. ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 446 с. DOI: 10.23968/ВМАС.2020.
3. Мищенко Е.С., Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Струлев С.А. Учет позиции работодателя при проектировании образовательных программ в области ВМ-технологий // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 2. С. 106–115.

4. Кропотухина Н.А., Сосницкая К.С., Сиско А.С., Бибикова А.Ю. Потребность совершенствования знаний и понимания технологии BIM для строительной отрасли // E-Scio. 2018. № 10(25). С. 23–28.
5. Безган Д.Ю. BIM-технологии: подготовка новых кадров // Педагогическая наука и практика. 2018. № 4(22). С. 45–49.
6. Мусиенко Ю.И., Мусиенко Е.И. BIM-стратегия и тактика в архитектурном вузе // Творчество и современность. 2019. № 1(9). С. 118–124.
7. Решетникова Д.А., Бауэр Н.В. Эффективность применения BIM-технологии в образовательном процессе // Информационные и графические технологии в профессиональной и научной деятельности: сборник статей II Международной научно-практической конференции. 2018. С. 138–140.
8. Семенов А.А., Суханова И.И. Проект BIM-ICE – интеграция BIM в высшее и профессиональное образование // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 372–378. DOI: 10.23968/VIMAC.2020.048.
9. Смолева Н.В. Применение BIM технологий в подготовке специалистов строительного профиля // Педагогическая наука и практика. 2018. № 4(22). С. 59–63.
10. Болбат О.Б., Петухова А.В. Компьютерное проектирование: опыт организации непрерывной системы обучения графическим дисциплинам // Актуальные проблемы современного образования: опыт и инновации. Матер. науч.-практ. конф. (заочной) с междунар. участием. Ульяновск: SIMJET, 2014. С. 440–446.
11. Шувалова С.С., Петухова А.В. Влияние технологий информационного моделирования на развитие системы инженерно-графической подготовки // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Международной научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 379–385. DOI: 10.23968/VIMAC.2020.049.

**УДК 378:004.9**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.059

**Токарев Владимир Адольфович**, канд. техн. наук, доцент  
(Рыбинский государственный авиационный технический университет  
им. П.А. Соловьева)  
*E-mail:* tokarev@rsatu.ru, *ORCID:* 0000-0002-6226-6109

Tokarev Vladimir Adol'fovich, PhD of Sci. Tech., Associate Professor  
(Soloviev Rybinsk State Aviation Technical University)

## **ЭЛЕМЕНТЫ BIM В ДИСТАНЦИОННЫХ КОНКУРСАХ КОМАНД УЧАЩЕЙСЯ МОЛОДЁЖИ**

### **BIM ELEMENTS IN REMOTE COMPETITIONS FOR STUDENT TEAMS**

Интенсификация обучения достигается применением различных форм образования, в том числе участием обучающихся в конкурсах. В работе приведено описание Всероссийских дистанционных конкурсов команд разновозрастной молодежи по применению современных информационных технологий в архитектуре.

При составлении комплексных заданий для команд учтены творческие и профессиональные интересы разновозрастной молодёжи, а также специфические особенности работы с растровой и векторной графикой в различных компьютерных программах.

Исходными данными конкурсов были фотографии, словесное описание и часть размеров разрушаемых от времени зданий исторического наследия города Рыбинск. Предполагалось оперативное выполнение и необходимость распределения обязанностей в соответствии со специализацией и профессиональными компетенциями конкурсантов. Такая форма выполнения заданий отличается от традиционного выполнения учащимся индивидуальной графической работы и приближена к коллективной профессиональной графической деятельности с использованием методов BIM в задачах архитектуры.

*Ключевые слова:* графическое обучение, конкурс учащихся, элементы BIM, комплексное задание, командное взаимодействие, оптимизация работ.

The training process can be intensified through the use of various forms of education, including participation in student competitions. The paper provides a description of the nation-wide remote competitions for student teams, where the students competed in using modern information technologies in architecture.



The process of composing complex tasks for the teams had to account for the creative and professional interests of young people, as well as the specific features of working with raster and vector graphics in various computer programs.

The competitions' reference data included the following: photographs, verbal descriptions, and some measurements of heritage buildings in the city of Rybinsk, which have been partially destroyed over the years. The contestants were required to promptly perform the tasks and properly allocate duties among themselves according to their specialization and professional competencies. This form of task execution differs from the traditional completion of individual graphic tasks, and emulates the teamwork of professional architects using BIM methods.

*Keywords:* graphic training, student competition, BIM elements, complex task, team interaction, work optimization.

Неотъемлемой частью подготовки кадров в области BIM-технологий [1] является комплексное освоение информационных технологий. Понимание и оперативное применение методов компьютерных программ является необходимым условием интенсивного решения трудоемких задач, которые ставятся перед специалистом в области информационного моделирования.

К числу базовых элементов в BIM-моделировании обычно относят трёхмерную и (или) двумерную геометрическую модель объекта строительства. Начальное обучение студентов основным способам построения таких моделей в высших учебных заведениях осуществляется на кафедрах графического цикла [2–4]. В Рыбинском государственном авиационном техническом университете имени П. А. Соловьева (РГАТУ) на кафедре графики компьютерное геометрическое моделирование пронизывает весь учебный процесс. Изучение студентами графических дисциплин сопровождается самостоятельной работой с индивидуальными творческими разработками, участием в конкурсах [5].

Одной из наиболее эффективных форм начального обучения графическому компьютерному моделированию является построение учащимися геометрических моделей часто встречающихся объектов, к которым можно отнести геометрические архитектурные элементы экстерьера зданий. Особый интерес у учащихся представляет виртуальная реконструкция полностью или частично утраченного облика объекта строительства для изучения, сохранения архитектурного наследия [6] и реконструкции [7].

Такая работа актуальна и в настоящее время выполняется повсеместно. Построение трехмерной модели и визуализация в этом случае обычно осуществляется на основе сохранившихся архитектурных элементов, исторических фотографий и рабочей документации на исходное строительство и восстановление (при наличии). Для студентов решение такой задачи носит обычно исследовательский характер [7].

Оперативное построение электронных геометрических моделей утрачиваемых исторических объектов архитектуры в значительном числе случаев целесообразно выполнять с помощью комплекса существующих программ геометрическим построением отдельных элементов с последующей их компоновкой. Такой известный и широко применяемый способ трёхмерного моделирования зданий предложен в номинациях по применению современных информационных технологий в архитектуре трёх Всероссийских дистанционных конкурсов студенческой и учащейся молодежи, проведённых кафедрой графики РГАТУ в 2016, 2017 и 2019 годах. Автором статьи были разработаны исходные задания конкурсов, включающие ряд фотографий объекта архитектуры, геометрические и описательные данные. Для оценки работ сформированы критерии и привлечены организации, заинтересованные в проведении конкурсов. Задание составлялось для командного конкурса разновозрастной молодёжи, представляющей различные учреждения образования – высшие, средние, средние технические. Команда могла включать не более трёх конкурсантов.

Особенностью данных дистанционных конкурсов являлось единое комплексное задание на команду в целом, которое требовало применения различных графических компьютерных программ и активного взаимодействия в команде. Причём за короткий срок необходимо было выполнить элемент ВМ в виде узкоспециализированной задачи по созданию информационной геометрической модели и разного типа изображений экстерьера разрушаемого здания исторического наследия. В рассылаемом до конкурса положении не содержалось детальной информации о конкретном архитектурном объекте для моделирования. Приводились все сведения о требованиях к моделированию и к файлам визуализации.

Это позволяло руководителям и конкурсантам подобрать состав команды, настроить соответствующие программы и компьютерное оборудование. В каждом из дистанционных конкурсов 2016, 2017 и 2019 годов предлагались для моделирования архитектурные объекты культурного наследия Рыбинска – различные разрушаемые от времени и подлежащие реставрации здания.

Дистанционная форма конкурса удобна в связи с оперативностью проведения, из-за отсутствия трудностей в организации командировок команды конкурсантов из разных учебных заведений и применяется, в частности, в условиях пандемии [4]. Итоговое комплексное задание размещалось в определённое время на сайте РГАТУ. Для выполнения задания отводилось два дня. Исходные данные конкурса включали несколько десятков фотографий здания, план первого этажа, габаритные размеры, размеры всех проёмов окон и дверей. Приводилось словесное описание отдельных элементов здания, их цветов, материалов, геометрии. На нескольких фотографиях были отмечены точки на поверхности объекта, для которых указаны уровни, полученные электронным и ручным обмером.

Задание включало несколько взаимосвязанных разделов. Одним из элементов задания являлась разработка трёхмерной электронной геометрической модели архитектурного объекта. Следовало создать модель экстерьера здания с учётом возможной реставрации. Необходимо было разместить источники света, камеру и сферу, внутри которой должны располагаться разработанная геометрическая модель здания и камера. Другие геометрические элементы окружения здания могли по желанию команды применяться, но в конкурсе не оценивались. Электронная трёхмерная геометрическая модель здания служила основанием для получения командой фотореалистичных изображений – около десяти статичных и одного анимационного. В задании приведено было условие для расположения камеры для статичных изображений и траектория камеры при создании анимации. Детально исходные данные, задания и примеры работ команд конкурсов 2016, 2017 и 2019 годов приведены, соответственно, в публикациях [5, 8, 9]. На рис. 1 представлено в качестве примера статичное

изображение, созданное в конкурсе 2019 года командой РГАТУ в составе студентов РГАТУ Абдуллаева Хайытмырата, Кылычнзарова Максата и студентки Рыбинского полиграфического колледжа Никешиной Лилии.



Рис. 1. Трёхмерная модель здания после визуализации в конкурсе 2019 года

По заданию во всех конкурсах 2016, 2017, 2019 годов необходимо было также создать в графическом редакторе изображение фасада здания, соответствующее особенностям выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей.

В конкурсах предусматривалась работа в растровых редакторах. В частности, в конкурсе 2017 года необходимо было выполнить задание на рисование в растровом редакторе с преобразованием исходной фотографии здания. Требовалось компьютерное реставрирование здания с дорисовкой дополнительной пристройки и обеспечением реалистичности изображения.

При разработке информационных моделей зданий конкурсанты применяли необходимые для настоящей и будущей их деятельности основные элементы компьютерных графических программ. В растровых программах трансформировались и дорисовывались фотографические изображения, а затем с помощью методов векторной графики определялись размеры элементов экстерьера здания. Формировалась растровая текстура, и дорабатывались растровые файлы после визуализации. Построение трёхмерных моделей выполнялось в соответствующих программах векторной графики. Оптимальные визуализаторы конкурсанты применяли для разработки фотореалистичных статичных изображений и анимации. В значительном количестве работ двумерная векторная графика применялась для разработки фасадов зданий. Осуществлялась передача графических данных между всеми используемыми конкурсантами программами. Необходимость быстрого выполнения работ, большие размеры фотореалистичных растровых изображений, значительное количество полигонов в трёхмерной модели зданий потребовало проведения работ оптимизации [8].

Актуальным для учащихся являлось освоение комплексного использования основных графических программ в рассмотренных конкурсах, что приближало работу команды конкурсантов к деятельности группы специалистов по компьютерной графике в области BIM-моделирования.

Введение в индивидуальный план таких инициативных работ, выполняемых учащимся по собственным интересам в творческих видах деятельности, способствует повышению эффективности обучения.

## Литература

1. Пастух О.А., Кураков А.Ю. Роль BIM-технологий в проектировании, строительстве и подготовке квалифицированных кадров // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 344–354. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.045.
2. Шувалова С.С., Петухова А.В. Влияние технологий информационного моделирования на развитие системы инженерно-графической подготовки // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры:

материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 379–385. DOI: 10.23968/ВМАС.2020.049.

3. Королева Л.Н., Мельникова О.В. ВМ-технология в преподавании инженерной графики // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской научно-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 231–235.

4. Петрова Н.В. Особенности организации олимпиады с применением модульной объектно-ориентированной динамической учебной среды Moodle // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сборник трудов Междунар. научно-практич. конф., 24 апреля 2020 года, Брест – Новосибирск. Брест: БрГТУ, 2020. С. 200–203.

5. Токарев В.А. Творческое выполнение студентами комплексных конкурсных графических работ // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации: материалы VII Междунар. Интернет-конф. Пермь: ПНИПУ, 2017. Вып. 4. С. 363–370.

6. Ушакова О.Б. Виртуальная реконструкция как способ изучения и сохранения архитектурного наследия. Проект «Документация утраченного» // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 295–303. DOI: 10.23968/ВМАС.2020.038.

7. Юматова Э.Г., Анущенко А.М., Пирогов А.Д. Формирование исследовательских умений у студентов архитектурно-строительных вузов средствами компьютерных графических технологий // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сб. тр. Междунар. научно-практич. конф., 21 апреля 2017 года, Брест – Новосибирск. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2017. С. 274–279.

8. Токарев В.А., Грабовский И.И. Оптимизация графических моделей при проектировании изделий с большим количеством деталей // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: сб. тр. Междунар. научно-практич. конф., 19 апреля 2019 года, Брест – Новосибирск. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2019. С. 267–272.

9. Токарев В.А. Графические информационные технологии при разработке экстерьера здания в командном конкурсе разновозрастной молодежи // КОГРАФ – 2020: сб. матер. 30-й Всеросс. научно-практич. конф. по графическим информационным технологиям и системам. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2020. С. 160–164. DOI: 10.46960/43791586\_2020\_160.

УДК 378.147

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.060

**Хусайнова Галина Владимировна**, канд. физ.-мат. наук, доцент  
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет)  
*E-mail: aldisa@mail.ru*

**Мухаркина Анна Анатольевна**, старший преподаватель  
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет)  
*E-mail: muharkina@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9892-5858*

Khusainova Galina Vladimirovna, PhD of Sci. Phys.-Math., Associate Professor  
(Ural State University of Architecture and Arts)  
Mukharkina Anna Anatolevna, Senior Lecturer  
(Ural State University of Architecture and Arts)

## **РАЗРАБОТКА ЗАДАНИЯ ДЛЯ ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРМООБРАЗУЮЩИХ AUTODESK REVIT**

### **USING AUTODESK REVIT MASSES TO DESIGN GRAPHIC TASKS**

Графическая подготовка бакалавров архитектуры с использованием BIM-технологий происходит в процессе выполнения графических работ различных видов. Для обучения будущих бакалавров архитектуры необходимо разрабатывать задания для графических работ, чтобы преподаватели могли использовать качественные примеры для демонстрации цифрового инструментария студентам. В статье рассматривается концепция постановки графической задачи на построение цифровой модели здания с помощью кривых второго порядка. Приводится пример формулировки задания и продемонстрирован пример выполнения графической работы с использованием формообразующих элементов Autodesk Revit.

*Ключевые слова:* обучение BIM-технологиям, формообразующие элементы Autodesk Revit, задание для графической работы, кривая второго порядка.

BIM-based graphic training for bachelors of architecture involves the execution of graphic tasks of various kinds. To teach bachelors of architecture, it is necessary to develop graphic tasks so that the instructor could use high-quality examples to demonstrate digital tools to students. The article discusses the concept of setting a

graphic task that involves constructing a digital model of a building using curves of second order. We review how a task should be formulated and demonstrate an example of performing graphic work with the use of Autodesk Revit masses.

*Keywords:* BIM training, Autodesk Revit masses, graphic task, curve of second order.

Одним из приоритетных направлений развития высшего профессионального образования в подготовке бакалавров архитектуры является обучение ВІМ-технологиям с учетом требований профессиональных стандартов, таких как 10.008 Архитектор, 10.010 Ландшафтный архитектор, 10.011 Специалист в области проектирования мостовых сооружений [1], а также в соответствии с требованиями ФГОС ВО 07.03.01 Архитектура [2].

Согласно профессиональному стандарту 10.008 Архитектор будущему специалисту шестого уровня квалификации необходимо уметь:

- выбирать и применять оптимальные формы и методы изображения и моделирования архитектурной формы и пространства;
- использовать средства автоматизации архитектурно-строительного проектирования.

Ведущие преподаватели вузов архитектурно-строительного направления отмечают необходимость внедрения концепции ВІМ в учебный процесс [3–6]. Для обучения будущих бакалавров архитектуры необходимо разрабатывать задания для графических работ, чтобы преподаватели могли использовать качественные примеры для демонстрации возможностей и формирования навыков использования средств автоматизации архитектурно-строительного проектирования.

Цель разработки заданий для графических работ в дисциплине «Компьютерная визуализация архитектурного проектирования»: повышение качества подготовки будущих бакалавров архитектуры путем изучения примеров использования в архитектуре различного рода геометрических кривых и формирования содержательного компонента обучения с использованием формообразующих элементов проектирования раздела AP Autodesk Revit.

Основное направление технологии ВІМ – это визуализация процессов от проектирования до строительства. Создание цифровой



модели здания базируется на основе перевода визуальных изображений в цифровую форму с использованием математических и технических алгоритмов, а также инструментария графических программ.

Использование геометрических форм для получения полной картины модели здания облегчает разработку идей проектирования. В рамках контекстного редактирования существуют различные способы создания простейших геометрических форм [7]. По завершении концептуального проектирования в эти формы можно непосредственно добавлять формообразующие элементы [8, 9]. Однако простейшие геометрические формы ограничивают будущего архитектора в творчестве, без использования современных геометрических концепций построения поверхностей палитра инструментов бедна, поэтому важно включать в разработку методического содержания кривые второго и третьего порядков, тригонометрические кривые, кривые Безье и др.

Переведём вышеизложенные рассуждения в практическую область и представим концепцию разработки задания для графической работы. Графическая работа выполняется на основании выдаваемого каждому студенту индивидуального задания.

