ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы VII Международной научно-практической конференции

Proceedings of VII International Conference

BIMAC 2024

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы VII Международной
научно-практической конференции

BIM IN CONSTRUCTION & ARCHITECTURE

Proceedings of VII International Conference

BIMAC 2024

Санкт-Петербург
2024

УДК 69+004.9

Рецензенты:
д-р техн. наук, профессор *А. М. Гримитлин* («АВОК СЕВЕРО-ЗАПАД»);
канд. техн. наук, доцент *Ю. В. Юркин* (Вятский государственный университет)

Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А. А. Семенова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. – 381 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1367-2
DOI: 10.23968/BIMAC.2024

В сборнике представлены статьи участников VII Международной научно-практической конференции «Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры» (BIMAC 2024), проходившей в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в 2024 году.

Авторами сделан обзор современных достижений и представлены результаты, полученные в области развития концепции ТИМ (BIM); информационного моделирования архитектурных решений, инженерных систем, линейных объектов; организации строительства и эксплуатации объектов строительства с применением ТИМ (BIM). Также рассматриваются внедрение ТИМ в проектных организациях; современное программное обеспечение для ТИМ; программирование (автоматизация работы) в ТИМ-ПО; импортозамещение ПО; технологии 3D-печати, 3D-сканирования, виртуальной и дополненной реальности; достижение энергоэффективности посредством ТИМ; обучение ТИМ (BIM) в университете и других организациях.

ISBN 978-5-9227-1367-2

DOI: 10.23968/BIMAC.2024.001

Abushreitah Alaa Salah, Master's degree student
(Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University)
E-mail: asm7367@gmail.com
Abdulrahimzai Gul Rahman, Master degree in Environmental engineering in urban construction
(Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University)
E-mail: agulrahman@gmail.com

THE SYNERGY BETWEEN BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) AND ENERGY EFFICIENCY IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY

The BIM (Building Information Modeling) has brought forth a digital model of physical and functional architecture of buildings. This digital age phenomenon has revolutionized the construction industry. This piece focuses on the impact of BIM regarding energy efficiency in the building industry. This paper examines the potential of BIM to achieve more energy efficiency in the building design, building construction and operation across multiple facets. Case studies are also provided as well as showing the ways in which BIM technology can turn building designs into truly sustainable, energy-efficient, and green structures.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), Energy Efficiency, Construction Industry, Sustainable Design, Lifecycle Management.

Introduction. The construction of buildings, infrastructure projects, and other structures contributes noticeably to energy consumption and CO2 emissions on worldwide scale. Adapting to sustainable practices, improving energy efficiency in buildings becomes a focus of the world today. BIM (Building Information Modeling) is a design game-changer in the architecture, engineering, and construction (AEC) field as it creates a comprehensive digital model of the building's physical and functional characteristics. BIM offers one of the main possibilities of increasing energy efficiency at the level of building design, creation of the building itself and its operation. Utilizing BIM in combination with an energy analysis software helps architects, engineers, contractors, and other professionals do energy optimization for buildings while respecting the environment.

Energy efficiency has been increasingly recognized as a vital part of the green building movement, as it seeks to cut energy use, decrease operating cost, and place minimal strain on the environment [1]. This piece discusses the BIM role in improving the energy efficiency level in the construction industry, demonstrating that BIM can be a tool for enhancing energy performance in buildings.

1. BIM for Energy Analysis and Simulation. Building Information Modeling helps architects and engineers to do thorough energy analysis and simulate energy consumption during building design project. Integrating energy analysis tools with BIM software developers will help different design and analysis their impact on energy usage. For instance, the energy analysis feature of Autodesk Revit allows its users to evaluate the potential performance metrics of their building namely heating and cooling loads, daylighting levels and energy consumption in general [2].

Case Study: The Bullitt Center. The Bullitt Center in Seattle, WA, as a model of integration of BIM into operation models of building design, is a truly commercially achievable achievement with these exceptional levels of the energy efficiency in buildings. Utilizing the functionality of BIM software, the project team has been able to implicitly design buildings' orientation, facade design, and HVAC systems to optimize the energy performance. This strategic bevy of attempts did let the Bullitt Center clinch net-zero energy status which means it generates an amount of energy equal to the amount of energy it consumes annually. The environmental excellence of the building's design, construction and utilization of BIM technology have been set as the First Industry standard for sustainability and energy-efficient buildings and proved how important the application of advanced design tools is in creating eco-friendly structures.

The most energy-consuming utilities in the building are HVAC systems operating at thermal comfort and tenant plug loads, as can be seen from Fig. 1. In this timeframe, tenant equipment plugs loads made up the majority of the cumulative energy consumption, amounting to 31 %, a bit more than for the HVAC at 28 %. Hence, they became the dominant energy demand activity. Joining tenant lighting, the loads of plug are 37 % of electricity consumption in the building being especially influenced by occupants' decisions and behaviors [4].

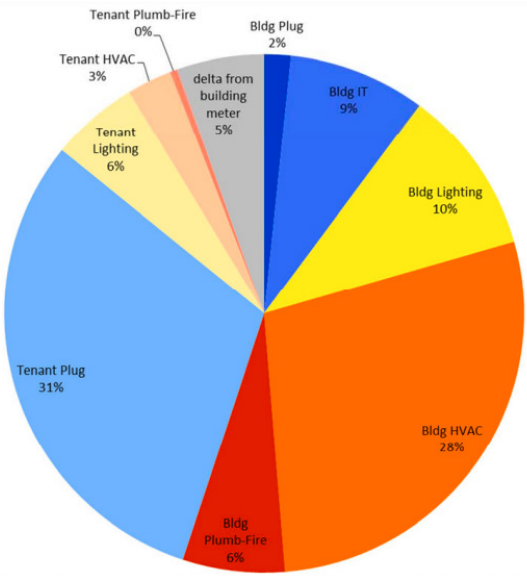


Fig. 1. Bullitt Center Energy End Use – Pie Chart showing building and tenant loads for July to December 2015 [4]

2. Clash Detection for Energy-Efficient Systems. BIM also increases the energy saving since it features clash detection capabilities that can uncover trouble spots between building systems during the initial design stage. Such conflicts as among mechanical, electrical, plumbing, and structural sub-systems can be easily detected by them in advance and hence, rework can be properly avoided for better energy efficiency of system. As an example, dissimilarities between HVAC ducting and structural components can in turn drive energy consumption because the airflow is unevenly distributed, and the system is inefficient.

Case Study: The Crystal. London's The Crystal stepped up with a LEED Platinum certificate for its green design measurements including BIM modeling for clash detection for better energy efforts. Continuous analysis in design aims at resolving all potential clashes between building systems, which gave the project team an opportunity to optimize HVAC duct placement and electrical conduit routing to reduce energy loss and enhance system performance. Thanks to this new approach, The Crystal was one of the foremost energy efficient and green buildings in the world and this became a new standard in the building industry that related to environmentally friendly construction and management (Fig. 2).

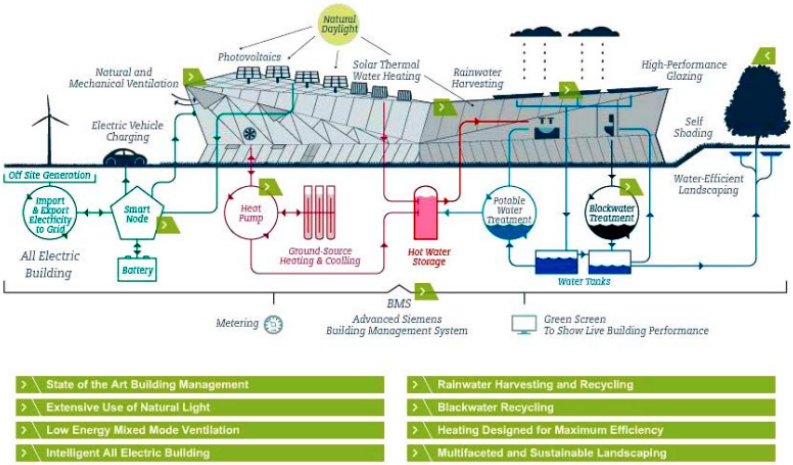


Fig. 2. The Crystal – designed to be the world's most sustainable building [5]

3. Lifecycle Management for Energy Optimization. Building Information Modelling plays an important part across the lifecycle processes of which informs the building stakeholders to track the energy performance from the beginning to the end of the building. A digital twin of the physical building created which also integrates real-time data from sensors and IoT devices into it gives facility managers the means to monitor and track energy use consumption, detect inefficiencies, and adopt remedial actions to facilitate improved operational efficiency.

Case Study: The Edge. The Edge in city Amsterdam has already proven that BIM (Building Information Modeling) is an effective tool in managing the lifecycles for energy optimization. This structure uses an integrated BIM model as a single depot for the common data of the building, considering the power consumption data provided by sensors and smart meters. The micro-collective approach of the facility managers at The Edge empowers them to make informed improvements in building operations. This way they have been able to bring the utility bills down and make considerable savings.

The Edge, an office building, indeed adds LED panels, which have low energy and are powered by light transmitted by Ethernet cables over the network and facilitate remote monitoring of motion, temperature, light, and air. These panels are all part of Philips' standard product range and can be

fitted with a variety of sensors as per the customer's requirement. However, the collected data is that is big and not entirely work on it. By evaluating BLE sensors, we can estimate larger groups of users through the utilization of low-resolution cameras that track indoor positioning. The low-resolution cameras hide subjects' faces from keeping identity a secret, in contrast with the occupancy data. The Edge has barely scratched the surface for its potential, but it shows its pioneering results in IoT integration [6].

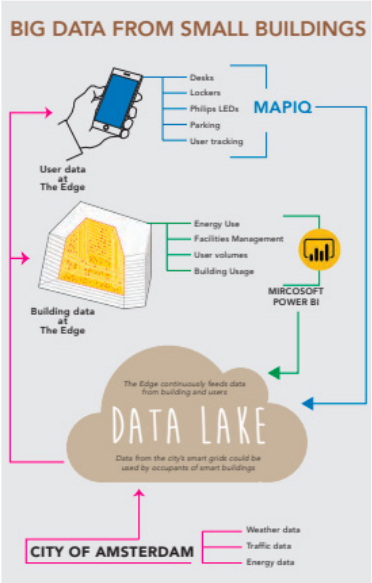


Fig. 3. Deloitte's Data Lake is not connected to the city's smart grid, with the eventual proliferation of IT across scales this remains a likely reality. Illustration: Aftab Jalia [6]

Conclusion. To wrap up the discussion, Building Information Modeling is of great importance for the improvement of energy efficiency in the building industry due to its incredible features such as simulation, performance analysis, clash detection, lifecycle management, parametric design, as well as teamwork. The practical examples of BIM like The Bullitt Center, The Crystal, The Edge, One Central Park, demonstrated that with BIM designers could explore innovation in design of sustainable buildings and succeed in improving energy performance. In line with the rampant spread of sustainability as a prime driver

for the built environment sector, the move to integrate BIM technologies in standard practice is inevitable for creating systems that are efficient and environmentally friendly.

References

1. Kymmell W. Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations: McGraw-Hill construction series. New York, NY: McGraw-Hill, 2008. 270 p.

2. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3rd ed. John Wiley & Sons Inc., 2018. 688 p.

3. Succar B. Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders // Automation in Construction. 2009. Vol. 18, No. 3. P. 357–375. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

4. Gilbride M., Loveland J., Burpee H., Kriegh J., Meek C. Occupant-Behavior-Driven Energy Savings at the Bullitt Center in Seattle, Washington. URL: https://www.aceee.org/files/proceedings/2016/data/papers/8_413.pdf (accessed: 31.03.2024).

5. The Crystal sets the benchmark for sustainable building. Siemens Infrastructure & Cities Sector-website. 2013. URL: https://news.siemens.co.uk/news/the-crystal-sets-the-benchmark-for-sustainable-building (accessed: 31.03.2024).

6. Jalia A., Bakker R., Ramage M. The Edge, Amsterdam. Showcasing an exemplary IoT building. URL: https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/TheEdge_Paper_LOW1.pdf (accessed: 31.03.2024).

DOI: 10.23968/BIMAC.2024.002

Fedotov Ilya, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering;
South-Eastern Finland University of Applied Sciences (XAMK))
E-mail: ilyafedotov2011@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9444-5147

MODELING AND CALCULATION OF SUBSTATIONS USING BIM SOFTWARE

This article outlines a methodical approach to HVAC system design using BIM software like Revit and MagiCAD in connection with SSP heat exchanger selection program. It underlines the importance of BIM modeling and interactive adjustments to ensure accurate outcomes. By detailing steps such as heat exchanger selection, hydraulic calculations, and system balancing, it demonstrates how BIM technologies streamline construction processes. The article showcases how these tools enhance productivity and reduce errors, contributing to smoother project execution. Overall, it underscores the transformative potential of BIM in optimizing HVAC design and improving overall project efficiency.

Keywords: Autodesk Revit, substations, MagiCAD, heat exchangers, SSP, BIM-modeling.

Introduction. According to statistics, the average annual growth rate of the construction industry is 9 % worldwide. Due to the annual scaling of construction projects, designers need to unify projects and calculations in order to reduce the time for making changes. This problem can be successfully solved with the help of BIM technologies [1–3]. The application of BIM technologies can simplify processes of modeling and calculations of HVAC systems and, in the context of this article, substations [4, 5].

Substation description. In this project, the District Heating Substation Group (fig. 1) is modeled with three heat exchangers following the recommendations described in K1 guideline[1].

[1] District heating of buildings Regulations and guidelines K1, Finish Energy, 2014.

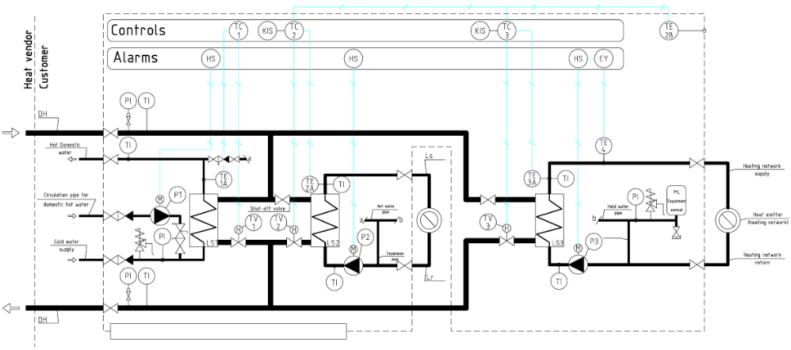


Fig. 1. Substation diagram

Object description.
Office building (fig. 2) in city Kotka.

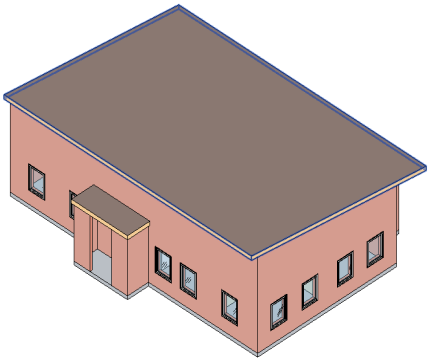


Fig. 2. Office building model

According to the indoor climate parameters and outdoor air parameters[1], a heat capacity was detected

- for domestic hot water 159,5 kW;
- for heating system 7,475 kW;
- for ventilation system 9,03 kW.

[1] Decree of the Ministry of the Environment on the Indoor Climate and Ventilation of New Buildings, By decision of the Ministry of the Environment, 2016.

Rated system temperatures (in accordance with the district heating of buildings Regulations and guidelines K1)

– domestic hot water heat exchanger: 70/20 °C Primary; 10/58 °C secondary;

– heating system heat exchanger: 115/33°C primary; 60/30 °C secondary;

– ventilation system heat exchanger: 115/33 °C primary; 45/30 °C secondary.

Selection of heat exchangers. Based on the results of the calculation, the program generates a list of the most suitable heat exchangers with all technical data (fig. 3). SSPG8 does not currently distribute Revit heat exchangers families, but such families can be found online.

....

Heat exchanger:

B10Tx121/3P

Enter the product site

Download a product sheet

DUTY REQUIREMENTS	UNIT	SIDE 1		SIDE 2
Fluid		Water		Water
Flow type			Counter-Current	
Circuit		primary		secondary
Heat load	kW		**161,3**	
Inlet temperature	°C	**70,00**		**10,00**
Outlet temperature	°C	**20,00**		**58,00**
Flow rate	l/s	0,7794		0,8087
Pressure drop (Design PD)	kPa	18,8 **(20,00)**		20,8 **(20,00)**
Thermal length		4,558		4,376

PLATE HEAT EXCHANGER	UNIT	SIDE 1		SIDE 2
Total heat transfer area	m^2		3,69	
Heat flux	kW/m^2		43,7	
Mean temperature difference	K		10,97	
O.H.T.C. (available/required)	$W/m^2,°C$		4790/3990	
Pressure drop - total*	kPa	18,8		20,8
- in ports	kPa	1,40		1,51
Port diameter (up/down)	mm	24,0/24,0		24,0/24,0
Number of channels per pass		20		20
Number of plates			121	
Oversurfacing	%		20	
Fouling factor	$m^2,°C/kW$		0,041	
Reynolds number		1145		968,8

Technical data Dimensional data Totals

Fig. 3. Heat exchanger calculation result

The result of the selection of heat exchangers is listed in the end of this article (fig. 9).

Substation modeling. The substation is modeled in accordance with the diagram presented above. Valves and pipes families loaded from MagiCAD library.

Families of heat exchangers (fig. 4) are downloaded from the Internet.

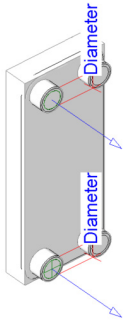


Fig. 4. Heat exchanger Revit family

The family's connector on return side (fig. 5) has been adjusted. The family's connector on supply side (fig. 6) have been adjusted.

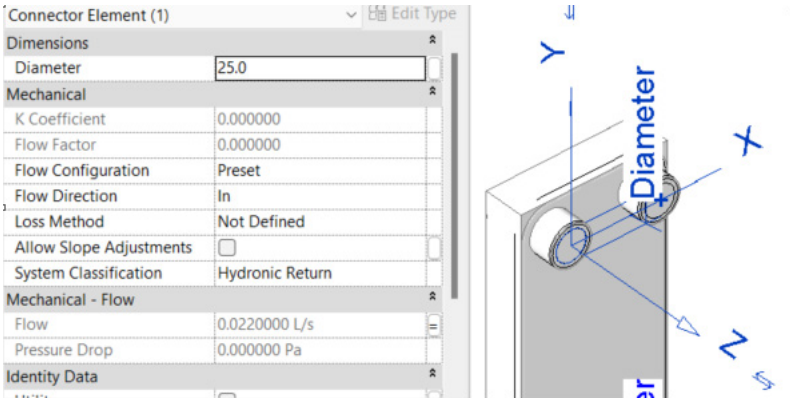


Fig. 5. Supply connector parameter

Due to the need to leave the ends of the pipes unconnected for the calculation of systems[1], the connectors for the heat exchanger were modeled only for the primary side.

[1] Revit MEP manual. 2011. URL: http://images.autodesk.com/adsk/files/revit_mep_2011_user_guide_rus.pdf (Accessed 30.03.2024)

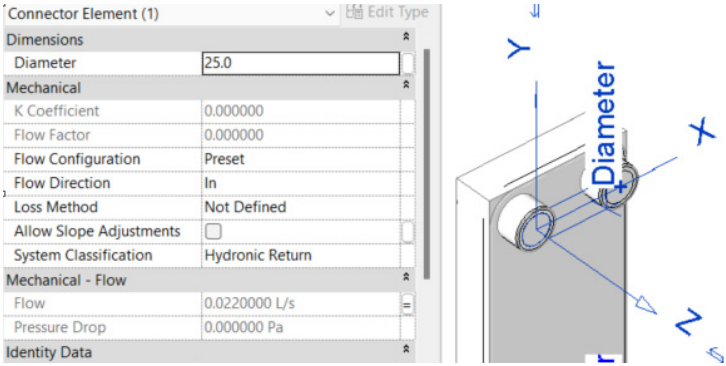
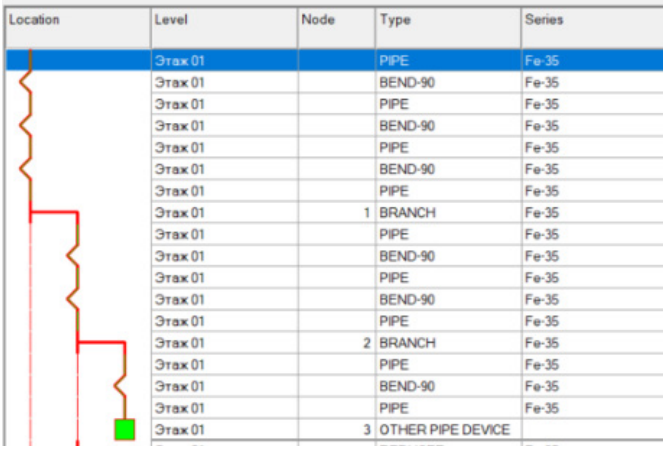


Fig. 6. Supply connector parameter

Hydraulic calculation. Hydraulic calculation (fig. 7) is done in the MagiCAD Revit add-on. The results of the calculation of district heating pipes are presented below.



Location	Level	Node	Type	Series
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01		BEND-90	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01		BEND-90	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01		BEND-90	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01	1	BRANCH	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01		BEND-90	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01		BEND-90	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01	2	BRANCH	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01		BEND-90	Fe-35
	Этаж 01		PIPE	Fe-35
	Этаж 01	3	OTHER PIPE DEVICE	

Fig. 7. Hydraulic calculation results

Difficulties are caused by the hydraulic calculation of the water supply system. Due to the fact that the heat exchanger is MEP equipment, has connection only on the primary side, and is not a plumbing device, MagiCAD perceives it incorrectly when connected to a water supply system. To solve this

problem, a special virtual plumbing device connector (fig. 8) is loaded from the MagiCAD library[1].

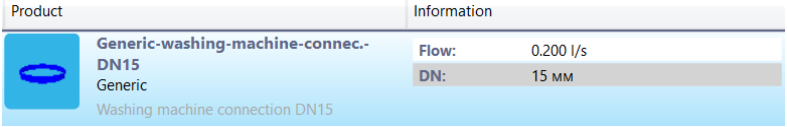


Fig. 8. Virtual plumbing device connector

To obtain the correct result of the hydraulic calculation of the domestic water supply system, it is necessary to calculate the pressure at the feed point after the heat exchanger P_{fp}, Pa using the formula:

$$P_{fp} = P_g - P_{WSS} - P_{HEX}, \quad \text{Pa},$$

where P_g – available pressure given by water distribution vendor, Pa; P_{WSS} – pressure loss of the pipework of domestic water supply (including pressure reducing valve), Pa; P_{HEX} – pressure loss of the heat exchanger, Pa.

Balancing. According to the results of the hydraulic calculation, it is necessary to select a control valve for balancing the substation. The selection of the control valve is carried out manually according to the formula:

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}},$$

where q_v – rated flow of the primary side of heat exchanger, m^3/h; Δp – rated differential pressure, bar.

Results of the selection of the control valve are presented below (fig. 9).

Target		Commercial building																	
HEAT EXCHANGERS		DHW HE						Heating HE 2						Ventilation HE 3					
Manufacturer		SWEP						SWEP						SWEP					
Model		B10Tx121/3P						B10Tx8						B10Tx8					
Output	kW	159,5						7,475						9,03					
		Primary			Secondary			Primary			Secondary			Primary			Secondary		
Flow	dm^3/s	0,771			0,8			0,023			0,06			0,027			0,133		
Temperatures	°C - °C	70	-	20	10	-	58	115	-	33	45	-	30	115	-	33	60	-	30
Pressure loss	kPa	18,5			20,4			0,022			0,06			0,391			0,149		
CONTROL VALVES		Domestic hot water CV 1						Space heating CV 2						Ventilation CV 3					
Manufacturer		IMI Hydronic Engineering						IMI Hydronic Engineering						IMI Hydronic Engineering					
Model		CV 216 MZ						CV 216 MZ						CV 216 MZ					
Flow	dm^3/s	0,8						0,06						0,133					
Pressure loss	kPa	38,633						57,763						57,705					
Size / kvs-value	DN / k_{vs}	25	/	6,3	Kvs0 =		4,63	15	/	0,4	Kvs0 =		0,28	15	/	0,63	Kvs0 =		0,63
Control centre		Control-KL1						Control-KL1						Control-KL1					

Fig. 9. Substation calculation results

[1] MagiCAD for Revit 2018 UR-3 User guide. Heat Pump Systems. URL: https://help.magicad.com/mcrev/2018-UR-3/EN (Accessed 30.03.2024)

After balancing according to the known values of flow and pressure losses, it is possible to select circulation pumps.

Conclusion. After the calculations, it is obvious that the use of this technological process can reduce the time spent on project development and amendments, gives a visual representation of the geometry of the object, eliminates the human factor as much as possible, taking the Revit model as the basis, you can quickly make a beautiful visualization for the customer.

References

1. Chikovskaya I.N., Sukhanova I.I., Sukhanov K.O. Building information modeling-based engineering systems design // Lecture Notes in Civil Engineering. 2023. Vol. 257. P. 245–252. DOI: 10.1007/978-3-030-99877-6_29. EDN: XSMQVY.

2. Таурит В.Р., Суханова И.И., Колосницын А.Н. Исследование численным методом повышения эффективности ниспадающих вентиляционных струй для канальной компактной систем кондиционирования // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 6(83). С. 164–170. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-6-164-170. EDN: TMTOOL.

3. Суханов К.О. Виртуальные испытания водяного плинтусного конвектора // Инновации и инвестиции. 2021. № 7. С. 143–146. EDN: IRXLMY.

4. Маркарян С.Р., Суханов К.О. Подбор отопительных приборов в программном комплексе Linear Building // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. III Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 263–269. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.034. EDN: SPSTZK.

5. Федотов И.Д. Гидравлический расчет системы отопления с использованием надстройки linear для Autodesk Revit // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. III Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 263–269. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.034. EDN: SPSTZK.

УДК 691
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.003

Лобикова Ольга Михайловна, старший преподаватель
(Белорусско-Российский университет)
E-mail: olg.lobikova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3047-2944
Субоч Ангелина Витальевна, студент
(Белорусско-Российский университет)
E-mail: linar0697@gmail.com, ORCID: 0009-0008-3118-649X
Сапранков Никита Владимирович, студент
(Белорусско-Российский университет)
E-mail: nikita.bru.by@gmail.com, ORCID: 0009-0008-9830-6978

Lobikova Olga Mikhailovna, Senior Lecturer
(Belarusian-Russian University)
Suboch Anhelina Vitalievna, student
(Belarusian-Russian University)
Saprankov Nikita Vladimirovich, student
(Belarusian-Russian University)

ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МАТЕРИАЛОВ В ПЕРИОД ОКОНЧАНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

ASSESSMENT OF THE LIFE CYCLE OF MATERIALS DURING THE END OF SERVICE LIFE FOR THE ENCLOSING STRUCTURES OF A LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDING

Строительная отрасль является одним из самых крупных потребителей энергии природных ресурсов, а также известна своим неблагоприятным воздействием на окружающую среду. Именно поэтому важно понимать, насколько она сопряжена с экологией. Данная работа представляет собой сравнительный анализ жизненного цикла строительных материалов, включает учет выбросов углекислого газа, выявление на стадии проектирования неблагоприятного влияния малоэтажного жилого здания в период окончания срока службы при использовании различных вариаций строительных материалов в программном комплексе Tally LCA. Наиболее выигрышной ограждающей конструкцией среди популярных в городе Могилеве для строительства в данном исследовании оказалась стена из газобетона.

Ключевые слова: оценка жизненного цикла, строительные материалы, углекислый газ, невозобновляемая энергия, стадия окончания срока службы.

The construction industry is one of the largest consumers of energy from natural resources and is also known for its negative environmental impacts. This is why it is important to understand how this relates to the environment. This work is a life cycle analysis of construction materials, including consideration of carbon dioxide emissions, identifying at the design stage the adverse effects of a low-rise residential building during the end of its life of life when using various of construction materials in the Tally LCA software package. The most advantageous enclosing structure among those popular in the city of Mogilev for construction in this case turned out to be a wall made of aerated concrete.

Keywords: life cycle analysis, construction materials, carbon dioxide, non-renewable energy, end-of-life stage.

Строительная отрасль на сегодняшний день один из крупнейших потребителей энергии, природных ресурсов, воды и остается сектором, который способствует загрязнению воздуха. После постройки здания обычно эксплуатируются несколько десятилетий. Затем представляют собой значительный источник сырья и продолжают выделять выбросы загрязняющих веществ, связанных с их эксплуатацией (отопление, освещение, процессы вентиляции и т. д.) [1]. При проектировании объектов уделяется достаточно большое внимание снижению выбросов на этапах производства материалов для строительства, при строительстве и эксплуатации зданий [2]. При этом недостаточно прорабатывается проблема повторного использования материалов после окончания срока службы здания. Продуманный выбор материалов с позиции возможности их переработки в будущем, еще на ранних этапах проектирования будет влиять на сокращение количества отходов, и повышение совокупной эффективности объекта. Решить поставленную задачу позволяют BIM технологии [3, 4].

Методы оценки экологического эффекта включают в себя компьютерные модели оценки негативных экологических воздействий, модели анализа экологической эффективности городской застройки по интегральному показателю, чек-листы устойчивого развития и метод анализа жизненного цикла (Life Cycle Assessment – LCA) [3]. Анализ воздействия на окружающую среду, выполненный традиционным ручным способом, предполагает расчет объема выбросов по каждому виду материалов, полученных при демонтаже объекта. При наличии большого количества элементов данный процесс является весьма трудоемким. В помощь проектировщикам приходят программные продукты, позволяющие выполнить поставленные задачи за короткий промежуток времени [4, 5].

Анализ воздействия на окружающую среду в данной работе выполнен в приложении Tally, являющегося надстройкой для Autodesk Revit 2019. В программе подробно заданы материалы по элементам модели из базы данных приложения. Далее для каждого материала добавлена информация о дальности транспортировки до объекта строительства, что также влияет на оценку факторов влияния на природную среду. Определены данные по энергопотреблению здания и длительность жизненного цикла.

По итогам расчетов в Tally составлен отчет с численными параметрами факторов, оказывающих влияние на окружающую среду, и графическим представлением их в виде диаграмм с делением по типоразмерам из BIM-модели. Основные показатели влияния на окружающую среду (потенциал глобального потепления, окислительно-восстановительный потенциал, потенциал эвтрофикации, потенциал образования смога, количество невозобновляемой энергии) в Tally рассчитаны по методологии европейского стандарта BS EN 15978:2011[1].

Следует отследить изменения в ходе исследования показателей выработки невозобновляемой энергии. Энергия является основой развития производительных сил в любом государстве. Ее наличие и доступность обеспечивают бесперебойную работу промышленности, сельского хозяйства, транспорта и коммунального хозяйства. А расходы на энергию являются существенной статьей затрат. Постоянно развивающаяся энергетика является залогом стабильного экономического развития. Принято различать возобновляемые и невозобновляемые источники энергии [6]. Возобновляемые источники – это те, используя которые мы почти не меняем их количество. К ним относятся: солнце, ветер, гидроэнергетика, приливы и другие источники энергии. Невозобновляемые – это источники энергии, которые безвозвратно теряются в процессе переработки либо медленно восстанавливаются. Например: уголь, нефть, газ, торф и другие [7]. Следует отыскивать новые источники энергии и развивать способы её экономии в строительстве.

Целью данного исследования является установление оптимальной ограждающей конструкции для строительства индивидуального жилого здания в Могилевской области, Беларусь с учетом оценки жизненного

[1] BS EN 15978:2011. Sustainability of construction works. Assessment of environmental performance of buildings. Calculation method. 31.01.2012. 64 p. European Committee for Standardization. ISBN: 978-0-580-77403-4. URL: https://www.en-standard.eu/bs-en-15978-2011-sustainability-of-construction-works-assessment-of-environmental-performance-of-buildings-calculation-method/ (дата обращения: 20.01.2024).

цикла (этапы C2-C4 строительных материалов) с использованием методологии LCA.

В статье проводится анализ этапов LCA C2-C4, которые включают перевозку демонтированного продукта к месту переработки или к месту окончательного удаления, использование отходов, полученных после демонтажа, и удаление отходов.

Расчет выбросов и потребляемых ресурсов для модуля C выполнен по СТБ EN 15804/ОР[1].

В ходе исследования был смоделирован двухэтажный жилой дом в Autodesk Revit 2019. Район строительства – Могилевская область, Беларусь. Общая жилая площадь составляет 225 м^2, а высота этажа 3 метра. Для анализа были подобраны распространенные в строительстве среди сельских домов ограждающие конструкции. На основании этих конструкций выполнен теплотехнический расчет для Могилевской области и подобраны толщины ограждающих конструкций.

В работе были смоделированы 2 варианта конструктивных решений жилых зданий и загружены объемы строительных материалов ограждающих конструкций при помощи программного обеспечения Tally LCA для Autodesk Revit 2019. Заданным конструкциям были подобраны материалы из базы данных Tally LCA и автоматически рассчитаны выбросы и потребляемые ресурсы кгCO_2е от них. Кроме того, с помощью Tally LCA проведено сравнение вариантов материалов для ограждающих конструкций по влиянию на потенциалы глобального потепления (GWP), образования смога (SFP) окислительно-восстановительный (AP), эвтрофикации (EP), и количество невозобновляемой энергии (NRE). 3D-модель здания представлена на рис. 1. Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3.

Полученные данные позволяют сделать выбор варианта материала для ограждающих конструкций с позиции минимизации воздействия на окружающую среду после окончания срока службы здания.

[1] СТБ EN 15804/ОР. Устойчивое развитие в строительстве. экологические декларации продукции. Основные правила для товарной категории строительных изделий. Минск: Госстандарт, 2023. С. 16–47. URL: https://stn.by/files/projects/or-stb/ (дата обращения: 20.01.2024).

Рис. 1. 3D-модель проектируемого жилого здания

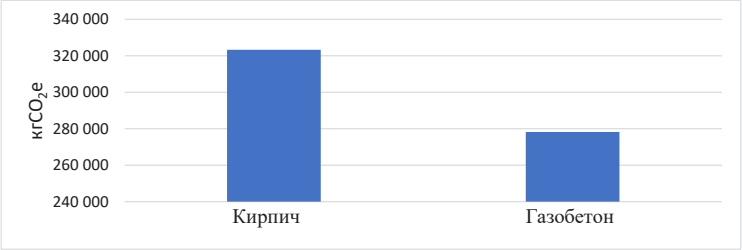


Рис. 2. Объемы выбросов кгCO_2e в модулях C2-C4

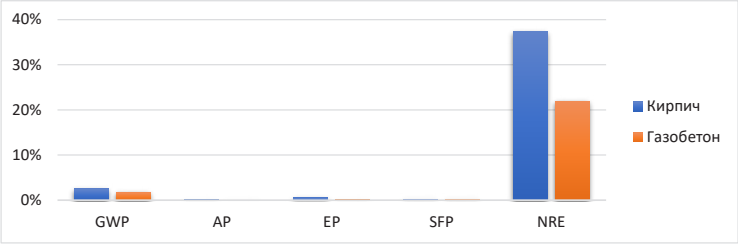


Рис. 3. Результаты сравнения вариантов здания в разных категориях воздействия

По результатам исследования оптимальным вариантом с минимальным воздействием на окружающую среду в виде выбросов кгCO_2е является ограждающая конструкция, в основе которой лежит газобетон. Причем вариант конструкции из кирпича производит больше выбросов на 24,8 %. Можно отметить, что вариант ограждающей конструкции из газобетона также имеет меньшие потери невозобновляемой энергии на 16,43 %. Таким образом, применение LCA с использованием приложения Tally, являющегося надстройкой для Autodesk Revit, для выбора конструктивных решений дает возможность выполнять анализ и минимизировать неблагоприятное воздействие объекта на окружающую среду на любом этапе.