### **Теоретический материал для выполнения графической работы.**

**Кривые второго порядка** – геометрическое место точек, декартовы прямоугольные координаты которых удовлетворяют уравнению вида  $a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}x + 2a_{23}y + a_{33} = 0$  в котором по крайней мере один из коэффициентов  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{22}$  отличен от нуля. К кривым второго порядка относятся эллипс, парабола и гипербола [10]. Кривые второго порядка с давних времен применяются в сооружениях и используют в архитектуре.

Римский амфитеатр Колизей в плане представляет собой эллипс с ареной эллиптической формы в центре. Парабола является узнаваемым элементом многих мостов. В здании океанариума на востоке Валенсии автор проекта здания Феликс Кандел избегает вертикальных линий и прямых углов включив в основу формообразования параболу. Архитектор Владимир Григорьевич Шухов ввёл в конструкции гиперboloидную форму. Самая

первая в мире гиперболоидная конструкция – это Шуховская башня.

### **Формулировка графической работы.**

Разработать концепцию здания на основе двух кривых второго порядка. Построить цифровую модель здания с помощью формообразующих элементов.

### **Задачи графической работы.**

– Научиться использовать кривые второго порядка в цифровом проектировании зданий, отработать навыки построения и модификации кривых.

– Научиться работать с формообразующими элементами в редакторе Autodesk Revit.

– Построить цифровую модель концепции здания.

– Представить модель здания с разных ракурсов и в различном качестве с выгрузкой требуемых графических файлов.

### **Требования к результатам выполнения графической работы.**

– В работе необходимо использовать кривые второго порядка в концепции здания в качестве формообразующих элементов.

– Графическая работа должна содержать несколько трехмерных видов здания в том числе графический вид и вид фотографического качества.

– Модель здания должна быть вписана в окружающее пространство.

– Сохранить в файлы по шаблону `Фамилия_номер_группы.*` в форматах RVT и JPG и загрузить в электронную образовательную среду.

Пример выполненного задания представлен на рис. 1.

Таким образом, использование формообразующих элементов Autodesk Revit – это необходимая функция для архитекторов на этапе создания прототипа здания. Поэтому важно разрабатывать качественные задания для графических работ, которые включают в себя не только стандартный набор цифрового инструментария, а ещё и качественную математическую составляющую, чтобы будущий архитектор чувствовал уверенность в творческом процессе проектирования и мог соответствовать профессиональному стандарту.

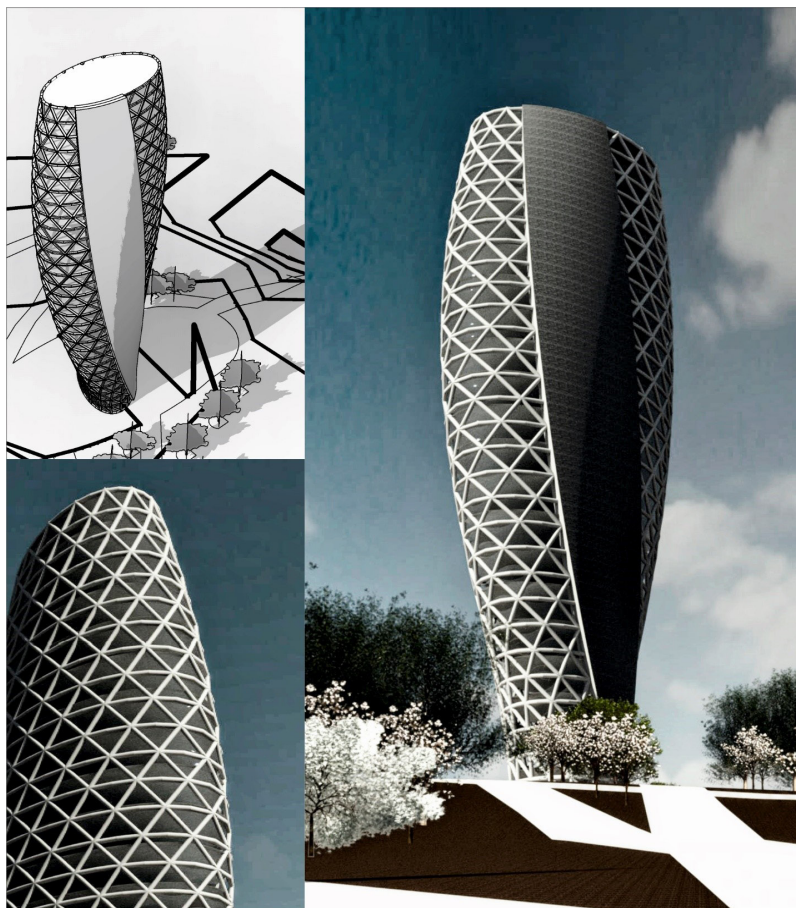


Рис. 1. Пример выполнения графической работы с использованием формообразующих элементов. Выполнил студент Сарапулов В.С.

## Литература

1. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. Профессиональные стандарты. URL: <http://fgosvo.ru/docs/101/69/2/10> (дата обращения: 16.02.2021).

2. Приказ министерства образования и науки Российской Федерации от 8 июня 2017 г. № 509 «Об утверждении Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования Бакалавриат Направление подготовки 07.03.01 Архитектура. URL: [http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/070301\\_B\\_3\\_29062017.pdf](http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Bak/070301_B_3_29062017.pdf) (дата обращения: 16.02.2021).
3. Безган Д.Ю. ВМ-технологии: подготовка новых кадров // Педагогическая наука и практика. 2018. № 4(22). С. 45–49.
4. Голдобина Л.А., Орлов П.С. ВМ-технологии и опыт их внедрения в учебный процесс при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство» // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 263–272. DOI: 10.18454/zpmi.2017.2.263.
5. Гришина Н.М., Чалый Ю.Ю. Проблемы и перспективы обучения ВМ в ВУЗах: управление развитием в строительстве // Известия КГАСУ. 2017. № 3(41). С. 277–288.
6. Семенов А.А. Интеграция концепции ВМ в учебный процесс строительных вузов // ВМ-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всероссийской науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 207–211.
7. Хусаинова Г.В., Хусаинов Д.З. Создание основных геометрических форм в среде контекстного редактирования // Фундаментальные и прикладные науки сегодня: материалы XXIII междунар. науч.-практич. конф. Lulu Press Inc., 2020. С. 69–73.
8. Вандезанд Д., Рид Ф., Кригел Э. Autodesk: Revit Architecture 2013–2014. Официальный учебный курс. Пер.: В. Талапов. ДМК Пресс, 2013. 328 с.
9. Ланцов А.Л. AutoDesk Revit 2015. Компьютерное проектирование зданий. М.: РИОР, 2014. 664 с.
10. Математическая энциклопедия (в 5-и томах). М.: Советская Энциклопедия, 1982.

УДК 331.45

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.061

**Шарманов Владимир Владимирович**, канд. техн. наук,  
старший преподаватель

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: sharmanov\_v@mail.ru*

**Кораблин Вячеслав Игоревич**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: korablin.vi@edu.spbstu.ru*

**Михайлов Кирилл Дмитриевич**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: mihajlov.kd@edu.spbstu.ru*

Sharmanov Vladimir Vladimirovich, PhD of Sci. Tech., Senior Lecturer  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Korablin Vyacheslav Igorevich, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Mihaylov Kirill Dmitrievich, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ**

### **APPLICATION OF BIM TECHNOLOGY FOR SIMULATING SAFE WORKING CONDITIONS AT A CONSTRUCTION SITE**

Строительная отрасль является одним из драйверов и ключевых отраслей отечественной экономики, являясь в то же время одним из лидеров по травмоопасности. В связи с этим необходимы технологии, которые бы позволили прогнозировать травматизм на строительных объектах и повышать роль строительной отрасли, а также нужны специалисты, которые могли бы организовывать безопасные условия труда на строительных площадках. Таким образом, необходима подготовка будущих высококвалифицированных кадров, которые, владея информацией и технологиями, были бы способны прогнозировать травматизм на объектах строительства на всех этапах реализации инвестиционно-строительных проектов. В статье рассматривается возможность применения BIM-технологии для повышения безопасности условий труда на строительной площадке на этапе подготовки проектной

документации через моделирование строительных процессов и элементов безопасности в рамках учебного процесса.

*Ключевые слова:* ВІМ-технологии, охрана труда, травматизм, информационное моделирование зданий, инвестиционно-строительный проект, Autodesk.

Nowadays, the construction sector is one of the drivers and key industries of the Russian economy, but at the same time, it is characterized by one of the highest injury rates. This creates a need for technologies that will help to predict injuries at construction sites and enhance the role of the construction industry. At the same time, there is a need for experts that could create safe working conditions at construction sites. To solve this problem, it is necessary to train future highly qualified professionals, capable of using the necessary information and technologies, as well as predicting injuries at the construction site at all stages of investment and construction. The article discusses the possibility of adopting BIM technologies to improve workplace safety at construction sites at the documentation stage, by modeling construction processes and safety elements as a part of the training process.

*Keywords:* BIM technologies, workplace safety, injury rate, investment and construction project, Autodesk.

Строительная отрасль является одним из драйверов экономической отрасли в Российской Федерации, она обеспечивает порядка 4–6 % внутреннего валового продукта страны. В то же время для сохранения такого темпа необходимы современные инновационные технологии, которые бы позволили обеспечить развитие данной отрасли. Сегодня такими инновационными технологиями являются ВІМ-технологии (Building Information Modeling) [1–3].

ВІМ-технологию можно охарактеризовать как технологию, позволяющую организовать единое пространство для работы с информационной моделью на протяжении всего жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта, затрагивая все основные системы будущего здания [4–5]. Но с развитием темпов роста строительного производства возможно и снижение уровня охраны труда на объектах строительства, что, несомненно, повысит показатели травматизма по отрасли, а реальные расходы предприятия на обеспечение нормальных условий труда только возрастут.

Авторы [6–8] предлагают на этапе проектирования оценивать возможные неблагоприятные ситуации на строительной площадке, используя BIM-модель. В связи с этим необходимо внедрение современных информационных технологий в систему охраны труда, которые бы позволяли моделировать элементы безопасности на строительных площадках и проводить предиктивный анализ возможных неблагоприятных ситуаций.

Одними из основных элементов, позволяющих обеспечить безопасные условия труда на объектах строительства являются: организация рабочего места, санитарно-гигиеническое обеспечение рабочих водой, теплом, одеждой, инструментом, безопасное складирование конструктивных элементов будущего здания, организация ограждения на высоте и перепадах высот, правила внутреннего распорядка, правила организации строительно-монтажных работ, безопасное размещение бытовых и административных зданий и многое другое. Обязательным условием достижения желаемого результата является необходимость соблюдения требований нормативных документов. При этом существующая ситуация на строительных объектах показывает обратный эффект ввиду повышенной конкуренции на строительном рынке, увеличения объёмов строительно-монтажных работ и привлечение низкоквалифицированных работников. В связи с этим вопросы обеспечения безопасности на строительной площадке уходят на второй план.

Внедрение и использования BIM-технологий на этапе подготовки проектной документации представляется наиболее эффективным решением. Такой подход, несомненно, повлияет на организацию безопасных условий труда на этапе строительства и поможет решить сложившуюся проблему. В связи с этим необходимо активно заниматься подготовкой специалистов в университетах. Работая со студентами, повышать их компетентность в вопросах охраны труда и проектирования с применением BIM-технологий.

В связи с этим в рамках учебной программы предлагается смоделировать и рассмотреть организацию безопасных условий труда на строительной площадке.

В качестве инструментов для создания безопасной ВМ-модели будем использовать программный продукт Autodesk Revit, а для работы с информационной моделью – Autodesk Navisworks. Выбор программных продуктов обусловлен их доступностью и приемлемой стоимостью по сравнению с аналогами такими, как Tekla Structures, Bentley и др. Несомненным преимуществом выбранных программных продуктов является возможность построения архитектурных и конструктивных элементов информационной модели с возможностью их динамического изменения в процессе строительства [8].

Программный продукт Autodesk Revit – система автоматизированного проектирования (САПР) для создания ВМ-моделей объектов строительства, а также конструкторской, технологической, архитектурной и иной документации. Autodesk Navisworks позволяет проверить ВМ-модель на коллизии, а также интегрировать в информационную модель календарный график строительства.

Принцип организации безопасных условий труда на строительной площадке с использованием вышеуказанных программных продуктов рассмотрим на примере студенческого проекта «Ресторан на 160 посадочных мест» в рамках дисциплины «Цифровое моделирование безопасности строительства», которую изучают студенты бакалавриата по направлению «Строительство» инженерно-строительного института Санкт-Петербургского Политехнического университета Петра Великого (рис. 1).

Работа по моделированию элементов безопасности была начата после изучения теоретического курса по основам системы охраны труда. Подробно рассмотрены вопросы организации безопасных условий труда при тех или иных строительных процессах, особенности организации работ на высоте с применением средств индивидуальной защиты, использование средств подмащивания и ручных инструментов. На основании этого были определены наиболее уязвимые места на строительной площадке, где работник может чаще подвергаться риску. С помощью программы Autodesk Revit были смоделированы элементы безопасности на данных участках. Стандартные



инструменты и библиотеки Autodesk Revit не позволяли осуществить моделирование элементов безопасности, поэтому были разработаны и дополнены существующие библиотеки новыми семействами такими, как ограждающие защитные конструкций, подмости и др.



Рис. 1. Общий вид строительной площадки

Все смоделированные элементы, используемые для организации обеспечения безопасности на строительной площадке, выполнены согласно нормативной документации. Смоделированным элементам были назначены геометрические параметры и параметры материала.

Примером может служить создание семейства ограждающих конструкций, разработанного на основе семейства «метрическая система, типовая модель». Созданному элементу были присвоены категория «ограждение» и габаритные параметры, а также параметры материалов для стойки и горизонтальных элементов ограждающей конструкции. При этом в проекте были созданы семейства с разными типоразмерами, позволяющими изменять элементы в зависимости от ограждаемой части (рис. 2).

Аналогичным образом и с таким же уровнем детализации были созданы остальные элементы, обеспечивающие безопасность на строительной площадке [9–12].

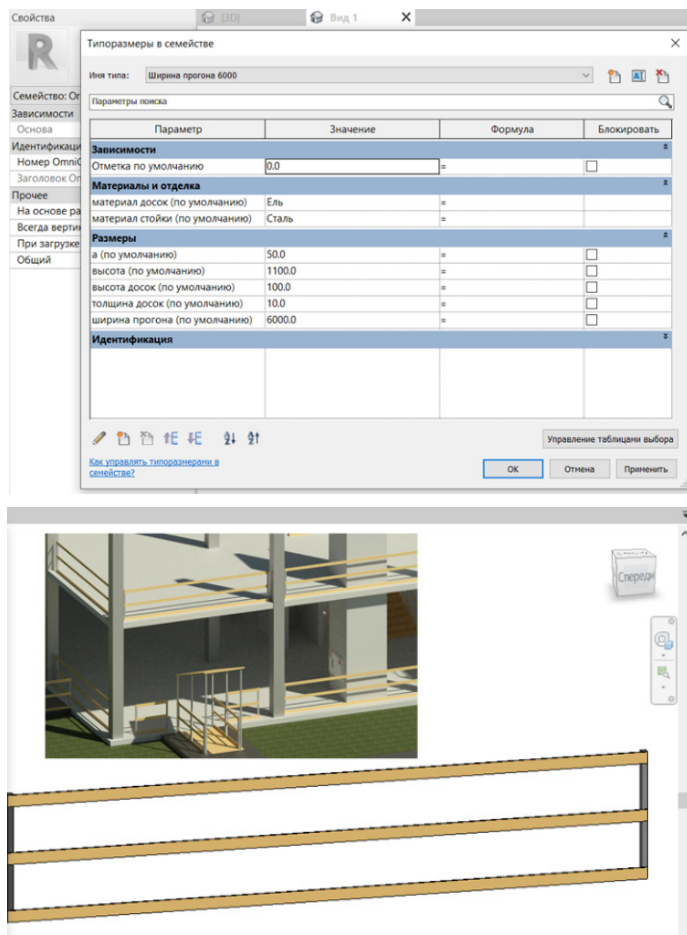


Рис. 2. Общий вид ограждающего элемента и его модель в семействе

Таким образом, результатом работы стала наглядная информационная ВМ-модель проектируемого здания с элементами безопасности, с помощью которой на этапе строительства можно заранее планировать мероприятия по охране труда, снижая риски травматизма. А интегрирование календарного графика

строительства с элементами безопасности позволит определить сроки и ответственных за их установку.

Такой интегрированный подход в учебном процессе студентов, где с одной стороны осваиваются современные технологии автоматизированного проектирования с использованием программных продуктов компании Autodesk, а с другой – изучаются основные принципы организации безопасных условий труда на строительной площадке, позволяет легче воспринимать учебный материал и специализированную нормативную документацию, основываясь на принципах визуализации полученных знаний. Таким образом, можно подготовить будущих специалистов, которые смогут без проблем ориентироваться как в вопросах использования программ автоматизированного проектирования, так и в вопросах организации безопасных условий труда.

### Литература

1. Аблязов Т.Х., Петров И.С., Михайлова А.О. Цифровая трансформация строительной сферы как способ роста ВВП России // Инновации и инвестиции. 2019. № 10. С. 400–405.
2. Porter S., Tan T., Tan T., West G. Breaking into BIM: Performing static and dynamic security analysis with the aid of BIM // Automation in Construction. 2014. Vol. 40. P. 84–95. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.12.002.
3. Талапов В.В. BIM: что под этим обычно понимают. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=14078](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=14078) (дата обращения: 05.02.2021).
4. Aziz D., Nawawi A.H., Ariff R.M. ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modelling (BIM) as the Latest Technology // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 234. P. 363–371. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.10.253.
5. Ding L.Y., Zhong B.T., Wu S., Luo H.B. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology // Safety Science. 2016. Vol. 87. P. 202–213. DOI: 10.1016/j.ssci.2016.04.008.
6. Park J.W., Chen J., Cho Y.K. Self-corrective knowledge-based hybrid tracking system using BIM and multimodal sensors // Advanced Engineering Informatics. 2017. Vol. 32. P. 126–138. DOI: 10.1016/j.aei.2017.02.001.
7. Zou Y., Kiviniemi A., Jones S.W. A review of risk management through BIM and BIM-related technologies // Safety Science. 2016. Vol. 81. P. 78–83. DOI: 10.1016/j.ssci.2015.12.027.
8. Шарманов В.В. Мониторинг и оценка уровня охраны труда строительного производства с привлечением комплекса средств BIM-технологии: дис.

канд. тех. наук: 05.26.01/ Шарманов Владимир Владимирович; г. Волгоград, 2020. 140 с.

9. Sharmanov V., Narezhnaya T., Davydov A. Threat level in the workplace // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 217. P. 08010. DOI: 10.1051/e3sconf/202021708010.

10. Simankina T., Romanovich M., Sharmanov V., Mamaev A. Blagodatskaya A. Risk-based construction safety index as an integral indicator in the agricultural sector // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175. P. 12001. DOI: 10.1051/e3sconf/202017512001.

11. Sigalov K., Konig M. Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules // Advanced Engineering Informatics. 2017. Vol. 31. P. 45–48. DOI: 10.1016/j.aei.2016.12.003.

12. Bradley H., Lark R., Dunn S. BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective // Automation in Construction. 2016. Vol. 71(2). P. 139–152. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.08.019.

## ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 004.92:004.94

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.062

**Диско Анастасия Игоревна**, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: [disko2020@inbox.ru](mailto:disko2020@inbox.ru), ORCID: 0000-0003-0346-7952*

Disko Anastasiya Igorevna, master student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ КАК ИНСТРУМЕНТА КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПРОЕКТОМ**

### **ON THE HISTORY OF BIM TECHNOLOGIES AS A TOOL FOR INTEGRATED MANAGEMENT OF INVESTMENT PROJECTS**

Проведен обзор основных этапов развития информационного моделирования зданий и сооружений. Рассмотрены различные программные продукты для проектирования, визуализации и управления проектом. Проведен анализ этапов создания альянсов для решения проблемы взаимодействия участников строительного процесса. Представлен обзор истории создания информационной платформы для комплексного управления проектом. Дана оценка степени развития BIM-технологий. Описаны возможности VDC и применение технологии в современном мире. Выделены основные этапы внедрения информационного моделирования в России. Показаны основные проблемы и трудности использования BIM-технологий.

*Ключевые слова:* BIM-технологии, VDC, информационная модель, инновационный, управление, визуализация.

The article reviews the main stages in the development of information modeling of buildings and structures. It covers various software products for design, visualization, and project management. The article analyzes the stages of

creating alliances to resolve the issues of interaction between parties involved in the construction process. It reviews the history of creating an information platform for integrated project management. The degree of BIM development gets assessed as well. The article describes the capabilities of VDC and the application of the technology in the modern world. It highlights the main stages of introducing information modeling in Russia. It further discusses the main issues and challenges of BIM application.

*Keywords:* BIM technologies, VDC, information model, innovations, management, visualization.

Сфера строительства – одна из самых масштабных на рынке и стремительно набирает обороты в разработке и применении инновационных технологий и программного обеспечения. Заказчики хотят выполнения работ точно в срок, без лишних издержек и дополнительного финансирования. Незначительные ошибки в чертежах и календарных графиках, коллизии могут привести к рисковому событию. Сейчас для решения данных проблем мы используем программные комплексы на каждом этапе строительного производства.

Интерес инженеров к двух- и трехмерной геометрии появился примерно в конце 50-х, начале 60-х годов XX века. Самый большой прорыв был сделан Иваном Сазерлендом (Ivan Sutherland) в 1963 году. Он представил Sketchpad, также известный как «Робот-чертежник». Sketchpad считается родоначальником современных программ автоматизированного проектирования и анимации. Пользователь Sketchpad мог делать наброски (прямые, отрезки, дуги, окружности и т. п.) прямо на экране компьютера с помощью «светового пера», система содержала программы ввода, вывода и вычислений. Sketchpad мог решать широкий круг задач, например, определение распределения сил в элементах конструкций. Одним из первых проектов, успешно создавших базу данных объекта строительства, была система описания зданий (BDS), с помощью которой можно было «собрать» объект из конкретных архитектурных элементов. Проект был разработан в 1975 году архитектором по образованию Чарльзом Истманом (Charles M. Eastman). В этот же период архитектор и стратег Autodesk Фил Бернштейн (Phil Bernstein) употребил термин «Информационное моделирование зданий» (Building information modeling).

В 1980-е годы создается целый ряд программного обеспечения: GDS, Gable 4D, RUCAPS, Sonata, Reflex. Наступает новая веха в развитии BIM технологий: помимо геометрического моделирования в процесс создания информационной модели начали входить данные по технологическому процессу с увязкой во времени. Это дало большой толчок в развитии «четырёхмерных» моделей с временным параметром. Первым программным продуктом, в котором использовалась данная концепция, стал RUCAPS, разработанный в 1986 году. RUCAPS использовался для содействия в строительстве Терминала 3 аэропорта Хитроу. Стоит отметить, что в то время программы продавались вместе с рабочими станциями, это означает, что стоили они дорого и позволить их могли очень крупные проектные компании.

В Венгрии в 1982 году Габор Байор (Gábor Bojár) основал Graphisoft. Впечатляющие возможности Graphisoft и их разработка архитектурных САПР в 2D и 3D технологиях привлекли Apple Inc. в качестве партнеров. Это позволило Graphisoft создать ArchiCAD для Macintosh, официально выпущенный в 1987 году. Сначала он был представлен как концепция виртуального здания, а затем как программное обеспечение для информационного моделирования зданий, что сделало ArchiCAD первой реализацией BIM на персональном компьютере. В 1988 году компания PTC (Parametric Technology Corporation) выпустила первую версию флагманского программного обеспечения САПР, Pro / ENGINEER [1], которое позволяло изменениям, внесенным на одном этапе процесса, автоматически отражаться на всех других этапах. В 2000 году Ирвин Джунгрейс (Irvin Jungreis) и Леонид Райз (Leonid Raiz) выпускают программу под названием Revit. Программное обеспечение для параметрического проектирования не было новым, но в Revit был реализован подход к базе данных, при котором все обновления в 2D, 3D или расписании отображаются как отдельные элементы базы данных. Новой была концепция редактора семейств, в которой пользователи могли разрабатывать и настраивать элементы [2]. Также в Revit была реализована возможность добавлять атрибут времени к компоненту 3D модели, что позволяет создавать календарные графики и моделировать процесс строительства.

Одним из первых таких проектов была «Башня свободы» (Freedom tower) в США. В 2002 году Revit приобрела компания Autodesk.

С активным развитием отрасли BIM проектирования и с созданием разнообразных программных продуктов, архитекторы и инженеры сталкиваются с проблемой взаимодействия. Различные форматы файлов теряют точность при перемещении между платформами [3]. В связи с этим было принято решение о создании международного некоммерческого альянса buildingSMART International [4]. А в 2017 году было сформировано российское отделение buildingSMART Russia. Данные объединения стремились к созданию единого стандарта хранения информации [2]. Так, в 1995 году был разработан формат файла IFC (International Foundation Class), который адаптируется к разным BIM программам и позволяет производить обмен данными без потери информации. В 2001 году была разработана программа JetStream, ныне Navisworks, которая позволяла координировать данные в различных форматах, моделировать конструкции и проверять модель на коллизии. В 2007 году была куплена Autodesk. На этом этапе можно наблюдать интенсивное развитие 4D-моделирования и появление 5D-модели, которая включает в себя, помимо прочего, стоимость проекта.

Еще одной ветвью развития BIM как инструмента комплексного управления проектом является VDC (Virtual design and construction). VDC включает в себя цифровой менеджмент на всех стадиях инвестиционного проекта и коммуникацию среди заинтересованных участников строительства. Аббревиатура VDC была впервые сформулирована и введена в качестве концепции CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) при Стэнфордском университете Калифорнии еще в 2001 году, тогда как BIM фактически все еще находился в зачаточном состоянии [5]. Концепцию методологии VDC сформулировал директор CIFE, профессор Мартин Фишер. VDC состоит из трех основных элементов – BIM, PPM (Product Production Management), ICE (Integrated Concurrent Engineering). Собственно, PPM отвечает за методику налаживания производственного процесса, управления ресурсами, а ICE включает в себя метод проведения междисциплинарных встреч



с использованием современных технологий визуализации, при котором одновременно ведутся проектные работы [5]. Этот метод был изобретен и использован в середине 1990-х годов командой из NASA. Компания Autodesk предлагает координаторам VDC использовать коллекцию AEC, в которую входят программы Revit, Navisworks, AutoCAD, 3DS MAX, Ifraworks, что позволяет планировать, проектировать, строить и управлять зданиями виртуально (рис. 1).

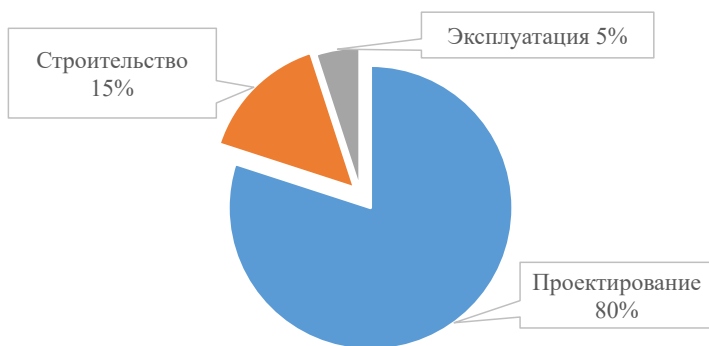


Рис. 1. Доля от общего объема внедрения BIM на разных этапах жизненного цикла

Главным конкурентом в этой нише является программный продукт SYNCHRO компании Bentley Systems. Портфель программного обеспечения SYNCHRO направлен на управление цифровыми строительными процессами, в который входят SYNCHRO 4D, SYNCHRO control, SYNCHRO Field, SYNCHRO AWP. Эти инструменты предоставляют больше возможностей для работы с пространственно-временными коллизиями: позволяют делить 3D-элементы на отдельные части для возможности выполнения работ по захваткам; дают возможность создавать простые 3D-элементы для моделирования временных конструкций; включают в себя функционал «Визуальные профили»; позволяют учесть движение техники по объекту [6]. В SYNCHRO Control

представлена общая информация о проекте, возможность оставлять замечания, составлять отчеты и вести весь документооборот в одном месте. Таким образом, SYNCHRO можно использовать одновременно и для планирования, и для 4D-моделирования проекта [7]. Таким образом, на сегодняшний день мы имеем все необходимые ресурсы для интеграции задач и процессов строительства, что позволяет эффективно управлять проектом.

Во многих странах технологии ВІМ внедрены и используются на законодательном уровне. В России создание нормативно-технической базы информационного моделирования в строительстве началось с 2014 года [8]. В 2017 году был утвержден план по внедрению ВІМ-технологий в сфере строительства. Впервые в градостроительном кодексе в 2019 году закреплено понятие информационного моделирования. В 2021 году планируется приступить к обязательному использованию цифровых моделей объектов в сфере госзаказа. Однако процесс перехода России на ВІМ-технологии претерпевает трудности. Это связано с тем, что техническое обеспечение требует больших затрат. В связи с относительно недавним набором популярности ВІМ, на рынке труда нет достаточного количества специалистов в этой сфере. Университеты только начинают обучать основам ВІМ-проектирования и популяризировать эту нишу среди студентов. Также существует привязка к единственному поставщику программного обеспечения, поэтому возникает сложность в решении частных задач оптимальными инструментами, вместо стандартного набора возможностей программы. Но это не говорит о неэффективности применения ВІМ в целом. Для создания комфортной ВІМ среды необходимы определенные условия и ресурсы [9].

Идея использования компьютерных технологий в качестве инструмента проектирования появилась более 50 лет назад, впоследствии она проявила свой потенциал и продолжает развиваться по сей день. Сейчас мы говорим о ВІМ-модели, как о комплексном продукте, который несет в себе информацию об архитектурных, инженерных решениях, времени, стоимости и элементах управления и эксплуатации. Главным преимуществом ВІМ является автоматизация трудоемких и сложных процессов, что минимизирует

возможные риски и ошибки в проектировании и строительстве. Благодаря специализированным программным продуктам управление и организация строительства выходит на новый уровень быстрого и эффективного решения возникающих проблем, и повышение качества и контроля за производством работ непосредственно на стройплощадке.

### Литература

1. Шеина С.Г., Петров К.С., Федоров А.А. Исследование этапов развития BIM-технологий в мировой практике и России // Строительство и технологическая безопасность: сборник научных трудов АСИА ФГАОУ ВО. 2019. № 14(66). С. 7–13.
2. Орлова Я.А., Никишина Г.А. История развития информационного моделирования зданий и сооружений // Огарев-Online. 2019. № 5(126). URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/istoriya-razvitiya-informacionnogo-modelirovaniya-zdaniy-i-sooruzhenij>.
3. A Brief History of BIM. URL: <https://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim> (дата обращения: 25.02.2021).
4. Ожиганова М.Е., Ремпель А.В. Взаимодействие Renga, Navisworks в BIM-проектировании // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: материалы II Всероссийской науч.-практич. конф. с межд. участием. УрГАХУ, 2019. С. 33.
5. What is Virtual Design and Construction? VDC definition. URL: <https://bimcorner.com/what-is-virtual-design-and-construction/> (дата обращения: 01.03.2021).
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. DOI: 10.36627/2075-1214-2020-4-4-276-28.
7. Бовтеев С.В. Применение 4D-моделирования в целях повышения эффективности календарного планирования строительства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 81–87. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.009.
8. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 29 декабря 2014 года N 926/пр «Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства». URL: <http://www.minstroyrf.ru/docs/2663/> (дата обращения: 01.03.2021).
9. Горшков А.М., Железнов С.А., Лемешко Р.А., Пойда С.В. Внедрение BIM технологий в строительство // AlfaBuild. 2019. № 4(11). С. 70–81.

**УДК 69.055**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.063

**Каримова Алина Азаматовна**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* alinakari19@gmail.com, *ORCID:* 0000-0001-7341-1132

**Ибатуллина Диана Ришатовна**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* dishadiana673@gmail.com, *ORCID:* 0000-0001-9256-2497

**Разживина Анастасия Эдуардовна**, магистрант

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail:* razzhivina.ae@edu.spbstu.ru, *ORCID:* 0000-0002-4536-8496

Karimova Alina Azamatovna, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Ibatullina Diana Rishatovna, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Razzhivina Anastasiia Eduardovna, master student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ І ЦИФРОВІЗАЦІЯ В НЕФТЕГАЗОВОЇ ОТРАСЛІ**

### **BIM TECHNOLOGIES AND DIGITAL TRANSFORMATION IN THE OIL AND GAS INDUSTRY**

В статье рассмотрена перспектива внедрения BIM технологий и цифровизации на всех стадиях жизненного цикла проектов нефтегазовой отрасли. Приведена статистика положения России в рейтинге цифровой конкурентоспособности и обозначены основные проблемы, которые возникают при введении новых технологий при проектировании и строительстве объектов.

Основная часть статьи посвящена оценке возможности применения BIM-технологий, а именно 4D-, 5D-, 6D-моделирования в связке с цифровыми технологиями IoT и ГИС. Описаны положительные и возможные отрицательные последствия применения каждой технологии и приведены статистические данные компаний, которые уже начали цифровизацию и введение BIM технологий.

*Ключевые слова:* BIM, цифровизация, 4D-моделирование, 5D-моделирование, 6D-моделирование, Интернет Вещей, дистанционное зондирование, нефтегазовая отрасль.

The article discusses the prospects for the introduction of BIM technologies and digital transformation at all stages of the life cycle of oil and gas projects. We provide statistics of Russia's position in the digital competitiveness rankings and outline the main problems that emerge when integrating new technologies into facility design and construction.

The main section of the article is devoted to assessing the possibilities of using BIM technologies, namely 4D, 5D, and 6D modeling in conjunction with digital IoT and GIS technologies. We describe the positive and possible negative consequences of using each technology and provide statistical data for companies that have already begun transforming digitally and introducing BIM technologies.

*Keywords:* BIM, digital transformation, 4D modeling, 5D modeling, 6D modeling, Internet of Things, remote sensing, oil and gas industry.

BIM играет важную роль в современной тенденции цифровизации проектной и строительной деятельности.

Цифровизация промышленных предприятий сегодня обусловлена необходимостью обрабатывать огромные массивы данных, возникающие на крупных производствах. Решение данной проблемы возможно за счет использования машин, которые не только выполняют автоматические действия, но и служат информационными базами, вовлеченными во все этапы производства.

Нефтегазовая промышленность является одной из ключевых отраслей российской экономики. Освоение нефтегазовых ресурсов Арктической зоны России продолжает оставаться одним из главных направлений развития.

Внедрение и применение цифровых технологий позволит повысить производительность предприятий посредством сокращения сроков проектирования и строительства, а также оптимизировать ресурсы компаний, что повысит эффективность их работы в целом [1].