Литература

1. Lasvaux S. Study of a Simplified Model for the Life Cycle Analysis of Buildings. Paris Institute de Technologie, 2010. 14 p.

2. Лобикова Н.В., Галюжин А.С., Лобикова О.М., Галюжин С.Д. Экологическая целесообразность применения тепловых насосов для отопления индивидуальных жилых домов в Беларуси // Вестник Белорусско-Российского университета. 2018. № 2 (59). С. 33–44. DOI: 10.53078/20778481_2018_2_33. EDN: XOOCLJ.

3. Ковалев А.О. Методы оценки экологического воздействия на городскую среду // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 11-3(23). С. 83–86. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.1.7 EDN: UTXFBT.

4. Хроменок Н.В., Слесарев М.Ю. Обоснование эффективности исследований экологической безопасности зданий на основе метода LCA // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: Матер. XXVIII междунар. научно-практ. конф. Morrisville: LuluPress, 2022. С. 120–129. EDN: FCLEVU.

5. Самойлов Е.К. Применение BIM технологий при оценке экологических аспектов реновации объектов индустриального наследия методом LCA // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. XVII междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург: УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2023. С. 78–84. EDN: YDVRRE.

6. Левада А.В., Немова Д.В. Оценка жизненного цикла на основе BIM-модели для зеленого строительства // Неделя науки ИСИ. Матер. всеросс. конф. в 3-х ч. СПб.: СПбПУ, 2021. С. 374–376. EDN: OZWTNL.

7. Dyudyaev I.A., Mayorova V.V. Nuclear vs. Renewables: What Is Better? // LinguaNet. Сб. матер. IV Всеросс. молодёжной научно-практ. конф. с междунар. уч. (к 100-летию Ю.В. Кнорозова). Севастополь, 2022. С. 358–361. EDN: JQOPOT.

УДК 004.9
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.004

Маметова Татьяна Алексеевна, ассистент
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: t.peregutova@sibstrin.ru
Александрова Елизавета Алексеевна, студент
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: e.aleksandrova@sibstrin.ru
Бурба Мария Олеговна, студент
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: m.burba@sibstrin.ru

Mametova Tatyana Alekseevna, Assistant Lecturer
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))
Aleksandrova Elizaveta Alekseevna, student
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))
Burba Maria Olegovna, student
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))

АНАЛИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

ANALYSIS OF GEOINFORMATION SYSTEMS IN RUSSIA AND ABROAD

Данная статья представляет собой обзор современного состояния геоинформационных систем (ГИС) в России и за рубежом. В статье рассматриваются основные тенденции развития ГИС, их структура, соответствие требованиям нормативно-правовой базы, наполненность, уникальность и удобство пользования. Исследование проводится на основе анализа актуальных научных публикаций и примеров использования ГИС в различных городах РФ и зарубежных странах. Критическая оценка данных систем позволила сформулировать достижения и проблемы в данной области градостроительства, а также выявить перспективы и направления дальнейшего развития сферы. В результате работы предлагаются рекомендации по совершенствованию ГИС в России и за рубежом.

Ключевые слова: геоинформационная система, ГИС, геопортал, информационная модель, ЕИС.

This scientific article is an overview of the current state of geographic information systems (GIS) in Russia and abroad. The article discusses the main trends in the development of GIS, their structure, compliance with the requirements of the regulatory framework, completeness, uniqueness and ease of use. The research is carried out on the basis of an analysis of current scientific publications and examples of the use of GIS in various cities of the Russian Federation and foreign countries. A critical assessment of these systems made it possible to formulate the achievements and problems of this area of urban planning, as well as to identify prospects and directions for further development of the field. As a result of the work, recommendations are offered for improving GIS in Russia and abroad.

Keywords: geoinformation system, geoportal, information model, unified information system.

В эпоху перехода на цифровую экономику во всех отраслях деятельности человека данные и информация играют ключевую роль [1]. Тенденции нормативно-правовой базы современной строительной отрасли делают неизбежным переход государственных структур и коммерческих предприятий на цифровые модели различного масштаба: информационные модели (ИМ) объектов капитального строительства различного функционального назначения и их комплексы, цифровые модели городов и т.д. [2].

Цель исследования: выявить основные пути развития, потенциальные области применения и совершенствования существующих ГИС в России и за рубежом.

Для решения поставленной цели необходимо выполнить ряд задач:

1. сформировать перечень доступных для пользователя ГИС и классифицировать системы по масштабности, функциональности, разработчикам и целевым аудиториям, на которые они направлены;

2. проанализировать состояние ГИС в России и за рубежом на основании нормативных критериев;

3. конкретизировать общие тенденции положительных и отрицательных сторон систем.

Большинство известных ГИС российской разработки стали создаваться в начале 1990-х гг. [3]. В рамках данного исследования в свободном доступе сети Интернет был выявлен перечень функционирующих ГИС на территории России и мира (рис. 1), мы исследовали 17 ГИС на территории РФ и 8 за рубежом. Подобные системы характерны для крупных и крупнейших городов. Это обосновано их более высокой динамикой роста, из-за которой сложнее прогнозировать дальнейшее развитие территории, а также иными факторами [4]. Из этого следует, что ГИС должна наполняться постоянно обновляющимися данными, отражая инфраструктуру территории и природные изменения в режиме реального времени.

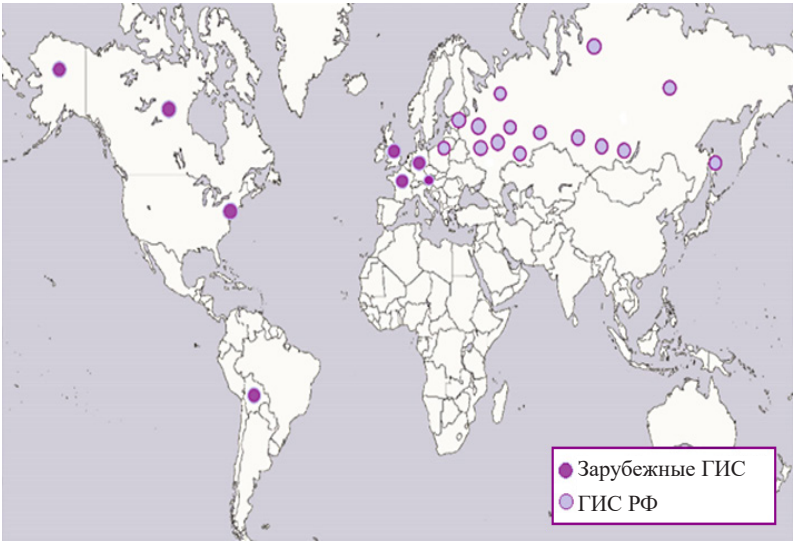


Рис. 1. Геоинформационные системы России и мира

Классификация геоинформационных систем необходима для более качественного сравнения функциональности и формирования общих тенденций разработки не конкретного разработчика, а общего видения систем (рис. 2). Сегодня ГИС можно классифицировать по масштабности, самым высоким уровнем в данной классификации является ГИС страны. Единая информационная система (ЕИС) страны включает в себя совокупность цифровых моделей городской территории муниципальных образований, которая состоит из цифровых информационных моделей частных земельных участков [4].

Р. В. Амелин обосновывает невозможность функционирования ГИС-систем без нормативно-правовой документации, признает ее недостаточность на пороге четвертой технологической революции, но не приводит возможные пути изменения сложившейся ситуации [5]. Так, состав слоев ГИС в РФ нормируется Приказом Министерства регионального развития РФ, Минэкономразвития РФ и Федерального агентства геодезии и картографии от 1 августа 2007 г. № 74/120/20-пр «Об утверждении требований к техническим и программным средствам ведения слоев цифровой картографической основы схем территориального планирования Российской Федерации» и определен следующим перечнем.

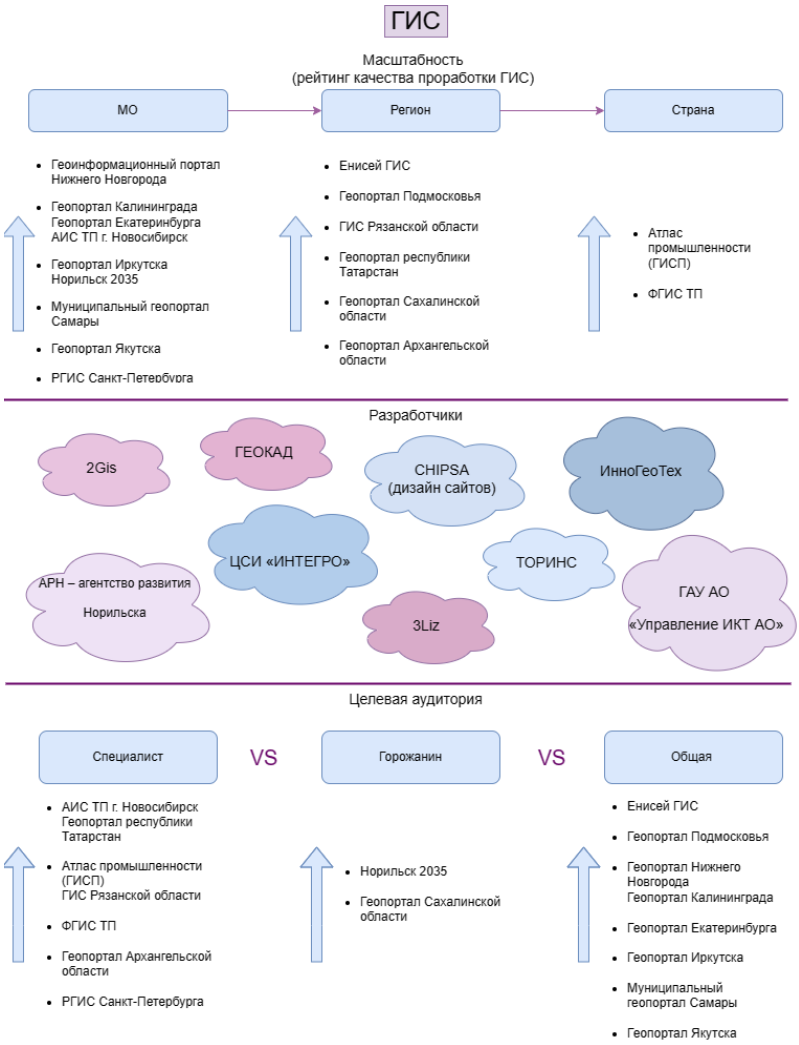


Рис. 2. Классификация геоинформационных систем

1. Пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения

Геодезическая сеть представляет собой совокупность закрепленных на местности точек земной поверхности, положение которых определяется

в общей для них системе координат и высот [6]. С точки зрения урбанизации и картографии, геодезические сети важны в первую очередь для создания и распространения единой системы координат и высот на всю страну [7]. В рассмотренных ГИС соблюдение данного критерия не обнаружено.

2. Объекты гидрографии и гидротехнических сооружений

При развитии любой территории необходим анализ водных ресурсов данной территории в целях ее успешного благоустройства и развития инфраструктуры. К примеру, в рамках городской среды для успешного развития необходимо знать районы затопляемых территорий, чтобы исключить риски затопления важных объектов, а также, зная характеристики районов затопляемых территорий, можно грамотно простроить план по их развитию и эксплуатации с учетом сохранения комфортного микроклимата территории. В рассмотренных ГИС соблюдение данного критерия наблюдается только у нескольких ГИС РФ и практически у всех зарубежных. Данные об объектах гидрографии в данных ГИС несут в себе информацию о местоположении объектов и их наименовании.

3. Кварталы, здания, строения, их части и долговременные ограждения

В ГИС капитальные объекты строительства должны быть определены, как ИМ. Это модели какого-либо объекта, представленные в виде описательной информации о его параметрах [8].

В ходе сравнительного анализа выявилось, что не все ГИС содержат информацию о строительных объектах. Учитывалась не только информация о расположении строительных объектов и транспортных сетей, но и наличие документации в виде паспортов объектов или описания их характеристик, информации о кадастровых участках. Одни ГИС содержат данные в виде проектной документации или краткого описания объекта, но проектов зданий и сооружений, транспортных сетей не было выявлено. Другие же содержат только графическую информацию о местоположении объекта без информации о типе и назначении объекта.

4. Улицы и проезды в населенных пунктах и автодорожная сеть для межселенных территорий

Отражение в ГИС спутниковых снимков с актуально изменяющимися параметрами загруженности путей различного назначения, транспорта и т.д. позволит системе прогнозировать оптимальные условия, как для перемещения горожан, так и для использования данных в градостроительном анализе.

Наличие данного критерия подтвердилось у большинства ГИС. Одни ГИС наполнены информацией о местоположении и названии улиц и проездов. Другие также имеют актуальную информацию о развитии автодорожных сетей – статусы дорожных работ. Главным показателем

в данном анализе было наличие у ГИС актуальных спутниковых снимков, которые наблюдались у наименьшего количества рассмотренных ГИС.

5. Объекты административного деления всех уровней

Каждый уровень административного деления – от федерального до муниципального – обладает своими уникальными характеристиками и компетенциями. Включение этих объектов в ГИС позволяет связать географическую информацию с административными границами, облегчая анализ и принятие управленческих решений. В рассмотренных ГИС соблюдение данного критерия было выявлено у большинства. Данные ГИС несут информацию о местоположении административных объектов и их назначении и выделены уникальными обозначениями.

6. Объекты промышленной, инженерной и социальной инфраструктуры

Включение данного слоя в ГИС позволяет оценить эффективность и загруженность объектов, помогает оптимизировать использование ресурсов и повысить производительность, планировать действия в случае чрезвычайных ситуаций и эффективно реагировать на аварии, ликвидировать последствия и обеспечивать безопасность горожан.

В рассмотренных ГИС соблюдение данного критерия было выявлено у большинства. Одни ГИС несут информацию о местоположении и названии объектов. Другие имеют более полную информацию об объектах: промышленные кластеры и парки, местоположение моногородов и т.д. Полезной информации для горожанина в рассмотренных ГИС не выявлено.

7. Растительный покров

В ГИС также должны быть представлены данные о растительном покрове. Примерами его соблюдения могут являться карты растительности территории с информацией о характеристиках растений. В рассмотренных ГИС соблюдение данного критерия было выявлено у меньшинства. В основном это съемки со спутника, условные обозначения и минимальная характеристика.

8. Объекты железнодорожной сети

Железнодорожная сеть – это один ключевых градообразующих факторов, он влияет на экономическое развитие территории, так как его наличие повышает эффективность работы промышленных предприятий. Например, история города Новосибирска началась со строительства первого железнодорожного моста через реку Обь. В рассмотренных ГИС соблюдение данного критерия было выявлено у большинства, в основном это условные обозначения на картах и краткая характеристика объекта.

Опираясь на вышеперечисленные требования к ГИС, были созданы критерии их оценки, проведен всесторонний анализ и составлена сравнительная таблица.

Сравнительная таблица ГИС РФ и мира по определенным критериям

№	Название	Геодезические сети	Топографические данные	Гидрография	Информационная модель (ИМ)			Административные объекты	Промышленные, инженерные объекты	Растительный покров	Железнодорожные сети	Ссылка
					Кварталы, здания	Улицы, проезды	Кадастровая карта					
Геоинформационные системы РФ												
1	ГИС система Рязанской области	–	–	–	+	+	+	–	+	–	+	[10]
2	Геопортал Подмосковья	–	–	–	+	+	+	+	+	+-	+	[11]
3	Атлас промышленности	–	–	–	+	+	+	–	+	–	+	[12]
4	Енисей ГИС	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+	***[13]***
5	Муниципальный геопортал Самары	–	–	–	+	+	+-	–	–	–	+	[14]
6	Геопортал Екатеринбурга	–	–	–	+	+	+	+	+	–	+	[15]
7	РГИС Санкт-Петербург	ресурс не доступен на 16.02.2024										[16]
8	АИС ТП г. Новосибирск	–	–	–	+	+	+	+	+	–	+	[17]
9	Геопортал города Иркутска	–	–	–	+	+	+	–	–	–	+	[18]
10	ФГИС ТП	–	–	–	+	+	–	–	+	–	+	[19]
11	Геопортал Калининграда	–	–	–	+	+	+	+	+	–	+	[20]

12	Геопортал республики Татарстан	–	–	–	+	+	+	+	+	–	+	[21]
13	Норильск 2035	–	–	–	+	+	–	+	+	–	–	[22]
14	Геоинформационный портал Нижнего Новгорода	–	–	+	+	+	+	+	–	+	–	[23]
15	Геопортал Сахалинской области	–	–	–	+	+	–	–	–	–	+	[24]
16	Геопортал Якутск	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	[25]
17	Геопортал Архангельской области	отсутствие данных										[26]
Геоинформационные системы за рубежом												
18	ГИС система НАСА на Аляске	+	–	+	–	–	–	–	–	+	–	[27]
19	ГИС система Лондона	–	–	–	+	+	–	+	+	–	+	[28]
20	Геопортал Канада	+	–	+	+	+	–	+	–	+	+	[29]
21	Германия	+	–	+	+	+	+	+	+	–	+	[30]
22	ГеоБоливия	–	–	+	–	+	–	+	–	–	+	[31]
23	ГИС Нью-Йорка	+	–	+	+	+	+	–	–	+	+	[32]
24	Геопортал Франции	+	–	+	+	+	+	+	–	+	+	[33]
25	Геопортал Венны	–	–	–	+	+	+	+	–	–	+	[34]

При анализе ГИС принято решение условно разделить выбранные ГИС на категории по степени соответствия составу нормативных слоев, возможности пользования и удобству интерфейса:

– **ГИС, отвечающие требованиям;**

Енисей-ГИС предоставляет пользователю целый каталог карт по следующим категориям: сельское хозяйство, флора и фауна, границы края, климатология и метеорология, экономика, рельеф, окружающая среда, данные наук о Земле, здравоохранение, картография, океанология, здания и сооружения и т.д. Помимо карт, также есть открытые данные, представленные в формате csv [10], об объектах, расположенных на территории Красноярского края. У каждого объекта есть собственный код для удобного структурирования данных. Ключевое отличие от других систем и недостаток Енисей-ГИС – это отсутствие возможности наложения слоев разных категорий на одну карту. Например, при наличии слоев «границы края» и «объекты сельского хозяйства» нет функционала, позволяющего посмотреть их в едином видовом экране, несмотря на обширные категории представленных данных и их наполненность.

– **ГИС, отвечающие требованиям по некоторым направлениям;**

ГИС Подмосковья имеет приятный пользовательский интерфейс и актуален как для специалиста, так и для обычного пользователя. Геопортал имеет широкий перечень слоев. Для специалиста будут актуальны такие слои, как: границы территории, категория слоев ГИСОГД МО с территориальными планами, документами на разрешение строительства, правилами благоустройства и другими. Для обычного горожанина будут актуальны слои с данными о местоположении административных, культурных и спортивных объектах.

ГИС Рязанской области наполнена данными о национальных проектах в различных сферах: культура, здравоохранение, образование и т. д. Содержит информацию о статусе их работ, визуальном представлении (фотографии объектов, спутниковые снимки), паспортах объектов. Помимо национальных проектов, есть также информация об инвестиционных площадках области, их местоположении и владельцах.

ГИС Самары предоставляет данные, актуальные как для специалиста, так и для простого горожанина. Состав слоев делится на следующие категории: благоустройство, информационная инфраструктура, избирательная компания, мероприятия на территории города, образование и культура, объекты потребительского рынка, в которые входят объекты доверительного управления (ДУИ), обозначенные на кадастровом плане территории, реестр рекламных объектов, спортивная инфраструктура и местоположение

пунктов социальной поддержки населения. В качестве подложки для слоев можно использовать обычную картографическую основу, карту правового зонирования или актуальный генеральный план.

ГИС система НАСА на Аляске представляет собой каталог данных о географии, гидрографии, растительном покрове территории и т. д. Стоит отметить, что данные представлены в виде спутниковых снимков, которые обновляются каждую неделю. Актуальность данных – немаловажный критерий для геоинформационной системы.

Информационный центр ГИС штата Нью-Йорк наполнен актуальными данными за 2024 год по различным категориям, таким как экология, образование, транспорт и многие другие. Они представляют собой картографическое и текстовое описание. Файлы можно скачать в CSV, KML, GeoJSON форматах.

– **ГИС, не отвечающие требованиям;**

Геопортал Якутска не отражает всех нормативных слоев, но категории слоев, представленные в данной ГИС-системе, выбраны в соответствии с составом документации территориального планирования. На данный момент система требует оптимизации времени загрузки слоев и дополнения геоинформации о представленных объектах, но четкая структура системы является фактором перспективы развития ресурса.

Геопортал Иркутска сегодня – карта с участками нелегального строительства, без информации о рельефе, об административных объектах, о транспортном слое, делает данную систему не актуальной для большинства категорий пользователей.

Норильск 2035 не соответствует большинству нормативных требований, но интерфейс сайта довольно приятный, геопортал представляет собой постоянно обновляющуюся карту с уже готовыми проектами в строительстве и находящимися еще в разработке. Пользователь может посмотреть, как менялся и будет меняться город в течение 15 лет. Проекты объектов имеют паспорта, представлены на карте в виде спутниковых снимков или 3D-моделей.

– **ГИС, не доступные для анализа из-за системных сбоев.**

РГИС Санкт-Петербурга не работал на момент анализа геоинформационных систем, а геопортал Архангельской области не обладал какими-либо сведениями на момент анализа.

Уникальные особенности некоторых ГИС:

– Атлас промышленности дает возможность скачать информацию о реестре различных кластеров технопарков и моногородов по всей России;

– Муниципальный геопортал Самары имеет схему рекламных баннеров, расположенных на карте города;

– Геопортал Сахалинской области представляет доступ к карте затонувших судов;

– Геопортал Канады имеет богатую галерею карт, а также наполнен данными о чрезвычайных ситуациях;

– На геопортале Германии можно сделать расчет характерных значений для управления поливом и содержанием воды в почве, а также можно отследить климатические изменения. Среди тематических карт можно найти: заброшенные свалки, скважины и профили, полезные ископаемые, данные о почвоведении и многое другое.

На основании проведенного исследования сформированы следующие **конкретные** выводы:

– ГИС Енисей является наиболее продуманной и соответствующей приведенным нормативным требованиям системой;

– Ряд ГИС соответствуют критериям по некоторым показателям. Так, ГИС Рязанской области наполнена только слоями, связанными с инфраструктурой. Слои обладают подробными данными с характеристиками объектов. Геопортал Самары актуален как для специалиста, так и для горожанина. Каркас сайта и слои соответствуют большинству нормативно-правовых критериев, но на данный момент не все работают, также, как и ГИС Рязанской области. Порталу недостает информации о рельефе, геодезических сетях, растительном покрове. Геопортал Подмосковья также имеет обширный каталог данных как для простого пользователя, так и для специалиста. Но данные ГИС имеют общий недостаток - отсутствие слоев с географической информацией: данные о рельефе, геодезических сетях, гидрографии и многим другим, хотя данные в сфере инфраструктуры насыщены информацией.

– Геопорталы Якутска и Иркутска наименее соответствуют нормативно-правовым требованиям, ГИС Якутска имеет четкую структуру системы, но недостаточно наполнен данными, а ГИС Иркутска имеет наименьшее количество нужных слоев, которые бы соответствовали требованиям.

– Анализ зарубежных систем позволяет сделать вывод, что все рассмотренные порталы имеют свои ценностные особенности. Зарубежные системы уделяют отдельное внимание чистоте города, климату и изменений в нем, охране природы, таким образом популяризируя необходимость экологического воспитания. Большим плюсом является регулярное обновление данных и актуальных сведений.

Кроме этого, в ходе исследования были сформулированы не менее значимые **общие** выводы по состоянию зарубежных ГИС и ГИС РФ:

– развитие ГИС, как в РФ, так и за рубежом, сейчас находится на начальном этапе. Большинство систем имеют перспективы для дальнейшего развития, но на данный момент структура рассмотренных ГИС не соответствует критериям и требованиям, которые регламентируются на территории Российской Федерации;

– рассмотренные в рамках анализа ГИС не имеют единого вида, метода функциональности для возможности объединения всех систем в ЕИС;

– на основе выявленных проблем с пользовательской стороны отметим, что для выхода ГИС на необходимый уровень, стоит скорректировать интерфейсы порталов, наполнить их необходимой информацией и обеспечить своевременное обновление данных.

Литература

1. Бучинская О.Н. Информация как ресурс в эпоху цифровой экономики // Вестник Удмуртского университета. Серия Экономика и право. 2022. Т. 32, № 2. С. 209–215. DOI: 10.35634/2412-9593-2022-32-2-209-215. EDN: CPBMDT.

2. Российские геоинформационные системы и геомодули [Электронный ресурс]. URL: https://opengl.org.ru/informatsionnye-sistemy-i-tekhnologii/rossiiskie-geoinformatsionnye-sistemy-i-geomoduli.html (дата обращения: 01.03.2024).

3. Гусева А.В. Геоинформационные системы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S5. С. 50–55. EDN: RWDCVT.

4. Перегутова Т.А. Нормативно-правовое обеспечение цифровой модели городской территории в РФ // Устойчивое развитие территорий: Сб. докл. V Междунар. научно-практ. конф. М.: НИУ МГСУ, 2023. С. 147–151. EDN: PNSWWI.

5. Галай А.Р. Геоинформационные системы // Вестник магистратуры. 2016. № 1-1. С. 51–52. EDN: XQWEYF.

6. Исаков В.С. Назначение и виды геодезических сетей // Вестник науки. 2022. Т. 4, № 7(52). С. 93–96. EDN: CRIJYR.

7. Калачева Н.А., Ульянов А.В. Развитие государственных геодезических сетей // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3(37). С. 142. EDN: VHSCEH.

8. Дмитриев Н.А., Авласевич Д.В., Шаврина О.В., Чураев В.В. Информационные модели // Форум молодых ученых. 2020. № 10(50). С. 153–156. EDN: DWGFDG.

9. CVS – что это за формат файла и как с ним работать [Электронный ресурс]. URL: https://skillfactory.ru/?utm_source=admitad&utm_medium=cpa&utm_campaign=admitad&utm_term=regular&utm_content=2125038&tagtag_uid=97eb9cde71a0fa7b460aae53bf3dd463 (дата обращения: 24.02.2024).

10. Региональная геоинформационная система Рязанской области [Электронный ресурс]. URL: https://geogisro.ryazangov.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

11. Геопортал Подмосковья [Электронный ресурс]. URL: https://rgis.mosreg.ru/v3/#/ (дата обращения: 16.02.2024).

12. Атлас промышленности [Электронный ресурс]. URL: https://gisp.gov.ru/gisip/ (дата обращения: 16.02.2024).

13. Енисей-ГИС Государственная геоинформационная система Красноярского края [Электронный ресурс]. URL: https://24bpd.ru/content/ (дата обращения: 16.02.2024).

14. Муниципальный геопортал Самары [Электронный ресурс]. URL: https://map.samadm.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

15. Геопортал г. Екатеринбург [Электронный ресурс]. URL: https://геопортал.екатеринбург.рф (дата обращения: 16.02.2024).

16. РГИС [Электронный ресурс]. URL: https://rgis.spb.ru/mapui/ (дата обращения: 16.02.2024).

17. Интерактивный портал АИС ТП г. Новосибирск [Электронный ресурс]. URL: http://gis.novo-sibirsk.ru/portal/nsk (дата обращения: 16.02.2024).

18. Геопортал г. Иркутск [Электронный ресурс]. URL: http://map.admirk.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

19. Геоинформационная подсистема ФГИС ТП [Электронный ресурс]. URL: https://mnp.economy.gov.ru/geo/geomnp/viewapp/index.html (дата обращения: 16.02.2024).

20. Геопортал г. Калининград [Электронный ресурс]. URL: https://geoportal.klgd.ru/index.php/view/map/ (дата обращения: 16.02.2024).

21. Геопортал Республика Татарстан [Электронный ресурс]. URL: https://geo.tatar.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

22. Мастер-план «Норильск – 2035» [Электронный ресурс]. URL: https://norilsk2035.ru/map?ysclid=lsa5t1nm8u933879337 (дата обращения: 16.02.2024).

23. Геоинформационный портал г. Нижнего Новгорода [Электронный ресурс]. URL: http://geonn.grad-nn.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

24. ГЕО ИС Сахалинской области [Электронный ресурс]. URL: https://geois.sakhalin.gov.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

25. Геоинформационный портал города Якутска [Электронный ресурс]. URL: https://map.yakadm.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

26. Геопортал Архангельской Области [Электронный ресурс]. URL: https://maps29.ru/ (дата обращения: 16.02.2024).

27. Спутниковый комплекс на Аляске [Электронный ресурс]. URL: https://asf.alaska.edu/ (дата обращения: 16.02.2024).

28. Аналитика EMU [Электронный ресурс]. URL: https://www.emu-analytics.com/ (дата обращения: 16.02.2024).

29. Геопространственная информация Канады GEO.CA [Электронный ресурс]. URL: https://geo.ca/home/ (дата обращения: 16.02.2024).

30. Геопортал Германии [Электронный ресурс]. URL: https://nibis.lbeg.de/cardomap3/ (дата обращения: 16.02.2024).

31. Геоинформационный портал Боливии [Электронный ресурс]. URL: https://geo.gob.bo/ (дата обращения: 16.02.2024).

32. Информационный центр ГИС штата Нью-Йорк [Электронный ресурс]. URL: https://data.gis.ny.gov/ (дата обращения: 16.02.2024).

33. Национальный портал территориальный знаний Франции [Электронный ресурс]. URL: https://www.geoportail.gouv.fr/#home-news (дата обращения: 16.02.2024).

34. ВенаГИС [Электронный ресурс]. URL: https://www.wien.gv.at/stadtplan/en/ (дата обращения: 16.02.2024).

УДК 72.025.4
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.005

Романович Марина Александровна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: m.romanovich.spbstu@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1608-2883
Чжао Цзыяо, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: zzzzzy2025@163.com, ORCID: 0009-0003-7382-1248

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОХРАНЕНИИ ДРЕВНИХ ЗДАНИЙ В КИТАЕ

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGY IN THE CONSERVATION OF ANCIENT BUILDINGS IN CHINA

Использование технологий информационного моделирования (ТИМ) для изучения и защиты древних китайских зданий позволяет по-новому взглянуть на сохранение данных и управление полным жизненным циклом древних зданий, а также решает проблемы нехватки архитектурных данных и неэффективности ремонта, которые существуют в традиционной технологии защиты древних зданий. В данной статье кратко анализируется связь между ТИМ и особенностями китайской древней архитектуры, описывается процесс создания моделей древних зданий на основе ТИМ-модели, а также всесторонне исследуется значение применения ТИМ для защиты древней архитектуры и обеспечения более научного подхода.

Ключевые слова: китайская древняя архитектура, BIM, ТИМ-модели, сохранение старинных зданий, применение ТИМ.

The use of BIM technology for the research and protection of ancient Chinese buildings provides a new way of thinking for the preservation of data and information and the whole life cycle management of ancient buildings, and solves the problems of architectural data omission and low efficiency of repair that exist in the traditional ancient building protection technology. This paper briefly analyses the connection between BIM technology and the characteristics of Chinese ancient architecture, describes the process of constructing ancient building models based on the BIM model, and comprehensively explores the value of the application of BIM in the protection of ancient architecture.

Keywords: Chinese ancient architecture, BIM, building information modeling, preservation of ancient buildings, application of BIM.

Древняя китайская архитектура является важной частью исторического и культурного наследия Китая, а также сокровищем мирового культурного наследия. В настоящее время, количество старинных зданий в Китае сокращается более чем на 5 процентов в год, и ситуация не внушает оптимизма, поэтому защита старинных зданий не может быть отложена.

Основные данные о традиционных старинных зданиях получают вручную с помощью классических измерительных инструментов, таких как линейка и подвесной шар, по размерам здания. Этот метод имеет низкую точность и другие проблемы, которые не могут быть адаптированы к реальным потребностям защиты старинных зданий. Поэтому в последние годы при сохранении старинных зданий постепенно стали внедряться новые цифровые технологии [1]. Технология информационного моделирования зданий (далее – ТИМ), являясь важной информационной технологией в области архитектурного проектирования, обеспечивает более эффективное и научное техническое решение для проектов по сохранению старинных зданий.

На рис. 1 [2] приведена трендовая диаграмма ежегодных публикаций, связанных с ТИМ и сохранением древних зданий. Как видно из рисунка, ежегодно количество публикаций по данной теме значительно растет, что еще раз доказывает актуальность выбранной темы исследования.

Различные конструктивные элементы и конструкции древнекитайского здания имеют единое числовое и масштабное соотношение. Таким образом, все конструктивные элементы здания образуют единую систему размерных модулей (см. таблицу).

Анализ характеристик древних зданий династий Тан, Сун, Мин и Цин показывает, что понятие структурного модуля как единицы конструкции совпадает с параметрической концепцией ТИМ. С помощью программного обеспечения, например, в программе Autodesk Revit, можно делать многомерные записи информации о компонентах древних зданий, включая размер, материал, степень повреждения и т. д. Эти элементы могут быть точно отображены на облаке точек или на основе изображений, чтобы точно отразить модальные отношения между различными компонентами древних зданий и достичь эффективного сочетания трехмерного моделирования зданий и управления уточнением информации [3, 4]. При использовании Revit для создания трехмерной информационной модели зданий в сочетании с особенностями структуры китайских древних зданий, можно достичь моделирования различных форм древних зданий путем параметризации компонентов древних зданий и создания семейств [5].

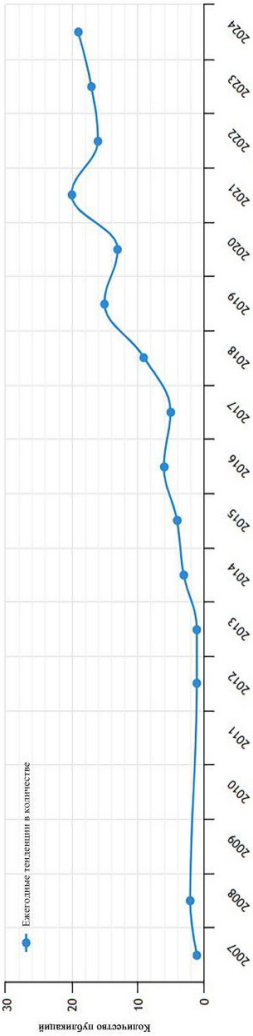


Рис. 1. Трендовая диаграмма количества публикаций, связанных с ТИМ и сохранением древних зданий [2]

Сун «Инцзао Фаши» – Положения о размерах модулей

Габаритный чертёж							
Размер секции	9 (высота)× 6 (ширина) цунь	8,25×5,5 цунь	7,5×5 цунь	7,2×4,8 цунь	6,6×4,4 цунь	6×4 цунь	5,25×3,5 цунь	4,5×3 цунь
1 цунь = 33,3 мм								

Преимущество применения ТИМ на протяжении всего процесса защиты древней архитектуры: сбора данных, ремонта и сохранения, 3D-отображения, научных исследований и мониторинга состояния всего процесса, всего жизненного цикла древней архитектуры имеет важное значение [6].

Процесс моделирования старинных зданий с помощью ТИМ отличается от традиционного. С помощью ТИМ – после использования CAD для создания чертежей и программы Revit для базового 3D-моделирования, в программе Revit можно сохранять большое количество специальных компонентов, таких как крыши, балки, колонны и кронштейны старинных зданий в виде библиотек семейств. Путем назначения специальных кодов информации можно создать эксклюзивную базу данных древних зданий. Различные типы информации о строительстве и оборудовании могут быть сопоставлены с библиотекой семейств древних строительных компонентов для формирования полной сетевой облачной модели [7]. Процесс построения ТИМ-модели для старинных зданий показан на рис. 2.