Строительство и эксплуатация объектов нефтегазовой промышленности в условиях крайнего севера ввиду климатических и геологических условий требуют особые современные решения проблем улучшения условий работы, оттаивания вечномерзлых грунтов, обеспечения промышленной и экологической безопасности.

Применение таких ВМ-технологий, как 4D-, 5D-, 6D-моделирование в связке с цифровыми технологиями IoT и ГИС послужит комплексным решением существующих проблем.

4D-модель – связка 3D-модели объекта с календарно сетевым графиком производства работ позволяет осуществить визуальный анализ производства работ, выполнить вариантную проработку, выявить пространственно-временные коллизии, увязать технологии строительно-монтажных работ с обеспечивающими процессами, выдачей руководящих документов и поставками строительно-монтажных материалов, тем самым обеспечивая правильное планирование и оптимизацию графика строительства. Данная технология активно применяется в АО «Нипигаз», где с помощью ВМ трудозатраты сокращаются на 10 % [2].

5D-модель – это информационная модель, включающего в себя кроме информации о положении элементов объекта в пространстве и времени любую другую исчисляемую характеристику, такую как стоимость. Формирование достаточно точных расчетов смет прямых затрат позволит инвестору оперативно получать информацию по стоимости будущего объекта и на любом этапе вносить корректировки в проектное решение, исходя из стоимостных характеристик.

6D-модель – модель, полученная на стадии проектирования, которая является хранилищем всех изменений и реконструкций уже после возведения. Практически это виртуальный паспорт здания, который позволит эффективно осуществлять управление недвижимостью, включая мониторинг состояния объекта, текущий и плановый ремонт, реконструкцию и энергоэффективность здания [3].

Обеспечить функционирование ВМ-технологий на протяжении всего жизненного цикла объекта позволит использование таких цифровых технологий, как IoT – Internet of Things.

Основное назначение IoT – решать сложную задачу быстрого массового сбора технологических данных с большого количества производственных объектов нефтегазовой компании [4].

Умные датчики сами собирают данные, обмениваются ими, анализируют и при возникновении внештатных ситуаций передают предупреждающие сигналы в управляющий или диспетчерский

центр. Это позволяет контролировать работу всего парка оборудования и техники на предприятии или месторождении, прогнозировать его технологическое состояние и организовать безопасную эксплуатацию.

Технология интернет вещей позволяет мониторить точки неэффективного энергопотребления: можно отслеживать в онлайн-режиме, какие параметры влияют на энергопотребление, насколько потребление отклоняется от плана, какова динамика «расхода» по сравнению с прошлыми периодами. Сегодня такая система аналитики энергопотребления применяется АО «Сургутнефтегаз», где объем экономии электроэнергии за 2019 год – 1492 ГВт/ч, за 2018 год – 1244 ГВт/ч, учитывая показатели вышеуказанной системы [5].

ПАО «ЛУКОЙЛ» считает, что полное использование потенциала таких цифровых технологий, как цифровые двойники, цифровой персонал, роботизация и цифровая экосистема может существенно повысить прибыль Группы ЛУКОЙЛ. Так добыча может быть увеличена на 2-3 %, а затраты на ремонт оборудования — снижены на 15-20 % [6].

Географическая информация является важной составляющей инвестиционно-строительной деятельности. Результатом интеграции ВМ и ГИС может быть подробная контекстная модель. Такая модель позволяет более эффективно принимать проектные решения, внедрять инновации на этапах планирования, проектирования и эксплуатации.

Одним из источников данных для ГИС являются данные дистанционного зондирования (ДЗ), получаемые с космических аппаратов и спутников материалы. На пути перехода к цифровому интеллектуальному месторождению находится АО «Татнефть». С 2016 г центр моделирования работает над обеспечением постоянно действующих геолого-гидродинамическими моделями все основные объекты разработки [7].

Применение ДЗЗ по сравнению с натурными изыскательскими работами имеет технологические и социально-экономические преимущества:

1. Создание цифровой модели рельефа и продольных профилей по территории газового месторождения.

2. Точность полученной информации. При анализе зоны используются снимки из космоса, в итоге ведется обследование конкретной территории в конкретное время.

3. Создание фотогеологических карт, карт элементов геологического строения, и карт оптимального размещения поисковых и разведочных скважин.

4. Мониторинг деформации земной поверхности по космическим радарным данным с целью выявления участков развития опасных геологических, техногенных и природных процессов и явлений.

5. Дистанционное обследование минимизирует временные и финансовые затраты, не требуется наем специализированной техники и персонала.

6. Работа в труднодоступных районах при различных климатических условиях.

7. Разведка может вестись на любой территории без привязки к границам, в итоге от заказчика не требуется получения специального разрешения.

Применение ВМ и цифровых технологий при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов нефтегазовой промышленности в условиях крайнего севера имеет следующие эффекты:

- оптимизация технологических процессов, ведущих к оттаиванию вечномерзлых грунтов;
- оптимизация использования ресурсов на протяжении всего жизненного цикла объекта на основании данных мониторинга;
- снижение временных и финансовых затрат по сравнению с использованием традиционных методов проектно-исследовательских работ;
- снижение негативного влияния проектируемого объекта на окружающую среду путем уменьшения количества поисково-разведочных скважин;
- обеспечение безопасности объекта путем постоянного мониторинга (как следствие проведение своевременных превентивных мер) и контроль состояния вечномерзлых грунтов.

Несмотря на все преимущества цифровизация в нефтегазовой отрасли отстает от западных стран. Причин несколько:



- нестабильность экономики, усугубленная санкциями – отечественный рынок не изобилует качественным аппаратным и программным обеспечением;
- отсутствие четких стандартов в сфере цифровых технологий;
- нехватка квалифицированных специалистов;
- стремление бизнеса к быстрому получению прибыли – срок окупаемости инновационных технологий, который может превышать 10 лет не привлекает инвесторов.

Согласно данным, представленным Международным институтом управленческого развития во «Всемирном рейтинге цифровой конкурентоспособности», где место присваивается по совокупному результату, показанному в 3 категориях: «Знания», «Технологии», «Готовность к будущему», Россия в 2020 году заняла 38 место. А согласно плану внедрения BIM-технологий в строительство в России от 2019 года, к 2022 году применение BIM-технологии станет обязательным для проектов госзаказа. Таким образом, цифровизация и BIM-моделирование – это перспективная отрасль развития любого предприятия.

## Литература

1. Тарасова А.Н. Цифровизация в нефтегазовой отрасли как путь к развитию // цифровая экономика: проблемы и перспективы развития: сборник научных статей Межрег. научно-практич. конф. Астрахань: АГУ, 2019. С. 410–415.
2. Степанец Л.Ю., Акопян Э.А. Анализ развития и эффективность внедрения цифровизации в нефтегазовую отрасль // Инновационная наука. 2018. № 7(8). С. 69–72.
3. Антошкина А.В., Патлюк В.Ю., Телишева К.С. Перспективы формирования предпринимательских экосистем нефтегазовой отрасли в условиях цифровизации экономики // Экономика и предпринимательство. КубГУ, 2020. № 3(116). С. 714–721. DOI: 10.34925/EIP.2020.116.3.148.
4. Тойватров В.Ю. Снижение издержек с помощью цифровизации и автоматизации нефтегазового предприятия (отрасли) // Устойчивое развитие науки и образования. 2020. № 12(51). С. 37–40.
5. Марисов Д.А., Зацепин А.Ю., Марин Е.А., Терлеев А.В., Ларионова М.Ю. Интернет вещей в нефтегазовой сфере: анализ технологии Iogawan и возможности прикладного применения // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2019. № 2(12). С. 76–80. DOI: 10.24887/2587-7399-2019-2-76-80.

6. Topchiev A.G. Design and monitoring of oil and gas industry facilities based on the use of ultra-light aviation and digital technologies // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 734. P. 012005. DOI: 10.1088/1757-899X/734/1/012005.

7. Пищалкина И.Ю., Сулоева С.Б. Анализ тенденций цифровизации бизнес-процессов предприятий нефтегазовой отрасли // Кластеризация цифровой экономики: глобальные вызовы: сб. тр. нац. науч.-практич. конф. с зарубеж. участием. СПб: Политех-Пресс, 2020. С. 590–596. DOI: 10.18720/LEP/2020.4/74.

**УДК 69.001.6**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.064**

**Кононова Полина Сергеевна**, аспирант  
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: 89216466462@mail.ru*

Kononova Polina Sergeevna, postgraduate student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

**СИНТЕЗ ТРАДИЦИЙ И НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ:  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ПО СОХРАНЕНИЮ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО  
НАСЛЕДИЯ**

**SYNTHESIS OF TRADITIONS AND THE LATEST  
TECHNOLOGIES: THE USE OF BIM IN ACTIVITIES  
RELATED TO CULTURAL HERITAGE PRESERVATION**

В статье приведены результаты анализа опыта применения BIM-технологий для проведения работ с объектами культурного наследия на всех этапах. Сформировано обоснование необходимости градостроительных преобразований путем внедрения информационного моделирования в процессы деятельности по сохранению, использованию и охране памятников культуры в качестве эффективного механизма модернизации и развития сферы. Сформулирован перечень новых возможностей для оптимизации

работы творческих коллективов, обеспечения эффективного взаимодействия государственных структур, авторов проектов, пользователей. Обозначен ряд основных задач для перехода информационного обеспечения реставрации на новый технологический уровень путем использования BIM-систем.

*Ключевые слова:* реставрация, культурное наследие, градостроительная политика, памятники истории и культуры, натурные исследования, информационное моделирование.

The article presents the results of analyzing the experience of applying BIM technologies to cultural heritage sites on each project stage. It rationalizes the need for transforming the urban environment by including information modeling into the processes of preserving, using, and protecting cultural monuments as an effective modernization and development mechanism. We list new opportunities for optimizing the work of creative teams and ensuring effective interaction between government agencies, project authors, and users. We also outline a list of main activities for the transition of restoration information support to a new technological level using BIM systems.

*Keywords:* restoration, cultural heritage, urban planning policy, historical and cultural monuments, field research, information modeling.

На территории Российской Федерации в настоящее время значительная часть объектов культурного наследия (далее ОКН) находится в неудовлетворительном или аварийном состоянии и нуждается в своевременном проведении комплекса работ по их сохранению. Запланирован старт крупных реставрационных проектов с использованием государственного бюджета, направленных на развитие городов в регионах, таких, как «Малые исторические поселения». Очевидно, что необходим поиск новых методов и инструментов для реализации задач в сфере сохранения и использования культурного наследия в России [1].

Актуальность исследования обусловлена практикой применения технологий информационного моделирования и началом формирования нормативной базы для проектирования объектов капитального строительства в России при недостаточном объеме норм, регулирующих работы с ОКН.

Необходимо составить прогноз результатов применения компьютерного моделирования для деятельности, связанной с памятниками

культуры, а также определить алгоритм внедрения в процесс на всех ключевых этапах. Оценка эффективности применения информационного моделирования была произведена на основе анализа результатов обследования и фотофиксации объекта культурного наследия регионального значения «Церковь Успения, 1794 г.» по адресу: Московская область, Люберецкий район, с. Шубино, выполненное АО «МНРХУ» в 2020 г.

Обмерные работы включали лазерное сканирование и фотограмметрический сбор информации с использованием лазерного сканера Faro Focus S150, аэрофотосъемку с использованием дрона. Было выполнено 192 полноцветных скан позиций сферическими сканами плотностью от 44,5 до 177 000 000 точек, с применением HDR. В итоге были получены 8 облаков точек в цвете, облако точек территории, объемы храма снаружи и внутри.

Далее была произведена обработка данных лазерного сканирования в ПО Reality Capture, созданы отдельные проекты для блоков данных по наружной съемке фасадов, ограды, интерьеров. В целях реалистичного воссоздания виртуального облика интерьеров были использованы текстуры, выполненные на основе фотографических материалов (рис. 1). Проектные работы на основе проведенных исследований осуществляются с использованием Graphisoft ArchiCAD.

Работы полностью завершились за 6 недель. Для выполнения обмеров вручную с обработкой результатов требуется от 2 до 4 месяцев.

Было выполнено и обработано 50 000 фотографий объекта. Для сравнения, стандартный объем фотофиксации, выполненной вручную, составляет в среднем 200–300 фото. Создана качественная основа для дальнейшего проектирования с учетом труднодоступных конструкций.

В ходе исследования был проведен мониторинг рыночной стоимости обмерных работ с использованием ВМ-технологий и традиционных методов. Было выявлено отличие примерно в 2 раза. Данная разница может быть снижена за счет сокращения сроков и уменьшения текущих расходов.

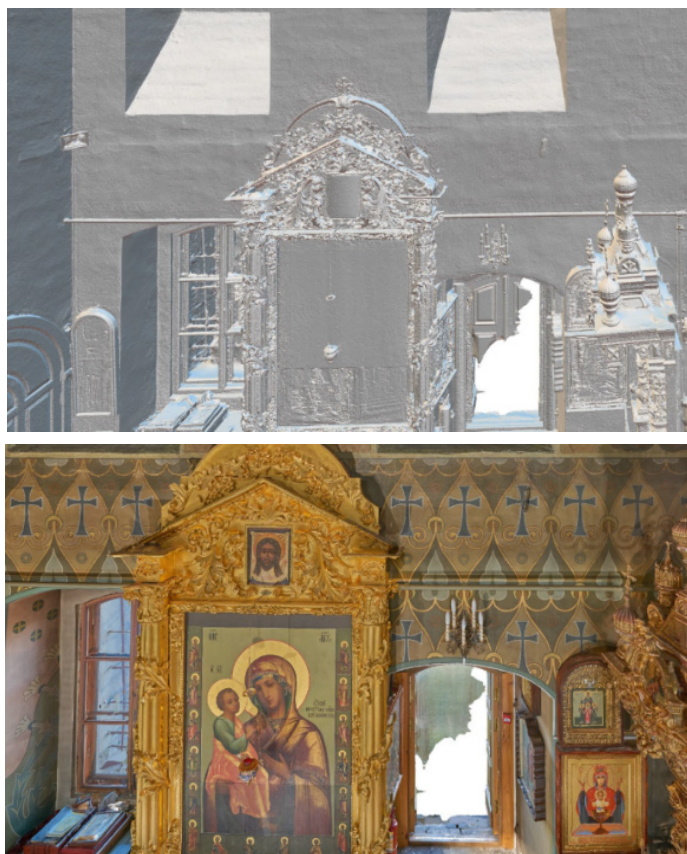


Рис. 1. 3D модель внутреннего пространства до и после нанесения текстур

По итогам анализа данного приведенного примера можно сделать вывод о существенных преимуществах информационного моделирования перед традиционными средствами. С учетом опыта проектирования с помощью обоих методов можно утверждать, что применение BIM-технологий для отрасли с поддержкой на государственном уровне позволит решить следующие

основные задачи для оптимизации работ по сохранению, использованию и учету памятников истории и культуры [1, 2]:

- достижение высокого уровня качества проектной и технической документации. Чертежи, выполненные с применением ВМ-программ, содержат минимальное количество ошибок, что особенно актуально для ОКН, где каждый элемент имеет собственную уникальную геометрию. Реалистичная визуализация позволяет объективно оценить проектные решения авторам проекта, органам контроля и надзора, представителям заказчика, научной общественности и другим заинтересованным лицам;

- сокращение сроков анализа информации, принятия решений и, как следствие, возможность оперативной корректировки документации. В реставрации исследования и изыскания выполняются и на стадии проектирования, и в период производства работ, поэтому объем изменений решений и стоимости работ может быть значительным по сравнению с капитальным строительством. С использованием ВМ-технологий исполнители всех видов документации, в том числе концепции дальнейшего использования объекта, могут работать параллельно, что позволит существенно сократить сроки реализации проекта за счет корректировки одновременно всех составляющих;

- обследование труднодоступных, аварийных конструкций;
- получение пользователем объекта дежурной модели объекта. Модель может быть применена не только как наглядная основа для разработки концепции использования, например, музейных экспозиций, но и для наиболее эффективного администрирования и технической эксплуатации;

- совершенствование системы учета и существующего реестра ОКН путем включения в базы данных трехмерных моделей.

В процессе формирования новой информационной базы в реставрационной сфере необходим системный подход [3].

В целях быстрого и эффективного внедрения инноваций в отрасль требуется разработать методики обучения персонала работе с ПО ВМ не только для реставраторов, но и для сотрудников органов охраны ОКН и учреждений культуры. Предлагается включить соответствующие дисциплины и в действующие образовательные программы.

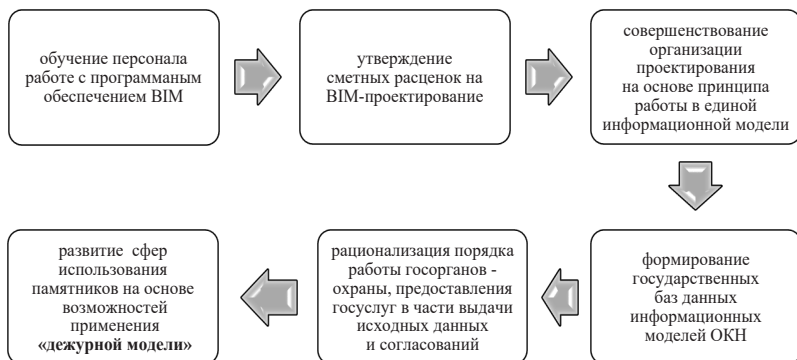


Рис. 2. Схема внедрения BIM-технологий в сфере сохранения ОКН

В ходе определения подрядчика для выполнения проектных работ на этапе квалификационного отбора следует включить в число требований наличие оборудования, ПО для BIM-проектирования, а также обученного персонала. Установление данных критериев в конкурсной документации заказчиком не противоречит ст. 56 и 31 Закона о контрактной системе [3].

Одновременно требуется обеспечить возможность определения стоимости работ с применением BIM-систем методом сметного расчета. В нормативы для разработки смет на проектирование и научно-исследовательские работы следует включить положения о BIM-технологиях. «Сборник цен на научно-проектные работы по памятникам истории и культуры» СЦНПР-91 [4], в целях адаптации документа без существенной корректировки содержания, оптимально дополнить коэффициентами для применения к ценам с учетом усложняющих факторов: применение лазерного сканирования, фотограмметрический сбор информации, аэрофотосъемка, создание трехмерной информационной модели. Аналогично возможно адаптировать иные сборники цен. Увеличение затрат на этапе проектирования будет компенсирована на последующих стадиях. Стоимость и сроки полного цикла, включающего мониторинг, контроль и надзор, будут существенно сокращены.

Необходимо совершенствование информационной системы и обеспечение эффективного взаимодействия органов государственной власти на всех уровнях. После завершения реставрационных работ модель должна быть передана органу охраны с целью включения ее в реестр для хранения данных об объекте с возможностью дальнейшего использования.

Пункт 6 статьи 20 «Ведение реестра» Федерального закона «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 N 73-ФЗ «Ведение реестра объектов культурного наследия» [5] целесообразно дополнить пунктом в следующей редакции: 6) информационная модель объекта в редактируемом формате. Правила формирования и ведения модели ОКН должны быть сформулированы отдельным правовым актом [6]. Законодательное регулирование позволит организовать создание всероссийской базы моделей для памятников истории и культуры. При проведении работ в будущем модель может быть предоставлена в качестве актуальных исходных данных.

В заключение можно сделать вывод, что несмотря на относительно высокую стоимость работ на этапе внедрения, применение ВІМ-технологий в перспективе будет способствовать рационализации затрат на проектирование, учет, эксплуатацию, использование и мониторинг объектов культурного наследия, существенно уменьшить сроки. Это позволит создать условия для активизации привлечения частных инвестиций [7].

ВІМ-технологии выводят информационное обеспечение проектирование на новый технологический уровень, который позволяет не только повысить эффективность деятельности, но и многократно использовать результаты на различных стадиях жизненного цикла объекта [1]. Успешная адаптация ВІМ-систем в российской практике деятельности в отношении объектов культурного наследия возможна при условии государственной поддержки в рамках градостроительной политики [2, 7].

### **Литература**

1. Митягин С.Д. Градостроительная политика в условиях экономической нестабильности. Научный совет РААСН по проблемам в области



проектирования, градостроительства и строительных наук. Стратегия и тактика инвестиционно-строительной деятельности в условиях нестабильного роста экономики. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 3–40.

2. Букунов А.С. Обработка информации для принятия решений в информационном моделировании: материалы III Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 386–392. DOI: 10.23968/VIMAC.2020.050.

3. Федеральный закон «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд» от 05.04.2013 N 44-ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_144624/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_144624/) (дата обращения: 20.02.2021).

4. Сборник цен на научно-проектные работы по памятникам истории и культуры СЦНПР-91. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/57/57967/> (дата обращения: 16.02.2021).

5. Федеральный закон «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» от 25.06.2002 N 73-ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_37318/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_37318/) (дата обращения: 20.02.2021).

6. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 30.12.2020). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/06616d8bc3e2a55716e03b389946a91b9c4554b6/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/06616d8bc3e2a55716e03b389946a91b9c4554b6/) (дата обращения: 20.02.2021).

7. Мустафин Н.Ш., Барышников А.А., Горелов С.А. Повышение ресурсной производительности на всех этапах проектирования и строительства с помощью программных технологий «ВІМ» // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. 2016. № 3(15). С. 6–10.

**УДК 658.5**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.065

**Макаренко Анна Николаевна**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: sotnikova.an@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0003-3398-3237*

**Муравьева Мария Дмитриевна**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: muravieva.md@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0003-4090-9190*

**Рябов Александр Игоревич**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: ryabov.ai@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0001-8366-1610*

Makarenko Anna Nikolaevna, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Muraveva Maria Dmitrievna, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Ryabov Aleksandr Igorevich, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CONNECTED BIM, IoT И BLOCKCHAIN ДЛЯ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

### **USING CONNECTED BIM, IoT AND BLOCKCHAIN TO MONITOR BUILDING STRUCTURES**

Информационное моделирование зданий (BIM), Промышленный Интернет Вещей (IoT) и Blockchain (блокчейн), вызвали многообещающую эволюцию в строительстве. В статье было рассмотрено совмещение данных технологий для мониторинга состояния строительных конструкций. Были изучены принципы и механизмы работы Connected BIM, IoT и Blockchain, а также предложена последовательность внедрения представленной технологии. Целью исследования являлась оценка возможности отслеживания состояния строительных конструкций с применением объединенной технологии BIM, IoT и Blockchain (BIB). Результатом исследования стали выводы о пригодности и выгоде внедрения технологии. Были представлены преимущества использования BIB в проектно-строительной деятельности.

*Ключевые слова:* Информационная модель здания, программное обеспечение, мониторинг, интеллектуальные сети, информационная безопасность, управление строительством.

Building Information Modeling (BIM), Industrial Internet of Things (IIoT), and Blockchain have prompted a promising evolution in construction. This study considers how these technologies may be combined for monitoring the state of building structures. We study the principles and mechanisms of Connected BIM, IIoT and Blockchain and propose a process for deploying this technology. The aim of the study is to assess the possibility of tracking structural conditions using the Connected BIM, IIoT and Blockchain (BIB). The results obtained show that the technology is both valid and beneficial. The advantages of using BIB in design and construction are presented as well.

*Keywords:* BIM model, software, monitoring, smart networks, information safety, construction management.

В нынешних реалиях появилась потребность строительных организаций дистанционно отслеживать состояние объектов возведения, строительных конструкций, в реальном времени [1–3]. Сбор, систематизация, безопасная обработка, анализ и хранение больших объемов информации – это необходимость.

Цифровые сервисы способны удовлетворить требования акционеров и обеспечить комфортную работу в условиях продолжительных строительных циклов. Большое внимание уделяется созданию и развитию программных комплексов и систем, которые могут контролировать расход потребления ресурсов и оптимизировать их [4–7].

Connected BIM – технология, которая помогает отслеживать заданные параметры в период эксплуатации здания. При помощи совместной работы датчиков, IIoT и BIM она собирает и анализирует данные с инженерных систем здания [3], формируя комплексный показатель нормального режима работы. Целью работы являлась оценка возможности отслеживания состояния строительных конструкций с применением объединенной технологии BIM, IIoT и Blockchain (BIB) для цифровизации циклов строительства и эксплуатации.

Рассмотрим представленную технологию Connected BIM, образованную на пересечении BIM и промышленного интернета вещей (IIoT), реализованную путем развертывания сети 5G с использованием технологии Blockchain (блокчейн) для безопасного хранения данных.

Промышленный интернет вещей – это система, состоящая из подключенного к интернету оборудования и платформ расширенной аналитики, которые выполняют обработку данных, получаемых от подключенных устройств. Главное преимущество устройства интернета вещей – возможность отслеживания, обработки, анализа информации, а также связи с устройствами информационных технологий и дополнительных облачных платформ.

Технология Connected BIM позволяет осуществлять непрерывный контроль состояния инженерных систем зданий в автономном режиме в реальном времени для раннего обнаружения отклонений от проекта и предотвращения ошибок при возведении. Создание единой сети датчиков позволит видеть общую картину и выгрузить её в сеть для последующих работы и хранения.

Отклонения от нормального режима отражаются на BIM-модели. С помощью точных данных, получаемых от сенсоров и обрабатываемых интеллектуальными алгоритмами с опцией самообучения, Connected BIM позволяет предотвратить нарушения нормальной работы, что сокращает эксплуатационные расходы, снижает риски эксплуатации объектов с повышенным классом ответственности.

Также технология BIM позволяет статистически анализировать статус объектов или их компонентов, составлять графики, планы реализации и инвестиций. Система хранит подробные, информативные BIM модели возводимых объектов на протяжении всего их жизненного цикла, и предоставляет к ним доступ для проверки отклонений от проектных решений, получения характеристик моделей и содействия интеграции и стандартизированному управлению строительством.

При просмотре моделей можно визуализировать и контролировать ход строительства, узнать о состоянии каждой фазы цикла.

Мы предлагаем следующую технологическую последовательность работы BIM (рис. 1):

1. Монтаж датчиков, сопутствующего оборудования и развертывание сети 5G.
2. Сбор температурных, прочностных, динамических и других данных, необходимых в рамках конкретного проекта, со строительных

конструкций и передача их на серверы с помощью Connected BIM посредством сети.

3. Обработка и анализ данных, выдача результатов пользователю. Интеллектуальные алгоритмы с опцией самообучения позволяют, предотвратить нарушения нормальной работы.

4. Получение уведомлений об отклонениях от проекта на электронную почту или в мессенджер и просмотр данных на любом устройстве в любое время.

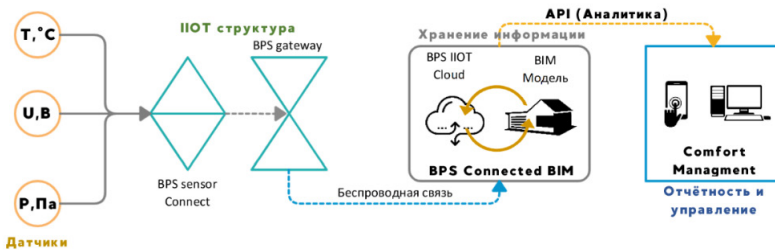


Рис. 1. Схема работы BIM

По завершении последовательности подрядчиком осуществляется оперативная ликвидация обнаруженных отклонений непосредственно на объекте строительства. Данные обновляются, процесс мониторинга происходит в течение всего жизненного цикла здания.

Поскольку денежные потоки и обмен данными обычно имеют место на всех этапах жизни проекта, общепризнано, что измененные в личных целях данные, несогласованные условия их предоставления и непостоянный надзор за ними приведут к неизбежным спорам и судебным искам. Блокчейн позволяет собирать массивные строительные данные и хранить их (рис. 2); другими словами, большие объемы информации могут использоваться отслеживаемым и безопасным способом благодаря высоконадежной базе данных. Блокчейн действует как распределенная база данных или глобальная бухгалтерская книга, которая ведет учет всех транзакций

в блокчейн-сети, где не требуются доверенные лица для поддержания проверки соответствующих сторон. Каждая транзакция видна акционерам и доступна для отслеживания. Блокчейн защищен от взлома и несанкционированного доступа, данные неизменны благодаря распределенному реестру и процессу проверки сети. Считается, что проекты могут выиграть при использовании такого прозрачного подхода, а стороны смогут получить компенсацию в случае неординарных ситуаций.

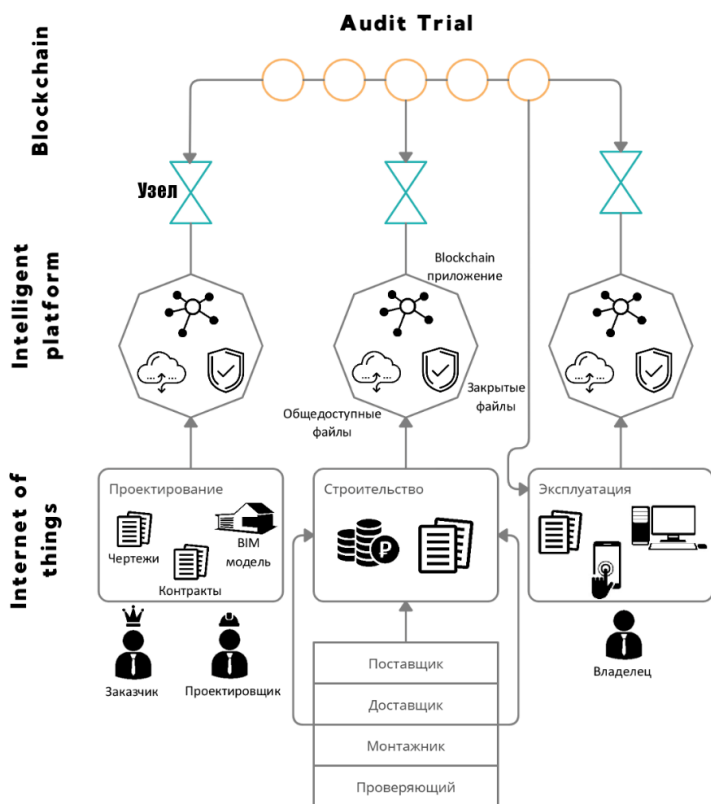


Рис. 2. Структура взаимодействия участников с проектными данными с использованием технологии Блокчейн

В процессе исследования технологии были определены следующие ключевые особенности, положительно влияющие на проектирование, строительство и эксплуатацию зданий:

1) Повышение качества выполнения строительных работ.

BIM позволяет осуществлять совместное использование и синхронизацию информации на всём жизненном цикле проекта. Своевременная реакция на обнаруженные проблемы может предотвратить задержки на всех этапах проектирования.

2) Гарантия безопасности данных в связи с применением блокчейна.

Предложенная технология обеспечивает целостность передачи данных и их сохранность: извлеченные данные не могут быть повреждены, изменены или удалены после записи.

3) Удобное взаимодействие и удаленный доступ.

Рассмотрев экономические, экологические и социальные эффекты от внедрения BIM мы выделили некоторые преимущества (табл. 1).

Таблица 1

**Преимущества использования BIM**

Экономические выгоды	Экологические выгоды	Социальные выгоды
Прогноз изменений напряженно-деформированного состояния (поведения) строительных железобетонных, металлических, деревянных, каменных и полимерных, конструкций во времени	Мониторинг поведения строительных конструкций в реальном времени позволит предотвратить катастрофы техногенного характера	Совместная работа людей, не имеющих непосредственное отношение к проектированию, специалистов смежных отраслей, в том числе инвесторов

*Окончание табл. 1*

Экономические выгоды	Экологические выгоды	Социальные выгоды
Сокращение затрат и сроков строительства	Технология не требует специальной тяжёлой техники для обслуживания и установки	Увеличение числа женского персонала в связи сокращением рисков от воздействия опасных производственных факторов (химических, травматических и географических)
Минимизация потребности в человеческих ресурсах	Предотвращение катастроф при помощи прогнозирования	Уменьшение трудоемкости за счет использования облачных технологий
Оптимизация календарного плана		Дистанционная работа

Таким образом, отслеживание состояния строительных конструкций с применением объединенной технологии ВМ, IoT и Blockchain (ВМ) не только возможно, но и чрезвычайно выгодно. В дополнение к отслеживанию состояния объектов в реальном времени ВМ способна прогнозировать их поведение за счёт формирования статистики.

### **Литература**

1. Bahga A., Madiseti V.K. Blockchain Platform for Industrial Internet of Things // Journal of Software Engineering and Applications. 2016. Vol. 9, No. 10. P. 533–546. DOI: 10.4236/jsea.2016.910036.
2. Boyes H., Hallaq B., Cunningham J., Watson T. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework // Computers in Industry. 2018. Vol. 101. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
3. Li C.Z., Chen Z., Xue F., Kong X., Xiao B., Lai X., Zhao Y. A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 286. P. 125391. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125391.



4. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: A survey // ACM Computing Surveys. 2009. Vol. 41, No. 3. DOI: 10.1145/1541880.1541882.
5. Wu Y., Xu N. BIM information collaborative framework based on supply chain management // ICCREM 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology, 2014. P. 199–204. DOI: 10.1061/9780784413777.024.
6. Salman A., Asce A. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry // Leadership and Management in Engineering. 2011. Vol. 11, No. 3. P. 241–252. DOI: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
7. Namburu S.M., Azam M.S., Luo J., Choi K., Pattipati K.R. Data-driven modeling, fault diagnosis and optimal sensor selection for HVAC chillers // IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2007. Vol. 4, No. 3. P. 469–473. DOI: 10.1109/TASE.2006.888053.

**УДК 69.003**

**DOI: 10.23968/BIMAC.2021.066**

**Петрякова Вероника Константиновна**, магистрант  
(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)  
*E-mail: v-petryakova@mail.ru*

Petryakova Veronika Konstantinovna, master student  
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)

## **ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА ПЛАНИРОВКИ**

### **APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES TO IMPROVE THE QUALITY OF PLANNING PROJECT DEVELOPMENT**

Статья посвящена вопросу повышения качества разработки проекта планировки с помощью BIM-технологий. Составлен перечень аспектов, которые влияют на разработку проекта. Проанализированы и определены преимущества использования BIM-технологий, влияющих на качество, при разработке. Рассмотрена система CIM, которая предназначена для планировки городской территории. А также выявлены препятствия для применения технологий в настоящий момент, связанные с отсутствием нормативной документации

на применение и использование ВІМ-технологий именно для разработки проектов планировки. На основании проблемы был составлен порядок внедрения технологий в разработку проекта планировки, что способствует повышению его качества.

*Ключевые слова:* ВІМ, проект планировки, качество, разработка проекта, проектирование.

The article reviews the issue of improving the quality of planning project development with BIM technologies. We compile a list of aspects that affect project development. We further determine and analyze the advantages of using BIM technologies that affect quality during development. We also review the CIM system, which is designed for urban planning. Furthermore, we identify the current obstacles preventing BIM application, associated with the lack of regulatory documentation for the deployment and use of BIM technologies, specifically when it comes to planning project development. Based on this issue, we design a procedure for the introduction of such technologies into planning project development, which is expected to contribute to quality improvement.