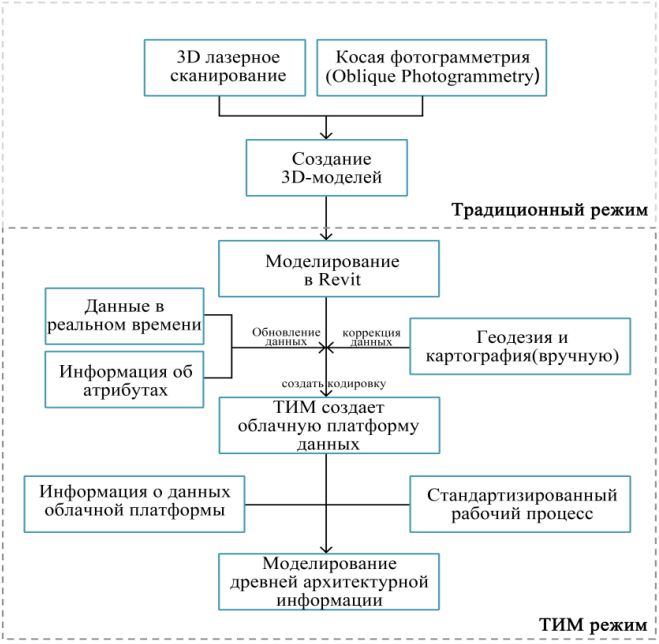


Рис. 2. Процесс создания ТИМ-модели древнего здания

Процесс создания древнего здания выглядит следующим образом:

1. Анализ структурной разборки. Общая структура древнего здания разбирается, необходимо проанализировать специальные конструктивных элементы зданий, такие как фундаменты, балки, доугуны[1], крыши и колонны.

2. Позиционирование конструкции. Необходимо выполнить позиционирование плоской осевой сети и позиционирование высоты фасада. Горизонтальное профилирование облака точек в CAD позволяет получить вид в плане в традиционном понимании древних зданий, по плану можно отметить положение осей древних зданий; Нарезка облака точек в вертикальном направлении дает разрез, который позволяет маркировать ключевые структурные элементы по высоте.

3. Создается файл семейства. Компоненты древних зданий можно классифицировать как доугуны, колонны и балки, и Revit может создавать различные типы библиотек на основе этих трех типов компонентов. Доугун из библиотеки семейств показан на рис. 3.

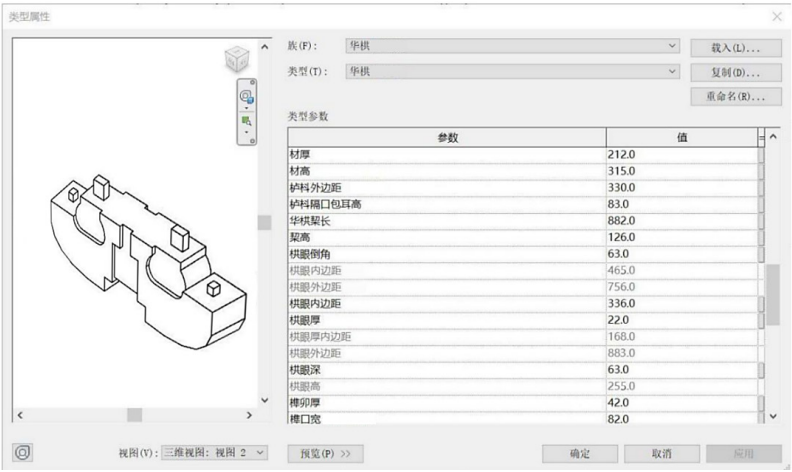


Рис. 3. Создание параметризированных семейств доугун в Autodesk Revit

[1] Доугун (или доу-гун) – это консольная капитель, переходящая в карниз (в дословном переводе – «выступ», «карниз»); чрезвычайно важный элемент в древней китайской архитектуре (в зодчестве буддийского Востока, Кореи, Японии). Главная задача доугуна – поддерживать вынос кровли здания, соединяя опорные столбы и балки обвязки ярусов, а также передавать нагрузку от балок и крыши на колонну.

4. Общее построение. Настройка различных семейств в соответствии с порядком создания древнего здания, начиная по очереди от фундамента до колонн, балок, крыш, черепицы, кирпичных стен и других частей.

ТИМ имеют следующие прикладные значения в области сохранения старинных зданий:

1. Сохранение цифровых данных. Технология трехмерного лазерного сканирования позволяет получить внутренние и внешние данные путем сканирования и измерения древних зданий, избегая потери существующей информации и упущения данных.

2. Своевременное архивирование информации о повреждениях. Используя управление видами и панель аннотации программного обеспечения Revit, мы можем отмечать поврежденные компоненты древних зданий, фиксировать степень повреждения компонентов и фотографии замены после строительства, чтобы четко и полно реагировать на соответствующие поврежденные части и повреждения древних зданий и соответствующий процесс ремонта.

3. Управление полным жизненным циклом. Цифровая модель, созданная с помощью ТИМ, может сочетаться с мониторингом состояния конструкций (Structural Health Monitoring)[1] для точного отражения общей динамики здания.

4. Расширение возможностей культурных и творческих продуктов. ТИМ и VR технологии могут быть объединены для создания иммерсивных сцен для туристов и исследователей, а также для производства соответствующих культурных и творческих продуктов, придавая древним зданиям современную жизненную силу.

Таким образом, применение ТИМ для охраны древних зданий является важным средством повышения эффективности и качества стандартизированного управления охраной древних зданий. Необходимо создать режим защиты древних зданий, основанный на принципах ТИМ, и использовать его в сочетании с реальными проектами и новыми технологиями, обеспечить достоверность и полноту исторической информации, а также информации о техническом обслуживании старинных зданий для достижения цели окончательного восстановления и защиты старинных зданий.

---

[1] Мониторинг состояния конструкций (Structural Health Monitoring) – это интегрированный тип цифровой техники. Она начинается с установки различных типов цифровых датчиков на проверяемом сооружении для сбора информации о характеристиках конструкции и использования соответствующих вычислительных методов для обработки собранных данных, показывая в реальном времени состояние здоровья древнего здания, а в случае неблагоприятной реакции конструкции система мгновенно принимает сигналы тревоги, а также меры по исправлению ситуации.

Литература

1. Анискина С.Е. Применение технологии BIM для трехмерного моделирования памятников архитектуры // Современные технологии в мировом научном пространстве. Уфа: Аэтерна, 2017. Ч. 3. С. 148–149. EDN: ZHIJGJ.

2. Визуализация и анализ данных, связанных с BIM и сохранением старинных зданий. URL: https://kns.cnki.net/kvisual8/article/center?language=CHS&uniplatform=NZKPT (дата обращения: 19.03.2024).

3. Аникеева С.О. Об опыте использования технологии BIM для музеефикации деревянных памятников архитектуры // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2014. № 1(13). С. 31–36. EDN: QEZIME.

4. Талапов В.В. Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. 2-е изд. Саратов: Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

5. Чжан Г. Технология BIM и моделирование системы доугун для памятников архитектуры древнего Китая // Вестник Томского государственного университета Культурология и искусствоведение. 2014. № 1(13). С. 44–55. EDN: RZTMIN.

6. Al-Bayari O., Shatnawi N. Geomatics techniques and building information model for historical buildings conservation and restoration // The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2022. Vol. 25, No. 2. P. 563–568. DOI: 10.1016/j.ejrs.2022.04.002. EDN: UQQZJS.

7. Murphy M., McGovern E., Pavia S. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2013. Vol. 76. P. 89–102. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

УДК 69.003
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.006

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

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

ВИРТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

VIRTUAL MODELS IN LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION PROJECT

В статье на основе анализа публикационной активности в отечественных и зарубежных базах данных, подчеркнута значимость и актуальность виртуальных моделей в строительной отрасли. В то же время отмечена фрагментарность исследований и отсутствие комплексного подхода к определению терминов и оценке возможностей их использования с позиции управления. Обозначены области использования технологий виртуальных моделей в строительстве. Соотнесены преимущества применения виртуальных моделей со стадиями жизненного цикла объекта капитального строительства, выявлена перспективность развития и применения именно цифровых двойников для строительных объектов. Отмечена их дружественность и перспективность к развитию и применению новых технологий и обеспечению реализации концепции устойчивого развития.

Ключевые слова: виртуальные модели, цифровой двойник, цифровизация, оптимизация, жизненный цикл строительного объекта, управление.

The article, based on an analysis of publication activity in domestic and foreign databases, emphasizes the importance and relevance of virtual models in the construction industry. At the same time, the fragmentation of research and the lack of an integrated approach to defining terms and assessing the possibilities of their use from a management perspective were noted. The areas of virtual model technologies use in construction are outlined. The advantages of using virtual models with the stages of the construction project life cycle are correlated, and the prospects for the development and use of digital

twins for construction projects are revealed. Their friendliness and promise in the development and application of new technologies and ensuring the implementation of the sustainable development concept were noted.

Keywords: virtual models, digital twin, digitalization, optimization, life cycle of a capital construction project, management.

Процессы цифровизации в настоящее время набирают все большие темпы и сфера строительства не исключение. Разумеется, некоторые сферы более восприимчивы к новым технологиям, другим перестроиться гораздо сложнее. Так или иначе цифровые технологии неизменно активно входят в нашу жизнь. Рассмотрим особенности цифровизации в строительной отрасли, ведь это одно из основных направлений Стратегии развития строительной отрасли и ЖКХ[1]. Проанализируем возможности и перспективность применения виртуальных моделей для управления объектами капитального строительства на всех стадиях жизненного цикла. Под виртуальными моделями будем подразумевать цифровые модели, цифровые тени и цифровые двойники [1].

В связи с тем, что в настоящее время терминология в отечественных публикациях по данному направлению еще не совсем устоялась [2] (хотя работа в этом направлении ведется – уже принят национальный стандарт РФ ГОСТ Р 57700 – 37.2021[2], в котором определен термин «цифровой двойник изделия», а также Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. в котором дано определение цифрового двойника объекта капитального строительства), использование для анализа термина «виртуальные модели» не целесообразно, так как появляется большое количество результатов, не относящихся к тематике данного исследования. Кроме того, зачастую термин «цифровой двойник» трактуется очень широко и происходит отождествление понятий «виртуальная модель» и «цифровой двойник». Поэтому анализ публикационной активности будем проводить относительно термина «цифровой двойник».

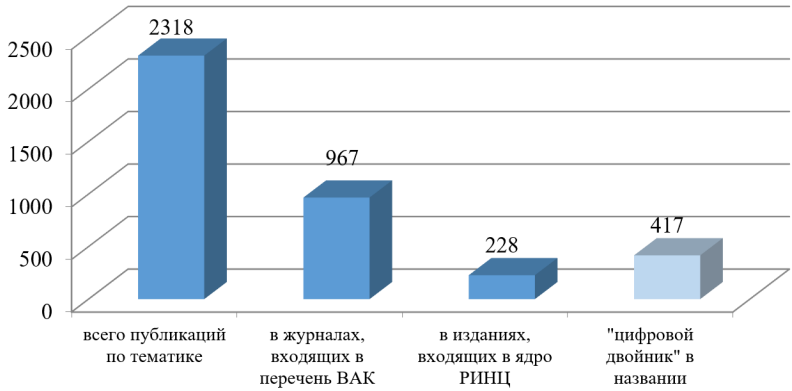
---

[1] Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430333/ (дата обращения: 26.01.2024)

[2] ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения»

Отметим, что при запросе «цифровой двойник» как ключевого слова в eLIBRARY система выдает 2318 публикации, входящих в РИНЦ (дата обращения 20.02.2024), из них 967 в журналах, входящих в перечень ВАК и 228 публикаций в изданиях, входящих в ядро РИНЦ. Интересно отметить, что при аналогичном запросе 06.02.2024 было выявлено 2092 публикации, что свидетельствует о значительном интересе отечественных ученых к данному направлению. Первая из публикаций датирована 2017 годом.

Если осуществить поиск при запросе «цифровой двойник» в названии публикаций – их будет 417, что свидетельствует о том, что в большинстве публикаций цифровой двойник рассматривается как одно из средств достижения целей. И менее чем в 20 % публикаций цифровому двойнику определена значимая роль в исследовании (см. рис.).



Публикационная активность по цифровым двойникам

Если ограничить поиск тематикой «Организация и управление» и «Строительство. Архитектура», то будем иметь 738 публикаций с ключевым словом «цифровой двойник» и 85 публикаций с термином «цифровой двойник» в названии.

Если подробнее остановить внимание на публикациях, касающиеся цифровых двойников объектов капитального строительства, то стоит отметить, что о цифровом двойнике здания речь идет лишь в 8 публикациях, а по отношению к управлению жизненным циклом – лишь в одной публикации.

Отметим тот факт, что в системе было найдено 173 возможных словосочетания с термином «цифровой двойник». Наибольшее количество публикаций с использованием именно термина «цифровой двойник» – 42, далее «цифровой двойник производства» – 22 и «цифровой двойник предприятия» – 12 публикаций соответственно и т.д.

Таким образом, стоит отметить фрагментарность исследований по данному направлению, т.е. «цифровые двойники» рассматриваются в рамках решения отдельных задач.

Рассмотрим публикационную активность по данному направлению, представленную в зарубежных базах данных. Отметим, что в зарубежных исследованиях активно используется термин «цифровой двойник» как обобщающий, что связано широко используемой типизацией цифровых двойников, предложенной Michael Grieves [3, 4].

В исследовании [5], проведенном на основании анализа 350 публикаций (публикации 2023 года и позже в исследование не входили), содержащихся в базах данных, в том числе, Scopus, Web of Science, ProQuest, впоследствии сформированной выборки из 145 публикаций авторы также отмечают фрагментарность исследований, подчеркивая, что зачастую в опубликованных исследованиях рассматриваются отдельные аспекты цифровых двойников, тем самым упускаются из вида области, где цифровые двойники могут быть использованы комплексно для улучшения отраслевой практики. Поэтому авторы [5] делают попытку их систематизации.

Далее в исследовании будем использовать понятие «виртуальные модели», а не «цифровой двойник», акцентируя внимание на различных временных периодах создания и функционирования цифровой модели, цифровой тени и цифрового двойника.

Выделяют восемь областей, в которых используются технологии виртуальных моделей в строительной отрасли: виртуальный дизайн и проектирование, планирование и управление проектом, управление и техническое обслуживание активов, управление безопасностью, энергоэффективность и устойчивость, контроль и управление качеством, управление цепочкой поставок и логистика, структурный мониторинг работоспособности. Добавим к вышеперечисленным еще один значимый аспект – «качество управления». Он также отмечается в исследованиях, но не в столь явном виде.

Соотнесем выделенные направления применения и получаемые преимущества от использования виртуальных моделей со стадиями жизненного цикла (ЖЦ) объекта капитального строительства (1 – Инженерные изыскания, 2 – Проектирование, 3 – Строительство, 4 – Эксплуатация, 5 – Снос) (табл. 1).

Таблица 1

Преимущества применения виртуальных моделей и стадии жизненного цикла объекта капитального строительства

Области применения виртуальных моделей	Преимущества применения виртуальных моделей	Стадии ЖЦ				
		1	2	3	4	5
виртуальный дизайн и проектирование	точность и детализация; возможность создания прототипов реальных объектов; моделирование сценариев; повышение эффективности проектирования					
планирование и управление проектом	повышение производительности; расширение сотрудничества; улучшение конечных результатов					
управление и техническое обслуживание активов	своевременное профилактическое обслуживание; оптимизация и своевременность технического обслуживания; снижение вероятности непредвиденных сбоев непрерывный мониторинг					
управление безопасностью	повышение безопасности рабочих; эффективное управление рисками					
энергоэффективность и устойчивость	принятие рациональных решений; оптимизация эксплуатационных характеристик; применение новых технологий					
контроль и управление качеством	раннее выявление и устранение проблем с качеством; снижение количества дефектов; облегчение проверки качества; непрерывный мониторинг					
управление цепочкой поставок и логистика	постоянный мониторинг; прогнозирование рисков; оптимизация логистических процессов на основе данных, получаемых в режиме реального времени; эффективная координация между участниками внутри цепочки					

Окончание табл. 1

Области применения виртуальных моделей	Преимущества применения виртуальных моделей	Стадии ЖЦ				
		1	2	3	4	5
структурный мониторинг работоспособности	постоянный мониторинг; снижении трудозатрат при обследовании; повышение точности результатов обследования; раннее обнаружение структурных отклонений; своевременное вмешательство; стратегия упреждающего обслуживания					
качество управления	оперативность и точность принятия решений; возможность моделирования сценариев; сокращение количества срывов; оптимизация системы управления затратами; адаптация и применение новых технологий					

Далее сопоставим стадии жизненного цикла объекта капитального строительства (условные обозначения стадий – 1,..,5 аналогичны табл. 1) с периодами создания, модификации виртуальных моделей (табл. 2) и их функционирования (табл. 3).

Таблица 2

Создание виртуальных моделей и этапы жизненного цикла объекта капитального строительства

	1	2	3	4	5
Цифровая модель					
Цифровая тень					
Цифровой двойник					

Таблица 3

Функционирование виртуальных моделей на различных стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства

	1	2	3	4	5
Цифровая модель					
Цифровая тень					
Цифровой двойник					

Таким образом видно, что применение каждой из виртуальных моделей дает возможность оптимизации управления на соответствующих стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства, но наиболее комплексного результата следует ожидать от применения цифровых двойников, так как именно на основе данной виртуальной модели есть возможность оптимального принятия решений и на стадиях эксплуатации и сноса, благодаря анализу постоянно оперативно получаемой информации с реально существующего объекта. Кроме того, применение цифровых двойников способствует развитию умных городов и устойчивому развитию.

Еще отметим сочетаемость и дружественность виртуальных моделей вообще, и цифровых двойников в частности, с новыми современными решениями в области строительства и эксплуатации (например, «зеленое строительство»). Особую актуальность виртуальные модели принимают и для инфраструктурных проектов, строительство и эксплуатация которых требует особого внимания.

Литература

1. Федорова А.В., Шведенко В.Н. Концепция применения технологии цифровых двойников для объединения информационных систем нескольких предприятий в условиях их слияния // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2023. № 1(71). С. 46–51. EDN: JEKBCL.

2. Боровков А.И., Рябов Ю.А., Щербина Л.А., Гамзикова А.А. Цифровые двойники: вопросы терминологии. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. 28 с.

3. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence Through Virtual Factory Replication. White paper. 2014. P. 1–7.

4. Grieves M.W. Virtually Intelligent Product Systems: Digital and Physical Twins // Complex Systems Engineering: Theory and Practice / ed. Flumerfelt S., Schwartz K.G., Mavris D., Briceno S. USA, Reston: AIAA, 2019. P. 175–200. DOI: 10.2514/5.9781624105654.0175.0200.

5. Omrany H., Al-Obaidi K.M., Husain A., Ghaffarianhoseini A. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions // Sustainability. 2023. Vol. 15. P. 10908. DOI: 10.3390/su151410908.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.007

Аришин Семен Васильевич, младший научный сотрудник
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН)
E-mail: arishin@ispras.ru, ORCID: 0000-0001-6128-7082
Гринченко Александр Иванович, аспирант
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН)
E-mail: mr.algrin@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9475-5177
Шило Александр Владимирович, главный специалист по технологиям информационного моделирования
(СПб ГАУ «Центр государственной экспертизы»)
E-mail: shilo_av@exp.gne.gov.spb.ru, ORCID: 0009-0009-5367-9313

Arishin Semen Vasilevich, junior research worker
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)
Grinchenko Alexander Ivanovich, postgraduate student
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences)
Shilo Alexander Vladimirovich, chief BIM specialist
(St. Petersburg State Autonomous Institution “Center for State Expertise”)

WEB-РЕДАКТОР МАШИНОЧИТАЕМЫХ ТРЕБОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ СТАНДАРТОВ IFC И IDS

WEB-BASED EDITOR OF MACHINE-READABLE REQUIREMENTS BASED ON OPEN STANDARDS IFC AND IDS

Обсуждаются проблемы и перспективы применения открытых стандартов IFC (Industry Foundation Classes – ISO 16739) и IDS (Information Delivery Specification), разработанных авторитетным альянсом buildingSMART International, для представления цифровых информационных моделей объектов капитального строительства и спецификации требований к ним. Данные проблемы представляются актуальными в связи с попытками разных ведомств и организаций формализовать нормативные документы строительной отрасли РФ, разработанные и доступные только на естественном языке. Переход к машиночитаемому представлению позволит обеспечить математически строгую и высокоавтоматизированную валидацию проектной документации на следующем уровне развития технологий информационного моделирования (ТИМ). В работе приводится краткое введение в стандарт IDS, а также описывается web-редактор требований, специфицируемых на его основе. Особое внимание уделено конкурентным преимуществам редактора, связанным с контекстной помощью при заполнении форм требований пользователями, не являющимися специалистами в области открытых стандартов.

Ключевые слова: IFC, IDS, ЦИМ, валидация моделей, формализация требований.

The problems and prospects for using open international standards IFC (Industry Foundation Classes – ISO 16739) and IDS (Information Delivery Specification), developed by the authoritative alliance buildingSMART International, for presenting information models of buildings, structures and infrastructure and specifying requirements for them are discussed. These problems seem relevant in connection with the attempts of various departments and organizations to formalize the regulatory documents of the construction industry of the Russian Federation, which were developed and are currently available only in natural language. The transition to a machine-readable representation will allow for mathematically rigorous and highly automated validation of project documentation at the next level of technological maturity. The paper provides a brief introduction to the IDS standard, and also describes the presented web-based editor of the requirements specified using the standard. A special attention is paid to the competitive advantages of the implemented editor related to contextual assistance when filling out requirement forms by users who are superficially familiar with the open standards.

Keywords: IFC, IDS, BIM-model, model validation, requirements formalization.

Задача перевода различных требований к цифровым информационным моделям (далее – ЦИМ, модели) объектов капитального строительства в машиночитаемый вид становится всё более актуальной. На текущий момент различными участниками IT-решений в области строительства принимаются попытки разработать собственный закрытый функционал по созданию таких формализованных правил в рамках отдельных программных комплексов [1]. Однако, такой подход имеет ряд недостатков, а именно:

– невозможность применения машиночитаемых правил в иных программных комплексах в виду закрытости разработки и наличия на неё авторских прав;

– невозможность проверить корректность созданной проверки при отсутствии соответствующего программного обеспечения;

– зависимость от конкретного разработчика программного обеспечения и невозможность дальнейшего развития предлагаемых решений и их расширения иными заинтересованными лицами;

– отсутствие привязки к стандартизованной схеме данных, описывающей способ представления информации в ЦИМ.

Эти нерешённые проблемы порождают определенный скепсис по отношению к данным разработкам со стороны пользователей. В связи с этим при выборе стратегии для решения задачи по созданию машиночитаемых требований к ЦИМ уместно опираться на открытые стандарты, не зависящие от авторского права и доступные к их расширению компетентными участниками IT-отрасли.

Открытые стандарты информационного моделирования зданий, сооружений и инфраструктуры OpenBIM стали еще более актуальны после ухода крупнейших иностранных разработчиков САПР. Они получили распространение в международной и отечественной практике для реализации строительных проектов различной степени сложности. Ключевым открытым стандартом является IFC (ISO 16739-1:2018 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. 2018), представляющий собой спецификацию информационной схемы для проектных данных на языке EXPRESS (ISO 10303-11:2004: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual). В 2019 году версия стандарта IFC4.0.2.1былапринятавкачественациональногостандартаГОСТР10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018. В 2024 году Международной организацией по стандартизации ISO была одобрена версия IFC 4x3 [2], предоставляющая необходимые расширения для инфраструктурных проектов. Ожидается, что публикация данной версии в качестве стандарта ISO состоится в течение 2024 года.

В последние годы все большую популярность приобретает открытый стандарт IDS (Information Delivery Specification) [3, 4], предназначенный для перевода требований к ЦИМ в машиночитаемый вид и их дальнейшей валидации. Стандарт IDS позволяет формализовать типовые проверки модели, представленной в соответствии со стандартом IFC, на полноту данных и принадлежность области значений. В частности, стандарт IDS решает проблемы проверки атрибутивного состава модели, правил именования, соответствия интервальным и теоретико-множественным ограничениям, для решения которых производители программного обеспечения обычно предлагают собственные закрытые решения. Расширяя экосистему стандартов OpenBIM и реализуя принципы открытости и системности, стандарт IDS решает проблемы валидации ЦИМ в формате IFC, причем допуская использование альтернативных инструментов от разных производителей.

На текущий момент стандарт IDS активно разрабатывается, однако уже сейчас на основе текущей версии стандарта (0.9.6) созданы свободные и коммерческие инструменты для практической работы. Прежде всего, это отечественный IDS-редактор от ИСП РАН [5], а также его зарубежные аналоги: IDS Editor (by Artur Tomczak) [6], usBIM IDS Editor [7], Xbim IDS [8]. Среди доступных инструментов валидации моделей на основе IDS следует отметить приложения BlenderBIM [9], Open IFC Viewer [10] и отечественный сервис валидации ИСП РАН [11, 12].

В настоящее время IDS-редактор ИСП РАН, как и сервисы верификации и валидации IFC моделей, включены в состав национальной платформы ТИМ и успешно используются заинтересованными организациями и компаниями для создания собственных машиночитаемых требований к ЦИМ.

При реализации инвестиционно-строительного проекта с применением стандартов IDS и IFC взаимодействие между заказчиком и исполнителем осуществляется следующим образом:

1. На стороне заказчика с помощью IDS-редактора создаются машиночитаемые требования к ЦИМ проектируемого объекта в виде IDS-файла и передаются исполнителю.

2. Исполнитель формирует ЦИМ и выполняет ее проверки на соответствие требованиям IDS с помощью валидатора модели, внося корректировки по необходимости.

3. Итоговая модель в формате IFC передается заказчику и валидируется на его стороне.

4. При обнаружении несоответствий формируется отчет в машиночитаемом виде и передается исполнителю для дальнейшего исправления модели.

Для реализации данного подхода требования IDS должны содержать в себе необходимые данные согласно принятой структуре стандарта в виде общего заголовка документа и набора спецификаций, или формализованных правил. Общий заголовок включает в себя название документа, краткое назначение, развернутое описание, а также версию документа, владельца авторских прав, e-mail авторов, дату создания и этапа жизненного цикла объекта капитального строительства, на котором предполагается использование документа.

Каждое формализованное правило состоит из следующих компонентов:

– **общая информация** (general), в которой указывается название спецификации, идентификатор, назначение, инструкции, схема IFC и статус, устанавливающий обязательный или рекомендуемый характер требования;

– **контекст**, или применимость (applicability), задаваемый декларативным образом, используя объектный запрос или, менее формально, фильтр, результатом которого являются выбранные объекты исходной модели в IFC, подлежащие проверке выполнимости соответствующего требования;

– **требование** (requirement), которое задается с использованием тех же декларативных конструкций, что позволяет интерпретировать

стандартную спецификацию как формальное суждение о принадлежности каждого объекта, удовлетворяющего условиям контекста, множеству объектов, удовлетворяющих условиям требования.

Для задания контекста и требования в IDS предусмотрено шесть предопределенных паттернов (facets), каждый из которых позволяет определить условия соответствующего вида:

– принадлежность объектов заданным классам IFC и предопределенным типам (например, IfcDoor, IfcWindow, IfcWall);

– задание отношений композиции между объектами заданных классов и типов (например, душевой поддон должен располагаться в помещении);

– наличие атрибутов, предопределенных схемой IFC, и принадлежность их заданным областям значений;

– наличие установленных свойств элементов и их соответствие заданным типам данных и областям значений (например, наличие у стены свойства с булевым типом данных, обозначающего, что стена является несущей);

– наличие назначенных классификаторов и их соответствие заданным множествам (например, Uniformat, Omniclass, КСИ и другие);

– наличие назначенных материалов.

С технической точки зрения IDS документ представляет собой XML файл с приписанной схемой XSD, которая должна применяться для контроля соответствия файловых данных стандарту. Для более детального знакомства со стандартом можно обратиться к популярной статье [13] и технической документации на сайте проекта [14].

Отметим, что машиночитаемые требования к ЦИМ описываются в терминах основополагающей схемы IFC, которая служит единым концептуальным и формальным описанием данных об объекте капитального строительства согласно установленным стандартам. В частности, схема IFC определяет классы объектов, предопределенные типы конструктивных элементов, основные типы отношений между ними, атрибутные множества, альтернативные системы классификации, наборы свойств, разнообразные материалы. В дополнение к классам объектов и их атрибутам, схема IFC определяет обобщенные структуры для представления конкретных свойств и классификаторов, которые могут задаваться непосредственно пользователем или заимствоваться из стандартных наборов и словарей, публикуемых buildingSMART International.

Таким образом, составление формализованных правил предполагает наличие знаний схемы IFC. Заметим, что актуальная схема стандарта

IFC 4x3 насчитывает 872 класса, 1825 атрибутов и 435 вспомогательных типов данных, владение которыми обычно вызывает трудности даже у квалифицированных специалистов. Актуальной, в связи с этим, представляется поддержка в IDS-редакторах развитой контекстной помощи по применяемым схемам IFC.

Данная концепция реализована в IDS-редакторе ИСП РАН, обеспечивающем просмотр, модификацию и документирование формализованных правил. Документы генерируются в виде файлов HTML на русском и английском языках. Вид главного окна редактора представлен на рис. 1.

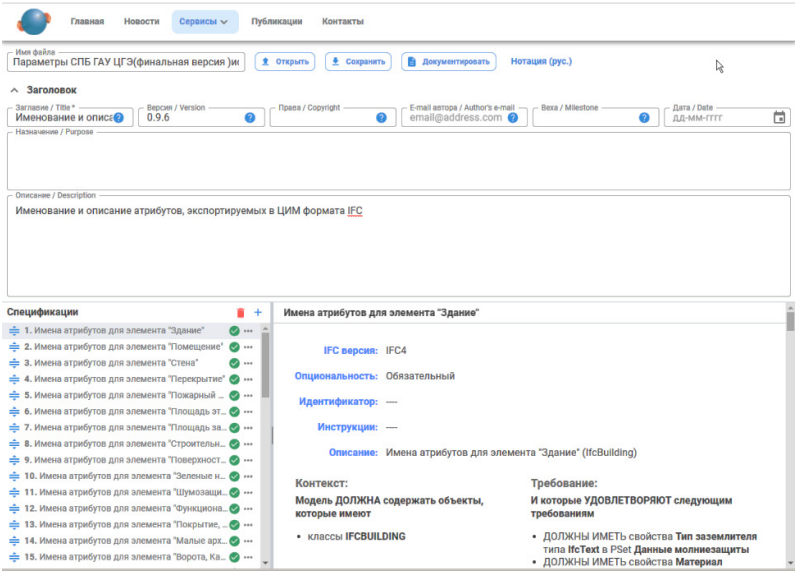


Рис. 1. Экранный снимок главного окна IDS-редактора

Справа от списка спецификаций располагается текстовая нотация общей информации и содержания выделенной спецификации, дающая полное и непротиворечивое описание соответствующего требования.

Для просмотра и редактирования конкретной спецификации предназначено модальное окно с вкладками доступа к ее общей информации, контексту и требованию (рис. 2).

В соответствующих элементах диалога предусмотрена контекстная помощь, позволяющая выбирать требуемые названия сущностей,

определённых схемой IFC, а также предопределённых типов элементов и атрибутов (рис. 3). Полный список атрибутов формируется с учетом многоуровневого наследования сущностей в схеме. При задании условий на назначенные свойства необходимо указать его тип с целью контроля на этапе валидации. В связи с этим в IDS-редакторе реализована возможность выбора полного списка типов свойств, определенных схемой IFC.

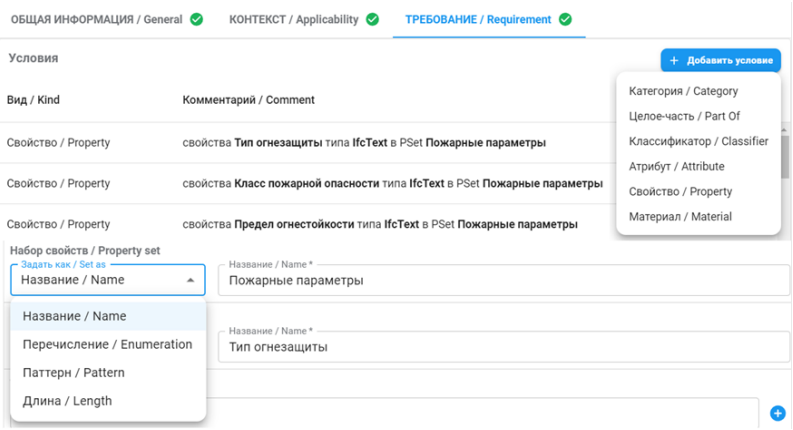


Рис. 2. Диалог редактирования IDS-спецификаций

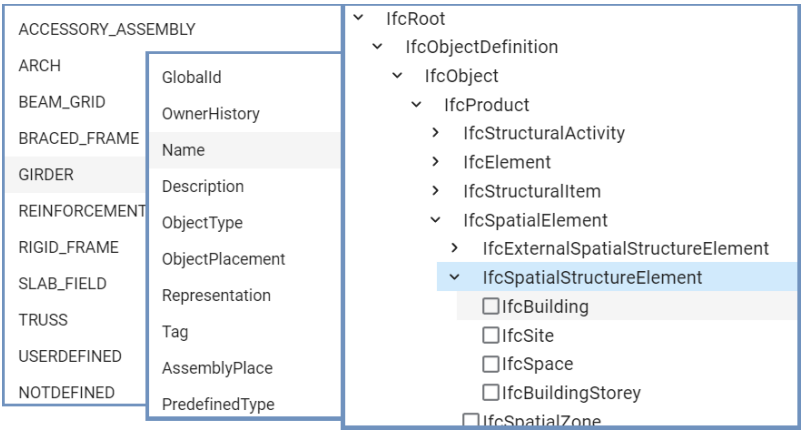


Рис. 3. Элементы контекстной помощи согласно схеме IFC

Средства редактирования с контекстной помощью не только обеспечивают быстрый ввод верных названий, но и гарантируют корректность спецификации и ее согласованность со схемой IFC. Тем самым, минимизируются усилия на обнаружение и исправление семантических ошибок в спецификациях в процессе повторного запуска вычислительно затратных процедур валидации.

В заключение отметим, что актуальная версия IDS решает базовые потребности, и его текущие возможности еще ограничены. Однако открытость и доступность данной разработки поспособствует ее дальнейшему развитию и становлению IDS как общепринятого универсального стандарта по формализации правил проектирования и моделирования объектов капитального строительства. Кроме того, стандарт IDS имеет преимущество перед иными разработками, так как опирается на схему IFC, что в свою очередь дает определенность не только в плане принципов создания формализованных требований, но и в плане структурной организации проверяемых данных в модели.

Помимо всего прочего, предпочтительность связки и открытости стандартов IDS и IFC перед иными разработками заключается в том, что в данном случае исключаются различные риски, присущие закрытым частным разработкам.

Литература

1. Макиша Е.В. Анализ методов перевода требований нормативно-технической документации в машиночитаемый формат для проверки информационных моделей строительных объектов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 2(25). С. 339–350. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25.2.028. EDN: TRHLQE.

2. buildingSMART International. IFC 4.3 APPROVED as a Final Standard. URL: https://www.buildingsmart.org/ifc-4-3-approved-as-a-final-standard (дата обращения: 02.03.2024).

3. buildingSMART International. Information Delivery Specification (IDS). URL: https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids (дата обращения: 02.03.2024).

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

5. IDS-редактор ИСП РАН. URL: https://bim.ispras.ru/ids-editor (дата обращения: 02.03.2024).

6. IDS Editor (by Artur Tomczak). URL: https://artomczak.pythonanywhere.com (дата обращения: 02.03.2024).

7. usBIM IDS Editor. URL: https://www.accasoftware.com/en/information-delivery-specification-ids (дата обращения: 02.03.2024).

8. Xbim IDS. URL: http://www.xbim.it/xids (дата обращения: 02.03.2024).

9. BlenderBIM. URL: https://blenderbim.org (дата обращения: 02.03.2024).

10. Open IFC Viewer. URL: https://openifcviewer.com/ (дата обращения: 02.03.2024).

11. Сервис валидации ИСП РАН. URL: https://bim.ispras.ru/validate-ifc (дата обращения: 02.03.2024).

12. Семенов В.А., Аришин С.В., Тарлапан О.А. Верификация и валидация информационных моделей на основе стандарта IFC в сложных проектах // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 187–195. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.026. EDN: ZWDYOQ.

13. Information Delivery Specification (IDS) – перспективное дополнение к MVD. URL: https://habr.com/ru/articles/784224/ (дата обращения: 02.03.2024).

14. IDS – Machine readable Information Delivery Specification. URL: https://github.com/buildingSMART/IDS/blob/master/Documentation/specifications.md (дата обращения: 02.03.2024).

УДК 004.9:338.984
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.008

Бочаров Михаил Евгеньевич, канд. техн. наук, исполнительный директор, руководитель Комитета по информационному моделированию градостроительной деятельности
(АО «СИСОФТ РАЗРАБОТКА», АРПП «Отечественный софт»)
E-mail: bocharov.mihail@csoft.ru

Bocharov Mikhail Evgenievich, PhD in Sci. Tech., Executive Director,
Head of the Information Modeling Committee of Urban Development
(SISOFT DEVELOPMENT JSC,
Domestic Software Association of ARPP Software Products Developers)

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ – ПУТЬ К ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ

INFORMATION MODELING AND PROJECT MANAGEMENT TECHNOLOGIES – THE PATH TO INTEROPERABILITY OF DATA MANAGEMENT

В статье затрагиваются вопросы управления данными, что крайне важно для развития цифровой экономики в рамках российского законодательства и «приземления» зарубежных методик на российскую почву, а также необходимость разработки отечественных методик и методологий в области информационного моделирования (BIM) и проектного управления (EPC). Необходимость всестороннего исследования затронутых вопросов обусловлена особенностями развития цифровой вертикали, создаваемой в России на основе технологий информационного моделирования и, в некоторой степени, отличающимися от концептуального развития западных технологий OpenBIM. Статья ориентирована на широкую аудиторию – от специалистов федеральных органов до научного сообщества, так как проблемы, затронутые в статье, требуют научного подхода в решении.

Ключевые слова: Building information modeling (BIM), технологии информационного моделирования (ТИМ), информационное моделирование (ИМ), информационная система управления проектами (ИСУП), Engineering, procurement and construction (EPC).

The Article touches on data management issues, which is extremely important for the digital economy development within the framework of Russian legislation and “landing” the foreign techniques on Russian ground, as well as the necessity of developing the domestic techniques and methodologies, as well as the need to develop domestic

techniques and methodologies in the field of information modeling (BIM) and project management (EPC). The need for a comprehensive study of the issues raised is due to the peculiarities of the development of the digital vertical, created in Russia on the basis of information modeling technologies and, to some extent, differing from the conceptual development of Western OpenBIM technologies. The Article targets a wide audience ranging from federal agencies specialists to the scientific community members, since the problems raised in the Article require a scientific approach to solution.

Keywords: Building information modeling (BIM), information modeling technologies (IMT), information modeling (IM), Project Information Management System (PIMS), Engineering, procurement and construction (EPC).

Цифровая экономика, в отличие от «аналоговой», предполагает деятельность, осуществляемую с помощью электронных сетей, связанную с электронными бизнесом и коммерцией, и производимыми и сбываемыми цифровыми товарами и услугами. Что-то подобное из терминологии можно получить, оттолкнувшись от принципа, который американский ученый из Массачусетского университета Николас Негропонте в 1995 году сформулировал как концепцию электронной (цифровой) экономики, при этом выделив в качестве преимущества новой экономики «…более интенсивное развитие и использование информационно-коммуникационных технологий…». Данное утверждение не является достаточно конкретным. Также некоторые варианты терминологии можно посмотреть в работе [1]. Помимо этого, существует проект «Цифровая экономика РФ»[1], о котором будет сказано далее.

Философскому осмыслению термин «цифровая экономика», конечно же, поддается, но мыслить философскими категориями при решении конкретных задач в информационном моделировании, ни тем более в управлении проектами, не следует. К сожалению, про одно принципиальное отличие цифровой экономики в известных источниках практически не говорится. Это – электронный вид данных, который в отличие от бумажного носителя не наделен множеством функций, в частности – надежностью и качеством, зато есть другие возможности и читаемость/понимаемость, и сохранность и, даже в определенной степени, актуальность (своевременность, достоверность, адресность).

Проект «Цифровая экономика» – это один из национальных проектов России на период с 2019 по 2024 годы. Его направления: информационная инфраструктура; информационная безопасность; искусственный интеллект; кадры для цифровой экономики; нормативное регулирование

[1] URL: https://digital.gov.ru/ru/activity/directions/858

цифровой среды; цифровые технологии и цифровое государственное управление. Обратим пока внимание только на названия: среди них нет ни одного, которое бы говорило о надежности и качестве управления данными. А ведь именно от данных как базового продукта зависят все управляющие и управляемые надстройки, которые в целом называются цифровой экономикой.

Данное утверждение может показаться очевидным, но на практике, к сожалению, оно зачастую не воспринимается всерьез. Именно поэтому в поручении Президента России от 3 сентября 2023 года Правительству Российской Федерации указано, что в срок до 01.06.2024 года необходимо обеспечить утверждение национального проекта по формированию экономики данных, предусматривающего мероприятия в сфере обработки данных: сбор данных; передачу данных; создание инфраструктуры хранения данных; обеспечение безопасности данных; совершенствование отечественных стандартов и протоколов работы с данными; разработку алгоритмов обработки и анализа данных; создание отечественных хранилищ кода (платформ и сервисов). С полным текстом можно ознакомиться на сайте[1] Президента России. Часть мероприятий из этого перечня продиктованы политической ситуацией, а часть успешным накоплением сил для достижения следующего этапа технологического суверенитета.

В «Руководстве 2.20» Всемирного банка [2] сказано, что проект – это комплекс взаимосвязанных мероприятий, предназначенных для достижения в течение заданного периода времени и при установленном бюджете поставленных задач с четко определенными целями. Допустим, что одной из задач и одновременно инструментом проекта, кроме его реализации в физическом мире, есть формирование и ведение информационной модели на протяжении всего жизненного цикла объекта. В принципе это соответствует популярному сейчас направлению – электронному документообороту. Неоднозначность здесь в том, что электронным документооборотом маскируют два вида электронного управления данными – в машиночитаемом и машинопонимаемом виде. Это важное обстоятельство, которое действующие «методологии» управления проектами совсем не учитывают. Для них машинопонимаемость – это прочтенный программным продуктом код, а не осмысленные данные. На самом же деле, машинопонимаемость – это следующий этап развития управления данными информационной модели различными технологиями ее формирования и ведения.

[1] URL: http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/72190

Если рассматривать проблему с точки зрения категоризации Бью-Ричардса, то необходимо дополнительно вводить четвертый или пятый уровень. Технологии информационного моделирования в России в большинстве своем изменили направление развития с нулевого и частично с первого уровней Бью-Ричардса в сторону удобства управления данными, свойственного российскому законодательству.

Рассмотрим далее, в чем же состоит этот следующий этап управления данными и есть ли конкретные примеры.

Градостроительным кодексом РФ в определении информационной модели предусмотрено, что вся совокупность сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства (ОКС), которая формируется в электронном виде на всех этапах жизненного цикла ОКС, взаимосвязана между собой. Однако, как и каким образом эта взаимосвязь осуществляется, нигде не написано. Взаимосвязь может осуществляться различными способами, например, через Классификатор строительной информации (КСИ). Причем, чем больше будет таких способов, тем шире возможности информационного моделирования и более гибкой будет модель управления данными, что приводит к экономии ресурсов.

Рассмотрим один и, наверно, основной способ взаимосвязи – объектно-ориентированный. Этот способ универсален, так как обеспечивает все виды читаемости и понимаемости структуры данных. Причем универсальность усиливается разными уровнями отображения реальности – одно-, двух- или трехмерными видами детализации. Для упрощения можно взять известный принцип LOD (Levels of Detail) или более продвинутый принцип УДП и УНИ, описанный здесь [3]. Этот и все другие виды взаимосвязи нужны для бесшовной интеграции данных в процессы более высокого уровня, которые обеспечивают управление физическими работами в рамках проекта. Такими, например, которые описывает методология Института управления проектами (Project Management Institute, PMI), сформулированная в виде стандарта PMBOK (свод знаний по управлению проектами). Этот стандарт базируется на концепции управления проектами через группу стандартных процессов.

Согласно стандарту PMBOK, управление проектами есть применение знаний, навыков, инструментов и методов при выполнении проектной деятельности для достижения требований проекта и запланированных результатов. Однако в последней версии стандарта PMBOK произведена существенная коррекция в сторону итеративных методик. Если переводить на простой и более понятный язык, то метод «проб и ошибок» как подбор решений в ходе проекта – это закономерный шаг в сторону

изначальных догматов, которые выше были отмечены как «группа стандартных процессов». Это реальные требования, позволяющие адаптировать и гармонизировать ранее запланированное с существующими обстоятельствами оптимальным образом. Это движение вперед, хотя новизны в этом нет, это обычный подход, свойственный рациональному мышлению, особенно человека с организаторскими способностями.

Аналогично процессам управления проектом оптимальные пути управления данными информационной модели интуитивно выявляются с помощью соответствующих технологий информационного моделирования. В этом направлении пока преобладает так называемая платформенность с набором четких и даже жестких правил, дающих различным технологиям информационного моделирования некие программные преимущества, например, интероперабельность. Для пользователя это зачастую просто единый интерфейс управления различными потоками данных, удобная вещь для организации горизонтальной бесшовной линейки программных продуктов формирования и ведения информационной модели.

В то же время, с бесшовной вертикалью возникают проблемы. Две основные из них – интероперабельность и белые пятна в цепочках машинопонимаемого управления данными, начиная с информационной модели и вплоть до платформ управления проектами. Обе эти проблемы сейчас постепенно решаются. Одним из наиболее известных решений является информационная система управления проектами государственного заказчика в сфере строительства (ИСУП). ИСУП – облачная информационная система для автоматизации процессов управления строительными проектами на уровне государственного (муниципального) заказчика в сфере строительства, позволяющая сопровождать реализацию строительных проектов на этапе их планирования, проектирования и строительства и обеспечивающая в том числе ведение информационной модели, а также создание комплексной инфраструктуры мониторинга и аналитики этапов жизненного цикла объектов капитального строительства. Это цитата с сайта ФАУ «Роскапстрой» – основного разработчика ИСУП [4].

Данную систему позиционируют как промежуточное звено между информационной моделью и другими высокоуровневыми государственными информационными системами, например, ГИСОГД, ГСН, ЕЦПЭ, ЕИС, ЕСИА и остальными цифровыми сервисами. Конечно, «платформа» ИСУП – вынужденный и где-то необходимый в первую очередь для государства шаг, который закрывает белое пятно в вертикальной цепочке, где машинопонимаемость жестко определяется недостаточно проработанным механизмом XML-схем. С насыщением технологиями информационного

моделирования, а они уже есть в необходимом объеме и необходимого качества, промежуток между информационным пространством существования самой информационной модели (более известный термин – среда общих данных) и государственными информационными системами неизбежно исчезнет. Это закономерно. Сближение разных платформ – информационной модели и других ГИСов – не нуждается в посредниках для передачи и управления данными. Опыт ИСУП может быть полезен в формировании узконаправленных решений, например, в качестве государственного (муниципального) или технического заказчика.

Существуют и другие переходные «платформы», притом каждая позиционирует себя по-своему, зачастую перекрывая функционал друг друга и смежных платформенных решений. У этого есть и положительные, и отрицательные стороны. Положительные заключаются в том, что развивается конкурентная среда, а отрицательные – что с учетом огромных усилий, прилагаемых для разработки отечественного софта, и в отсутствии четкой регламентации и разграничения технологий информационного моделирования, происходит дублирование, которое затрачивает огромные ресурсы IT-разработки.

К сожалению, существующая практика создания норм копировала и копирует сдерживающие факторы, пришедшие от западных производителей BIM-продуктов. Обеспечивая некоторые преимущества перед отечественными продуктами, они не справляются с требованиями цифровой экономики и не позволяют развиваться отечественной науке в этом направлении. При этом отдельные и даже комплексные наработки отечественных вендоров принято считать не шагом вперед и занятием пустующих даже у западных решений позиций, а развитием BIM, потому что противоположной сущности в России не создано.

ИСУП сейчас является центром внимания в области цифрового строительства – это определяющий технологический и регламентирующий тренд на год или два. Если отслеживать «светофор внедрения» ИСУП [5], то регионы России практически полностью готовы к использованию этого продукта. В течение года будет происходить сближение с ИСУП информационных пространств, содержащих ту или иную форму информационной модели, в том числе в виде самодельных решений с выходом на XML-схемы для связи с различными ГИСами.

Присутствуют ли в этой схеме платформы управления проектами и, в особенности, максимально функциональные, обеспечивающие EPC-контрактование и управление? Пока цифровая вертикаль общегражданской стройки только-только формируется, то есть имеется хорошая возможность

использования данных информационной модели, где они есть, напрямую из модели. Далее же «борьба» за управление данными будет между ИСУП и платформами ЕРС. Это относится даже к крупным холдингам, например, девелоперам, входящим в первую десятку.

Дальнейший процесс характеризуется выдавливанием ИСУП ЕРС-функционала внутри холдингов и переключением сторонних организаций, использующих ЕРС, на симбиоз управления данными всей цифровой вертикали. Таким образом, в большинстве случаев платформенность ЕРС будет, по-видимому, существовать в стороне от цифровой вертикали, состоящей из ИМ-ИСУП-ГИСОГД, то есть будут сформированы вертикаль и горизонталь взаимосвязанных данных, соответствующие определению информационной модели в Градостроительном кодексе РФ. Такие примеры тоже есть и успешно работают. Например, так называемый цифровой двойник города Москвы. Его работа основана на высокополигональных трехмерных цифровых моделях (терминология ДИТ Москвы) в ГИС «Портал государственных и муниципальных услуг (функций) города Москвы» с последующей организацией на основе их «подгрузки» в так называемый цифровой двойник г. Москвы. Определение «так называемый» применено в связи с различием «цифрового двойника г. Москвы» с соответствующим определением, утвержденным Распоряжением Правительства от 31 октября 2022 г. № 3268-р. Например, этим распоряжением предусмотрено, что «… цифровой двойник объекта капитального строительства – синхронизированная цифровая копия объекта капитального строительства, представляющая собой виртуальную модель, воспроизводящую форму оригинального объекта и все характерные для такого оригинала процессы, что позволяет однозначно идентифицировать все исторические изменения, выполненные для объекта-оригинала, а также прогнозировать жизненный цикл копируемого объекта». В «цифровом двойнике» Москвы очень многого, что требуется по определению, к сожалению, нет.

Отдельно следует рассматривать других игроков рынка распределения и хранения данных, государственные платформы, такие как «ГосТех» или системы, влияние которых на процессы управления данными безоговорочно, типа систем межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ), а также пока малоиспользуемый, но жизненно необходимый сервис юридически значимого электронного документооборота (ЮЗЭДО/ЮЗДО) или электронного нотариата. И это только игроки в экономической сфере, а, как было упомянуто выше, в 2024 году стартует национальный проект «Экономика данных», и количество государственных игроков, желающих ужесточить требования к обороту данных, только увеличится.

Приведенные выше примеры смогут пригодиться не только при планировании ведения бизнеса отечественным вендорам и EPC-контрактерам, но и при разработке различного рода регламентов и стандартов. Лучше не делать их сдерживающими для технологического развития России и создающими ненужную финансовую нагрузку на потребителя – это осложнит цифровизацию стройки.

Обобщая проведенный анализ, можно предположить, что судьба проектного управления или EPC-контрактования весьма перспективна, если подобный вид деятельности постепенно перерастет в параллельную сущность формирования и ведения информационной модели как цифрового двойника управления процессами одновременно для физического мира и обмена данными с информационной моделью. Разграничение и регламентация по отдельным управленческим процессам, каждый со своим «входом» и «выходом», позволят организовать эффективную среду управления данными, стандартизировать принципы интероперабельности и резко снизить затраты на организацию комплексного управления проектами. Все остальные варианты будут успешными только в закрытых системах управления, но их эффективность будет уступать более профессиональным принципам управления данными, описанным в этой статье. Возвращаясь к названию статьи, можно смело утверждать, что информационное моделирование и технологии управления проектами вместе могут быть более эффективными в управлении данными, в том числе на основе принципов их бесшовной интероперабельности.

Литература

1. Бухтиярова Т.И. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Бизнес и общество. 2019. № 1(21). С. 22. EDN: FUXDMV.

2. Руденко Л.И. Основы управления проектами, курс лекций. Симферополь: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», 2018. 96 с.

3. Бочаров М., Бачурина С., Ергопуло С. К вопросу о цифровизации строительства на основе принципов детализации информационной модели // Информационное моделирование. 2023. № 1. С. 22–27. EDN: OOBERQ.

4. Информационная система управления проектами. ФАУ «РосКапСтрой». URL: https://roskapstroy.ru/proekty/informatsionnaya-sistema-upravleniya-proektami (дата обращения: 26.03.2024).

5. Светофор ведения ИСУП в субъектах Российской Федерации. ФАУ «РосКапСтрой». URL: https://roskapstroy.ru/upload/isup_svetofor.pdf (дата обращения: 26.03.2024).

УДК 69.003
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.009

Васильева Валерия Михайловна, студент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: vasilieva3.vm@edu.spbstu.ru
Заводнова Евгения Борисовна, старший преподаватель
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: yavtushenko_eb@spbstu.ru

Vasilieva Valeria Mikhailovna, student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Zavodnova Evgeniya Borisovna, Senior Lecturer
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА BIM-МОДЕЛИ ПО КРИТЕРИЮ СООТВЕТСТВИЯ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТАМ

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF THE BIM MODEL IN COMPLIANCE WITH REGULATORY DOCUMENTS

В статье рассматривается проблема оценки качества информационных моделей, в соответствие с требованиями нормативной документации, для выявления пригодности использования модели на следующих этапах жизненного цикла проекта, а также для оценки качества выполнения работ подрядчиком. Целью исследования является проверка качества информационной модели по набору критериев, выбранных в соответствие с нормативной документацией, использование для проверки различных программных комплексов, а также вычисление итоговой оценки в соответствие с приоритетом критериев и расчетом коэффициента важности для каждого критерия, а также сравнение применимости различных комплексов для проверки и анализ результатов.

Ключевые слова: BIM-модель, контроль качества, информационное моделирование, чек-лист, строительный контроль, Dynamo.

The article considers the problem of assessing the quality of information models, in accordance with the requirements of regulatory documentation, to identify the suitability of using the model at the next stages of the project life cycle, as well as to assess the quality of work performed by the contractor. The purpose of the study is to check the quality of the information model according to a set of criteria selected in accordance with regulatory documentation, use various software packages for verification, as well as calculate the final score in accordance with the priority of criteria and calculate the importance coefficient for each criterion, as well as compare the applicability of various complexes for verification and analysis of the results.

Keywords: BIM model, quality control, information modeling, checklist, construction control, Dynamo.

С приходом технологии информационного моделирования появляется необходимость в контроле качества BIM-моделей (BIM – Building Informational Modeling) для сокращения вероятности ошибок по причине некорректно заложенной информации, а также для проведения дальнейшей оценки качества выполнения работ подрядной организацией.

Для оптимизации строительного контроля рассматриваются методы унификации проверяемых критериев в виде чек-листов, это позволяет повысить качество строительной продукции и сократить временные и денежные затраты на строительство [1].

Контроль на этапе проектирования позволяет снизить будущие затраты на проверку всех последующих элементов за счет таких атрибутов как информационные, геометрические, проверка на коллизии, соответствие нормам [2]. Если рассматривать BIM-модель как базу для всего жизненного цикла проекта, она должна содержать в себе все данные, которые могут быть необходимы на этапах возведения и эксплуатации здания [3], поэтому необходима оценка качества информационной модели для оценки пригодности ее дальнейшего использования.

Анализируя критерии, используемые при проверке моделей, можно выделить три основные группы проверок: на качество информации, на коллизии и на соответствие нормам [4]. В рамках исследования рассмотрим проверку модели на соответствие нормам. В качестве набора проверяемых параметров выберем требования СП 257.1325800.2020 «Здания гостиниц. Правила проектирования» и СП 477.1325800.2020 «Здания и комплексы высотные. Требования пожарной безопасности».

Полученные критерии проранжируем, исходя из соотношения стоимости и трудоемкости работ, для достижения урегулирования между работами, для которых необходимы дорогостоящие материалы, но малая трудоемкость, и наоборот. Показатели сведены в табл. 1, где 1 – высший приоритет; 2 – средний приоритет; 3 – низший приоритет.

Таблица 1

Параметры проверки на соответствие нормам информационной модели

Показатель	Приоритет
1. Требования к входной группе	
Подходы и подъезды к зданию имеют твердое покрытие	3
Вход для проживающих располагается отдельно от входа для персонала	3

Продолжение табл. 1

Показатель	Приоритет
Входы оборудованы воздушно-тепловой завесой или двойным тамбуром	3
Выделена зона приема и размещения со стойкой оформления	3
Предусмотрена зона ожидания и зона отдыха	3
Предусмотрена зона с индивидуальными сейфовыми ячейками	3
При главном входе предусматривают пост охраны площадью не менее 6,0 м^2	2
Наличие комнаты швейцаров и носильщиков багажа площадью не менее 8,0 м^2	2
2. Требования к объемно-планировочным решениям	
Жилые помещения имеют естественное освещение	1
Шахты лифтов не примыкают к жилым комнатам номеров	1
Выходы из лифтов осуществляются через лифтовой холл	2
Площадь номера – не менее 6 м^2 на проживающего	2
Ширина номеров – не менее 2,4 м	1
Ширина прихожих номеров – не менее 1,05 м	1
Площадь номера однокомнатного двухместного – не менее 15 м^2	2
Площадь С/У – не менее 3,0 м^2	2
Наличие лобби-бара	3
Наличие помещения общественного питания: ресторана, кафе, бара	2
Наличие комнаты хранения багажа	3
Наличие разгрузочных площадок	2
Наличие отдельного лифта для персонала	1
3. Требования пожарной безопасности	
Площадь надземного этажа – до 1500 м^2	2
Площадь стоянки для автомобилей – до 3000 м^2	2

Окончание табл. 1

Показатель	Приоритет
Наличие двух лифтов для пожарных подразделений габаритами 2100х1100 мм	1
Ширина лестничного марша – не менее 1,2 м	1
Зазор между маршами – не менее 120 мм в свету	1
Коридоры длиной – не более 30 м	2
Расстояние до лестничной клетки – не более 25 м	1
Ширина эвакуационных путей – не менее 1,2 м	1
Предел огнестойкости перекрытий REI120	1
Предел огнестойкости несущих колонн, стен R180	1
Предел огнестойкости наружных стен E60	2
Стены, разделяющие пожарные отсеки имеют предел огнестойкости REI180	1
Стены между апартаментами имеют предел огнестойкости EI90	2
Безопасная зона отделена конструкциями с пределом огнестойкости REI(EI) 60	1
Заполнение дверных проемов безопасной зоны – не менее EIS 60	2
Не допускается размещение помещений категорий А и Б в пределах здания	3
Двери тамбур шлюзов имеют предел огнестойкости не ниже EI 30	2
Двери в конструкциях с пределом огнестойкости выше EI60 должны быть с пределом огнестойкости не менее EI60	2
Материалы наружный стен должны быть НГ	1
Наружные стены имеют класс пожарной опасности К0	1
Кровля выполняется из материалов НГ	1
Грузоподъемность лифта для пожарных подразделений не менее 1000 кг	3

Для учета приоритетности необходимо вычислить коэффициент важности критерия по формуле:

$$k = \frac{l}{l_1 + 2l_2 + 3l_3},$$

где k – коэффициент важности критерия; l – вес критерия, для которого вычисляется критерий важности (критерии 3 приоритета имеют одинарный вес, критерии 2 приоритета имеют удвоенный вес, критерии 1 приоритета имеют утроенный вес); $l_{1,2,3}$ – количество критериев, имеющих соответственно 3 приоритет, 2 приоритет, 1 приоритет.

При проверке исполнитель проставляет оценку в виде: 0 – не выполнено; 1 – выполнено. Далее вычисляется результирующая оценка:

$$e_r = k \cdot e,$$

где e_r – результирующая оценка по показателю; e – оценка, поставленная при проверке (0 или 1); k – коэффициент важности.

Далее, значения суммируются, и вычисляется итоговая оценка: 100-90 % от максимума – оценка «5»; 89-65 % – оценка «4»; 64-50 % – оценка «3»; менее 50 % – оценка «2». Однако, они используются для анализа качества модели и выполнения работ подрядчиком, а процент выполнения говорит о том, необходима ли корректировка модели, так как все рассмотренные требования обязательны.

В качестве методов для проверки исполнителем модели были выбраны 3 способа: Dynamo, сервис для проверки информационных моделей IRMA (IRMA – Information Requirements Manager), ручной контроль. С помощью IRMA проверим критерии, связанные с текстовыми и количественными параметрами. Dynamo используем для проверки геометрических характеристик [5]. Ручной контроль – проверка тех критериев, которые трудозатратно или невозможно проверить с помощью ПО.

Процесс оценки качества модели можно разделить на три этапа: составление перечня критериев, проверка модели исполнителем и подсчет итогового балла. По итогам исследования, самый трудоемкий этап – составление перечня критериев, поскольку он уникален для разных объектов. Результаты проверки представлены в табл. 2.

Рассматривая результаты, можно сделать несколько выводов: проработанность модели в части входной группы и объемно-планировочных решений находится на высоком уровне; в части пожарной безопасности – на среднем уровне; исходя из процента выполнения требований, все разделы нуждаются в дальнейшей корректировке и проработке.

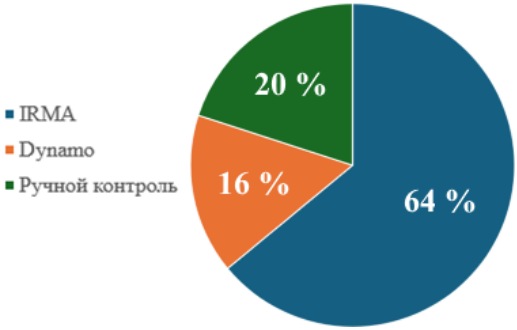
Таблица 2

Итоговые оценки

Раздел	Процент выполнения, %	Итоговая оценка
Требования к входной группе	90	5
Требования к объемно-планировочным решениям	93	5
Требования пожарной безопасности	89	4
Итого по проекту:	91	5

Таким образом, полученные результаты позволяют оценить качество информационной модели как в целом, так и по отдельным группам критериев, соответственно, по качеству модели можно сделать вывод о качестве выполнения работ подрядчиком, и составить задание на корректировку модели.

Анализируя данные (см. рис.), можно выявить, что наиболее используемым методом является проверка с помощью сервисов контроля параметров (в частности, сервис IRMA). Dynamo проверяет лишь 16 % всех критериев, однако с учетом того, что все критерии, проверяемые в IRMA, могут быть проверены с помощью Dynamo, данный способ займет второе место по трудозатратам и применимости. Ручной контроль, хоть и является самым трудозатратным методом, на данный момент является незаменимым, поскольку некоторые критерии невозможно проверить без его использования.



Применимость различных методов для проверки модели

Таким образом, степень автоматизации проверки моделей в данный момент находится на высоком уровне, однако все равно требует ручного контроля. Оценка информационной модели позволяет сделать вывод не только о качестве самой модели, но и оценить качество работы подрядчика над моделью, и составить четкий список корректировок. Проведение оценки качества также необходимо для ускорения прохождения экспертизы и снижения вероятности будущих ошибок, расхода денежных, трудовых и материальных ресурсов, что позволит сократить время на строительство при сохранении качества объекта.

Литература

1. Юдина А.Ф., Григорьев С.Ю., Величкин В.З. Использование BIM-технологий для контроля качества проектов строительной инфраструктуры // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 2(79). С. 132–137. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-132-137. EDN: NLIPBT.

2. Kysil O., Mikhalchenko S., Tovbych V. Conceptual modeling to control the quality parameters of the BIM model // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 907, No. 1. P. 012021. DOI: 10.1088/1757-899X/907/1/012021. EDN: GOUKWA.

3. Choi J., Lee S., Kim I. Development of Quality Control Requirements for Improving the Quality of Architectural Design Based on BIM // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, No. 20. P. 7074. DOI: 10.3390/app10207074.

4. Кушицкий А.В. Контроль качества BIM-модели проекта // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении: IV Всеросс. научно-техн. конф. с междунар. уч. Тула: ТулГУ, 2023. С. 402–405. EDN: SKAZVC.

5. Лемеза В.А., Придвижкин С.В. Разработка автоматизированной системы контроля качества на базе BIM моделей с помощью Dynamo // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 96-10. С. 68–72. DOI: 10.18411/trnio-04-2023-527. EDN: LQILYA.

УДК 004.9+72.009+712.00
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.010

Гущин Александр Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доцент
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет им. Н. С. Алфёрова)
E-mail: alexanderng@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-3466-4038
Дивакова Марина Николаевна, канд. архит., заведующий кафедрой
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет им. Н. С. Алфёрова)
E-mail: fpk-d@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7182-761X

Gushchin Alexander Nikolaevich, PhD in Sci. Phys.-Math., Associate Professor
(Ural State University of Architecture and Art named for N. S. Alferov)
Divakova Marina Nikolaevna, PhD of Arch., Head of Department
(Ural State University of Architecture and Art named for N. S. Alferov)

ПРОБЛЕМЫ ПЕРЕНОСА BIM-ТЕХНОЛОГИЙ НА ЛАНДШАФТНЫЕ МОДЕЛИ (LIM-МОДЕЛИ)

CHALLENGES OF TRANSFERRING BIM TECHNOLOGIES TO LANDSCAPE MODELS (LIM-MODELS)

В статье рассматриваются проблемы, связанные с переносом BIM-технологий в область разработки ландшафтных моделей (LIM-моделей). Проблемы демонстрируются на примере композиционных характеристик ландшафта. В качестве примера композиционных характеристик использована концепция визуально-пространственных единиц. Современные BIM-модели основаны на использовании наборов данных стандарта IFC. Сделан вывод, что Стандарт можно использовать при условии, что композиционные характеристики рассматриваются как функциональные характеристики набора данных IFC. Однако, алгоритм онлайн вычисления композиционных характеристик на сегодня неизвестен. Определение композиционных характеристик на сегодня возможно только после построения визуальной 3D-модели. В результате композиционная BIM-модель лишается преимуществ параметризации. Таковы проблемы переноса BIM-технологий в область архитектурно-ландшафтного проектирования.

Ключевые слова: BIM-модель, архитектурно-ландшафтное проектирование, композиция, модели данных, параметризация.

The article discusses the problems associated with the transfer of BIM-technologies to the field of architectural and architectural-landscape design. The problems are demonstrated on the example of compositional characteristics of the landscape. The concept of visual-spatial units is used as an example of compositional characteristics. Modern BIM

models are based on the use of IFC standard datasets. It is concluded that the Standard can be used provided that the compositional characteristics are considered as functional characteristics of the IFC dataset. However, the on-line algorithm for computing the compositional characteristics is currently unknown. Determination of compositional characteristics is currently only possible by building a visual 3D model. As a result, the compositional BIM model is deprived of the advantages of parameterization. These are the problems of transferring BIM-technologies to the field of architectural and landscape design.

Keywords: BIM-model, architectural and landscape design, composition, data models, parameterization.

Термин «строительная модель» (в том смысле, в каком он используется сегодня) впервые был использован в работах в середине 1980-х годов. Один из создателей – Роберт Айша [1] сформулировал основные принципы построения информационных моделей: 1) трёхмерное моделирование; 2) автоматическое получение чертежей; 3) интеллектуальная параметризация объектов; 4) наборы проектных данных, соответствующие объектам; 5) распределение процесса строительства по временным этапам. В русле этих принципов и развиваются технологии. Благодаря возможностям интеллектуальной параметризации появились концепции 4D (пространство + время), 5D (пространство + время + стоимость). Данный список можно наращивать: например, в статье Г. Б. Захаровой [2] утверждается, что ландшафтная информационная модель (LIM – модель) – это 8-е измерение BIM.

Такая точка зрения представляет чрезмерно упрощенной. Более того, подход, используемый сегодня в BIM-технологиях, не учитывает специфические особенности градостроительных и архитектурно-ландшафтных дисциплин. Сегодня масштабные BIM-модели построены на интеграции с геоинформационными технологиями (ГИС-технологиями). Для чего разработан общий стандарт обмена информацией IFC. Сообщается о созданной в декабре 2018 г. рабочей группе Building SMART International «IFC for Site, Landscape and Urban Planning» и ее работе по расширению IFC на ландшафтные объекты. Основной задачей группы является разработка стандартизированных наборов свойств IFC и определение схемы IFC для новых элементов ландшафта [3]. Помимо группы IFC активно развиваются спецификации Land XML для инфраструктуры [4], CityGML [5] для 3D модели города, infraGML [6] для моделирования инфраструктуры.

Анализ информационных моделей стандартов показывает, что попытки перенести технологии BIM на архитектурно-ландшафтные модели происходят в русле традиционных технологий: параметризация модели, которая основана на объектовом представлении об элементах модели (модель рассматривается как набор объектов, обладающих определенными

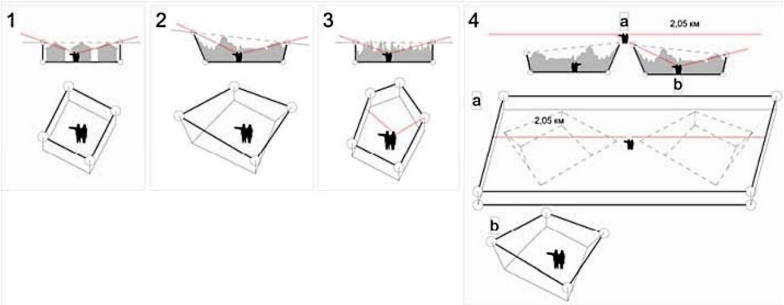
атрибутами – характеристиками), отношения межу объектами имеют тип «состоит из …». Все пространственные сложные пространственные связи по умолчанию поддерживаются в ГИС. С этой точки зрения ландшафтная модель (LIM-модель) представляет расширенную BIM-модель: добавляются новые наборы данных: по климату, по растительности.

Такой подход напрочь игнорирует архитектуру, как способ организации пространства. «Пространство ограничивается и организуется ограничивающими проницаемость преградами» [6].