*Keywords:* BIM, planning project, quality, project development, design.

## **Введение**

Управление качеством проектирования – мало проработанная область. От качества проекта планировки зависит безопасность, качество жизни и комфортные условия проживания населения проектируемой городской территории.

Целью градостроительного проектирования, в соответствии с Градостроительным кодексом, является «обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека». Однако, сложно найти человека, который был бы доволен состоянием наших городов. Одна из главных причин возникновения неблагоприятной среды в городе, это не учёт «человеческого» фактора в проектировании. Необходимо перейти к проектированию «города для людей, а не для производства». В настоящее время необходимо включать в основание принятия проектных решений знания о городском социуме, о проблемах, как они воспринимаются самими горожанами. Градостроительное проектирование должно быть социально обосновано. Этого требует и Градостроительный кодекс (учета в проектировании социальных факторов и интересов всех субъектов градостроительной деятельности) [1].

## **ВІМ технологии в разработке проекта планировки**

ВІМ (Building Information Modeling) – технология информационного моделирования, которая включает в себя элементы геоинформационной системы и системы автоматизированного проектирования. С помощью данной технологии можно проектировать все возможные объекты – здания и сооружения, мосты и тоннели, различные сети, например, инженерные или улично-дорожные и так далее. Ключевое отличие ВІМ-моделирования от обычного 3D-моделирования заключается в том, что ВІМ-модель прочно связана с базой данных. ВІМ-модель включает в себя всю информацию об объекте проектирования и о его составных частях [2].

Благодаря ВІМ-моделированию объект представляет собой целую систему, в которой все элементы взаимосвязаны, а при внесении каких-либо изменений система изменяется автоматически. Такая автоматизация позволяет сократить количество ошибок на первых этапах при проектировании и строительстве, исключая необходимость постоянно корректировать чертежи.

Качество разработки проекта планировки зависит от:

- 1) грамотно составленного технического задания;
- 2) соответствия проекта планировки нормативной документации;
- 3) соответствия проекта планировки установленным требованиям;
- 4) слаженной и продуктивной работы проектировщиков;
- 5) квалификации и опыта проектировщиков;
- 6) проектно-ориентированной организационной структуры.

Профессор А. В. Гинзбург в одном из своих докладов по ВІМ-моделированию озвучил следующий факт: «Реальный объект завершеного строительства имеет 80 % отклонений от проектной документации». Именно поэтому на начальном этапе нужна цифровая модель, которая будет пояснять актуальность будущего объекта проектирования. С помощью модели можно анализировать соответствие требованиям и появление возможных рисков на протяжении всего жизненного цикла проектируемого объекта. Такая информационная модель способствует полноценному контролю за качеством объекта.

Применение ВМ-моделирования способствует повышению безопасности, оно позволит воспроизвести проект планировки и предоставит возможность оценить риски в будущем. Трехмерную модель, созданную с помощью ВМ-технологий, в реальном времени можно сравнить с объектом проектирования, что существенно может повысить качество и выявить недочеты.

ВМ-моделирование способствует повышению точности и скорости проектирования. Модели позволяют создать проект планировки с большей точностью в отличие от бумажных чертежей, это обеспечивает высокую детализацию всего проекта. При этом проектировщики могут использовать шаблонные элементы с заранее заданными параметрами. Таким образом, у них нет необходимости прорисовывать каждый элемент, в связи с чем сокращается время работы над проектами [3].

Для планировки городской территории используется система СИМ (City Information Planning), которая, представляет собой систему отдельных различных ВМ-проектов. Такая система позволяет делать анализ и прогнозы по разным аспектам развития города, например, транспортным, экологическим и социальным.

Процесс планирования территории начинается с топографической, инженерной и геодезической съемки и создания заготовки для ВМ-модели. После доработки модели получается трехмерная проекция участка с рельефом, зданиями и сооружениями, инженерными сетями, дорогами и вертикальной планировкой. По такой модели разрабатывается проектно-сметная документация. Она содержит все данные по готовящемуся строительству. Например, поясняет назначение будущих зданий и сооружений, процесс их строительства, безопасны ли они и сколько будет стоить производство.

Можно сказать, что ВМ-моделирование снижает себестоимость и ускоряет процесс работы.

В настоящее время существуют препятствия для применения ВМ-моделирования при разработке проектов планировок, они связаны с тем, что в Градостроительном кодексе и во многих других нормативно-законодательных актах нет определений, понятия и необходимости в информационном моделировании. В нормативных

документах отсутствуют требования к результатам этапов жизненного цикла с позиции ВІМ, указания, что должен делать каждый участник проекта с позиции ВІМ. При этом внедрение новых технологий потребует дополнительных затрат [4].

Чтобы внедрить ВІМ-моделирование в разработку проектов планировки необходимо разработать серию стандартов, от применения ВІМ-технологий для проектов разного масштаба до использования конкретных методов и инструментов на отдельных этапах жизненного цикла.

Правильно составленный план внедрения ВІМ обеспечит понимание всех сотрудников, работающих с информационной моделью, они будут четко понимать, какие новые возможности и обязанности у них появились. План внедрения ВІМ может состоять из четырех основных частей [5].

### **Возможный план внедрения ВІМ**

*Часть 1.* Цель и способы использования ВІМ-моделей.

На первом этапе необходимо ответить на вопросы: зачем нужно ВІМ-моделирование и как его использовать. То есть внедрение ВІМ-моделей начинается с постановки целей, задач и определения способов их использования. Рассматриваются способы применения моделей на каждой стадии проектирования. Устанавливается уровень детализации проекта.

*Часть 2.* Разработка процессов.

На следующем этапе разрабатывается маршрутная карта ВІМ-процессов. Маршрутная карта отражает взаимодействие участников и последовательность их действий при создании информационной модели. С помощью такой карты всем участникам проекта можно наглядно увидеть то, как пересекаются и взаимодействуют их рабочие задачи между собой. Когда рассмотрены взаимодействия и последовательные действия участников создаются более подробные схемы для каждого элемента проектируемой модели.

*Часть 3.* Обмен информацией.

На третьем этапе определяется последовательность подачи и передачи информации, которая будет заложена в модель на каждом этапе ее проектирования. Информация предназначена для того,

чтобы выбрать конкретный способ использования ВІМ-модели. На этом этапе важно определить взаимодействия тех, кто создает и кто получает информацию, а также сам состав информации.

#### *Часть 4. Поддержка внедрения ВІМ-процессов.*

На последнем этапе решаются задачи, связанные со структурой команды, которая участвует в создании проекта, с описанием должностных обязанностей каждого участника, участвующего в проекте и с определением способа общения и взаимодействия между всеми участниками проекта. Определяются требования к IT-инфраструктуре и технической поддержке, к шаблонам и библиотекам и процедурам контроля качества.

### **Заключение**

В результате исследования рассмотрена возможность применения ВІМ технологий для повышения качества разработки проекта планировки. Исследование показало, что с помощью ВІМ-моделирования можно повысить качество разработки, потому что оно способствует повышению безопасности, точности, скорости и снижению себестоимости выполнения проектирования проекта планировки. Установлены причины невозможности применения ВІМ-технологий, они связаны с отсутствием информации и требований к информационным моделям в сфере разработки проектов планировок. Был составлен один из вариантов плана внедрения ВІМ-моделирования.

### **Литература**

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/) (дата обращения: 15.03.2021).
2. Талапов В.В. Основы ВІМ: Введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК-Пресс, 2011. 392 с.
3. Талапов В.В. Технология ВІМ. Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М.: ДМК-Пресс, 2015. 410 с.
4. Абалтусов Ю.А., Чатуров В.В. ВІМ-технологии. Проблемы их внедрения и перспективы развития в строительстве и проектировании // Молодой ученый. 2019. № 25(263). С. 151–153. URL: <https://moluch.ru/archive/263/60897/> (дата обращения: 15.03.2021).

5. Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства: Приказ Минстроя России от 29.12.2014 № 926/пр. URL: <http://www.minstroyrf.ru/docs/2663/> (дата обращения: 05.04.2021).

**УДК 69:004.942**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.067

**Предина Валентина Павловна**, магистрант  
(Национальный исследовательский Московский государственный  
строительный университет)  
*E-mail:* [predeina.valya@gmail.com](mailto:predeina.valya@gmail.com)

Predeina Valentina Pavlovna, master student  
(Moscow State University of Civil Engineering)

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЗДАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ МОДЕЛИ ПУТЕМ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ В DYNAMO**

### **AUTOMATION OF ARCHITECTURAL MODEL CREATION BY MEANS OF VISUAL PROGRAMMING IN DYNAMO**

В данной статье излагается мысль о практическом использовании Dynamo при проектировании информационной модели в программе Revit. Статья может быть полезна начинающим специалистам и компаниям, переходящим на BIM-технологии. Главная цель всего процесса – максимальная оптимизация работы, сокращение однообразного труда. Таким образом происходит экономия всех видов ресурсов. В любом отделе строительной компании Dynamo может найти применение и облегчить труд проектировщиков, позволив им сосредоточиться на более важных задачах. В качестве примера приводится построение полов разных типов в архитектурной модели, описывается принцип создания экспликации полов.

*Ключевые слова:* BIM, Revit, Dynamo, архитектура, полы, информационная модель.

This article outlines the idea of practical Dynamo script application to the design of an information model in Revit. The article can be useful for novice

specialists and companies that are switching to BIM technologies. The main goal of the whole process is maximum work optimization and the reduction of routine work. It helps to save all types of resources. Dynamo can be used at any department of a construction company. It can ease the work of designers, allowing them to focus on more important tasks. As an example, the article reviews the construction of different types of floors in an architectural model and describes the principle of creating a floor explication.

*Keywords:* BIM, Revit, Dynamo, architecture, floors, information model.

BIM-технологии расширяют сферу влияния в строительной области, подтверждением тому является постановление Правительства РФ об использовании информационных технологий в строительстве [1]. Цифровые технологии развиваются стремительно, создаются приложения, расширяющие базовые возможности основной BIM-программы [2]. В подавляющем большинстве расширения функциональности осуществимы только посредством написания макросов и плагинов на различных языках программирования, которыми зачастую не владеют проектировщики. Разработчики САПР нашли выход в создании способа визуального программирования [3]: теперь не требуется иметь специальную подготовку, нужно лишь составить последовательность узлов, в которых заключены различные данные и действия с ними. Именно на этом принципе построено приложение *Dynamo* – модуль расширения функциональности *Autodesk Revit*. Скрипт *Dynamo* состоит из узлов – нодов, в свою очередь каждый нод основан на языке программирования *Python* [4]. Следует отметить, что *Dynamo* способен выполнять не только простейшие запросы проектировщика, но и самостоятельно разрабатывать варианты решений: на основе скриптов *Dynamo* работает расширение *Revit 2021* по генеративному дизайну [5].

В качестве примера детализации архитектурной модели приводится создание полов разных типов. Свод правил [6] гласит, что для уровня LOD 300 полам следует задавать параметры точного габарита, материал, конструкцию, маркировку. При этом нужно учитывать, что в зависимости от назначения помещения, требований смежных отделов и прочих параметров, в здании практически всегда существует несколько типов полов. В масштабных



проектах создание полов и подсчет их площадей может вызвать трудности.

Существует два способа создания полов: физический (отдельная модель для каждого типа) и описательный (с применением аннотаций). В обоих случаях Дупато может предложить решения для оптимизации данного процесса.

Физический способ построения. Предполагается, что в зависимости от назначения помещения проектируется особенный пирог пола.

В начале работы необходимо создать каждый тип пола через категорию элементов Revit Перекрытие, а также задать каждому помещению параметр «Назначение». После можно приступить непосредственно к работе в Дупато. Основа первой части процесса – узел отбора элементов модели по заданному признаку. Все остальные ноды служат источником информации для последующей фильтрации. Следует выбрать все помещения, имеющие параметр «Назначение», далее данный параметр уточняется путем заполнения его значения в ноде, предназначенном для ввода текстовой информации. После проделанных действий пользователь получает список помещений с определенным параметром назначения.

На данном этапе ввод исходных данных завершен, можно перейти к работе с геометрией. Специальный нод отвечает за создание очертаний помещений, которые можно увидеть прямо в рабочем поле программы. В эти помещения будут вставляться перекрытия. Далее задается нужный тип перекрытия (который был создан ранее) и уровень его расположения.

После запуска скрипта во все выбранные помещения будут вставлены полы нужного типа. Для удобства дальнейшей работы следует оформить скрипт и переименовать ноды, в которые вводятся входные данные.

Весь процесс написания скрипта можно представить в виде блок-схемы (рис. 1). Готовый скрипт выглядит следующим образом (рис. 2).

Описательный способ построения с применением аннотаций. Данный способ заточен на оформление экспликации полов,

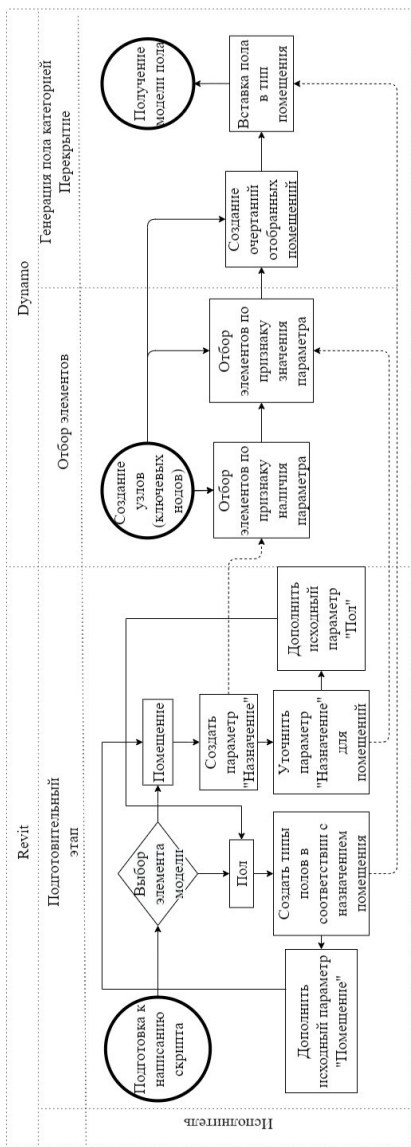


Рис. 1. Алгоритм построения полов физическим способом

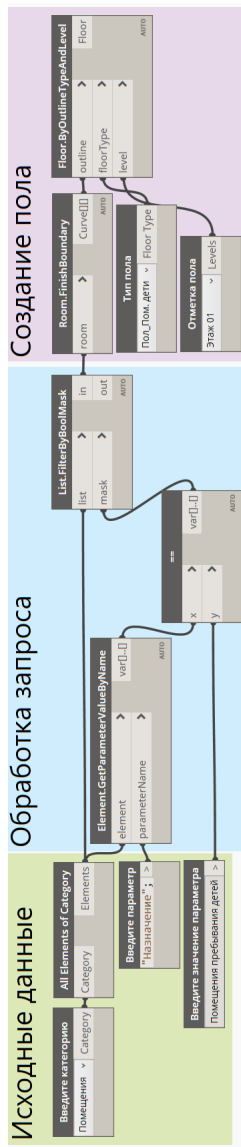


Рис. 2. Скрипт Дунапо для создания модели полов в помещении

при этом непосредственно в информационной модели изменений не происходит. Отмечено, что данный способ имеет место быть при LOD 200 и ниже. Также его стоит рассматривать как продолжение физического способа построения полов на этапе оформления рабочей документации.

На сайте Autodesk есть шаблон AP, включающий экспликацию полов, оформленную согласно ГОСТ. Принцип работы заключается в следующем: в ключевой спецификации создаются строки с различными типами пола, дается их описание. После этого для каждого помещения назначается соответствующий тип пола. Перейдя в оформленную экспликацию помещений, можно увидеть, что вся основная информация поступает из ключевой спецификации. В экспликацию полов остается внести номера помещений для каждого типа. Площадь считывается и заполняется автоматически. Проблема в том, что номера помещений должны вставляться вручную, а это является трудоемким рутинным процессом. На данном этапе на помощь приходит скрипт Dynamo.

Основа скрипта – код, отвечающий за выполнение алгоритма, прописанного внутри него на языке Python. В качестве входных данных даются тип отделки пола, номера помещений и разделители между номерами. В поле Python пользователь может написать код, выходными данными которого будет список помещений с определённым типом пола (рис. 3). После запуска скрипта проектировщик получает готовую экспликацию полов со всей необходимой информацией.