Продемонстрируем сказанное на примере ландшафтного анализа. Основная задача ландшафтного анализа – выявление композиционной структуры градостроительного объекта, а также выявление зон преимущественного влияния тех или иных ландшафтных компонентов: рельефа, акватории, ценных зеленых насаждений. Понятие композиционной структуры хорошо известно, по его трактовке написано огромное количество работ. В конечном счете сложность трактовки таких понятий как «композиция», «композиционная» и перевода данных представлений на языки информационных моделей, проистекает из того, понятия связаны с восприятием человеком пространственных отношений. Ощущение человеком архитектурного пространства – сложное психологическое состояние, связанное со зрительными, слуховыми, кинестезическими восприятиями. «Для формирования архитектурно-пространственной среды существуют композиционно-художественные средства, формально-композиционные средства, функционально-планировочные средства, конструктивно-технологические средства» [7]. Из представленной цитаты видно, что BIM-модели удобны для описания программно-технологических средств, что являются всего лишь одной (и сравнительно небольшой) частью процесса формирования архитектурно-пространственной среды, включающей ощущения человека. Будем использовать методику ландшафтно-визуального анализа, изложенную в учебном пособии С. Г. Михалчевой [8]. Выбор объясняется тем, что данная методика наиболее формализована с точки зрения информационных моделей. Основой ландшафтно-визуального анализа является выделение ландшафтно-пространственных единиц (ВПЕЛ) и классификация их по типам. Примеры показаны на рисунке.

Самое главное, что следует из приведенного описания: структура визуально-пространственной единицы ландшафта создается несколькими пространственно-расположенными объектами: их уникальным пространственным сочетанием, да еще и соотнесенным с масштабом человеческого восприятия. Например, «При соотношении Н:Д = 1:1 (Н – высота зрительного барьера, Д – ширина пространства) визуальная пространственная

единица будет производить впечатление тесной и замкнутой по вертикали. Находясь у одной из границ ячейки и не поднимая головы, наблюдатель будет видеть только половину противоположного зрительного барьера» [8]. Причем, как высоту зрительного барьера, так и ширину пространства можно определить только, исходя из расположения человеческого глаза в определенной точке пространства.



Примеры пространственной конфигурации единиц ландшафта [8]

Проблема переноса подобных представлений в информационную модель заключается, продаже всего, в неясном статусе самих визуальных пространственных единиц: являются ли они самостоятельными объектами или свойствами, присущими некоторой подсистеме объектов в целом (этот же вопрос можно отнести и ко всем другим понятиям композиции: доминанты, визуальные оси и пр.).

Первоначально авторы использовали практику создания сложных моделей данных путем онтологического моделирования [9]. Такой подход приводит к необходимости создания собственных стандартов информационного моделирования. Если оставаться в пределах существующих стандартов, то анализ авторов показывает, что спецификации IFC допускают возможности введения композиционных характеристик в описание информационных моделей. Например, в ГОСТ 10.0.02-2019/ИСО16739-1:2018 «Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных» определяет «понятие концепта (concept): правила использования подмножества структуры схемы данных, служащие понятийными шаблонами для описания определенной функциональности в контексте основного понятия, содержащегося в представлении модели». Таким образом имеется возможность описывать композиционные характеристики как некоторые

функции над общими наборами данных. Таким способом получаем ответ: композиционные характеристики не являются самостоятельными объектами, но рассматриваются как сложные свойства (функциональные характеристики) наборов данных.

Теперь проблема перенесена на алгоритмы вычисления композиционных характеристик над набором данных. Число композиционных характеристик, тех же визуально-пространственных единиц заранее неизвестно. В настоящее время вычисление композиционных характеристик возможно только после построения 3D-модели. Для построенной модели необходимо найти композиционные характеристики, затем создать и заполнить значениями соответствующие наборы данных. Вместо линейного (параметризация, разработка) цикл изготовления BIM-модели становится итерационным: параметризация, создание модели, выделение функциональных характеристик (визуально-пространственных единиц, композиционных характеристик), определение интегральных композиционных характеристик, модификация наборов данных. В результате теряется такое важное изначальное свойство BIM-модели как параметризация, благодаря которой BIM-модель можно было использовать для быстрого ответа на вопрос типа: насколько увеличатся затраты, если стоимость комплектующих … увеличится на X %. Для композиционных характеристик, рассмотренных выше, подобный вопрос мог бы быть поставлен так: как изменятся композиционные характеристики 3D-модели, если одно из зданий передвинуть на X метров севернее? Но ответ на поставленный вопрос получается в два этапа: построение 3D – модели, ландшафтно-визуальный анализ модели, вычисление композиционных характеристик. Что сводит на нет преимущества параметризации BIM-модели.

Литература

1. Aish R. Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD. CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering related to Building, 7–9 July. 1986.

2. Захарова Г.Б. LIM – Информационное моделирование ландшафта через взаимодействие с ГИС и BIM // Архитектон: известия вузов. 2022. № 3(79). DOI: 10.47055/1990-4126-2022-3(79)-13. EDN: MCZZPR.

3. Fritsch M., Clemen C., Kaden R. 3D landscape objects for building information models (BIM). ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2019. Vol. IV-4/W8. P. 67–74. DOI: 10.5194/isprs-annals-IV-4-W8-67-2019.

4. Thompson R., Van Oosterom P., Soon K. LandXML Encoding of Mixed 2D and 3D Survey Plans with Multi-Level Topology // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2017. Vol. 6, No. 6. P. 171. DOI: 10.3390/ijgi6060171.

5. Gröger G., Plümer L. CityGML – Interoperable semantic 3D city models // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2012. Vol. 71. P. 12–33. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004.

6. Лимонад М.Ю., Трубицына Н.А., Горбачёва Д.И. и др. Архитектурное ландшафтоведение. Т. 1. Начала архитектурного ландшафтоведения. М.: ГУЗ ШАССИ, 2020. 299 с.

7. Шилин В.В. Архитектура и психология. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2011. 66 с. EDN: XWMOHZ.

8. Михалчева С.Г. Градостроительный и ландшафтно-визуальный анализ. Пенза: ПГУАС, 2016. 120 с. EDN: ZRSDFB.

9. Гущин А.Н., Дивакова М.Н. Об опыте использования технологий онтологического моделирования при подготовке магистрантов // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Матер. всеросс. научн. конф. с междунар. уч. Екатеринбург: УрГАХУ, 2018. С. 18. EDN: SJLFSX.

УДК 004+72
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.011

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

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ НА ОБЪЕКТАХ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ

USING INFORMATION MODELING TECHNOLOGY IN EMERGENCY MANAGEMENT AT HIGH-DANGER FACILITIES

Данная статья посвящена исследованию процессов подготовки к чрезвычайным ситуациям с использованием технологии информационного моделирования. В работе анализируются существующие методы подготовки к ЧС и разрабатываются рекомендации для улучшения реагирования на чрезвычайные ситуации через применение ТИМ. Авторы исследуют, как ТИМ может улучшить сбор данных, планирование реагирования и координацию действий между различными заинтересованными сторонами. Исследование основано на анализе реальных примеров и обсуждает преимущества и ограничения использования ТИМ. Основное внимание уделяется разработке эффективных мер безопасности и практическому применению ТИМ в этой области. Изучаются отдельные моменты модернизации существующей системы управления безопасностью здания. Статья предоставляет ценные рекомендации для специалистов по управлению чрезвычайными ситуациями и профессионалов в области строительства по использованию ТИМ.

Ключевые слова: ТИМ, ГО ЧС, инновация, государственная поддержка, разработка стратегии, эвакуация, безопасность.

This article is devoted to the study of the processes of preparing for emergency situations using information modeling technology. The work analyzes existing methods

of preparing for emergencies and develops recommendations for improving emergency response through the use of BIM. The authors explore how BIM can improve data collection, response planning, and coordination among various stakeholders. The study is based on real case studies and discusses the advantages and limitations of using BIM. The main focus is on the development of effective safety measures and the practical application of BIM in this area. Individual aspects of modernizing the existing building safety management system are studied. The article provides valuable guidance for emergency management and construction professionals.

Keywords: BIM, civil defense for emergencies, innovation, government support, strategy development, evacuation, safety.

Технология информационного моделирования имеет широкий спектр применения и может быть использована для создания цифровых моделей практически любого объекта или системы. В такой модели хранятся сведения о параметрах, характеристиках, методах проектирования, строительства и эксплуатации.

Цель данной статьи: описать инструменты оперативного и эффективного управления чрезвычайными ситуациями и выделить особенности обеспечения безопасности населения с использованием технологии информационного моделирования.

Существующие системы управления чрезвычайными ситуациями на объектах повышенной опасности (торговые центры, аэропорты, стадионы, учебные заведения, больницы и сооружения социального и промышленного назначения), не всегда обеспечивают достаточную оперативность и эффективность в решении проблем при возникновении ЧС (рис. 1).

ОБЪЕКТЫ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ Торговые центры, аэропорты, стадионы, учебные заведения, больницы, сооружения социального и производственного назначения	
Проблемы существующей системы управления ЧС на объектах повышенной опасности	
• Недостаточное финансирование системы управления чрезвычайными ситуациями	• Недостаточная подготовка и обучение участников системы для эффективного реагирования на кризисные ситуации
• Недостаточная информационная поддержка и оперативный доступ к информации о происходящем	• Недостаточная сотрудничество между координирующими органами системы управления чрезвычайными ситуациями

Рис. 1. Проблемы существующей системы управления ЧС на объектах повышенной опасности

Для улучшения ситуации необходимо усилить координацию между различными организациями, улучшить систему обмена информацией.

При этом, среди государственных органов, которым важно внедрение технологии информационного моделирования зданий (ТИМ) в сфере гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГОЧС), можно выделить Министерство чрезвычайных ситуаций (МЧС), Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства, Министерство информации и связи, а также ведомства, ответственные за обеспечение безопасности граждан. Внедрение технологии информационного моделирования позволит эффективнее планировать и координировать меры по предотвращению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также управлять ресурсами и персоналом в случае кризисных ситуаций.

В случае аварии или возникновении чрезвычайной ситуации, угрожающей жизни людей, важно оперативно предупредить и эвакуировать всех лиц из зоны возможной опасности. Одним из технических способов проведения эвакуации с помощью ТИМ является создание цифровой модели здания или сооружения, на основе которой можно оптимизировать процесс эвакуации людей из зоны бедствия.

Система предупреждения и оповещения о ЧС, в свою очередь, будет использовать эту информационную модель для эффективной взаимосвязи всех компонентов системы управления ЧС на объектах повышенной опасности.

Любое здание должно использовать систему управления безопасностью. Согласно п.1[1] статьи 36 «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений», мониторинг состояния всех элементов, позволяет предотвратить аварийные ситуации и обеспечить надлежащее функционирование зданий и сооружений.

Для ТИМ так же существует ряд технических регламентов о безопасности зданий и сооружений, которые регулируют процессы проектирования, строительства и эксплуатации зданий с использованием технологии ТИМ [1]. В различных странах применяются строительные нормы и правила, которые учитывают особенности работы с ТИМ и требования к безопасности зданий [2]. В целом, применение технологий информационного моделирования позволяет улучшить безопасность зданий и сооружений за счет более точного и эффективного планирования и контроля строительных процессов [3].

[1] Технический регламент п.1 ст. 36 «Требования к обеспечению безопасности зданий и сооружений в процессе эксплуатации» Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Из существующих Регламентов строительства для объектов ГОЧС[1] (гражданской обороны, чрезвычайных ситуаций и пожарной безопасности), можно упомянуть «СП 88.13330.2014. Свод правил. Защитные сооружения гражданской обороны», который распространяется на проектирование новых и обследование существующих защитных сооружений гражданской обороны. Однако, вопрос использования ТИМ в ГОЧС пока не имеет четкого законодательного регулирования или специальных технических нормативов. Возможно, в дальнейшем будут разработаны соответствующие нормативные документы, учитывающие применение ТИМ в области ГОЧС.

На сегодняшний день существующая система управления безопасностью здания представляет собой комплекс устройств и программного обеспечения, предназначенных для обеспечения безопасности здания и его обитателей, гарантируя оптимальную работу и мониторинг различных параметров здания. Чаще всего в роли таких устройств выступают специальные датчики пожара, дыма, утечки газа, которые могут автоматически активировать систему безопасности при обнаружении чрезвычайной ситуации. Эта информация сразу же передается на пульт центра управления, откуда оперативно отправляются оповещения соответствующим службам, в том числе и МЧС. Система позволяет оперативно реагировать на угрозы и предотвращать возможные проблемы. Основные компоненты такой системы:

1. система автоматизированной пожарной сигнализации и извещения о пожаре (СПС),
2. система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ),
3. система контроля доступа (СКУД),
4. система мониторинга инженерных систем (СМИС).

Все эти системы частично могут быть интегрированы в общую ТИМ здания. Для того, чтобы оптимизировать действия всех элементов системы необходимо с помощью ТИМ создать планы эвакуации, «поднять модель» или компоненты модели здания в «эвакуационную карту». Необходимые компоненты такой карты представлены на рис. 2.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации, например, пожара, классическая система автоматически активирует сигналы тревоги и оповещает ответственные службы. Получив сигнал, спасатели прибывают на место происшествия с необходимым оборудованием и персоналом, и устраняют угрозу.

[1] СП 88.13330.2014. Свод правил. Защитные сооружения гражданской обороны. Актуализированная редакция СНиП II-11-77. Утв. Приказом Минстроя России от 18.02.2014 N 59/пр. (ред. от 23.01.2019).

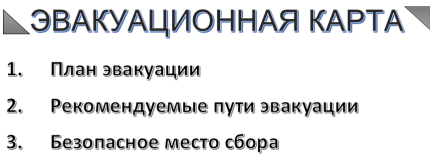


Рис. 2. Основные компоненты «эвакуационной карты»

ТИМ позволит, дополнительно к общепринятой системе реагирования, добавить возможность быстрого доступа к плану ориентирования в здании, представленному в схеме эвакуации через создание такой «эвакуационной карты» на основе виртуальной модели здания.

Возможны следующие варианты возможного повышения готовности к ЧС с помощью технологий информационного моделирования.

Вариант № 1. Разработка системы оповещения и эвакуации в случае ЧС на объектах повышенной опасности.

При возникновении чрезвычайной ситуации, «эвакуационную карту» можно активировать с помощью QR-кода. Так же администрация здания может отправить SMS с активной ссылкой на «эвакуационную карту» всем посетителям, находящимся в этот момент в здании (рис. 3).

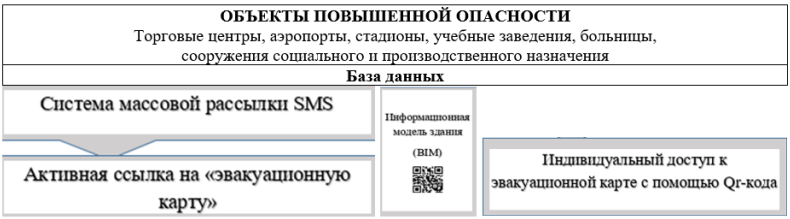


Рис. 3. Процесс оповещения и эвакуации в случае ЧС с использованием ТИМ

Для возможности получения «эвакуационной карты», достаточно навести считывающее QR-код приложение и QR-код позволяет мгновенно получать доступ к данным.

При этом здание должно быть оснащено специальными наклейками с изображением QR-кодов в зоне видимости что, в свою очередь, должно быть отражено в технических документах по эксплуатации здания или утверждено, как свод правил.

Вариант № 2. Разработка индивидуальных средств оповещения в случае ЧС на объектах повышенной опасности.

Использование существующей пропускной системы, карты гостя, посетителя, карты сотрудника здания (рис. 4).

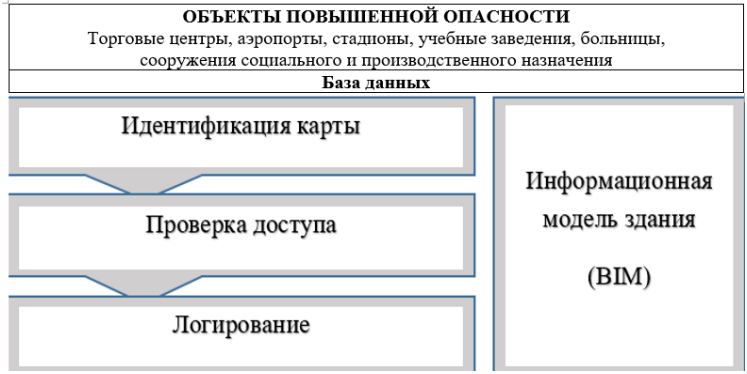


Рис. 4. Процесс использования существующей пропускной системы

При реализации данного сценария датчики и камеры должны непрерывно сканировать окружающую обстановку, передавая информацию на центральный сервер, где она будет анализироваться специализированным программным обеспечением.

В случае использования пропускной карты с функцией передачи данных о местонахождении система может отслеживать фактическое местоположение лиц в здании. Это очень важно и удобно для лиц с ограниченными возможностями, к тому же, при быстром реагировании, можно отыскать их по маяку на пропускной карте и произвести первоначальную эвакуацию маломобильных лиц.

Активные пропускные карты помогают вести статистику количества лиц, находящихся в момент ЧС в здании повышенной опасности. В случае ЧС можно сообщить спасателям исходные данные и сравнить с числом эвакуированных лиц.

Для обеспечения дополнительной безопасности предлагается использовать мобильные устройства, в которые будет загружена через QR-код и доступна «эвакуационная карта». Создание цифровой модели здания с учетом всех эвакуационных выходов, участков сбора и другой важной информации позволит посетителям быстро и эффективно покинуть место опасности. Такая целостная автоматизированная система позволит организованно реагировать на экстренные ситуации и эффективно координировать действия всех присутствующих.

Заключение

Подготовка к чрезвычайным ситуациям позволит любой организации быть готовой к различным непредвиденным чрезвычайным ситуациям. Предварительная подготовка и планирование действий в случае чрезвычайной ситуации поможет минимизировать потери и ущерб, сохранять имущество организации и спасать жизни людей. В настоящее время сформировался «новый облик» ГО, для которого характерно создание принципиально новой нормативной правовой базы, изменение сущности и организационных основ ГО [4].

Цели представленного проекта по внедрению ТИМ и подготовке к чрезвычайным ситуациям приведут к улучшению эффективности реагирования за счет использования современных технологий ТИМ, увеличению прозрачности и точности информации о проекте, повышению безопасности и снижению рисков чрезвычайных ситуаций в результате более детального анализа и моделирования [5]. ТИМ-модель позволяет объединить чертежи, геометрию проектируемого объекта, спецификации и отчетности, а также взаимосвязи между компонентами модели [6].

В частности, любая модель предполагает наличие процесса ее создания, а в свою очередь любой созидательный процесс предполагает результат [7]. Создание единой информационной модели объекта будет использоваться как основа для управления и поддержки принятия решений в случае чрезвычайных ситуаций.

Основными принципами проекта по внедрению ТИМ и подготовке к чрезвычайным ситуациям остаются системный подход к внедрению технологии ТИМ, выбор соответствующего ПО и создание планов эвакуации на основе данных из ТИМ-модели [8]. ТИМ позволяет моделировать различные сценарии чрезвычайных ситуаций [9]. Это поможет лучше понять, как здание будет себя вести в случае ЧС.

Кроме того, для эффективного управления нужно разработать стандарты и процедуры по использованию ТИМ в управлении чрезвычайными ситуациями, необходимо обучить специалистов в области ТИМ, создать базу данных с виртуальными моделями зданий для быстрого доступа к информации в случае чрезвычайной ситуации.

Литература

1. Шеина С.Г., Новоселова И.В., Дементеев Д.С. Применение технологий информационного моделирования при возникновении чрезвычайных ситуаций // Инженерный вестник Дона. 2023. № 1(97). С. 322–331. EDN: ZNNCVJ.

2. Агаханов Э.К., Кравченко Г.М., Кадомцев М.И., Труфанова Е.В., Савельева Н.А. Цифровое моделирование прогрессирующего обрушения высотного

здания // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022. Т. 49, № 1. С. 87–94. DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-1-87-94. EDN: YGIVGS.

3. Бенклян С., Кисель Т., Король М., Новкович Н. Руководство по информационному моделированию (BIM) для заказчиков на примере промышленных объектов. ООО «КОНКУРАТОР». URL: https://infrabim.csd.ru/upload/news/bim-standart-dlia-zakazchikov-na%20primere-promyshlennogo-obiekta.pdf (дата обращения: 22.03.2024).

4. Шапошников С.В. Инновационные пути развития гражданской обороны // Право и безопасность. 2009. № 1. С. 76–78. EDN: KGMPKB.

5. Мищенко А.В., Горбанева Е.П. Реализация BIM полного жизненного цикла объекта недвижимости // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 11(755). С. 95–109. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-755-11-95-109. EDN: HDFXKP.

6. Згода Ю.Н., Семенов А.А., Шумилов К.А. Разработка фотореалистичной интерактивной визуализации BIM-модели для виртуальной и дополненной реальности // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Матер. всеросс. научн. конф. с междунар. уч. Екатеринбург: УрГАХУ, 2018. С. 24. EDN: YMOZED.

7. Талапов В.В. Основы ТИМ. Введение в информационное моделирование зданий. 2-е изд. Саратов: Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

8. Интеграция BIM и ГИС. Эволюция планирования, проектирования, строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры. Autodesk. URL: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/draftr/9492/Autodesk%20Bring%20Together%20BIM%20GIS%20eBook.pdf (дата обращения: 02.02.2024).

9. Гейдор В.С., Соловьева Ю.С., Тихонов Д.А. Внедрение понятия BIM-технологий в строительную отрасль для целей кадастра в России // Инженерный вестник Дона. 2020. № 11(71). С. 271–279. EDN: XDJLWL.

УДК 69.001.5+519.7
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.012

Колымбергер Дарья Николаевна, канд. техн. наук, доцент
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: darya.krivogina@gmail.com
Овчинников Ярослав Алексеевич, ассистент
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: y.ovchinnikov@pstu.ru
Спехова Венера Гибатулловна, магистрант
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: spekhovav@mail.ru

Kolymberger Darya Nikolaevna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Perm National Research Polytechnic University)
Ovchinnikov Yaroslav Alexeevich, Assistant Lecturer
(Perm National Research Polytechnic University)
Spehova Venera Gibbatylovna, Master's degree student
(Perm National Research Polytechnic University)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СМЕТНОГО ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ В ТИМ

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF DOMESTIC SOFTWARE FOR THE IMPLEMENTATION OF ESTIMATED PRICING IN BIM

Рассматривается возможность улучшения действующей системы ценообразования и сметного нормирования в строительстве и получения максимального экономического эффекта с помощью интеграции технологий информационного моделирования (далее – ТИМ) в строительный процесс. Применение ТИМ позволит точно рассчитывать стоимость будущего строительства, автоматически формировать смету, а также на любом этапе проекта проверять наличие номенклатуры включенных в проект ресурсов. С помощью анализа возможностей основных сметных программ выявлены следующие проблемы: взаимодействие участников проектного процесса, разнообразие и закрытость форматов данных, взаимосвязь конструктива и сметных регламентов, взаимодействие сметной системы и ТИМ, передача результата проектирования, подготовка кадров, и предложены пути их решения. Предложен подход к выбору оптимального программного продукта для реализации 5D в ТИМ.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, ТИМ зданий и сооружений, ценообразование в строительстве, сметное нормирование в строительстве, строительные сметы.

The possibility of improving the current pricing system and estimated rationing in construction and obtaining maximum economic effect through the integration of information modeling technologies (hereinafter referred to as BIM) into the construction process is being considered. The use of BIM will allow you to accurately calculate the cost of future construction, automatically generate estimates, as well as at any stage of the project to check the availability of the nomenclature of resources included in the project. Using the analysis of the capabilities of the main estimated programs, the following problems were identified: the interaction of participants in the project process, the variety and closeness of data formats, the relationship between the design and estimated regulations, the interaction of the estimated system and BIM, the transfer of the design result, training, and suggested ways to solve them. An approach to choosing the optimal software product for the implementation of 5D in BIM is proposed.

Keywords: information modeling technologies, BIM-technologies of buildings and structures, pricing in construction, estimation standardization in construction, construction estimates.

Строительные проекты несут в себе большое количество информации, и их растущая сложность, отсутствие нужной информации для принятия решений, а также наличие требований к срокам их реализации в условиях существующих методов проектирования объясняет низкую эффективность строительной отрасли в целом. Целью данной работы является разработка нового подхода к обоснованию выбора программного обеспечения для интеграции сметных расчетов с технологиями информационного моделирования в рамках конкретных проектов. Данный подход позволит оценить сроки на внедрение продукта и степень его соответствия запросам предприятия на рынке строительства.

В настоящее время строительная отрасль России проходит через процесс серьезной трансформации. Этот процесс вызван необходимостью отказа от традиционных методов проектирования и строительства с передачей проектной информации в бумажном виде в пользу внедрения инновационных способов реализации проектов в информационной среде.

Постепенный переход на ТИМ привел к необходимости сбора, учета и обработки в процессе проектирования, строительства и эксплуатации объектов капитального строительства значительных объемов информации с возможностью последующей корректировки данных в ходе реализации инвестиционного проекта.

ТИМ включают в себя несколько этапов, одним из которых является этап 5D – этап экономической реализации проекта. Изменения системы ценообразования в настоящее время в России направлены на эффективное использование бюджетных средств, на повышение инвестиционного потенциала финансирования строительства капитальных объектов, на уменьшение времени производства работ, на применение современных материальных ресурсов и современных средств механизации при производстве работ. Это влечет необходимость применения концепции информационного моделирования зданий и сооружений в пределах реформы, как одного из путей улучшения действующей системы ценообразования и сметного нормирования в строительстве и получения максимального экономического эффекта [1, 2]. Применение ТИМ позволит точно рассчитывать стоимость будущего строительства, автоматически формировать смету, а также на любом этапе проекта проверять наличие номенклатуры включенных в проект ресурсов. Проведение экспертизы смет на строительство объектов будет удобней и эффективней с использованием новых ТИМ. В таблице представлено сравнение «традиционного» способа составления сметы на строительство и с использованием ТИМ.

Сравнение способов составления сметы на строительство: традиционного и с использованием ТИМ

Критерии сравнения	Определение сметной стоимости строительства без применения ТИМ	Определение сметной стоимости строительства с применением ТИМ
Участие инженера-сметчика в формировании ИМ	Нет	Есть. Сметчик вовлечен в процесс разработки ИМ
Этап начала работы	На этапе окончания проектирования	На начальном этапе проектирования
Срок выполнения работы на этапе проектирования	15–30 дней	1–3 дня
Риски допущения ошибок при внесении сведений в сметную документацию	Высокие, так как сведения в сметную программу вносятся «вручную»	Снижены, так как данные из ИМ в сметную программу передаются автоматически

Окончание таблицы

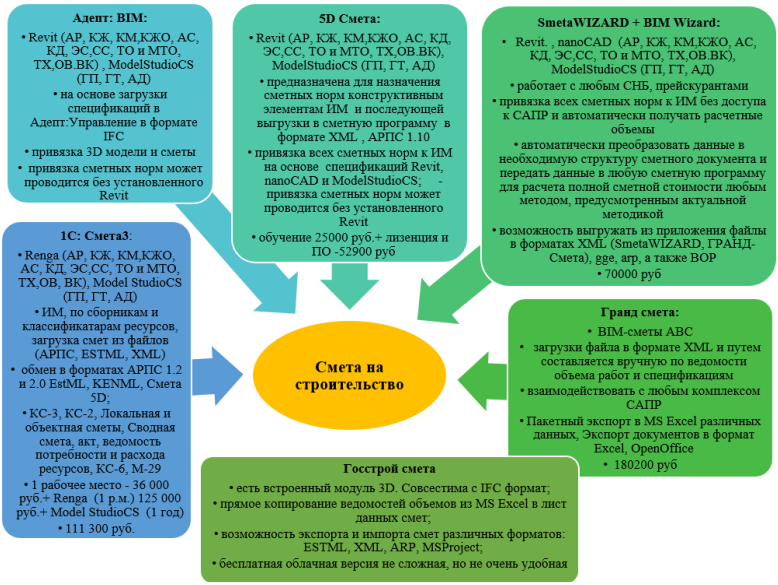
Критерии сравнения	Определение сметной стоимости строительства без применения ТИМ	Определение сметной стоимости строительства с применением ТИМ
Трудозатраты сметчика	Высокие. Поиск и исправление ошибок, а также корректировка производятся «вручную»	Снижены. ПО автоматически распознает, демонстрирует и корректирует элементы с неверными/недостающими данными
Затраты на ПО	Затраты на приобретение только сметной программы	Высокие, так как помимо сметной программы необходимо приобретение ТИМ-платформы
Оплата работы специалиста	Стандартная	Высокая

Сегодня на российском рынке представлено различное программное обеспечение (далее –ПО) для составления смет при реализации ТИМ [3] (см. рис.). Nemetschek Allplan, Autodesk Revit и Renga Architecture – системы автоматизированного проектирования, интегрированные со сметными системами, используемыми в России. Наиболее известные разработчики ПО на российском рынке: АВС-смета, 5D Смета, SmetaWizard, 1С-смета, Адепт:BIM. Основными критериями выбора BIM-платформы, которые должны обеспечить автоматизированную разработку сметной документации в полном объеме, являются: удобство интерфейса для сметчиков, подход к предоставлению данных, способ извлечения информации в системе, объем предоставляемой информации. Однако, большая часть вендоров, предоставляющих программное обеспечение для информационного моделирования зданий, в том числе и на этапе 5D, покинули строительный рынок России. При этом, существующее отечественное программное обеспечение активно развивается с каждым годом.

Интеграция ТИМ-платформ со сметой является одной из важнейших задач, стоящей перед строительной отраслью. В ходе изучения возможностей интеграции выявлены следующие проблемы и предложены пути их решения:

1. Взаимодействие участников проектного процесса. Необходимость перестройки существующей структуры проектных подразделений,

а также организации взаимодействия специалистов на техническом уровне. Необходимо разработать стандартизацию ТИМ-процессов, внутренние правила взаимодействия специалистов и представления результатов, схему бизнес-процессов, отвечающую всем требованиям.



Анализ возможностей основных сметных программ

2. Разнообразие и закрытость форматов данных. Определение специфики сотрудничества участников проектного процесса и формы предоставления результатов, например, формат IFC.

3. Взаимосвязь конструктива и сметных регламентов. Взаимодействие инженерной и экономической составляющих в оперативном обрабатывании любого внесенного изменения в модель посредством автоматизации процесса. Такие системы не только позволяют извлечь значения необходимых параметров из элементов, но также учитывать изменения единиц измерений, производить вычисления, запрашивать недостающие данные пользователя.

4. Взаимодействие сметной системы и ТИМ. При использовании файла IFC сметный программный комплекс должен производить геометрию тел. И в данном случае, лучше использовать тот же решатель,

используемый в программе, где была создана информационная модель. Наличие в сметном ПО хорошего решателя – достаточно сложная задача. Пока на рынке не существует готового решения, которое могло бы обеспечить информационный поток в том же качестве, что и ТИМ-системы. Альтернативный способ получения данных из элементов моделей – прямой программный вывод данных путем применения открытых программных интерфейсов, но он присутствует не во всех ТИМ-системах, следует учитывать этот фактор и анализировать возможность интеграции решений сметного программного обеспечения.

5. Передача результата проектирования. В развитии ТИМ-модели от 3D к 6D возникает ещё проблема – учёт информационных претензий не только на стадии проектирования, но и на стадии строительства и эксплуатации. В ряде случаев требования строителей и эксплуатирующих подразделений должны учитываться при разработке проектов и в процессе моделирования. Решение данной задачи представляет собой включение всех структур, использующих ТИМ-модель, в рабочую группу по разработке требований к информационной модели, а также включения этих требований в ТИМ-стандарты и своды правил.

6. Подготовка кадров. Также необходимо направить меры государственной поддержки на обучение специалистов (70 %), создание единого классификатора, единой библиотеки компонентов информационных моделей (64 %) и ускорение формирования нормативной базы внедрения ТИМ (62 %).

Выбор оптимального программного обеспечения является сложной задачей выбора по таким параметрам, как многофакторность и многоальтернативность. Человек, ввиду своих природных ограниченней, не способен решать такие задачи без специального инструмента. С этой целью необходимо разработать подход, позволяющий на основе комплексных оценок, предложенных вендорами программных продуктов для реализации 5D технологий, на основе комплексного оценивания выбирать оптимальный по результатам оценки.

Предложенный подход может быть реализован следующим образом:

1. Обоснование объектов исследования, в данном случае ПО для интеграции смет с ТИМ.

2. Обоснование критериев оценки (форматы передачи данных, наличие решателя, готовность разработчиков к сопровождению, количество предприятий, внедривших данное ПО и т.д.) и их ранжирование по степени важности.

3. Построение функций приведения для данных характеристик к универсальной шкале комплексного оценивания при помощи функций приведения.

Шкалу комплексного оценивания предлагается брать следующую: 1 – неудовлетворительно; 2 – удовлетворительно; 3 – хорошо; 4 – отлично.

4. Результатом будет являться ПО, набравшее максимальное количество баллов. Также данная технология позволит отследить недостатки других альтернатив, устранение которых позволит им повысить свою привлекательность на рынке.

ТИМ дает понять всем участникам процесса сроки и стоимость процессов строительства еще до того, как на объекте начинаются работы. При традиционном проектировании стоимость строительства вносится в смету, а при 5D-моделировании цена каждого строительного материала закладывается из каталогов, которые потом и используются.

Применение ТИМ-моделей помогает значительно снизить время проектирования, что составляет в среднем на 25 % [4]. И это очень важно, ведь время является одним из главных ресурсов в рамках осуществления инвестиционной строительной деятельности [5]. В работе предложен новый подход к оценке ПО, позволяющий специалисту на основе решения сложной задачи выбора подобрать оптимальный вариант программы для выполнения сметных расчетов в 5D. Также, следует отметить, что при реализации информационного моделирования в строительстве необходима организация взаимодействия участников проектного процесса, разнообразие и закрытость форматов данных, взаимосвязь конструктива и сметных регламентов, взаимодействие сметной системы и ТИМ, передача результата проектирования, подготовка кадров.

Все участники инвестиционной строительной деятельности, которые выбирают ТИМ, должны учитывать обозначенные задачи и выработать комплекс решений с учетом своей специфики с целью успешного применения ТИМ в своей деятельности.

Литература

1. Пугач П.К., Сивкова А.Э., Придвижкин С.В. 5D BIM: Повышение эффективности сметного дела за счет применения информационных технологий в строительной отрасли // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 5(119). С. 10–12. EDN: MBQOMM.

2. BIM в сметном деле: текущая ситуация и перспективы. URL: https://ipap.ru/poleznoe/poleznye-stati/4-useful/bim-v-smetnom-dele-tekushchaya-situatsiya-i-perspektivy#close (дата обращения: 01.01.2024).

3. Никитина Е.А. Внедрение BIM-технологий в сметную документацию // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12(72). С. 1-9. EDN CPOSOX.

4. Что мешает внедрению ТИМ/BIM в России? URL: https://ardexpert.ru/article/25625 (дата обращения: 03.01.2024).

5. Придвижкин С.В., Баженов О.В. Организация управления инвестиционными проектами в строительстве // Дискуссия. 2017. № 4(78). С. 45–49. EDN: YMRCXV.

УДК 004.942
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.013

Конжина Дарья Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: konzhina.da@edu.spbstu.ru, ORCID: 0009-0007-2119-2848
Романович Марина Александровна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: m.romanovich.spbstu@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1608-2883

Konzhina Daria Aleksandrovna, master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Romanovich Marina Aleksandrovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА ДЛЯ ЗАДАЧ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

THE ANALYSIS OF GENERATIVE DESIGN VALIDITY FOR THE URBAN PLANNING TASKS

В последнее время вопросы применения генеративного дизайна все чаще встречаются среди архитектурных сообществ, предлагаются идеи по оптимизации все более широкого спектра рутинных операций. В настоящей статье определены различия в понятиях генеративного, алгоритмического и параметрического дизайна. Рассмотрена целесообразность использования такого метода проектирования при градостроительном планировании, на основании его преимуществ и ограничивающих факторов. Произведен обзор уже существующих программных решений в области строительного параметрического моделирования и сделан вывод о наиболее удобном инструменте для работы в рамках профессиональной деятельности.

Ключевые слова: генеративный дизайн, градостроительство, автоматизация, компьютерное моделирование, эффективность, скрипты.

Recently, the issues of application a generative design have gained an increasing attention in architectural community, and the ideas of optimization an extremely wide range of routine operations have been proposed. The article defines the differences between the terms of generative, algorithmic and parametric design. Later, the practical value of using such a design method in urban planning is considered due to its advantages and disadvantages. An overview of existing software solutions of parametric modeling in the field of construction are made and then a considered tool is evaluated to be the convenient or not for the professional activity.

Keywords: generative design, urban planning, automation, computer modelling, efficiency, scripts.

Сегодня для поиска множественных решений задач проектирования существуют средства параметрического дизайна, которые, на основе входных параметров, моделируют возможные объемно-планировочные решения. Такой подход существенно ускоряет процесс любой архитектурной разработки и позволяет генерировать уникальные модели, не ограниченные рамками общепринятых решений [1].

В некоторых исследованиях применимости генеративного дизайна для градостроительного проектирования выявлено отсутствие достаточной логики в работе параметрического моделирования для выявления противоречий [2]. Вместе с тем, существуют уже готовые решения других авторов, заявляющих о применимости своих методик и повышении качества и скорости проектирования, увеличении эффективности и функциональности использования территорий [3].

Целью настоящей статьи является оценка применимости средств и методов генеративного дизайна для решения задач градостроительства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: определить понятие генеративного дизайна и смежных с ним подвидов, выявить достоинства и недостатки рассматриваемого подхода к проектированию, рассмотреть программное обеспечение для моделирования и визуального программирования, сделать вывод о применимости методики для целей градостроительства как раздела архитектуры.

Под генеративным дизайном понимают алгоритмический подход к созданию проектов. Деятельность архитектора при этом сводится к написанию скриптов и заданию пакета исходных граничных условий, в рамках которых программой генерируются множественные решения [2]. В результате работы скрипта программа получает массив данных с параметрами полученных схем, после чего составляется выборка наиболее оптимальных вариантов с участием человека (с применением машинного обучения, [3]) или без него [4].

В области генеративного дизайна также выделяют алгоритмический дизайн, который отличается наличием прямой взаимосвязи входных и выходных параметров, то есть ориентируется на конечные эксплуатационные характеристики разрабатываемого объекта [1–2]. Кроме того, существует параметрическое моделирование, суть которого заключается в динамическом изменении переменных для формирования различных взаимосвязей между входными и выходными данными (например, один скрипт может генерировать различные варианты фасада) [2].

В литературе зачастую отсутствует четкое деление подходов к проектированию по приведенным выше понятиям, поскольку они все тесно

взаимосвязаны и интегрируемы [2–3]. Хотя «генеративный дизайн» и не является однозначно наиболее всеобъемлющим и не включает в себя полностью алгоритмический и параметрический подходы, именно этим понятием обозначают рассматриваемую область компьютерного дизайна. В настоящей статье речь пойдет об общих чертах описываемой группы методов.

Генеративному дизайну присущи достоинства, основанные на вычислительных возможностях современных компьютеров:

1. основным преимуществом перед традиционным проектированием (схемы и планы составляются человеком в пределах возможностей его воображения [3]), является свобода от привычных приемов проектирования, благодаря которым алгоритм может сгенерировать массив данных, охватывающий все возможные комбинации наборы выходных параметров [2]. То есть, например при проектировании мастер-плана, компьютер, благодаря современной скорости обработки информации, способен вычислить эксплуатационные характеристики для нетривиальной (криволинейной, хаотичной) схемы зонирования, которая может оказаться более эффективной, нежели привычная градостроителю – прямоугольная. Так можно получить кардинально новые решения;

2. высокая скорость разработки большого числа вариантов проектного решения в случае генеративного дизайна [4], в случае параметрического – возможность проектирования однотипных сооружений с помощью одного и того же скрипта, но за счет задания разных параметров. Например, в работе [5] автор представляет свой алгоритм для автоматизированного проектирования объектов ИЖС, который полностью имитирует работу архитектора от функционального зонирования до выпуска чертежей. Скрипт универсален для данного типа зданий и может выдавать готовый различный результат в зависимости от входных данных;

3. повышение эффективности проектирования и снижение его стоимости, поскольку требуется меньшее количество исполнителей на линейные и рутинные операции [3], возможно также и снижение материалоемкости;

4. создание связок с существующими BIM-продуктами для удобства ручной доработки проекта и координации совместной работы, что минимизирует ошибки и неточности и выводит проектирование на качественно новый уровень [2, 5].

Однако, вопреки большому количеству достоинств, генеративный дизайн все еще не стал общепринятым принципом и средством проектирования, и на то есть ряд причин:

1. сложные интерфейсы программ, необходимость длительного обучения написанию скриптов, для которого требуется понимание основ программирования, что не всегда подходит для поколений опытных проектировщиков [6]. Кроме того, переход на новые принципы разработки моделей для компаний неоправданно затратный, и может не принести ожидаемой выгоды при отсутствии спроса. Как пример, некоторые бюро неохотно переходят даже к BIM проектированию, и продолжают работать в 2D измерении, неоправданно растягивая выполнение проекта и увеличивая вероятность коллизий;

2. невозможность создания некоторых конструктивных решений, сгенерированных для уменьшения материалоемкости и увеличения функциональности, сложность монтажа нетиповых, пространственно-искривленных элементов [6];

3. исключение творческой составляющей деятельности архитектора из процесса проектирования, что может сделать проект оторванным от местных традиций и истории архитектуры [6];

4. смещение ориентира проектирования с создания функционального пространства на моделирование уникальной формы, с потерей эксплуатационных характеристик здания ради увеличения его архитектурной неповторимости. Такие проекты подвергаются масштабной критике, поскольку пространство в них используется неэффективно, а облик здания кажется чересчур непривычным для восприятия [6].

Градостроительное параметрическое проектирование невозможно без наличия подходящих для его целей программных комплексов. Наиболее распространенными инструментами генеративного дизайна в строительстве являются связки Rhinoceros + Grasshopper (Robert McNeel & Associates), Revit + Dynamo (Autodesk) [2, 6] и MasterMind (Genpro) [4].

Revit + Dynamo зачастую используются для автоматизации рутинной работы при создании физической модели зданий в Revit: автоматическое создание элементов по границам уже размещенных в модели объектов (например, размещение откосов по границам проема в стене), заполнение параметров элементов в соответствии с их расположением и значением других параметров, заданных вручную пользователем (заполнение данных о квартирографии с помощью плагина, который собирает значение типа квартиры и ставит соответствующую марку на оформленном листе), вспомогательные расчеты и просто оптимизация недостающих функций за счет открытого кода [7].

Опираясь на исследования автора в работе [4], можно сделать вывод о полной применимости MasterMind для градостроительных целей, судя

по ее функционалу, принимаемым данным и выходным параметрам. Однако, она имеет достаточно ограниченный функционал.

Самым распространенным программным комплексом для проектирования фасадов и объемно-планировочных решений является связка Rhinoceros + Grasshopper, поскольку моделирование осуществляется в математическом виде на основе набора «нодов» – компонентов скрипта, содержащих параметры, и потому является наиболее гибким и функциональным. Для программного обеспечения созданы дополнительные пакеты компонентов, которые могут быть полезны для градостроительного анализа – Ladybug (для оценки климатических показателей, инсоляции, ветрового воздействия), Heron (работа с ГИС-данными), Honeybee (для оценки энергопотребления), Human (задание текстур и материалов). Таким образом, программный продукт позволяет не только сгенерировать мастер-план города, объемно-планировочные решения жилого дома и метеоустойчивый фасад, но и провести оценку жизнеспособности архитектурных решений при моделировании реалистичных условий [8].

Таким образом, генеративный дизайн хоть и не получил на данный момент широкого применения в градостроительной деятельности, однако продолжает набирать популярность, особенно с возросшим в недавнее время интересам к нейронным сетям и искусственному интеллекту [1]. Он предоставляет широкий спектр вариантов объемно-планировочных решений и позволяет проектировщику выйти за рамки сложившихся схем. Существующие программные комплексы способны стать полноценной основой для градостроительного планирования.

Можно сделать вывод, что методы генеративного дизайна применимы и удобны для целей градостроительного планирования, поскольку позволяют не только разработать множественные варианты зонирования территории, но и провести приближенный к реальности анализ застройки по климатическому воздействию, транспортным и эксплуатационным характеристикам. Несмотря на приведенные недостатки рассматриваемого метода моделирования, при правильном использовании, он предоставляет проектировщику механизмы анализа информации, которых не существует в двумерном проектировании.

Литература

1. Kraus M., Bucher M.J.J. Performance-Based Generative Design for Parametric Modeling of Engineering Structures Using Deep Conditional Generative Models // Automation in Construction. 2023. Vol. 156. P. 105128. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.105128.

2. Лаушкина А.А., Басов О.О. Применение методов генеративного дизайна с использованием мультимодальных данных в сфере архитектуры и градостроительства // Научный результат. Информационные технологии. 2021. Т. 6, № 3. С. 3–10. DOI: 10.18413/2518-1092-2021-6-3-0-1. EDN: TPOQSQ.

3. Айрапетян Н.Г., Зайцев А.А. Повышение эффективности использования земельного участка на основе генеративного дизайна // Журнал правовых и экономических исследований. 2021. № 3. С. 129–136. DOI: 10.26163/GIEF.2021.47.55.019. EDN: UQHSUX.

4. Жунусов М., Симанкина Т.Л. Применение генеративного дизайна для реализации градостроительной деятельности // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: Матер. VI Всеросс. национ. науч. конф. молодых учёных. Ч. 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. С. 55–58. EDN: ITEHRJ.

5. Федчун Д.О., Тлустый Р.Е. Сравнительный анализ методов параметрического, информационного и генеративного архитектурного проектирования // Вестник ИШ ДВФУ. 2018. № 1(34). С. 103–115. DOI: 10.5281/zenodo.1196721. EDN: YTOKKA.

6. Стессель С.А. Проблемы применения идей параметризма в архитектурном проектировании // Архитектура и строительство России. 2015. № 9(213). С. 32–39. EDN: UQCHPT.

7. Смакаев Р.М., Низина Т.А. Применение среды визуального программирования Dynamo при разработке проекта здания в Autodesk Revit // Основы экономики, управления и права. 2020. № 2(21). С. 48–55. DOI: 10.51608/23058641_2020_2_48. EDN: VTDDXI.

8. Ушаков А.И. Моделирование объёмно-пространственного развития посёлка с применением современных цифровых методов проектирования и анализа: ВКР магистра: 07.04.04. СПб., 2022. 79 с. DOI: 10.18720/SPBPU/3/2022/vr/vr22-3810.

УДК 004.925.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.014

Конопацкий Евгений Викторович, д-р техн. наук, заведующий кафедрой
(Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4798-7458

Konopatskiy Evgeniy Viktorovich, Dr. Sci. Tech., Head of Department
(Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering)

КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТИМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

DEVELOPMENT CONCEPT OF HIGH-PERFORMANCE NATIONAL BIM OF THE NEW GENERATION

Предложена концепция разработки высокопроизводительных отечественных технологий информационного моделирования объектов капитального строительства, основанная на использовании полноценных твердотельных моделей, аналитическое описание которых выполнено с помощью математического аппарата «Точечное исчисление». В соответствии с этой концепцией геометрическое тело определяется, как геометрическое множество точек, у которого количество текущих параметров соответствует размерности пространства. Приводится пример точечного определения твердотельного параллелепипеда, как трёхпараметрического множества точек, принадлежащих трёхмерному пространству. Аналогичным образом возможно построение твердотельных геометрических моделей любой сложности. Перечислены некоторые потенциальные возможности, которые открывает использование полноценных твердотельных моделей в ТИМ.

Ключевые слова: ТИМ, САПР, твердотельное моделирование, граничная модель, точечное исчисление, параллельные вычисления, геометрическое ядро.

The concept of development of high-performance domestic technologies for information modeling of capital construction objects based on the use of full-fledged solid-state models, the analytical description of which is performed using the mathematical apparatus “Point Calculus” is proposed. According to this concept, a geometric solid is defined as a geometric set of points, whose number of current parameters corresponds to the dimensionality of space. An example of the point definition of a solid-state parallelepiped as a three-parameter set of points belonging to three-dimensional space is given. Similarly, it is possible to construct solid-state geometric models of any complexity. These are some of the potential opportunities that the use of complete solid models in BIM offers.

Keywords: BIM, CAD, solid-state modeling, boundary model, point calculus, parallel computing, geometric core.

Современное общество семимильными шагами входит в информационную эпоху. Одним из направлений активного внедрения информационных технологий является строительная отрасль. Будучи в достаточной степени консервативной, строительная отрасль предъявляет повышенные требования к программным продуктам для информационного моделирования зданий и сооружений, содержащих огромное количество компонентов модели и, как следствие, огромный массив информации, которым необходимо оперировать в режиме реального времени не только для создания непосредственно модели объекта, но и для его сопровождения на всех этапах жизненного цикла. Существующие отечественные и зарубежные ТИМ и САПР хорошо подходят для решения инженерных задач с одним строительным объектом, но пока не могут обеспечить необходимую производительность для создания полноценных цифровых двойников на уровне микрорайона, района, города или региона.

Другим их недостатком является отсутствие единого комплексного программного обеспечения для строительства и архитектуры, объединяющего возможности ТИМ и расчётных САПР (CAE), что приводит к необходимости импорта информационных моделей объектов капитального строительства в расчётные комплексы и обеспечивает наличие следующей проблемы, связанной с недостаточной интероперабельностью отечественных и зарубежных ТИМ и САПР. Кроме того, существуют определённые проблемы с преемственностью информационных моделей для разных версий одного и того же программного продукта, что значительно затрудняет цифровую поддержку строительных объектов на всех этапах жизненного цикла, который в отличие от версий программного продукта исчисляется десятилетиями.

Очередным недостатком существующих систем информационного моделирования является слабая технологическая и программная координация между уровнями САПР в архитектурном и строительном проектировании (ГИС – ТИМ) [1, 2].

Многие из вышеперечисленных проблем связаны с ограниченными возможностями представления моделей объектов в трёхмерном пространстве или, другими словами, геометрическим ядром ТИМ (САПР). На данный момент существует несколько принципиальных подходов к представлению моделей в САПР, но наибольшее распространение получила граничная модель [3], которая в зарубежных литературных источниках известна как B-rep или BREP [4–6]. Не будем подробно останавливаться на достоинствах и недостатках граничной модели, но отметим, что геометрически не совсем корректно называть замкнутую оболочку

полноценной твердотельной моделью. Это просто такая общепринятая условность, которая тем не менее повсеместно используется, в том числе и в популярном формате представления данных IFC [7].

В большей степени твердотельными моделями имеют право называться точечные модели, представленные в виде облаков (гиперколичественное множество) точек или воксельные модели, обеспечивающие представление геометрических объектов в виде трехмерного массива кубических элементов, но их практическое использование затрудняется необходимостью мобилизации огромных вычислительных ресурсов, что послужило причиной их более низкой востребованности в САПР, по сравнению с граничными моделями.

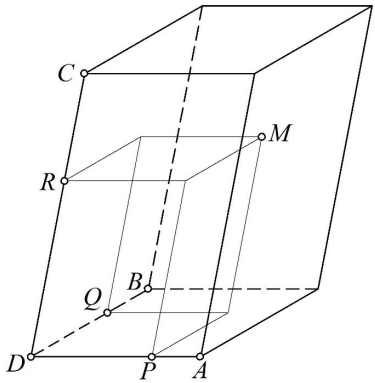
Принципиально новым подходом, предложенным в 2021 году [8], является представление твердотельных моделей в виде упорядоченного множества точек, аналитическое описание которых выполнено с помощью математического аппарата «Точечное исчисление» [9]. Не нужно путать это представление с облаком дискретных точек, полученных в результате сканирования. Здесь речь идёт о представлении геометрических объектов с помощью текущей точки, которая в результате движения собой заполняет пространство любой размерности. Подобная идеология определения геометрических объектов была предложена ещё в 1856 г. Х. Штаудтом и представлена в виде вурф-исчисления. Она позволяет однотипно определять любые геометрические объекты (линии, поверхности, гиперповерхности, тела, гипертела и т. д.) в пространстве любой размерности. Точечное исчисление позволяет параметризовать эти объекты и представить их аналитическое описание в виде простых точечных уравнений, которые посредством покоординатного расчёта сводятся к параметрическим, что на уровне математического аппарата позволяет реализовать параллельные вычисления по данным. А конструктивные алгоритмы формообразования геометрических объектов на аффинной и проективной основе позволяют реализовать параллельные вычисления по задачам.

Например, твердотельная модель параллелепипеда с вершинами A, B, C, D (см. рис.) в линейном пространстве определяется простым точечным уравнением:

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

где A, B, C, D – точки, которые не только сами по себе формируют локальный симплекс трёхмерного пространства, но и однозначно определяют положение и размеры параллелепипеда в глобальной системе координат; M – текущая точка, которая своим движением заполняет

трёхмерное пространство формируя твердотельную модель параллелепипеда; $u = \frac{DP}{DA}$, $v = \frac{DQ}{DB}$, $w = \frac{DR}{DC}$ – текущие параметры, которые изменяются от 0 до 1.



Геометрическая схема определения
твердотельной модели параллелепипеда

Используя покоординатный расчёт для трёхмерного пространства, получим систему однотипных параметрических уравнений:

$$\begin{cases} x_M = x_A u + x_B v + x_C w + x_D (1 - u - v - w) \\ y_M = y_A u + y_B v + y_C w + y_D (1 - u - v - w). \\ z_M = z_A u + z_B v + z_C w + z_D (1 - u - v - w) \end{cases}$$

Исходя из того, что под точками в точечных уравнениях понимаются координатные векторы, предложенный в [8] подход можно назвать векторным представлением воксельных моделей, если размер вокселя будет стремиться к бесконечно малой. Но если для воксельной модели и размер файла также будет стремиться к бесконечности, то для твердотельной модели, представленной в точечном исчислении, он останется неизменным.

С аналогичными проблемами придётся столкнуться и при выполнении расчётов с помощью объёмных конечных элементов, которые по своему смыслу также близки к предложенной концепции. При стремлении размера объёмного элемента к бесконечно малой величине (точке), получим точечную твердотельную модель, близкую по своему смыслу к предложенной,

но вычислительная сложность метода конечных элементов при этом также будет стремиться к бесконечности, а предложенные модели геометрических тел описываются простыми точечными уравнениями.

Следует также отметить, что полученная твердотельная модель параллелепипеда на основе координат 4-х точек однозначно определяет его размеры и положение в трёхмерном пространстве, что значительно сокращает ресурсы для обработки и хранения таких моделей, а также исключает необходимость использования матриц преобразования.

Предложенный подход является очень наукоёмким, поскольку по сути предложено аналитическое определение целого класса ранее не исследованных геометрических объектов. Какие возможности для ТИМ открывает новый подход представления твердотельных геометрических объектов?

1. Новые методы хранения геометро-графической информации, основанные на использовании точечных уравнений.

2. Замена некоторых булевых операций над геометрическими телами аналитическими.

3. Отсутствие необходимости использования матриц преобразования.

4. Реализация параллельных вычислений по данным на уровне математического аппарата «Точечное исчисление».

5. Реализация параллельных вычислений по задачам за счёт использования конструктивных алгоритмов геометрического моделирования на проективной и аффинной основе.

6 Новые методы расчёта напряжённо-деформированного состояния твёрдых тел, основанные на функционально-управляемой анизотропии и альтернативные по отношению к методу конечных элементов.

7. Замена воксельных 3D моделей векторными.

8. Новые высокопроизводительные методы рендеринга изображений.

9. Новая технология генерации полноценных объёмных изображений в трёхмерном пространстве.

И это далеко не полный перечень возможностей, которыми может обладать ТИМ нового поколения. Следует отметить, что это не локальное улучшение какой-то формообразующей операции или новой кривой, а принципиально новая концепция, которая выведет отечественные ТИМ на качественно новый уровень производительности, обеспечит их суверенитет в условиях санкций и конкурентное преимущество на международном уровне.

Литература

1. Junxiang Z., Peng W., Mengcheng Ch., Mi Jeong K., Xiangyu W., Tingchen F. Automatically Processing IFC Clipping Representation for BIM and GIS Integration

at the Process Level // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, No. 6. P. 2009. DOI: 10.3390/app10062009.

2. Liu A.H., Ellul C. Quantifying geometric changes in BIM-GIS conversion // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2022. Vol. X-4/W2-2022. P. 185–192. DOI: 10.5194/isprs-annals-x-4-w2-2022-185-2022. EDN: HZYKPJ.

3. Кулакова И.В., Борзенко А.Е. Граничное представление моделей (метод B-REP в пакетах САПР) // Информационные технологии в конструировании ЭС: Межвуз. сб. науч. тр. Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023. С. 139–143. EDN: AMCOZW.

4. Hu Z., Zhang J., Zhang X. Construction collision detection for site entities based on 4-D space-time model // Qinghua Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban). 2010. Vol. 50, No. 6. P. 820–825. EDN: OCILYP.

5. Zou Q., Feng H.Yu. A robust direct modeling method for quadric B-rep models based on geometry–topology inconsistency tracking // Engineering with Computers. 2022. Vol. 38, No. 4. P. 3815–3830. DOI: 10.1007/s00366-021-01416-5. EDN: DLSWGE.

6. Teschemacher T., Bauer A.M., Oberbichler T., Breitenberger M., Rossi R., Wüchner R., Bletzinger K.U. Realization of CAD-integrated shell simulation based on isogeometric B-Rep analysis // Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences. 2018. Vol. 5, No. 1. P. 1–54. DOI: 10.1186/s40323-018-0109-4. EDN: JXTBXA.

7. IfcGeometricConstraintResource. URL: https://ifc43-docs.standards.building-smart. org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/ifcgeometricconstraintresource/content.html (дата обращения: 03.03.2024).

8. Konopatskiy E.V., Bezditnyi A.A., Lagunova M.V., Naidysh A.V. Principles of solid modelling in point calculus // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1901. P. 012063. DOI: 10.1088/1742-6596/1901/1/012063. EDN: KKNZEV.

9. Балюба И.Г., Конопацкий Е.В., Бумага А.И. Точечное исчисление: учебно-методическое пособие. Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 2020. 244 с. EDN: UVKHEE.

УДК 69:004
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.015

Кулаков Дмитрий Сергеевич, аспирант
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: kulakov@reegigroup.com
Карелин Дмитрий Викторович, канд. архит., заведующий кафедрой
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: d.karelin@sibstrin.ru, ORCID: 0009-0002-7275-6889

Kulakov Dmitry Sergeevich, postgraduate student
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))
Karelin Dmitry Victorovich, PhD in Arch., Head of Department
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))

ВИРТУАЛЬНЫЙ ПАСПОРТ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КАК ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ АТРИБУТ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

VIRTUAL PASSPORT OF A DIGITAL INFORMATION MODEL AS A MANDATORY ATTRIBUTE OF THE LIFE CYCLE OF A CONSTRUCTION FACILITY

На текущем этапе развития строительной отрасли необходимо провести пересмотр подхода и методов, использующихся в процессе производства и строительства с целью обеспечить плавную цифровую трансформацию основных процессов в строительстве. В данной статье авторы выдвигают гипотезу о том, что объекты капитального строительства могут быть удалены друг от друга и представлять собой разную архитектурно-строительную типологию, но при этом содержат базовые параметры характеризующие объекты. В результате работы предлагаем ввести понятие – виртуальный паспорт, который мог бы классифицировать, обобщить и структурировать данные, необходимые для качественного анализа представленного объекта в информационной среде на всем его жизненном цикле.

Ключевые слова: виртуальный паспорт здания, информационное моделирование зданий, паспортизация, среда общих данных, жизненный цикл здания, цифровой двойник.

At the current stage of development of the construction industry, it is necessary to review the approach and methods used in the production and construction process in order

to ensure a smooth digital transformation of the main processes in construction. In this article, the authors put forward the hypothesis that capital construction objects can be remote from each other and represent different architectural and construction typologies, but at the same time contain basic parameters characterizing the objects. As a result of the work, we propose to introduce the concept of a virtual passport, which could classify, summarize and structure the data necessary for a qualitative analysis of the presented object in the information environment throughout its entire life cycle.

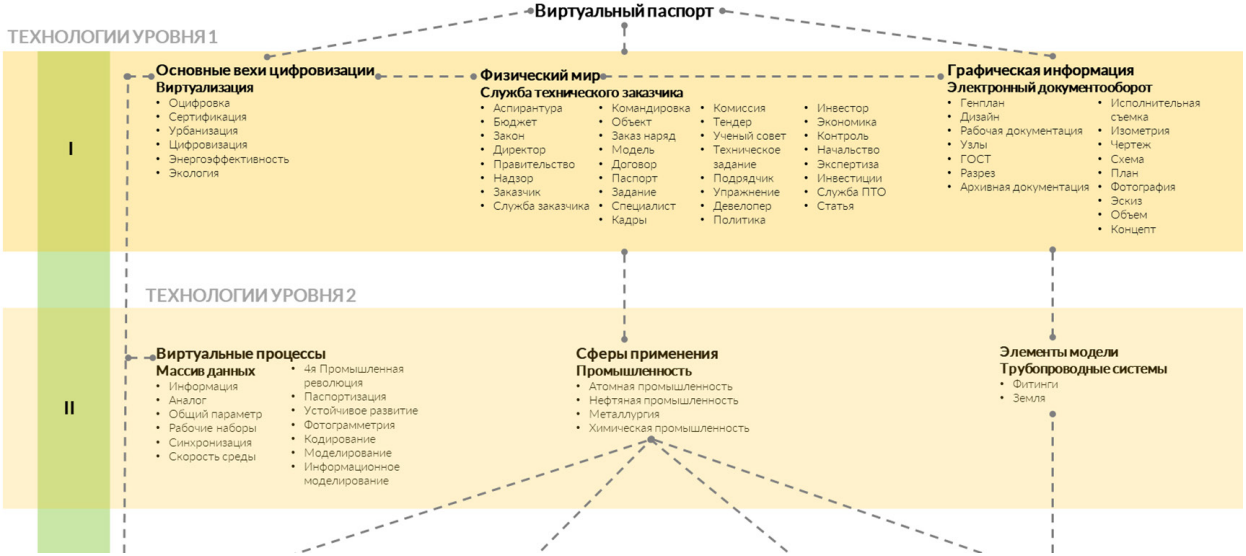
Keywords: virtual building passport, building information modeling, certification, shared data environment, building life cycle, digital twin.

Введение. В соответствии с решением Президиума Совета при Президенте Российской Федерации в части инновационного развития строительной отрасли, были обозначены основные тезисы развития в отношении технологии информационного моделирования, а именно было формализовано поручение по разработке и утверждению плана поэтапного внедрения технологии информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства, включающее предоставление возможности проведения экспертизы проектной документации, подготовленной с использованием такой технологии [1].

На сегодняшний день можно сказать, что технологические нововведения повсеместно влияют на условия жизни людей. Новейшие технологии и устройства используют во всех сферах деятельности человека, что позволило повысить эффективность, качество и удобство их применения.

В качестве основного направления, к которому следует стремиться, является сокращение затрат, минимизация времени строительства и совершенствование текущих технологий. На всех этапах жизненного цикла здания, при его виртуализации в информационном моделировании, необходимо учитывать множество факторов, которые будут влиять на сам процесс производства и строительства. Определенная параметризация в среде общих данных, которая используется для контроля и управления качеством производимого продукта, позволяет обеспечить контроль и надзор за процессом производства. Авторы исследования предлагают ввести в научный оборот термин – виртуальный паспорт, предполагаемая структура которого приводится на рис. 1. Виртуальный паспорт – мультикомпонентная база данных, включающая все этапы жизненного цикла объекта капитального строительства с возможностью имитационного моделирования процессов (рис. 2), учитывая современные темпы роста информационных технологий в строительстве [1].

Основной целью данной статьи является формирование комплексной структуры самого виртуального паспорта на примере промышленного технологического комплекса.


Виртуальный паспорт
ТЕХНОЛОГИИ УРОВНЯ 1
I
Основные вехи цифровизации
Виртуализация
Оцифровка
Сертификация
Урбанизация
Цифровизация
Энергоэффективность
Экология
Физический мир
Служба технического заказчика
Аспирантура
Бюджет
Закон
Директор
Правительство
Надзор
Заказчик
Служба заказчика
Командировка
Объект
Заказ наряд
Модель
Договор
Паспорт
Задание
Специалист
Кадры
Комиссия
Тендер
Ученый совет
Техническое задание
Подрядчик
Упражнение
Девелопер
Политика
Инвестор
Экономика
Контроль
Начальство
Экспертиза
Инвестиции
Служба ПТО
Статья
Графическая информация
Электронный документооборот
Генплан
Дизайн
Рабочая документация
Узлы
ГОСТ
Разрез
Архивная документация
Исполнительная съемка
Изометрия
Чертеж
Схема
План
Фотография
Эскиз
Объем
Концепт
ТЕХНОЛОГИИ УРОВНЯ 2
II
Виртуальные процессы
Массив данных
Информация
Аналог
Общий параметр
Рабочие наборы
Синхронизация
Скорость среды
4я Промышленная революция
Паспортизация
Устойчивое развитие
Фотограмметрия
Кодирование
Моделирование
Информационное моделирование
Сферы применения
Промышленность
Атомная промышленность
Нефтяная промышленность
Металлургия
Химическая промышленность
Элементы модели
Трубопроводные системы
Фитинги
Земля

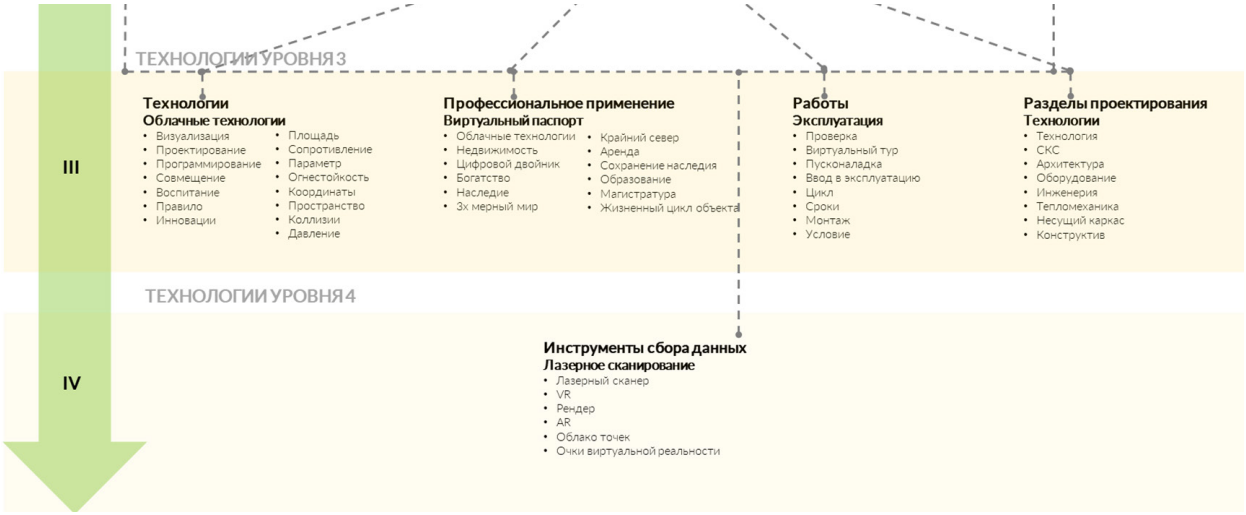
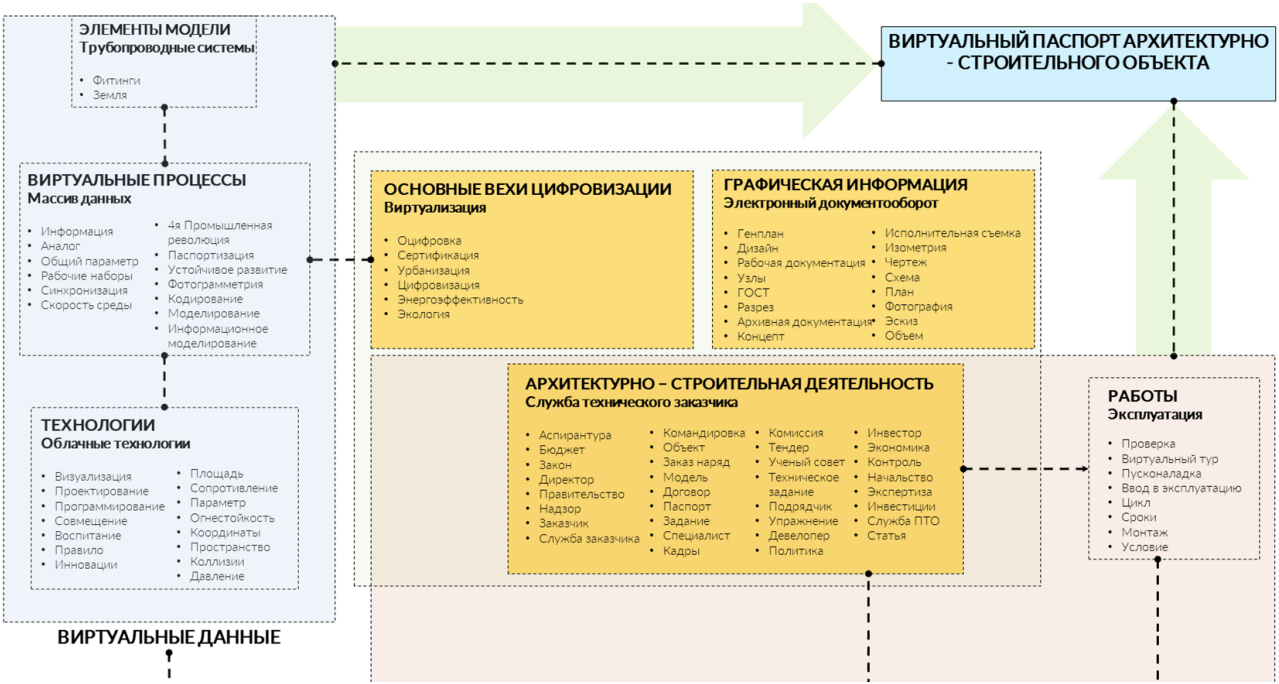


Рис. 1. Технологические уровни взаимодействия информационных параметров


ЭЛЕМЕНТЫ МОДЕЛИ
Трубопроводные системы
• Фитинги
• Земля
ВИРТУАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ
Массив данных
• Информация
• Аналог
• Общий параметр
• Рабочие наборы
• Синхронизация
• Скорость среды
• 4я Промышленная революция
• Паспортизация
• Устойчивое развитие
• Фотограмметрия
• Кодирование
• Моделирование
• Информационное моделирование
ТЕХНОЛОГИИ
Облачные технологии
• Визуализация
• Проектирование
• Программирование
• Совмещение
• Воспитание
• Правило
• Инновации
• Площадь
• Сопротивление
• Параметр
• Огнестойкость
• Координаты
• Пространство
• Коллизии
• Давление
ВИРТУАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ
ВИРТУАЛЬНЫЙ ПАСПОРТ АРХИТЕКТУРНО - СТРОИТЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА
ОСНОВНЫЕ ВЕХИ ЦИФРОВИЗАЦИИ
Виртуализация
• Оцифровка
• Сертификация
• Урбанизация
• Цифровизация
• Энергоэффективность
• Экология
ГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ
Электронный документооборот
• Генплан
• Дизайн
• Рабочая документация
• Узлы
• ГОСТ
• Разрез
• Архивная документация
• Концепт
• Исполнительная съемка
• Изометрия
• Чертеж
• Схема
• План
• Фотография
• Эскиз
• Объем
АРХИТЕКТУРНО – СТРОИТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
Служба технического заказчика
• Аспирантура
• Бюджет
• Закон
• Директор
• Правительство
• Надзор
• Заказчик
• Служба заказчика
• Командировка
• Объект
• Заказ наряд
• Модель
• Договор
• Паспорт
• Задание
• Специалист
• Кадры
• Комиссия
• Тендер
• Ученый совет
• Техническое задание
• Подрядчик
• Упражнение
• Девелопер
• Политика
• Инвестор
• Экономика
• Контроль
• Начальство
• Экспертиза
• Инвестиции
• Служба ПТО
• Статья
РАБОТЫ
Эксплуатация
• Проверка
• Виртуальный тур
• Пусконаладка
• Ввод в эксплуатацию
• Цикл
• Сроки
• Монтаж
• Условие

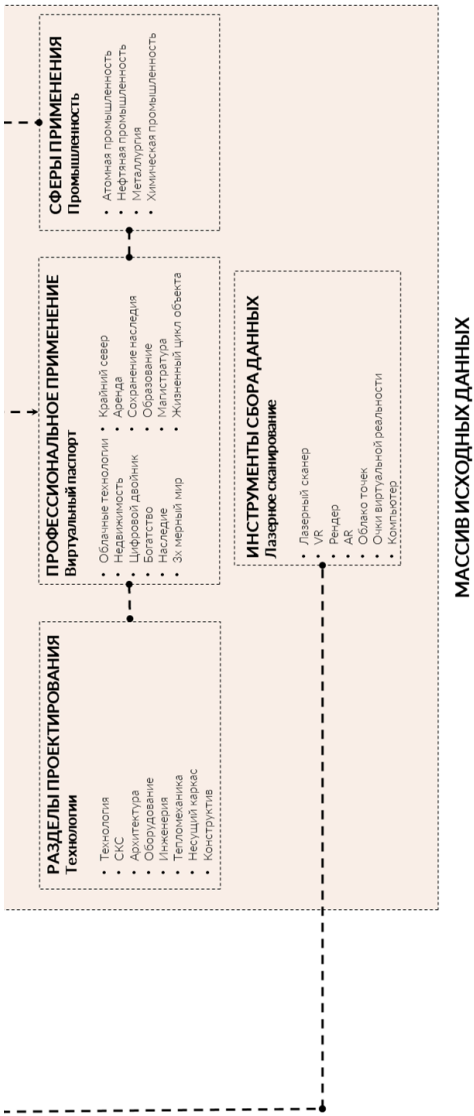


Рис. 2. Блочная система разбивки информационных параметров на группы

Материалы и методы. Технология информационного моделирования в строительной сфере имеет сравнительно малый исторический срез и чаще всего используется в качестве определения для специалистов, которые принимают управленческие решения. Они руководствуются не знаниями из собственной практики в области информационного моделирования, а используют маркетинговые материалы производителей и вендоров программного обеспечения [2].