При всех очевидных преимуществах, оба способа имеют свои недостатки. В физическом способе при выборе другого типа перекрытия для другого параметра назначения помещения, предыдущее построение аннулируется. Поэтому перед запуском алгоритма, скрипт придется скопировать столько раз, сколько предполагается типов полов и этажей в здании (при отсутствии типовых этажей). Минус описательного способа – отсутствие информации в самой модели. Сторонние специалисты не могут узнать состав пола из модели, вся информация будет доступна лишь из спецификаций, которые сотрудники других отделов не могут видеть, даже если настроят связь с файлом AP. Данный способ

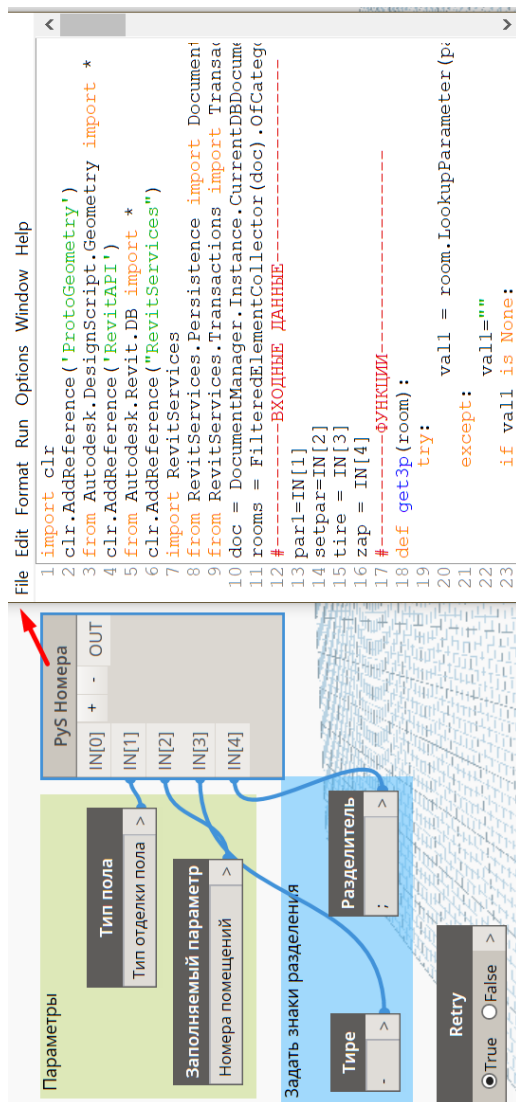


Рис. 3. Скрипт для заполнения экспликации полов

можно было бы использовать на уровне проработке модели LOD 200, однако это противоречит тому факту, что экспликация полов создается на стадии Р. Также скрипт включает код на языке программирования, значит, проектировщику без специальных знаний будет недоступно данное улучшение, и даже если загрузить код из сторонних источников, то в случае появления ошибок, их будет проблематично исправить без посторонней помощи.

В результате можно сделать выводы:

- Dynamo действительно может оптимизировать работу проектировщика. При наличии нужных навыков алгоритмизации проектировщик может автоматизировать практически любую операцию;
- оба описанных способа можно использовать как дополнения друг друга, таким образом, практически полностью автоматизируя процесс создания модели пола, оформления экспликации и подсчета площадей;
- описанные способы могут совершенствоваться, чтобы исключить указанные выше недостатки.

## Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 № 1431 «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».
2. Divin N.V. BIM by using Revit API and Dynamo. A review // AlfaBuild. 2020. Vol. 14. P. 1404. DOI: 10.34910/ALF.14.4.
3. Младзиевский Е.П. Расширение возможностей BIM-проектирования // Academy. 2020. № 1(52). С. 19–20.
4. Shishina D., Sergeev P. Revit | Dynamo: designing objects of complex forms. Toolkit and process automation features // Architecture and Engineering. 2019. № 3(4). P. 30–38. DOI: 10.23968/2500-0055-2019-4-3-30-38.
5. How to Start with Revit Generative Design. MicroGraphics. 2020. URL: <https://www.mgfx.co.za/blog/building-architectural-design/how-to-start-with-revit-generative-design/> (дата обращения: 15.02.2021).

6. СП 333.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М.: Стандартинформ, 2018. 41 с.

**УДК 006.85**

**DOI:** 10.23968/BIMAC.2021.068

**Сиротина Анастасия Денисовна**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: sirotina.ad@edu.spbstu.ru*

**Хайбулина Олеся Рамилевна**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: hajbulina.or@edu.spbstu.ru*

**Панова Юлия Евгеньевна**, студент

(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*E-mail: panova.yue@edu.spbstu.ru*

Sirotnina Anastasia Denisovna, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Haibulina Olesya Ramilevna, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

Panova Julia Evgenevna, student  
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

## **АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ В СРЕДЕ ВІМ ПРИ ПОМОЩИ БЛОК-СХЕМ**

### **ANALYZING EXPERT INTERACTIONS IN BIM BY USING BLOCK DIAGRAMS**

С переходом строительных организаций на принцип ВІМ-проектирования изменился подход к коммуникации и обмену данными между специалистами. В результате нововведений блок-схемы по взаимодействию сотрудников и руководителей, регламентированные компаниями, были реструктурированы. При этом каждая организация утверждает уникальную блок-схему и держит ее структуру в конфиденциальности. Это приводит к разрозненности и недостаточности информации в открытых источниках, уменьшению скорости полного, быстрого и качественного перехода всех компаний России на проектирование

при помощи BIM. В статье приводится анализ найденных в открытых источниках блок-схем компаний, использующих подобный метод проектирования для оценки повышения качества и скорости работы при их дальнейшем масштабном внедрении.

*Ключевые слова:* BIM, блок-схема, совместное проектирование, информационная модель, взаимодействие специалистов.

With the development of BIM design, construction organizations have started changing their approach to communication and data exchange between experts. The innovations have resulted in restructuring the block diagrams of interactions between employees and managers. Importantly, every organization approves its own unique block diagrams and keeps their structure confidential. This leads to disunity and lack of open-source information, slowing down the full, fast, and high-quality transition of all Russian companies to BIM-based project design. The article analyzes the open-source block diagrams of various companies, which use a similar design method to improve the quality and speed during further extensive implementation.

*Keywords:* BIM, block diagram, joint design, information model, expert interaction.

В России внедряется многофункциональный метод оптимизации процесса строительства с использованием информационного моделирования зданий и сооружений – Building Information Modeling (BIM). Русифицированное название – ТИМ – технологии информационного моделирования. Это подход к возведению, оснащению, эксплуатации, ремонту, а также сносу здания (управление всем жизненным циклом объекта строительства), который предполагает сбор и комплексную обработку в процессе проектирования всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической информации о здании со всеми взаимосвязями и зависимостями. Такой процесс предполагает, что здание и всё, что имеет отношение к нему, рассматривается как единый объект – информационная модель [1–4]. Как поясняется в [1] модель включается в себя совокупность документов, материалов, сведений, которые собираются в электронном формате на всех этапах проектирования.

Необходимо определить, какими преимуществами обладает BIM по сравнению с существующими способами проектирования

и для какой цели на государственном уровне необходимо внедрить технологию. Преимущества описаны в [2–6] на примере российских [2] и иностранных компаний [3]. Например, ВМ может применяться на объектах различного масштаба, как это описано в статье [7] об объекте, участвующем в нефтегазовой отрасли.

Существенной неточностью является предположение, что ВМ – это программное обеспечение. 6D-пространство является новым способом мышления, приводящим к автоматизации процесса, получению, хранению, распространению информации в модели, а не непосредственно на объекте. Кроме того, важным пунктом является сокращение ошибок, минимизация рисков, что, как следствие, ведет к уменьшению затрат [7].

Слабая проработка коммуникаций между отделами проектирования и отсутствие оптимальной последовательности на каждом этапе строительства приводит к коллизиям, которые обнаруживаются как на этапе строительства, так и в процессе эксплуатации [5].

По данным Минстроя РФ [6], взаимодействие специалистов в ВМ поможет снизить ошибки и погрешности в проектной документации до 40 %, сократить сроки координации и согласования до 90 %, сократить сроки строительства на 20–50 %, сократить затраты на строительство и эксплуатацию до 30 %.

Целью работы является анализ блок-схем по принципу взаимодействия специалистов и задействованных программ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить задачи:

1. Ознакомиться с существующей системой взаимодействия специалистов при проектировании ВМ в РФ и за рубежом.
2. Проанализировать закономерностей работы специалистов в различных блок-схемах.
3. Оценить преимущество использования блок-схем ВМ в процессе проектирования и строительства. В процессе написания материала были использованы теоретический, исследовательский методы, анализ данных из открытых источников.

Несмотря на постановление [1], на сегодняшний день не существует единого стандарта по взаимодействию. Каждая компания создает и реализует собственные планы проектирования,



строительства и эксплуатации в BIM. Для повышения конкурентоспособности компании держат в корпоративной тайне собственные разработки. По этой причине организации, которые только начали переходить на BIM-аппарат, испытывают трудности в разработке собственных моделей взаимодействия специалистов. Как следствие, качество проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений на территории РФ не повышается, а постановление [1].

Однако некоторые компании готовы поделиться своим опытом и размещают эту информацию в открытых источниках. На основе данных компаний – ООО Инжиниринговая компания «Клен», ООО «Конкуратор», Инжиниринговая компания «BIMLAB» – составлены следующие выводы о закономерностях и особенностях блок-схем взаимодействия [8–13]:

1. Закономерности:

– в восьми схемах прослеживается участие BIM-менеджера и BIM-координатора. В одной схеме используется понятие «отдел BIM-проектирования». В одной из схем не упоминается данная роль, что является отрицательным примером с заведомо неверным взаимодействием специалистов;

– общей тенденцией всех схем является упоминание программного обеспечения для проектирования, визуализации и расчетов в схемах.

2. Особенности:

– главное отличие всех схем заключено в расположении BIM-связей. В трех схемах BIM является средством связи между отделами, в шести – BIM создает вокруг себя все, являясь главным компонентом. В одной схеме BIM используется только на нескольких этапах проектирования, не занимая главную роль;

– прослеживаются различия в «составе» этапов проектирования, а именно этапы варьируются от трех до шести, что создает вероятность ошибки из-за различного подхода к делу;

– в семи схемах отсутствует отдел IT, являющийся передовым для BIM-взаимодействия. Такой отдел, во главе с BIM-координатором, разрабатывает обновления, дополнения, инструменты, виртуальные рабочие столы для удаленной работы и прочие решения;

– в трех схемах прослеживается участие заказчика, подрядчика и потребителей, с появлением которых увеличивается число связей в блок-схеме. В остальных не указана информация о данных лицах.

По результатам анализа сделаны следующие выводы о необходимых компонентах при взаимодействии в ВІМ:

- 1) ВІМ-менеджер и ВІМ-координатор в штате;
- 2) ІТ-отдел в составе ВІМ-программистов, база данных и программное обеспечение;
- 3) «планетарный тип взаимодействия», при котором каждый отдел имеет доступ к инструментам информационного моделирования;
- 4) мониторинг процессов в дистанционном формате, компонент актуализировался в условиях пандемии.

По итогам работы создана концептуальная блок-схема (рис. 1) с основными компонентами и связями при проектировании и строительстве гражданских и промышленных зданий и сооружений.

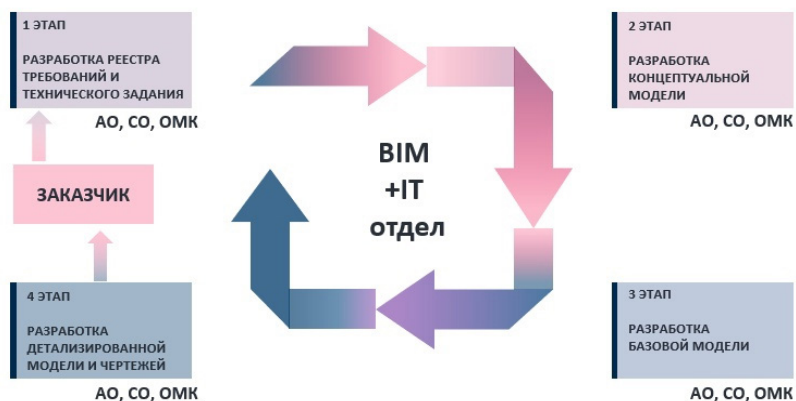


Рис. 1. Концептуальная блок-схема

Сделан дополнительный вывод, что на сегодняшний день не существует универсальной технологии проектирования, вследствие чего компании, начинающие путь в ВІМ-проектировании,

испытывают трудности в налаживании эффективных коммуникаций. Приведенный анализ и общая концепция блок-схемы позволит ознакомиться с регламентом BIM-проектирования. Применение блок-схем может изменить процесс перехода на BIM-технологии вследствие структурированных связей, последовательности этапов и четко обозначенных задач.

Для подтверждения или опровержения вывода необходимо разработать рекомендательную блок-схему, на основе которой компании малого, среднего и большого сектора составят собственные с учетом особенностей своих отраслей.

Мы выражаем благодарность Мишаковой Анастасии Вячеславовне, ассистенту ВШПГ и ДС ИСИ СПбПУ им. Петра Великого, за содействие в процессе написания материала.

### Литература

1. Постановление от 15 сентября 2020 г. № 1431 «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». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74544278/> (дата обращения: 02.10.2020).
2. Белякова А.П., Ковалева Л.С. BIM-технологии: преимущество внедрения в инвестиционно-строительные проекты Российских компаний // Экономика и предпринимательство. 2017. № 4-12(81). С. 642–647.
3. Доможирова Е.А., Степанова Ю.С., Винидиктова М.Е. Преимущества BIM технологий на примере китайского опыта // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3(54). С. 45.
4. Лушников А.С. Проблемы и преимущества внедрения BIM-технологий в строительных компаниях // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6(53). С. 252–256.
5. Маркова А.Л., Дерюгин К.С. BIM-технологии в процессе совместного проектирования смежных разделов. СПб.: Alfabuild, 2019. 52 с.
6. Шулепов П.В., Коркишко А.Н. Преимущества применения BIM технологий на всех этапах жизненного цикла объектов нефтегазового объекта // Рассохинские чтения. 2019. С. 175–178.

7. Сайт Минстроя РФ. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/> (дата обращения: 26.10.2020).

8. Что дает BIM техническому заказчику. URL: <https://sapr.ru/article/25425> (дата обращения: 05.03.2021).

9. Роль технического заказчика в организации процесса информационного моделирования. URL: <https://ardexpert.ru/article/16191> (дата обращения: 17.01.2021).

10. Отчет о вебинаре «Боль и страдания при переходе на BIM. О чем не говорят маркетологи». URL: <https://niisf.org/component/easyblog/novosti-universiteta-minstroya-niisf-raasn/bol-i-stradaniya-pri-perekhode-na-bim-o-chem-ne-govoryat-marketologi-1?Itemid=134> (дата обращения: 24.12.2020).

11. Роли и обязанности в BIM. URL: <https://bimlab.ru/faq-bim-management.html> (дата обращения: 02.03.2021).

12. Технология BIM или архитектурный конвейер. URL: [http://isicad.ru/articles.php?article\\_num=15034](http://isicad.ru/articles.php?article_num=15034) (дата обращения: 27.02.2021).

13. BIM-технология на этапах проектирования, строительства и эксплуатации инвестиционно-строительного объекта. URL: <https://yusarch.ru/bim-proektirovanie> (дата обращения: 14.02.2021).

УДК 658.5

DOI: 10.23968/BIMAC.2021.069

**Хамидулин Максим Германович**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: m.xamidulin@mail.ru*

**Зворыкин Максим Валерьевич**, студент

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

*E-mail: zvoryckin@yandex.ru*

Khamidulin Maxim Germanovich, student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)  
Zvorykin Maksim Valerevich, student  
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

## СОЗДАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОВОГО ПУНКТА

### CREATING AN OPERATIONAL MODEL OF A BUILDING'S HEATING UNIT

В работе рассматривается возможность применения технологий информационного моделирования (BIM) на этапе эксплуатации объекта капитального строительства, а именно теплового пункта реально существующего здания. Основная цель данной работы – дать представление о возможности использования программы Autodesk Revit для решения эксплуатационных задач современного строительства и реконструкции. Приведен пример создания модели теплового пункта существующего жилого здания, а также внесения необходимой информации в проект для последующего ее использования эксплуатирующей организацией. Сделан вывод о возможности и рациональности внедрения BIM технологий в сферу эксплуатации.

*Ключевые слова:* технологии информационного моделирования, Autodesk Revit, эксплуатация объекта, реконструкция, BIM технологии.

The article looks at the possibilities of using Building Information Modeling (BIM) technologies at the stage of operation of a major construction facility, namely, a heating unit in an existing building. The main purpose of this article is to illustrate the possibility of using Autodesk Revit to solve the operational problems

of modern construction and reconstruction. The authors give examples of creating a model of a heating unit in an existing residential building, as well as examples of entering the necessary information into the project for its subsequent use. The authors then draw conclusions regarding the possibility and rationality of adopting BIM technologies in the field of building operation.

*Keywords:* information modeling technologies, Autodesk Revit, facility operation, reconstruction, BIM technologies.

Информационное моделирование зданий (BIM) – инновационный современный подход к проектированию, строительству и эксплуатации здания [1]. На данный момент наиболее распространенным в сфере BIM-моделирования является программное обеспечение компании Autodesk, а именно программа Revit.

Инженерные системы в Revit представлены большим количеством инструментов моделирования для таких разделов как: отопление, вентиляция, водоснабжение и т. д. Это позволяет автоматизировать процессы проектирования и расчета, тем самым сократив и оптимизировав работу инженера [2, 3].

Функционал программы позволяет обеспечить импорт модели через стандартные форматы файлов, например, формат IFC (Industry Foundation Classes). Тем самым улучшая взаимодействие между специалистами, занимающимися различными разделами проекта на всех стадиях жизненного цикла. В данном случае возможно использовать существующую модель при эксплуатации, путем ее импорта в специализированные приложения, которые применяются эксплуатирующей организацией.

Этап эксплуатации объекта является самым продолжительным из всех этапов жизненного цикла, в его рамках решаются задачи управления зданием, обеспечение его работоспособности на протяжении продолжительного промежутка времени, который может составлять 50 и более лет. На данном этапе информационная модель здания должна решать определенные задачи, которые отличны от задач этапа строительства [4].

Сегодня эксплуатирующие организации чаще всего используют бумажную документацию. Вносить изменения в таком формате неудобно, а найти нужную информацию бывает достаточно сложно. Создание информационной модели на этапе эксплуатации

позволяет внедрить, а также изменять, в случае необходимости, максимум необходимой информации по проекту. Такими данными (например, для коммерческого узла учета тепловой энергии (КУУТЭ)) могут быть:

- дата ввода прибора в эксплуатацию;
- дата последней поверки прибора;
- межповерочный интервал по паспорту;
- способ подключения;
- диаметр условного прохода;
- способ передачи данных в ресурсоснабжающую организацию (РСО).