Путем использования технологии информационного моделирования возможно получение информации не только на стадии проектирования, но и на этапе возведения конструкций и монтажа оборудования [2]. Данные подходы помогают в виртуальной среде сформировать имитационные модели, при этом получая важные данные для симуляций, которые в реальное время могут привести к высоким затратам.

Другими словами – это цифровая копия конструкций, приборов и материалов, что в полной мере дает возможность к полноценному обслуживанию с использованием цифровых аналогов, применяемых в них самих.

В процессе эксплуатации необходимо в реальном времени мониторить степень износа, симулировать вероятности выхода из строя жизненно важных узлов оборудования, которые ранее были обслужены или имеют технические дефекты или повреждения. Благодаря диспетчеризации данные с помощью информационной модели могут быть проанализированы и отобраны для последующего анализа в виртуальной среде.

С использованием представленных технологий, можно создать информационную копию не только отдельных машин или установок, но и целых цехов, заводов и их комплексов. Оптимально выполнять в виде цифрового двойника предприятия (рис. 3) со всеми производственными и логистическими процессами. Такие модели позволят найти узкие места, которые проявят себя лишь через несколько лет работы, и позволят сделать необходимую тонкую настройку.

Например, в технологических промышленных комплексах, как и в других сферах деятельности человека, необходимо учитывать инвестиционный потенциал, который сопровождает объект на всем пути его жизненного цикла, от концептуального эскизирования до процесса ввода в эксплуатацию и вывода из нее. Кроме аналитических данных также требуется контролировать процессы, связанные с безопасностью не только самого объекта, но и прилегающих к нему территорий. Более 10 тысяч потенциально опасных химических объектов находятся на территории России. Большинство из них устарело и представляет

опасность для населения. Количество опасных химических объектов в городах составляет 70 %, а также 22 ЗАТО (закрытые административно-территориальные образования) с численностью населения более 100 000 человек [3].

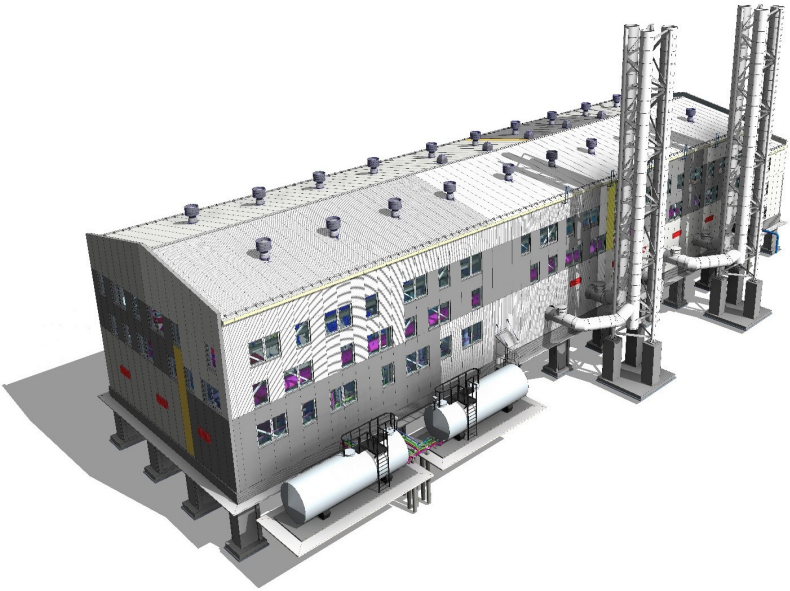


Рис. 3. Информационная модель газовой котельной

Около сорока миллионов людей проживают в зонах с повышенным риском, которые находятся на территориях, где расположены химические объекты. В промышленных регионах России состояние окружающей среды характеризуется наличием большого количества загрязняющих веществ в воздухе, воде, почве и поверхностных водоемах [4].

Информационное моделирование – это прежде всего технология [5], которая способна увязывать в себе множество не только графических данных, но и массивов данных, представленных в виде разрозненной классификации объектов, территориально обособленных друг от друга [6]. В ходе выполнения и анализа проектов, выполненных по технологии информационного моделирования, рассматривается массив информационных параметров, приведенных на схеме (см. рис. 2).

Отечественный и зарубежный опыт разработки и внедрения инструментов информатизации строительной области обобщает массив объектов капитального строительства, которые в данный момент времени находятся на этапе сдачи и приемки работ с последующим вводом в эксплуатацию [7]. В связи с этим авторы исследования выдвигают гипотезу о том, что объекты дисперсно распределены и удалены друг от друга и представляют собой разные сферы промышленного производства, но в текущий момент времени может существовать структура – виртуальный паспорт, который позволит классифицировать, обобщить и структурировать данные, необходимые для качественного анализа представленного объекта в информационной среде. Авторы предлагают представить цифровую структуру виртуального паспорта в виде технологических уровней, взаимодействие которых между собой может наблюдаться на разных этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Таким образом, появляются алгоритмические связи во временном промежутке не только между уровнями развития объекта капитального строительства, но и между различными сферами применения внутри самого информационного проекта (рис. 3). Виртуальный паспорт представляет из себя концепцию развития объекта в цифровой среде разрозненных данных, объединяя и структурируя массивы информации на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства.

Выводы. Информационный подход в строительстве, а именно в промышленной среде, на данный момент актуален. Строительство наращивает темпы, и инновации постепенно внедряются во все сферы не только проектирования, но и контроля строительно-монтажных работ, что приводит к необходимости в обобщении и классификации данных.

Авторы исследования приводят примеры, на основании которых можно проследить определенные зависимости, которые еще следует обобщить, оптимизировать и структурировать для дальнейшего использования в виртуальном паспорте объекта капительного строительства.

Внедрение виртуального паспорта, типологическая структура которого представлена на рис. 3, состоящего из упорядоченных и классифицированных цифровых данных, позволит систематизировать сформированные решения цифровой информационной модели на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства.

Литература

1. Решения по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. Об инновационном развитии в сфере строительства. Правительство

России: официальный сайт. URL: http://government.ru/orders/selection/401/11022/ (дата обращения: 13.12.2022).

2. Грязнова Н.В., Сайтибрагимов А.Э. Цифровая параметрическая градостроительная документация // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11, № 2(37). С. 330–341. DOI: 10.21285/2227-2917-2021-2-330-341. EDN: JUPNGW.

3. Малышева А.Г., Рахманин Ю.А., Растянников Е.Г., Козлова Н.Ю. Химико-аналитические аспекты исследования комплексного действия факторов окружающей среды на здоровье населения // Гигиена и санитария. 2015. Т. 94, № 7. С. 5–10. EDN: VCKPOR.

4. Пешков А.В., Матвеева М.В., Безруких О.А., Рогов Д.С. Обеспечение процессов контроля качества на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства в рамках концепции «Строительство 4.0» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12, № 1(40). С. 90–97. DOI: 10.21285/2227-2917-2022-1-90-97. EDN: AIHCLW.

5. Rocha G., Mateus L., Fernandez J., Ferreira V. A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings // Heritage. 2020. Vol. 3, No. 1. P. 47–67. DOI: 10.3390/heritage3010004.

6. Комбарова М.Ю., Аликбаева Л.А. Паспортизация химически опасных объектов // Профилактическая медицина-2020: Сб. научн. тр. Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. уч. Ч. 1. СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2020. С. 203–209. EDN: IMLLNH.

7. Горбанева Е.П., Косовцева И.А. Отечественный и зарубежный опыт разработки и внедрения инструментов информатизации строительной отрасли // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 3–12. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.001. EDN: JWRRVQ.

УДК 004.9:69
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.016

Леонов Артем Владимирович, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: leonov2.av@edu.spbstu.ru, ORCID: 0000-0001-9601-018X
Шерстюк Валерия Виталиевна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: shesrtyuk2.vv@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-5644-5629
Недвига Павел Никитич, ассистент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: pavel.nedviga@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0857-8301

Leonov Artem Vladimirovich, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Sherstyuk Valeria Vitalievna, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Nedviga Pavel Nikitich, Assistant Lecturer
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ В ФОРМАТЕ IFC

METHODOLOGY FOR CHECKING THE QUALITY OF BUILDING INFORMATION MODELS IN IFC FORMAT

Популярность процессов проверки качества информационных моделей зданий в формате IFC набирает обороты в современном строительстве. В данной статье рассматриваются подходы и инструменты, используемые для проверки IFC моделей посредством процессов валидации и верификации. Исследуется роль IDS как международного стандарта для определения требований к информационным моделям зданий. Предоставляются методы и процесс создания IDS, включая определение информационных потребностей проекта, формирование структуры требований и создание машиночитаемого документа IDS.

Ключевые слова: Industry Foundation Classes, Information Delivery Specification, валидация, верификация, XML.

The popularity of quality checking processes for building information models in IFC format is gaining momentum in modern construction. This article examines the approaches and tools used to check IFC models through validation and verification processes. The role of IDS as an international standard for defining requirements for

building information models is explored. Methods and processes for creating IDS are provided, including defining project information needs, forming requirement structures, and creating machine-readable IDS documents.

Keywords: Industry Foundation Classes, Information Delivery Specification, validation, verification, XML.

Создание ЦИМ (цифровые информационные модели) зданий приводит строительную отрасль на новый уровень, обеспечивая специалистов детальным трехмерным представлением объектов с различного рода информацией в них. Однако современное проектирование сталкивается с рядом сложностей, такими как несоответствие данных и отсутствие стандартизации, что затрудняет обмен информацией и сотрудничество между участниками проекта. Решением данной проблемы выступает использование формата IFC.

Цель данной научной статьи заключается в исследовании методов проверки качества цифровых информационных моделей в формате IFC, осуществляемых через применение процессов валидации и верификации с использованием Information Delivery Specification (IDS).

Industry Foundation Classes (IFC) является открытым и нейтральным форматом данных, который позволяет обмениваться информацией о здании между различными программными приложениями без потери данных [1]. IFC поддерживает создание и управление цифровыми двойниками зданий, облегчая интеграцию и анализ данных на протяжении всего жизненного цикла объекта [2].

Для обеспечения качества и точности IFC моделей необходимо проводить их проверку. Проверка включает в себя процессы валидации и верификации, которые обеспечивают соответствие моделей зданий установленным требованиям и стандартам.

Information Delivery Specification (IDS) – это международный стандарт для машиночитаемых требований к информационным моделям зданий, разработанный организацией buildingSMART. Стандарт позволяет точно определить, какие данные должны быть представлены в модели здания, включая атрибуты, классы и другие специфические характеристики [3]. IDS предназначен для упрощения обмена данными между различными программными платформами и участниками строительного процесса, повышая тем самым качество и эффективность проектирования и эксплуатации зданий.

Основная цель IDS заключается в создании стандартизированных, понятных и проверяемых требований к информационным моделям,

что способствует улучшению взаимодействия между всеми участниками проекта. IDS оформляется в виде XML-документа, что делает его машиночитаемым и легко интегрируемым в различные BIM-инструменты для автоматической проверки моделей [4, 5].

Применение IDS позволяет автоматизировать процесс проверки соответствия моделей зданий установленным требованиям, сокращая время и усилия, необходимые для ручной проверки. Это также обеспечивает более высокую степень доверия к моделям, поскольку все требования и результаты проверок являются прозрачными и поддаются верификации [6].

Валидация и верификация моделей при помощи IDS являются ключевыми аспектами обеспечения качества и точности информационных моделей зданий. Валидация – это процесс подтверждения, что модель здания соответствует заданным требованиям и целям проекта. Данный процесс оценивает, насколько точно и качественно модель отображает заданные характеристики объекта, включая его функциональные особенности и используемые материалы.

Верификация, с другой стороны, фокусируется на проверке правильности и полноты данных в модели. Это включает проверку на соответствие модели спецификациям, стандартам и нормативным документам. Верификация подтверждает, что все элементы модели корректно классифицированы, атрибуты заполнены правильно, и что модель не содержит логических и технических ошибок.

При помощи IDS валидация и верификация моделей становятся автоматизированными процессами. IDS определяет конкретные требования к модели, такие как необходимые атрибуты и классы объектов, их свойства и допустимые значения. Эти требования затем используются валидаторами IFC, которые автоматически проверяют модель на соответствие этим критериям, выдавая отчеты о найденных несоответствиях.

Создание IDS требует тщательного анализа информационных потребностей проекта и преобразования их в структурированные, машиночитаемые требования. Процесс включает следующие шаги [7]:

1. Определение информационных потребностей проекта.

Необходимо определить, какие данные требуются для каждого этапа проекта, включая проектирование, строительство и эксплуатацию. Это могут быть данные о геометрии, материалах, эксплуатационных характеристиках и других атрибутах объектов.

2. Формирование структуры требований.

На основе анализа потребностей формируется структура требований, которая включает классы объектов IFC, необходимые атрибуты

и свойства, а также специфические значения этих свойств. Структура требований должна отражать все ключевые аспекты модели, которые подлежат проверке.

3. Создание машиночитаемого документа IDS.

Требования преобразуются в формат XML в соответствии со стандартом IDS. Для каждого элемента требования определяются специфические правила, такие как типы данных, допустимые значения и условия их применения. Это позволяет автоматизировать процесс проверки модели на соответствие этим требованиям.

4. Тестирование и корректировка IDS.

После создания IDS необходимо провести тестирование на реальных моделях для оценки адекватности и полноты описанных требований. На основе результатов тестирования IDS может быть скорректирован для обеспечения наиболее эффективной и точной проверки моделей.

В таблице представлены примеры организации требовании в IDS: для каждого класса объекта определены специфические атрибуты с указанием типа данных, допустимых значений и обязательности их наличия в модели. Создание такой таблицы является первым шагом к формированию машиночитаемого документа IDS, который затем может быть использован для автоматизированной проверки соответствия IFC моделей здания установленным требованиям.

Пример таблицы IDS-требований

Класс объекта IFC	Атрибут	Тип данных	Допустимые значения	Обязательность
IfcWall	LoadBearing	IfcBoolean	TRUE, FALSE	обязательно
IfcDoor	FireRating	IfcText	EI30, REI60, R120	не обязательно
IfcWindow	OverallHeight	IfcReal	> 1,0	обязательно
IfcSpace	UsableHeight	IfcReal	>= 2,5 и <= 3,0	обязательно

На основании таблицы IDS требований может быть сформирован ids файл, содержащий в себе сформированные требования в формате xml. Часть содержимого сформированного для примера файла представлена на рисунке.

```xml
<specification name="Door Fire Rating" ifcVersion="IFC4" description="Doors must have a fire rating specified
    <applicability>
        <entity>
            <name>
                <simpleValue>IfcDoor</simpleValue>
            </name>
        </entity>
    </applicability>
    <requirements>
        <property datatype="IfcLabel" instructions="Include the fire rating of the door.">
            <name>
                <simpleValue>FireRating</simpleValue>
            </name>
            <value>
                <simpleValue>EI30</simpleValue>
                <simpleValue>REI60</simpleValue>
                <simpleValue>R120</simpleValue>
            </value>
        </property>
    </requirements>
</specification>
<specification name="Window Overall Height" ifcVersion="IFC4" description="The overall height of windows must
    <applicability>
        <entity>
            <name>
                <simpleValue>IfcWindow</simpleValue>
            </name>
        </entity>
    </applicability>
    <requirements>
```

Требования IDS в машиночитаемом формате XML

В результате проверки модели на основе IDS можно выявить любые несоответствия или ошибки, что позволяет своевременно внести коррективы и избежать дорогостоящих переделок на более поздних этапах проекта.

Полученные данные о несоответствиях модели требованиям могут быть использованы для дальнейшей доработки и оптимизации модели. Разработчики могут исправить указанные ошибки и повторно провести проверку, чтобы убедиться в полном соответствии модели всем требованиям. Это повышает качество проектной документации и упрощает дальнейшие этапы проектирования и строительства.

В заключение следует отметить, что методология обеспечения качества IFC моделей зданий через использование IDS представляет собой мощный инструмент для стандартизации и автоматизации процессов проверки и валидации моделей в области информационного моделирования зданий. Она облегчает сотрудничество между участниками проекта, повышает точность и надежность проектных данных, а также способствует более эффективному управлению проектами строительства.

Литература

1. Шахраманян М.А., Куприяновский В.П., Климов А.А. Открытый BIM и автоматизированный учет объемов строительства: от машиночитаемых стандартов до реализации // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 10. С. 128–147. EDN: RNNBCY.

2. Tomczak A., Berlo L.V., Krijnen T., Borrmann A., Bolpagni M. A review of methods to specify information requirements in digital construction projects // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1101, No. 9. P. 092024. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092024. EDN: APLTGJ.

3. Xu Z., Huang T., Li B., Li H., Li Q. Developing an IFC-Based Database for Construction Quality Evaluation // Advances in Civil Engineering. 2018. Vol. 2018. P. 3946051. DOI: 10.1155/2018/3946051.

4. Choi J., Kim H., Kim I. Open BIM-based quantity take-off system for schematic estimation of building frame in early design stage // Journal of Computational Design and Engineering. 2015. Vol. 2, No. 1. P. 16–25. DOI: 10.1016/j.jcde.2014.11.002.

5. Eastman C., Lee J.-M., Jeong Y.-S., Lee J.-K. Automatic rule-based checking of building designs // Automation in Construction. 2009. Vol. 18, No. 8. P. 1011–1033. DOI: 10.1016/j.autcon.2009.07.002.

6. Information Delivery Specification (IDS) – перспективное дополнение к MVD. URL: https://habr.com/ru/articles/784224/ (дата обращения: 12.02.2024).

7. How do IDS specifications work? URL: https://github.com/buildingSMART/IDS/blob/master/Documentation/specifications.md (дата обращения: 12.02.2024).

УДК 69.059.14+004.021
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.017

Митин Александр Александрович, инженер, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: mitin_aa@spbstu.ru, ORCID: 0000-0001-6549-5612
Кукина Анна Алексеевна, старший преподаватель
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: anna.kukina1805@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4271-7408
Петроченко Марина Вячеславовна, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: petrochenko_mv@spbstu.ru, ORCID: 0000-0002-4865-5319

Mitin Aleksandr Aleksandrovich, Engineer, Master's degree student
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Kukina Anna Alekseevna, Senior Lecturer
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)
Petrochenko Marina Vyacheslavovna, Assistant Professor
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University)

АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ СХЕМ И ВЕДОМОСТЕЙ ДЕФЕКТОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

ALGORITHMS FOR AUTOMATING THE FORMATION OF DIAGRAMS AND SHEETS OF DEFECTS BASED ON THE RESULTS OF A SURVEY OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Статья посвящена улучшению процесса камеральной обработки результатов обследования зданий и сооружений. Выделены потребности области обследования зданий и сооружений. Проведено исследование процесса выполнения работ на этапе камеральной обработки результатов обследования, найдены основные недостатки данного процесса. Представлены алгоритмы автоматизации процессов камеральной обработки, на основе которых возможна разработка программного обеспечения. Отражены преимущества использования разработанных алгоритмов в процессе камеральных работ. Проведена предварительная оценка сокращения сроков выполнения работ при использовании программного обеспечения, в основе которого лежат разработанные алгоритмы автоматизации. Сделан вывод о продолжении разработки программного обеспечения для автоматизации процесса камеральной обработки результатов обследования.

Ключевые слова: обследование зданий и сооружений, камеральная обработка, схема дефектов, ведомость дефектов, алгоритм автоматизации, оптимизация процессов.

The article is dedicated to improving the process of office processing of the results of the survey of buildings and structures. The needs of the field of inspection of buildings and structures are highlighted. A study of the work execution process at the stage of office processing of the survey results was conducted, the main disadvantages of this process were found. Algorithms for automation of office processing processes are presented, on the basis of which software development is possible. The advantages of using the developed algorithms in the process of desk work are reflected. A preliminary assessment of the reduction in work completion time when using software based on the developed automation algorithms has been carried out. It is concluded to continue the development of software to automate the process of desktop processing of survey results.

Keywords: inspection of buildings and structures, desk processing, defect diagram, defect list, automation algorithm, process optimization.

На сегодняшний день в строительной отрасли наблюдается рост потребности в оптимизации и ускорении процесса производства работ [1]. Эта тенденция также прослеживается и в сфере обследования зданий и сооружений. Несмотря на широкий спектр современных технологий, в данной области существуют многие нерешенные проблемы. Среди них – отсутствие единого алгоритма и стандартных методик проведения обследования и формирования отчетной документации, отсутствие централизованного информационного реестра, где данные организаций по проведению обследования аккумулировались в единую базу данных [2–3].

В наибольшей оптимизации процессов нуждается этап камеральной обработки результатов обследования. Во время проведения работ на данном этапе наблюдается существенная проблема – высока степень затрат временных и трудовых ресурсов на обработку результатов обследования, что снижает оперативность принятия решений по устранению выявленных дефектов [4].

В городе Санкт-Петербурге авторами статьи был проведен опрос специалистов в двух компаниях, занимающихся проведением работ в сфере обследования зданий и сооружений. Цель опроса – понять, как проходит этап камеральной обработки, и какой процент времени он занимает от всего процесса обследования объекта. Результаты опроса показали, что процесс обработки и формирования отчетной документации занимает от одной до четырех недель, что составляет примерно 20–30 % от общего времени, затраченного на обследование. Это обусловлено большим количеством

данных и фотографий, полученных в ходе обследования объекта. Таким образом, результаты опроса подтверждают вышеуказанную проблему процесса камеральной обработки результатов обследования.

Для того чтобы решить данную задачу, специалисты все чаще обращаются используют технологии информационного моделирования и различным программным решениям для автоматизации процессов. ТИМ уже успешно используется в процессе обследования зданий и сооружений. В материалах [5] представлены результаты использования ТИМ в процессе обследования. Отмечается повышение точности и полноты полученных сведений об обследуемом объекте. Данный опыт показывает, что область обследования зданий и сооружений открыта для внедрения новых информационных технологий для автоматизации работ.

Принимая во внимание описанную ранее проблему сферы обследования зданий и сооружений на этапе камеральной обработки результатов обследования и тенденцию данной сферы к применению современных технологий для повышения эффективности процесса производства работ, прослеживается актуальность внедрения в область автоматизированных программных решений. Разработка программного комплекса, ориентируемого на объединение данных об обследуемом объекте в структурированную среду общих данных и автоматическое формирование отчетной документации, а точнее ведомостей и схем дефектов, может не только ускорить процесс камеральной обработки, но и улучшит качество и точность результатов.

Цель работы – исследовать процесс камеральной обработки результатов обследования и представить возможные алгоритмы работы программного обеспечения для автоматизации данного процесса.

Перед созданием алгоритмов автоматизации, необходимо провести анализ существующего процесса камеральной обработки результатов обследования.

На этапе камеральной обработки полученные результаты обследования анализируются и систематизируются в офисных условиях. Этот этап включает в себя создание ведомостей, схем дефектов и другой учетной документации, где каждый выявленный дефект и повреждение получает подробное описание, характеристику, номер, классификацию и индекс. Все эти данные о повреждениях обеспечивают удобство проведения последующего анализа и поиска информации.

Все данные о повреждениях заносятся в ведомость дефектов. Зачастую, такие ведомости формируются вручную при помощи программ «Microsoft Office Word» и «Microsoft Office Excel».

Параллельно составляется схема дефектов. Наносится место повреждения, его номер с индексом и цветом указывается степень значимости.

Блок-схема существующего процесса камеральной обработки результатов обследования представлена на рис. 1.

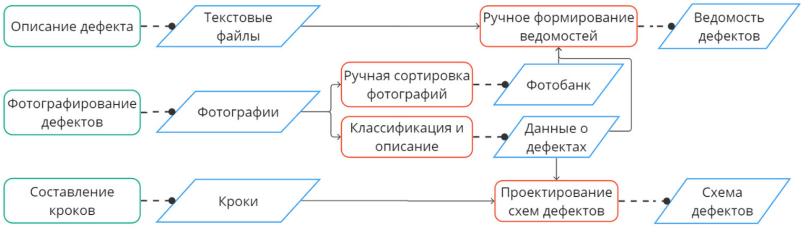


Рис. 1. Блок-схема существующего процесса камеральной обработки результатов обследования

Таким образом, видно, что традиционный метод формирования отчетной документации имеет низкую степень автоматизации, что увеличивает временные издержки на обработку данных. Всего выявлено четыре процесса, замедляющих проводимые работы: ручное формирование ведомостей, сортировка фотографий, классификация и описание дефектов и проектирование схем дефектов. На рис. 1 они отмечены красным. Выделенные недостатки снижают точность получаемых результатов, приводят к ошибкам в документации, сокращению оперативности работ и повышению денежных затрат.

Для автоматизации традиционного процесса работ разработаны пять алгоритмов, которые в дальнейшем станут основой для разработки программного обеспечения. Разработанные алгоритмы представлены на рис. 2–6.

Каждый из представленных алгоритмов является частью общей системы, предназначенной для устранения недостатков существующего метода камеральной обработки результатов обследования зданий и сооружений.

Из представленных схем видно, что процесс работы над схемами и ведомостями дефектов построен на использовании параметризированных меток. С их помощью пользователь связывает фотографии и иные параметры дефектов со схемами дефектов. Таким образом, все данные взаимосвязаны между собой. В конечном итоге, пользователь имеет возможность сформировать отчетную документацию по заранее сформированным шаблонам и экспортировать из системы.

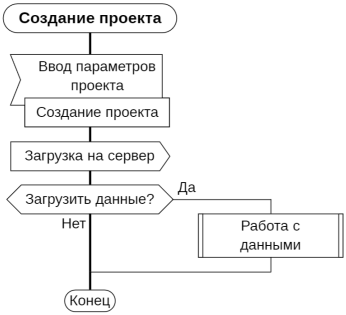


Рис. 2. Алгоритм создания объекта обследования в ПО

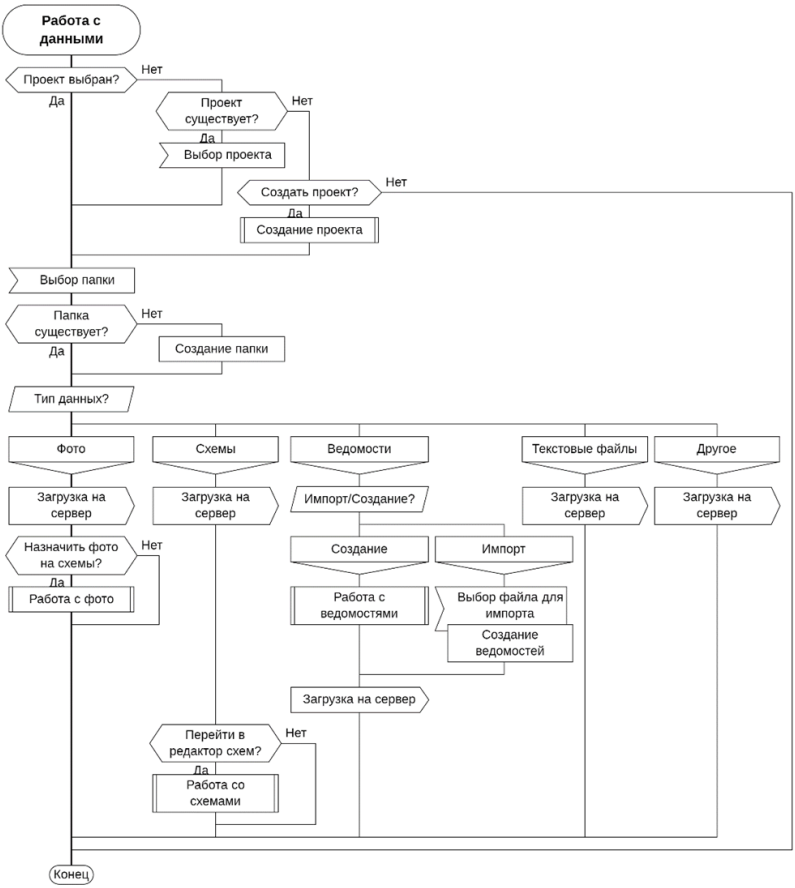


Рис. 3. Алгоритм работы с результатами обследования

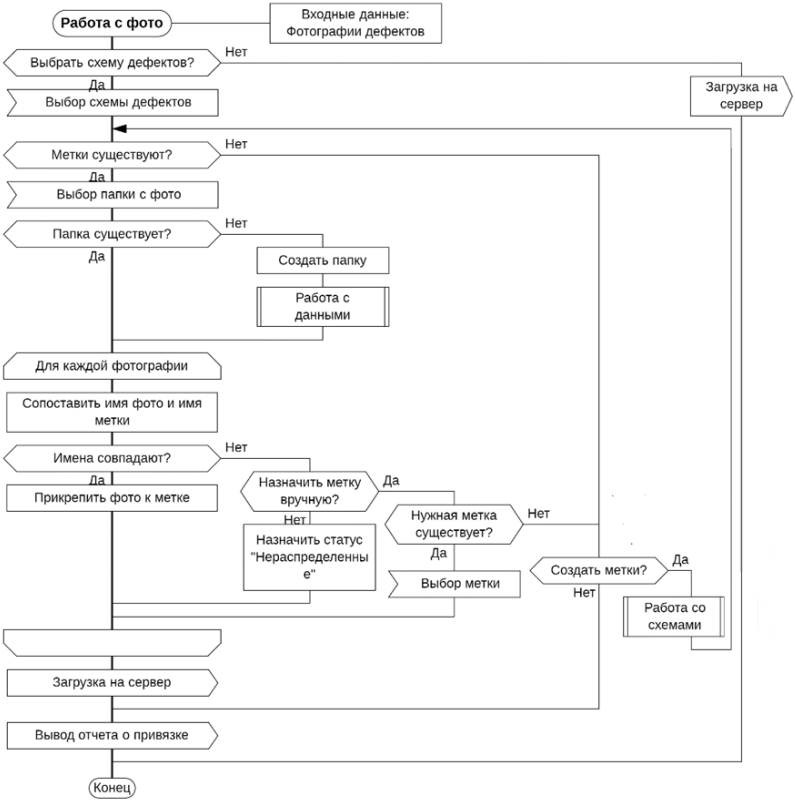


Рис. 4. Алгоритм работы с фотографиями дефектов

Рис. 5. Алгоритм работы со схемами дефектов

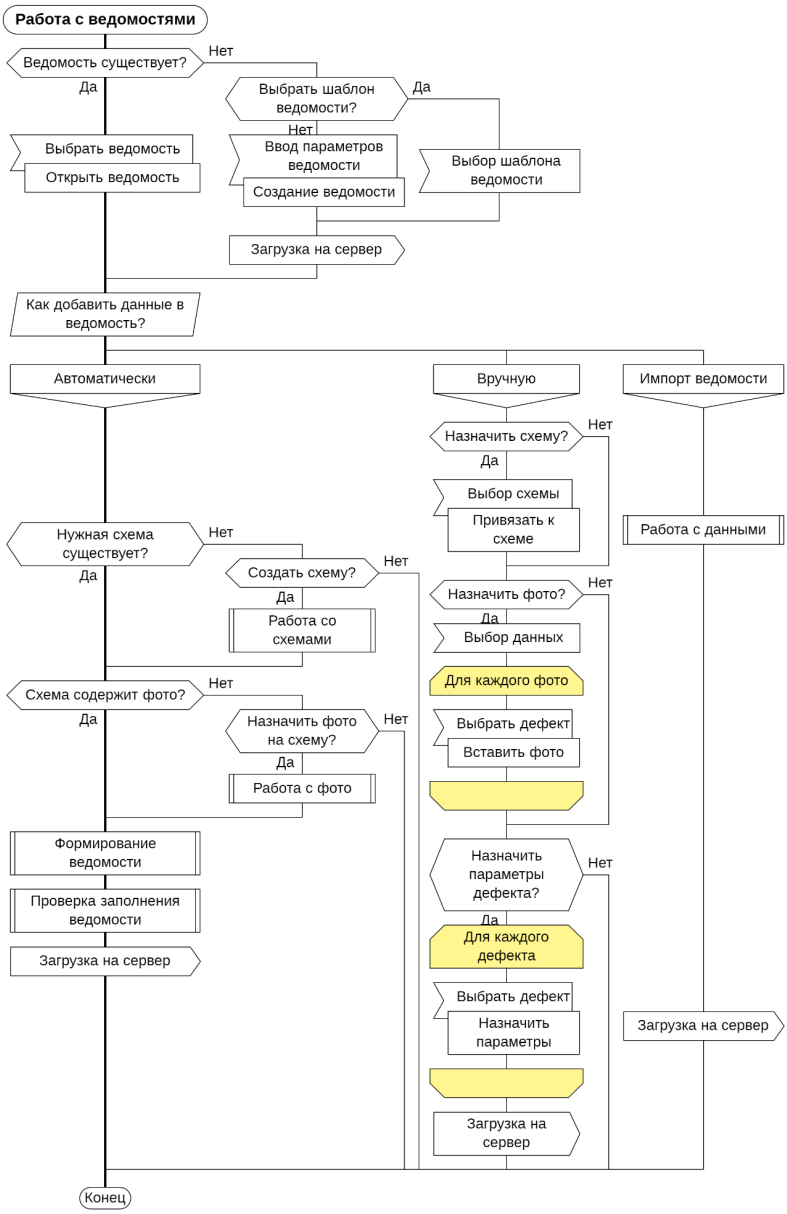


Рис. 6. Алгоритм формирования ведомостей дефектов

Применяя данные алгоритмы, процесс камеральной обработки претерпевает изменения. Измененный процесс работ, в сравнении с существующим, представлен на рис. 7.