В рамках данной работы рассматривается моделирование теплового пункта существующего жилого здания в городе Санкт-Петербурге (рис. 1).



Рис. 1. Существующий тепловой пункт

Проведено первичное обследование системы отопления здания. Документация на установленное оборудование отсутствовала, поэтому была собрана информация об оборудовании, запорно-регулирующей арматуре [5]. Необходимо было учесть все аспекты, например, физический износ оборудования, его техническое состояние [6].

Далее следовал процесс создания самой модели. Базовые функции программы позволили самостоятельно создавать модели оборудования, которое не представлено в стандартных каталогах, что способствовало более детализированной проработке проекта (рис. 2). Возможности моделирования конкретного оборудования крайне обширны, поскольку программа предоставляет инструменты для создания практически любой геометрии.

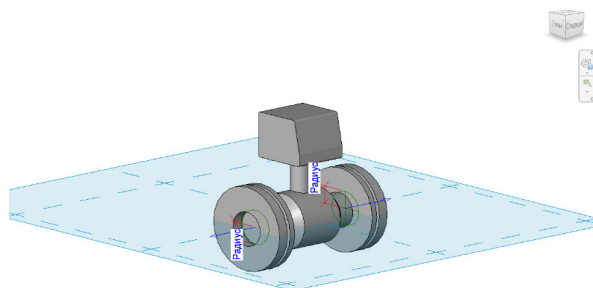


Рис. 2. Созданное семейство теплосчетчика

Результатом работы является модель теплового пункта (рис. 3), которая позволяет решать некоторые задачи, связанные с эксплуатацией инженерных систем здания.

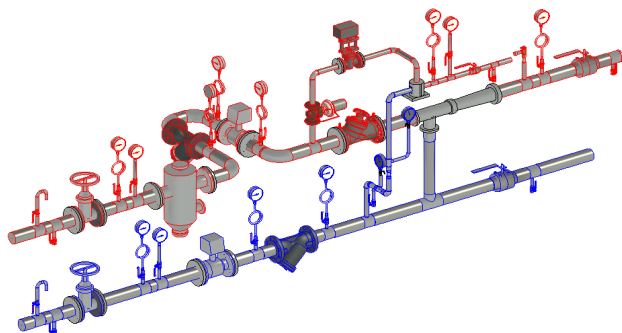


Рис. 3. Информационная модель теплового пункта



Также в отдельные элементы системы была внесена требуемая эксплуатационная информация, которая отображается внутри пространства самой модели при выборе конкретного элемента (рис. 4). Требуемые данные могут быть вынесены в спецификации, это позволяет решать, например, сметные задачи, поскольку каждый элемент системы учитывается автоматически.

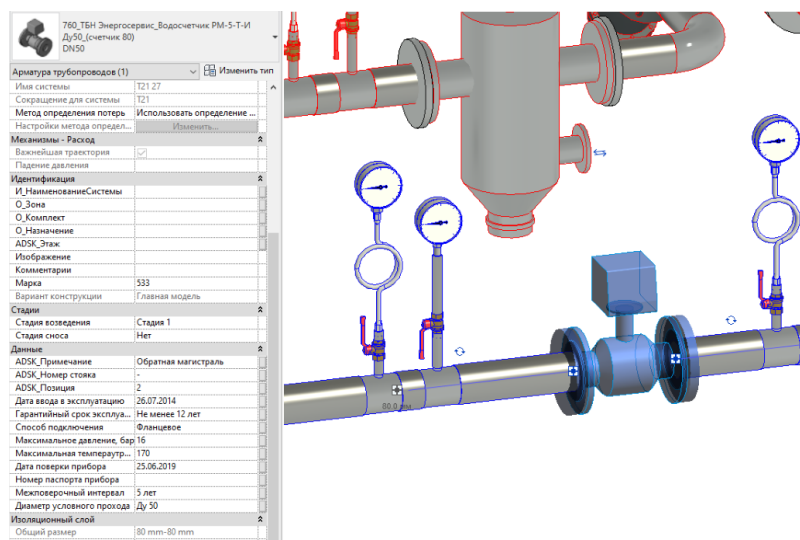


Рис. 4. Пример рабочей спецификации на теплосчетчики

Следует отметить, что внесение данных в рабочую спецификацию также вносит изменение в данные самого оборудования внутри пространства модели, поскольку спецификации составляются по фактическому наличию оборудования и каждая строка относится к конкретному элементу внутри проекта.

Такая информационная модель теплового пункта позволит быстро находить необходимую информацию, оперативно вносить изменения в проект, что значительно облегчит работу эксплуатирующей организации. В качестве примера может служить сервисное обслуживание насосного оборудования, внося информацию

о сроке наработки деталей на отказ можно спрогнозировать требуемый объем запчастей и заказать их без ошибки в расчетах количества.

Разработка информационных моделей как зданий, так и инженерных систем в частности, должна внедряться в сферу современного строительства и эксплуатации. Следует регламентировать требования к информационным моделям, и вести работу в этом направлении, поскольку сфера ВІМ-технологий развивается во всем мире и имеет большой потенциал в будущем. Следующим этапом работы может стать разработка концепции внедрения данной технологии конкретно для нашей страны. На примере нескольких объектов возможно проанализировать плюсы и минусы использования информационной модели, и сделать выводы о рациональности ее применения в больших масштабах.

Работа выполнена в рамках проекта ВІМ-ІСЕ (<https://bim-ice.com/>), финансируемого за счет средств гранта Программы ПС «Россия – Юго-Восточная Финляндия 2014-2020».

### **Литература**

1. Деменев А.В., Артамонов А.С. Информационное моделирование при эксплуатации зданий и сооружений // Наукоедение. 2015. № 3(7). С. 1–9. DOI: 10.15862/29TVN315.
2. Пакидов О.И. Основы ВІМ: Информационное моделирование для строителей. Набережные Челны, 2014. 35 с.
3. Суханова И.И., Гнедых В.С., Демшина Д.А. Анализ гидравлического и аэродинамического расчётов систем отопления и вентиляции на основе ВІМ-моделирования // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6220> (дата обращения: 02.03.2021).
4. Толстолуцкая А.А. Информационное моделирование и применение ВІМ-технологий на этапе эксплуатации зданий // Сборник докладов ІХ международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С. 251–254.
5. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов. М.: Минстрой России, 1997. 83 с.
6. Методика определения физического износа гражданский зданий. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005761> (дата обращения: 02.03.2021).

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM

<i>Romanovich M., Albehadili K. A., Ali Y. M.</i> Benefits and Challenges of Implementing BIM in the AEC Industry in Iraq .....	3
<i>Roumyeh M. L., Badenko V. L.</i> Integrating BIM and GIS to Move Towards CIM .....	14
<i>Захарова Г. Б.</i> Как BIM перерастает в CIM и в цифровой двойник города .....	27
<i>Менейлюк А. И., Никифоров А. Л.</i> Организация возведения зданий с помощью шаблонов управления строительством и BIM .....	36
<i>Михальков Д. В., Шкильнюк М. А.</i> Определение тепловых потерь через наружное ограждение в современных программных комплексах .....	45
<i>Яхина Е. П.</i> Обзор использования технологии лазерного сканирования в реставрации и реконструкции объектов культурного наследия в России .....	53

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

<i>Астафьева Н. С., Филатова Ю. С., Садовский А. Д.</i> Оценка влияния ограждающих конструкций на теплозащиту и энергоэффективность здания .....	62
<i>Баженов А. А.</i> Информационные технологии при строительстве автомобильных дорог .....	72
<i>Бовтеев С. В.</i> Практика применения 4D-моделирования в строительстве .....	77

<i>Васильева М. С., Терех М. Д.</i> Энергомоделирование как современная основа повышения энергоэффективности зданий .....	85
<i>Ведерникова А. А., Федухина Н. В.</i> Разработка Dynamo-Script для ускорения процесса проектирования раздела КР в Autodesk Revit .....	93
<i>Вилисова А. Д., Миронова Л. И.</i> Анализ сценариев внедрения BIM-технологии в строительных компаниях .....	99
<i>Георгиев Н. Г., Шумилов К. А.</i> О комплексном применении пакетов визуального программирования в BIM .....	106
<i>Гиря Л. В., Трофимов Г. П.</i> Применение BIM-технологий в практике эксплуатации зданий и сооружений .....	113
<i>Голдобина Л. А.</i> Моделирование пространственных конструкций в Autodesk Revit .....	120
<i>Дивин Н. В., Дьяков С. Ф., Савченко А. В.</i> Программирование как метод автоматизации ПК Revit .....	127
<i>Жигулин В., Шумилов К. А.</i> Моделирование произвольного варианта застройки с использованием Python в среде 3ds MAX .....	134
<i>Звонов И. А., Нарезная Т. К., Давыдкин П. П.</i> Актуальные вопросы цифровой трансформации сферы эксплуатации зданий образовательных учреждений .....	139
<i>Козак Н. В.</i> Сравнительный анализ КЭ моделей и оптимизация построения поверхностей влияния для элементов объединения сталежелезобетонных пролетных строений с использованием SOFiSTiK и Python .....	148

<i>Колосова Н. Б., Сергеев В. В.</i> Исследование возможности оптимизации определения объемов земляных работ с использованием BIM-технологий .....	156
<i>Кузнецова О. Г.</i> Вопросы формирования ортогональных проекций и наглядных изображений в BIM-программах .....	163
<i>Курило Е. Ю., Нижегородцев Д. В., Берхман Е. Ю.</i> Особенности разработки инструментов информационного моделирования для объектов гидротехнического строительства .....	170
<i>Логвинова М. В., Исупов Н. С., Придвижкин С. В.</i> Достоинства и недостатки армирования железобетонных конструкций в различных программных комплексах .....	177
<i>Ломакин Е. А., Пеньков Д. В.</i> Опыт внедрения GEO+BIM-технологии в рамках концепции комплексного использования ресурсов подземного пространства .....	184
<i>Меньшикова Е. П.</i> Бесшовность архитектурно-градостроительных BIM? .....	192
<i>Орловская Т. Н.</i> Концепция применения BIM-моделирования в управлении социально-пространственным развитием мегаполиса .....	200
<i>Салосин А. С., Кукина А. А., Петроченко М. В.</i> Анализ возможностей VR- и AR-технологий и оценка их применения в сфере строительства .....	205
<i>Свириденко В. А., Романович М. А.</i> Методика снижения негативного воздействия стройматериалов здания на окружающую среду на основе метода LCA .....	214
<i>Ступишин Л. Ю., Никитин К. Е.</i> Компьютерная система анализа сооружений на основе метода критических уровней энергии .....	223
<i>Терех М. Д., Донова Д. И.</i> Перспективы развития функционально-планировочных решений жилой среды с использованием генеративного дизайна .....	230

<i>Торхова Г. В., Бородин С. И.</i> Трансформация деятельности сметчика при использовании BIM-модели .....	240
--	-----

<i>Чигинский Д. С., Валеев Г. В.</i> Применение BIM-технологий при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений .....	248
--	-----

### **ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ BIM**

<i>Hamdan M. A. M., Abuasad M. M. H.</i> Using BIM Technology to Develop Energy Efficiency in Sustainable Buildings .....	255
---	-----

<i>Ibraheem A. A.</i> AMS: A New Software for Structural Analysis, Modeling, and Design with BIM Support .....	262
--	-----

<i>Галиев И. Х., Ибрагимов Р. А., Ашрапов А. Х.</i> Возможности 3D сканеров при мониторинге реконструируемых зданий .....	274
---	-----

<i>Губинская К. Ю., Волков А. В., Ерёменко А. В., Дьяконов Н. П., Тюлькин Д. А.</i> Предложение по обоснованию применения технологии информационного моделирования для архитектурно-градостроительного наследия .....	281
--	-----

<i>Згода Ю. Н., Семенов А. А.</i> Визуализация генерируемой средствами Dynamo Revit геометрии в виртуальной реальности .....	289
--	-----

<i>Иовлев Г. А., Павленко Г. Д., Петров Н. Е.</i> BIM-технологии при проектировании пересадочного станционного комплекса метрополитена .....	297
--	-----

<i>Корелина Т. В., Канду В. В.</i> Взаимодействия специализированных САПР в информационном моделировании .....	307
--	-----

<i>Ломакин Е. А., Пеньков Д. В.</i> Инженерно-геологическое обеспечение GEO+BIM-моделей .....	313
--	-----

<i>Митрофанов В. А., Чиковская И. Н.</i> Подготовка цифровых информационных моделей инженерных систем для прохождения государственной экспертизы, созданных в программном комплексе MagiCAD на базе Autodesk AutoCAD .....	320
<i>Нафикова М. В., Астафьева Н. С., Мамаев А. Е.</i> Использование облачных сервисов при реализации инвестиционно-строительных проектов .....	329
<i>Осипов В. А., Серебренников К. О., Могучев С. Б.</i> Автоматизация процесса приведения проектной модели в соответствие с данными лазерного сканирования конструкции ландшафтного аттракциона «Лента Мёбиуса» на территории ВДНХ .....	336
<i>Петроченко М. В., Бойко О. Р.</i> Процесс контроля качества «AS-BUILT» BIM модели с помощью лазерного сканирования .....	348
<i>Пресняков А. А., Добрышкин Е. О.</i> Внедрение технологии информационного моделирования в условиях реализации государственного заказа .....	360
<i>Пученков И. С., Евтушенко С. И.</i> Автоматизация выгрузки и обработки моделей .....	369
<i>Семенов В. А., Аришин С. В.</i> Новый файловый формат для обеспечения интероперабельности BIM-приложений на основе журнализации транзакций с IFC данными .....	377
<i>Семенов В. А., Шуткин В. Н., Морозкин Н. К.</i> Эффективный подход к 4D-визуализации масштабных строительных проектов и программ на основе иерархических динамических уровней детализации .....	385
<i>Семина А. Е., Максимова С. В., Шамарина А. А.</i> Цифровое информационное моделирование колокольни Троицкого собора в городе Соликамск .....	394
<i>Синицына И. А., Моисеев Ю. М.</i> BIM-моделирование и синтаксические оценки городского пространства .....	401

*Черных А. Г., Корольков Д. И., Пакина А. С.*  
Расчет остаточного ресурса строительных конструкций  
по модифицированному методу с применением средства  
визуального программирования Дупато ..... 408

*Чубарова К. В., Тальников Д. М.*  
Перспективы использования BIM при капитальном ремонте  
и реконструкции зданий ..... 419

*Шамардин А. Б., Шамардин А. Д.*  
Комплекс программ в C++ для расчета теплопотерь  
индивидуальных жилых домов коттеджных поселков ..... 425

## **ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, ВЛАДЕЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯМИ BIM**

*Гурьева Ю. А., Козлова Е. М., Долганова О. И.*  
Программное обеспечение для эффективной организации  
обучения BIM-технологиям ..... 435

*Игнатова Е. В.*  
Разработка образовательных программ с учетом  
профессионального стандарта BIM-специалиста ..... 443

*Мурадян К. О., Смирнова О. В., Нестеров И. В.*  
Организация обучения BIM-технологиям в университете  
в рамках подготовки специалистов транспортной отрасли ..... 450

*Опарина Л. А., Карасев И. С.*  
Внедрение программного комплекса SYNCHRO Pro  
в учебный процесс подготовки бакалавров и магистрантов  
по направлению «Строительство» ..... 456

*Петухова А. В.*  
Элементы информационного моделирования в классических курсах  
инженерной и компьютерной графики ..... 463

*Токарев В. А.*  
Элементы BIM в дистанционных конкурсах команд  
учащейся молодежи ..... 470



*Хусаинова Г. В., Мухаркина А. А.*  
Разработка задания для графической работы с использованием  
формообразующих Autodesk Revit ..... 477

*Шарманов В. В., Кораблин В. И., Михайлов К. Д.*  
Применение BIM-технологии для моделирования безопасных  
условий труда на строительной площадке ..... 483

### **ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

*Диско А. И.*  
Исследование истории развития BIM-технологий как инструмента  
комплексного управления инвестиционным проектом ..... 491

*Каримова А. А., Ибатуллина Д. Р., Разживина А. Э.*  
BIM-технологии и цифровизация в нефтегазовой отрасли ..... 498

*Кононова П. С.*  
Синтез традиций и новейших технологий: использование  
BIM-моделирования при осуществлении деятельности  
по сохранению объектов культурного наследия ..... 504

*Макаренко А. Н., Муравьева М. Д., Рябов А. И.*  
Совместное использование Connected BIM, IoT и Blockchain для  
мониторинга строительных конструкций ..... 512

*Петрякова В. К.*  
Применение BIM-технологий для повышения качества  
разработки проекта планировки ..... 519

*Предеина В. П.*  
Автоматизация создания архитектурной модели путем визуального  
программирования в Dynamo ..... 525

*Сиротина А. Д., Хайбулина О. Р., Панова Ю. Е.*  
Анализ взаимодействия специалистов в среде BIM  
при помощи блок-схем ..... 532

*Хамидулин М. Г., Зворыкин М. В.*  
Создание эксплуатационной модели теплового пункта ..... 539

Научное издание

**ВІМ-МОДЕЛИРОВАНИЕ  
В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА  
И АРХИТЕКТУРЫ**

Материалы IV Международной  
научно-практической конференции

**ВІМАС 2021**

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 11.05.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 32,09. Тираж 300 экз. Заказ 44. «С» 20.

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.