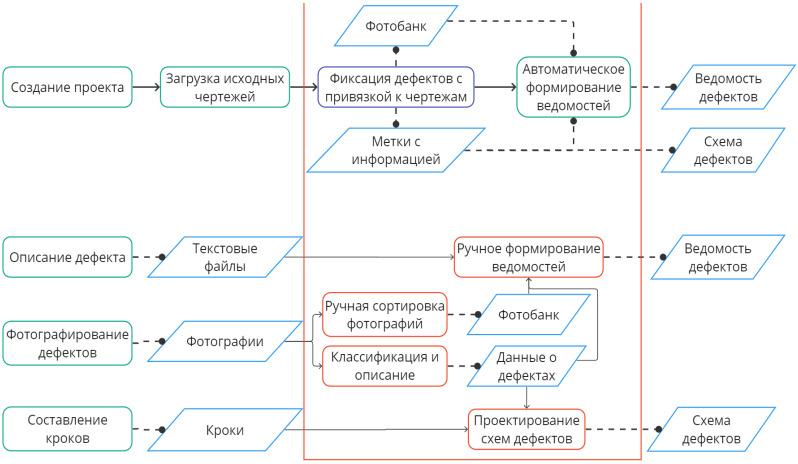


Рис. 7. Сравнение блок-схем существующего и обновленного процесса камеральной обработки результатов обследования

В заключении отметим, что предлагаемый подход позволит повысить степень автоматизации, недостаточную стандартизацию процесса производства работ, оптимизировать обработку результатов обследования и формирование отчетной документации.

По предварительной оценке, внедрение программного обеспечения, на основе разработанных алгоритмов, позволит сократить сроки выполнения камеральных работ, примерно, на 40 %, что эквивалентно 1–2 неделям. Эти данные были использованы при расчете стоимости камеральных работ способом, описанным в п. 145 методики № 707/пр[1]. При равных исходных данных расчет показал, что стоимость работ снижается примерно на 33 %.

В дальнейшем, предполагается разработка программного обеспечения, основанного на представленных и новых алгоритмах. Также,

[1] Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. Приказ от 1 октября 2021 г. № 707/пр «Об утверждении методики определения стоимости работ по подготовке проектной документации».

планируется пилотный проект, на основе которого будет производиться тестирование, отладка и улучшение разработанного продукта.

Литература

1. Шестопалов Р.П., Заславский М.М. Сравнительный анализ алгоритмов сбора данных для трехмерной реконструкции // Научно-технический семинар кафедры МОЭВМ. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2022. С. 16–21.

2. Ломтев И.А. Этапы и проблемы при обследовании жилых зданий и сооружений // Наука и инновации в строительстве (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сб. докл. Междунар. научно-практ. конф. Т. 2. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 18–24. EDN: ZETLIR.

3. Ким Д.А. Актуальные проблемы технического обследования зданий, попадающих под зону влияния строительных и реконструкционных работ // Вопросы науки и образования. 2019. № 11(57). С. 26–30. EDN: HVTATW.

4. Митин А.А., Кукина А.А. Проблемы визуального обследования зданий и сооружений и их решение на основе использования баз данных // Неделя науки ИСИ: Сб. матер. Всеросс. конф. Ч. 2. СПб.: ФГАОУ ВО СПбПУ, 2023. С. 77–80. EDN: WBXEYY.

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

УДК 69.059+004.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.018

Мишуренко Николай Александрович, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: nikolai8421@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0022-734X
Семенов Алексей Александрович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: sw.semenov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9490-7364

Mishurenko Nikolai Aleksandrovich, postgraduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Semenov Alexey Aleksandrovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБСЛЕДОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY IN THE SURVEY OF BUILDINGS AND STRUCTURES

В статье рассматривается состояние внедрения технологии искусственного интеллекта в области обследования зданий и сооружений. Проведен обзор отечественных и зарубежных исследований по данной тематике. Выделен ряд перспективных, для использования в обследовании, динамично развивающихся направлений искусственного интеллекта: сверточные нейронные сети для обработки фото и видео; модели и методы, основанные на теории нечетких множеств и нечеткой логики; интеллектуальные системы на основе мягких вычислений. Сделан вывод об актуальности использования искусственного интеллекта в обследовании зданий и сооружений.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственный интеллект, обследование, повреждения, дефекты, строительные конструкции.

The article examines the state of implementation of artificial intelligence technology in the field of inspection of buildings and structures. A review of domestic and foreign research on this topic was carried out. A number of promising, dynamically developing areas of artificial intelligence for use in surveys have been identified: convolutional neural networks for photo and video processing; models and methods based on the theory of fuzzy sets and fuzzy logic; intelligent systems based on soft computing.

A conclusion is made about the relevance of using artificial intelligence in the inspection of buildings and structures.

Keywords: machine learning, artificial intelligence, surveying, damage, defects, building structures.

Стремительное развитие и проникновение информационных систем и технологий (ИСиТ) во все сферы человеческой деятельности позволило упростить поиск и накопление информации, избежать рутинных процессов, уменьшить количество ошибок, связанных с человеческим фактором, развивать инженерные области и т.д. Строительная отрасль, на сегодняшний день, прочно связана с применением технологий BIM (ТИМ). Кроме того, идет внедрение и проводятся исследования о возможности внедрения ИСиТ в конкретные области строительства, например, обследование зданий и сооружений [1–3].

Отдельное внимание следует уделить возможности применения искусственного интеллекта (ИИ) в обследовании зданий, так как данное направление, с учетом текущей динамики развития и популярности ИИ, обладает значительным потенциалом [4–7].

Кашеваровой Г. Г. и соавторами предложен ряд идей о том, каким образом можно использовать технологии ИИ при обследовании и мониторинге объектов различного функционального и конструктивного исполнения [8, 9].

В статье [8] для назначения категории технического состояния объекта обследования предложено использование интегрированной интеллектуальной высокотехнологичной системы. Данные интегрированные системы представляют собой сочетание экспертных систем, построенных на базе знаний, состоящей из оценок обследователей. Продемонстрирован результат работы данной системы на примере оценки технического состояния железобетонных изгибаемых элементов.

В исследовании [9] представлен подход, позволяющий осуществить автоматизацию назначения категории технического состояния кирпичных зданий по фото- и видеосъемке фасадов и диагностирования причин возникновения дефектов. Отличием данного подхода от аналогичных является применение полностью сверточных нейронных сетей (FCN) с множеством скрытых слоев для обработки изображений и видео. Анализ причин возникновения дефектов осуществляется применением интеллектуальных систем на основе мягких вычислений.

Автор работы [10] отмечает, что ввиду особенностей исходных данных, полученных на этапе натурного осмотра, предпочтительнее технологии ИИ

на основе применения искусственных нейронных сетей, генетических алгоритмов, нечеткой логики, теории вероятности. При этом сделан акцент на том, что среди обозначенных направлений для определения технического состояния конструкций наиболее подходящими являются модели и методы, основанные на теории нечетких множеств и нечеткой логики. На основе нечеткой логики представлена математическая модель, описывающая состояние строительных конструкций, по результатам выявленных отклонений значений контролируемых параметров.

Исследование [11] посвящено автоматизированной идентификации дефектов железобетонных мостов с использованием различных подходов и методов глубокого обучения. Автоматическое распознавание дефектов выполнялось с применением сверточных нейронных сетей (CNN). Для интерпретации результатов использован Class Activation Mapping (CAM) в рамках объяснимого искусственного интеллекта (XAI).

Обзор методов обнаружения дефектов и оценки состояния бетона и асфальта на основе компьютерного зрения выполнен в [12]. Отмечается, что методы, основанные на компьютерном зрении, позволили в значительной степени автоматизировать процесс обнаружения и измерения дефектов при обследовании мостов, тоннелей, асфальтовых покрытий. К сложностям использования компьютерного зрения авторы отнесли необходимость усовершенствования текущих методов, так как значимое влияние на результаты оказывают условия окружающей среды (освещение, затенение), требуется значительное количество ручного ввода данных пользователем, возникают сложности при обработке изображений со сложной геометрией.

В статье [13] предложена термография с машинным обучения для автономного обнаружения теплопотерь в зданиях. Метод сочетает в себе проведение тепловизионной съемки, глубокого обучения с помощью YOLOv7 для обнаружения аномалий и математическую модель для количественной оценки теплового потока.

Авторы [14] представили программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс распознавания и количественной оценки параметров трещин, дефектов плоских рулонных кровель, коррозионных повреждений металлоконструкций, построенное на применении полностью сверточных нейронных сетей (FCN).

В работе [15] представлен обзор исследований машинного обучения для обнаружения и оценки повреждений. Несмотря на продемонстрированную эффективность ИИ для оценки повреждений отмечается, что встречаются нерешенные проблемы, среди которых выделена

проблема изменчивости и эффективного развертывания моделей машинного обучения в полномасштабных структурах.

На основании проведенного обзора можно сделать вывод о том, что технологии ИИ интенсивно внедряются в область обследования зданий и сооружений в нашей стране и за рубежом.

Для задачи определения категории технического состояния здания и мониторинга зданий и сооружений наиболее перспективными направлениями развития ИИ являются:

– обработка выполненных в ходе натурного осмотра фото- и видеоматериалов, которые позволяют обнаружить дефекты и повреждения (используются сверточные нейронные сети CNN и FCN; компьютерное зрение и др.);

– разработка систем, осуществляющих анализ причин возникновения дефектов и повреждений (системы мягких вычислений и др.);

– разработка математических моделей, позволяющих определить категорию технического состояния объекта по результатам обследования (модели на основе нечеткой логики и др.).

В настоящий момент известны программные реализации вышеописанных методов, которые использовались для оценки технического состояния реальных объектов [8, 10, 11, 14]. Таким образом, данное направление уже перешло от теоретического описания возможностей ИИ в обследовании к практической реализации предлагаемых гипотез.

Очевидно, что использование ИИ в человеческой деятельности позволяет ускорить и упростить работу, свести к минимуму возникновение ошибок, что отмечается в рассмотренных в обзоре работах. Однако следует упомянуть и недостатки использования ИИ: для обучения ИИ и создания программного обеспечения требуется привлечение специалистов, которые зачастую не являются обследователями и не знают всех тонкостей и особенностей данной работы; временные и экономические затраты на внедрение ИИ (здесь подразумевается весь цикл внедрения от разработки концепции до конечного внедрения в рабочий процесс).

Значимым фактором в деятельности человека является экономическая эффективность, однако в рассмотренных работах не приводятся сведения о том, насколько использование ИИ удорожит изыскательские работы как для исполнителей, так и для заказчиков. Таким образом, несмотря на повышение качества обследовательских работ из-за применения ИИ, без обоснования экономической эффективности, для значимого количества обследовательских организаций и заказчиков применение технологии ИИ будет являться, по большей части, не рациональным.

Поэтому для более успешного внедрения ИИ в обследование и мониторинг следует осуществлять исследования, обосновывающие повышение качества работ и экономическую эффективность.

Литература

1. Батырев К.Г., Чигинский Д.С. Параметризация дефектов металлических конструкций в рамках технологии информационного моделирования при обследовании зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2023. № 2(21). С. 24–31. DOI: 10.51608/26867818_2023_2_24. EDN: JWJQUI.

2. Коренев В.В., Орлова Н.С., Улыбин А.В., Федотов С.Д. Строительный контроль зданий и сооружений с применением мультикоптеров и фотограмметрии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 2(65). С. 40–58. DOI: 10.18720/CUBS.65.3. EDN: YVMMLW.

3. Мишуренко Н.А., Семенов А.А. Возможности применения технологии дополненной реальности (AR) в области обследования зданий в России // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 76–80. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.011. EDN: ATQKZN.

4. Гинзбург А.В., Рыжкова А.И. Возможности искусственного интеллекта по повышению организационно-технологической надежности строительного производства // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13, № 1(112). С. 7–13. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.1.7-13. EDN: XCIOMJ.

5. Тускаева З.Р., Албегов З.В. Новые технические средства в системе контроля и материально-технического обеспечения строительства // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 39–44. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.39-44. EDN: BPBWYZ.

6. Римшин В.И., Кучеренко В.А. Применение искусственного интеллекта при обследовании арматуры зданий и сооружений // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2024. № 1(781). С. 39–46. DOI: 10.32683/0536-1052-2024-781-1-39-46. EDN: EYDGRW.

7. Князева Н.В., Назойкин Е.А., Орехов А.А. Применение искусственного интеллекта для обнаружения дефектов в строительных конструкциях // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11, № 3. С. 18. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-3-18-18. EDN: SVXCZV.

8. Кашеварова Г.Г., Тонков Ю.Л., Тонков И.И. Интеллектуальная автоматизация инженерного обследования строительных объектов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Т. 13, № 3. С. 42–57. DOI: 10.22337/1524-5845-2017-13-3-42-57. EDN: ZRKJOJ.

9. Крылов С.А., Кашеварова Г.Г. Автоматизация диагностирования причин возникновения дефектов на фасадах кирпичных зданий с применением технологий искусственного интеллекта // Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2023. № 4(52). С. 51–62. DOI: 10.15593/2409-5125/2023.04.05. EDN: NAICKA.

10. Тонков Ю.Л. Разработка математических моделей идентификации категории технического состояния строительных конструкций на основе нечеткой логики // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16, № 1. С. 45–52. DOI: 10.22213/2410-9304-2018-1-45-52. EDN: YTFZPI.

11. Cardellicchio A., Ruggieri S., Nettis A., Renò V., Uva G. Physical interpretation of machine learning-based recognition of defects for the risk management of existing bridge heritage // Engineering Failure Analysis. 2023. Vol. 149. P. 107237. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2023.107237.

12. Koch C., Georgieva K., Kasireddy V., Akinci B., Fieguth P. A review on computer vision based defect detection and condition assessment of concrete and asphalt civil infrastructure // Advanced Engineering Informatics. 2015. Vol. 29, No. 2. P. 196–210. DOI: 10.1016/j.aei.2015.01.008.

13. Waqas A., Araji M.T. Machine learning-aided thermography for autonomous heat loss detection in buildings // Energy Conversion and Management. 2024. Vol. 304. P. 118243. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118243.

14. Наумов А.Е., Юдин Д.А., Долженко А.В., Прахова А.А., Кучеренко А.С. Интеллектуализация технологических процессов строительно-технической экспертизы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 12. С. 28–38. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-12-28-38. EDN: WZDBER.

15. Numan M. Advancements in structural health monitoring: a review of machine learning approaches for damage detection and assessment // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2024. Vol. 20, No. 1. P. 124–142. DOI: 10.22337/2587-9618-2024-20-1-124-142.

УДК 69.059.4
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.019

Окунькова Анастасия Алексеевна, магистрант
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: aokunkova@mail.ru
Федорова Мария Сергеевна, канд. архит., доцент
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: m.s.fedorova@urfu.ru, ORCID: 0000-0002-1993-9056

Okunkova Anastasia Alekseevna, Master's degree student
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)
Fedorova Mariia Sergeevna, PhD in Arch., Associate Professor
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)

МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

MODEL OF LIFE CYCLE OF CULTURAL HERITAGE OBJECT

В статье рассматривается несколько моделей жизненного цикла объекта капитального строительства (проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, снос), а также рассматриваются этапы, которые не могут быть описаны в стандартных схемах. Авторами представлена модель жизненного цикла объекта культурного наследия, которая отражает направленность на долгосрочное сохранение и исключение сноса. Рассматривается роль HBIM в сохранении и представлении жизненного цикла исторического здания или объекта культурного наследия. За счет сохранения информации, касающейся технических особенностей объекта, истории строительства, проектов реконструкции, результатов технических экспертиз и заключений создается единая информационная среда, обеспечивающая максимальную сохранность и доступность данных.

Ключевые слова: жизненный цикл, объект культурного наследия, износ, снос, забвение, HBIM.

The article considers several models of the life cycle of a capital construction object (design, construction, operation, demolition), as well as the stages that cannot be described in standard schemes. The authors present a model of the life cycle of a cultural heritage object, which reflects the focus on long-term preservation and exclusion of demolition. The role of HBIM in preserving and presenting the life cycle of a historic building or cultural heritage site is being considered. By preserving information regarding the technical features of the facility, the history of construction, reconstruction projects, the results of technical examinations and conclusions, a unified information environment is created that ensures the maximum safety and availability of data.

Keywords: life cycle, object of cultural heritage, depreciation, demolition, forgetting, HBIM.

Понятие жизненного цикла широко применяется во многих отраслях, в том числе в естественных, технических, гуманитарных науках. Модель жизненного цикла представлена сменяющими друг друга этапам. В строительстве к жизненному циклу объекта капитального строительства выделяется несколько подходов, стандартная схема жизненного цикла объекта включает в себя несколько основных этапов (рис. 1, *а*), а именно проектирование объекта, строительство, эксплуатация, реконструкция (реновация/музеефикация/ревалоризация), закрытие и снос.

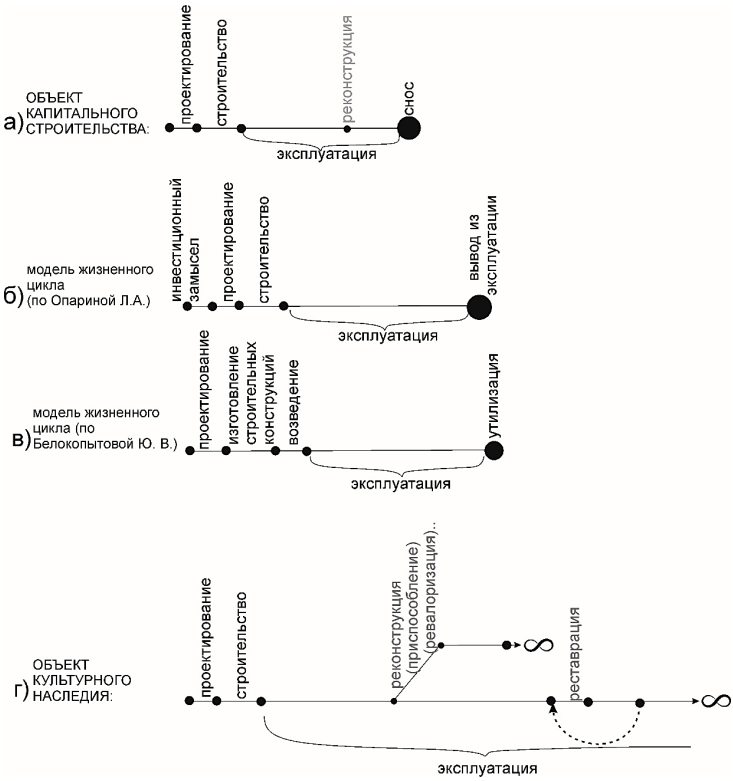


Рис. 1. Модели жизненного цикла:
а – для объекта капитального строительства; *б* – по Л. А. Опариной;
в – по Ю. В. Белокопытовой; *г* – для объекта культурного наследия

Жизненный цикл здания как системы разработала и представила в своей диссертации Л. А. Опарина. Этапы существования здания представлены с «позиции классического изображения цикла систем, принятом в системной инженерии ISO/IEC 15288:2008» (рис. 1, *б*) [1], и включают инвестиционный замысел, проектирование, строительство, эксплуатацию и вывод из эксплуатации. Похожая модель жизненного цикла представлена и в работе Ю. В. Белокопытовой (рис. 1, *в*) [2], но этап строительства состоит из двух подэтапов – изготовления конструкций и их возведения.

С точки зрения экономики, жизненный цикл объекта будет выглядеть иначе. Срок экономической жизни – это определяющий период времени, в течение которого объект может быть использован как источник прибыли [3], и он заканчивается, когда производимые улучшения перестают давать вклад в стоимость объекта. Сравнение этапов жизненного цикла здания в экономике и строительстве представлено в таблице.

Сравнение этапов жизненного цикла в строительстве и экономике

Этап	Жизненный цикл в строительстве	Жизненный цикл в экономике
1	Проектирование	Анализ рынка недвижимости, инвестиционный анализ, привлечение кредитных инвестиционных средств, разработка финансовой схемы, организация финансирования, составление смет затрат и расходов
2	Строительство	Уплотнение графиков работ по реализации конкретного строительного проекта, с тем чтобы результаты проекта стали приносить пользу в избранном направлении предпринимательской деятельности как можно раньше
3	Эксплуатация	Обеспечение обслуживания объекта недвижимости
4	Реставрация/ Реконструкция/ Реновация/ Музеефикация/ Ревалоризация	Создание нового инвестиционного проекта
5	Закрытие и снос	Ликвидация недвижимости, направление средств на снос или демонтаж, или путем выставления на торги и других механизмов продажи имущества

Во всех схемах жизненный цикл объекта представлен как линейный процесс, который имеет начало и конец, но обратимся к нестандартным ситуациям, в которых назвать конкретную стадию проекта затруднительно. К примеру, здание уже не эксплуатируется, но еще не принято решение о дальнейших планах, оно может быть как снесено, так и реконструировано. Показательным примером является «Дом, в котором в 1927 г. жил писатель Аркадий Гайдар (Голиков)» в городе Екатеринбурге. Полукаменное двухэтажное здание с мезонином возведено 1890-х годах по проекту архитектора В. Коновалова и находится в центральном районе города, который активно перестраивается. Старинные деревянные и полукаменные усадьбы на улицах Октябрьской и Февральской Революции постепенно уступают место небоскрёбам Екатеринбург Сити. В 1927 году в течение 4 месяцев в одном из таких дореволюционных домов жил Аркадий Гайдар, в то время сотрудник газеты «Уральский рабочий».

В список памятников объект включили в 1980 году. В 2004 году областные власти пытались перенести памятник, но прокуратура постановление отменила. В 2006 году в здании начался пожар из-за брошенной бутылки с зажигательной смесью. После пожара здание законсервировали, и оно не эксплуатировалось. В 2023 году была проведена историко-культурная экспертиза проектной документации по сохранению объекта культурного наследия. Долгий период запустения нельзя отнесли к этапу «эксплуатация», ведь здание фактически не использовалось, зачастую при длительном сроке подобного запустения ветхость конструкций, которая активно развивалась в отсутствие должного содержания, становится причиной сноса. Этот этап можно было бы назвать «заброшенность», и он характерен для многих исторических зданий и некоторых объектов культурного наследия (ОКН).

Также стандартная схема жизненного цикла непоказательна и для объектов культурного наследия, к ним термин «снос» в России не применяется. Запрет распространяется на снос, перемещение и изменение облика, ответственность за «повреждение, уничтожение и перемещение объекта» ложится на собственника [4]. Снос как крайняя мера рассматривается лишь в случае «аварийности, когда здание представляет собой опасность» [5]. Таким образом, в модели жизненного цикла ОКН отсутствует последний этап, а все действия по сохранению направлены на увеличение жизненного цикла. Модель жизненного цикла объекта культурного наследия показана на рис. 1, *г*.

Увеличение срока эксплуатации объекта приводит к сложностям, связанным с его сохранением. Историческим объектам свойственно обилие разнородной информации, касающейся технического состояния объекта,

исторических данных, изменений, реставраций и реконструкций, проектных предложений и концепций. Во многом ценность здания определяется нетехнической информацией, касающейся важных событий, которые происходили в здании или выдающихся личностей, которые в нем бывали или проживали. HBIM (Heritage Building Information Modelling) является удобным инструментом для сбора и хранения информации. Технология используется для документирования и управления существующими историческими зданиями, в данном случае под управлением понимается деятельность, направленная сохранение объекта культурного наследия. В отличие от классической BIM, где акцент делается на моделировании новых строений, HBIM фокусируется на сохранении, восстановлении и обслуживании существующих зданий с историческим значением.

Процесс сбора данных начинается с наземного лазерного сканирования или цифровой фотограмметрии для захвата поверхностей зданий. В исторических зданиях «конструктивные элементы не стандартизированы <…> каждый элемент уникален, часто имеет неправильную геометрию и непостоянные сечения по длине. Кроме того, для исторических зданий может потребоваться добавление конкретной информации, такой как прошлые вмешательства или подробные сведения об элементах» [6]. Во многих случаях именно недостаток информации является причиной того, что историческое здание не попадает в единый реестр объектов культурного наследия.

Работа по внесению объектов в городской HBIM-каталог позволит сохранить разнотипную информацию и создать условия для преемственности.

Применение концепции HBIM позволяет эффективно управлять сохранением и обслуживанием исторических зданий, обеспечивая защищенность архитектурного наследия и исторической ценности. Данный подход играет важную роль в сохранении культурного наследия и его передаче следующим поколениям.

В проведенном в статье сравнении были выявлены различия в описании жизненного цикла объекта капитального строительства как с точки зрения различных дисциплин (строительство, экономика), так и в зависимости от характеристик самого объекта. Предложена модель жизненного цикла для объектов культурного наследия, учитывающая особенности их эксплуатации, а также отмечено значение HBIM в сохранении и управлении историческим наследием.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-78-01060, https://rscf.ru/project/23-78-01060/.

Литература

1. Опарина Л.А. Теоретические основы процессов организации жизненного цикла энергоэффективных зданий: автореф. на соиск. ученой степ. док. тех. наук: 05.02.22 – Организация производства (по отраслям). Иваново, 2016. 40 с. EDN: ZQBCPP.

2. Белокопытова Ю.В. Математическое моделирование пространственной работы несущей системы многоэтажного здания на различных стадиях жизненного цикла: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18: утв.11.11.2003. Братск, 2003. 204 с. EDN: UBDBYP.

3. Асаул А.Н., Абаев Х.С., Молчанов Ю.А. Теория и практика управления и развития имущественных комплексов. СПб.: Гуманистика, 2006. 250 с. EDN: MVAOST.

4. Ерошкин В.М. Дом под снос?! Что сносят и как, расселение, все правовые аспекты. М.: Эксмо, 2011. 624 с.

5. Снос объектов капитального строительства. Правовые аспекты (Юридический отдел) // Строительство и право. 2013. № 11. С. 68–70.

6. Mol A., Cabaleiro M., Sousa H., Branco J. HBIM for storing life-cycle data regarding decay and damage in existing timber structures // Automation in Construction. 2020. Vol. 117. P. 103262. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103262.

УДК 004.9+712.00
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.020

Романов Андрей Сергеевич, младший научный сотрудник
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет имени Н. С. Алферова)
E-mail: emm.yikes@gmail.com, ORCID: 0009-0003-2518-474X
Захарова Галина Борисовна, канд. техн. наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
(Уральский государственный архитектурно-художественный университет имени Н. С. Алферова)
E-mail: zgb555@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4939-1914

Romanov Andrey Sergeevich, junior research worker
(Ural State University of Architecture and Art named for N. S. Alferov)
Zakharova Galina Borisovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor,
leading research worker
(Ural State University of Architecture and Art named for N. S. Alferov)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

METHODS AND TOOLS FOR DEVELOPING DIGITAL TWINS FOR HISTORICAL BUILDINGS

В работе показана актуальность и востребованность разработки информационных моделей исторических зданий HBIM и цифровых двойников на их основе не только для памятников мирового значения, но и для локальных объектов наследия. Цифровой двойник может применяться для изучения процессов, которые происходят с реальным объектом, и прогнозирования его состояния. Целью данной статьи является исследование методов формирования облаков точек, полученных лазерным сканированием либо фотограмметрией, сравнение соответствующих программно-технических средств и выводы об их преимуществах и недостатках. На примере здания конструктивизма в Екатеринбурге, для которого ранее было получено облако точек, предложен алгоритм построения цифрового двойника (в виде схемы информационных потоков) и сформулирован перечень его возможных применений.

Ключевые слова: информационное моделирование исторических зданий, HBIM, цифровой двойник, лазерный сканер, фотограмметрия, облако точек.

The work shows the relevance and demand for the development of information models of historical buildings HBIM and digital twins based on them, not only for monuments of world significance, but also for local heritage sites. A digital twin can be used to study the processes that occur with a real object and predict its condition. The

purpose of this article is to study methods for generating point clouds obtained by laser scanning or photogrammetry, compare the corresponding software and hardware and draw conclusions about their advantages and disadvantages. Using the example of a constructivist building in Yekaterinburg, for which a point cloud was previously obtained, an algorithm for constructing a digital twin (in the form of an information flow diagram) is proposed and a list of its possible applications is formulated.

Keywords: information modeling HBIM, digital twin, laser scanner, photogrammetry, point cloud.

Современные информационные технологии открывают новые возможности в деле изучения и сохранения объектов культурного наследия. Доказали свою востребованность технологии информационного моделирования исторических зданий HBIM, которые применяются в целях реставрации, консервации, профилактического обслуживания, для создания баз данных, в исследовательской и экскурсионной деятельности и др. Об актуальности данного направления свидетельствует большое число публикаций: только за период с 2023 г. по март 2024 г. система Google Scholar находит порядка 1700 источников по ключевому слову HBIM. Приведем здесь только 2 обстоятельных обзора литературы по теме HBIM – [1, 2], в которых отмечены как многочисленные примеры моделирования исторических объектов, так и возникающие сложности и проблемы.

Подтверждением необходимости создания цифровых моделей объектов наследия является трагический случай апреля 2019 года, когда весь мир в реальном времени наблюдал, как горит Собор Парижской Богоматери и рушится его шпиль. Только благодаря профессору колледжа Вассар Эндрю Таллону, страстному исследователю готической архитектуры, компания Autodesk на основе сделанной им с точностью до 5 мм лазерной съемки Собора смогла построить модель BIM [3], с помощью которой координировалась работа и решались многие вопросы по восстановлению памятника. К работам было привлечено более 50 команд ученых, которые изучали собор и нанесенный ему ущерб [4]. На основе технологии лазерного сканирования был создан 3D-рендеринг сводов собора, что позволило проводить точные измерения и иметь цифровую копию его текущего состояния. Лазерный сканер с высоким разрешением и скоростью генерации сотен тысяч точек в секунду позволил создать детальный цифровой двойник собора, который послужил ключевым инструментом для исследователей и реставраторов для изучения структуры собора и материалов.

Для памятников мирового значения Европейский Союз сформировал рекомендации по оцифровке всего культурного наследия, находящегося под угрозой, и 50 % наиболее посещаемых памятников к 2030 году. В то же

время во многих городах существуют здания, которым не уделяется должное внимание, они постепенно разрушаются, унося с собой память прошлого.

В Екатеринбурге, называемом столицей конструктивизма, встречаются подобные объекты. На ул. Володарского, 9, вблизи главной площади города, расположен объект культурного наследия регионального значения, бывший ДК Свердлова, в котором одно время располагался знаменитый Свердловский рок-клуб. Здание находится в удручающем состоянии [5] и требует реставрации и приспособления для современного использования.

Представим далее способ построения цифрового двойника этого здания на основе имеющегося облака точек (рис. 1) и наметим возможные его применения. Приведем определение цифрового двойника, опишем и сравним современные технологии его получения: лазерное сканирование и фотограмметрию, представим соответствующие технические и программные инструменты, покажем в виде схемы потока данных алгоритм обработки трехмерной геометрии, полученной с выбранного объекта на примере использования сканера и программного обеспечения (ПО) FARO.

Рис. 1. Здание ДК Свердлова в Екатеринбурге, ул. Володарского, 9 (фото А. Устюжанина / e1.ru) и облако точек (получено А. С. Романовым с помощью сканера и ПО FARO)

Определению и трактовке понятия «цифровой двойник» архитектурно-строительного объекта и исследованию его возможностей посвящено большое количество литературы. К примеру, обзор [6] на основе всестороннего анализа порядка полутора сотен статей по теме цифровых двойников в строительстве содержит описание областей применения данной технологии (проектирование, мониторинг, профилактическое обслуживание и др.), а также препятствия для ее широкого внедрения (совместимость, точность, полнота данных, масштабируемость, безопасность и др.).

Существует много разных трактовок и определений цифрового двойника, будем опираться на документ – Распоряжение Правительства РФ № 3268-р[1], в котором цифровой двойник объекта капитального строительства определяется как «синхронизированная цифровая копия объекта, представляющая собой виртуальную модель, воспроизводящую форму оригинального объекта и все характерные для такого оригинала процессы, что позволяет однозначно идентифицировать все исторические изменения, выполненные для объекта-оригинала, а также прогнозировать жизненный цикл копируемого объекта».

Чтобы получить достоверную физическую копию объекта, необходимо «считать» его фактическую геометрию в пространстве. Существует два основных метода получения геометрии с реального объекта – лазерное сканирование и фотограмметрия.

В основе лазерного сканирования лежит принцип получения координаты точки путем вычисления скорости возврата пучка света (лазера), направленного на поверхность. Скорость света позволяет выполнять сбор координат очень быстро, а фокусировка света – очень точно. Тем не менее, сбор максимально полной информации из одной точки сканирования (более 10 млн. точек) может занять некоторое время, из-за чего не рекомендуется движение объектов на пути лазера и смещение самого сканера. Существующее оборудование для лазерного сканирования позволяет вести как непрерывное (мобильное) сканирование, так и стационарное. *Мобильное воздушное сканирование* используется для сканирования ландшафта с высокой точностью, *мобильное наземное сканирование* – для сканирования городской застройки. Для архитектуры и инженерных сооружений преимущественно используется *стационарное сканирование*.

[1] Распоряжение Правительства Распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 3268-р «Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 г. с прогнозом до 2035 г.»

Фотограмметрия основана на принципах оптики и проективной геометрии, позволяющих по фотоснимкам определить трехмерное положение точки на поверхности объекта. Метод более доступный, поскольку не требует дорогостоящей техники, но более длительный в процессе обработки данных. Это более гибкий метод, поскольку фотоснимки можно выполнять в движении, в любых погодных условиях и в любых условиях освещенности. Метод можно разделить на два – *активная и пассивная фотограмметрия*. Активная основана на получении информации в реальном времени от двух видеоисточников, направленных на один и тот же объект одновременно. Как правило, используется для небольших объектов (скульптуры, мебель, интерьеры) из-за ограничений радиуса действия активного оборудования. Пассивная фотограмметрия – это масса снимков объекта с помощью одного фотоаппарата, сделанных по принципу «каждый следующий кадр содержит в себе 50 % информации предыдущего».

Результатом применения двух методов является облако точек – массив с трехмерными координатами, повторяющими геометрию реального объекта.

Далее – об оборудовании. Лазерные сканеры – дорогостоящие и довольно громоздкие. Кроме самого сканера, необходимы так называемые «якоря» – специальные ориентиры, по которым сканер распознает общие точки двух разных сканов. Это могут быть специальные сферы либо плоские метки. Интерфейс и дополнительное оборудование различаются у каждого производителя, поэтому для работы с ними требуется обучение. Всего на рынке представлено три основных фирмы-производителя лазерных сканеров, используемых в геодезических, инженерных и архитектурных работах. Это соответственно сканеры фирм Leica, Trimble и FARO.

Для активной фотограмметрии применяются разработки ведущих IT-компаний. Среди них технология Microsoft Kinect, получившая дальнейшее развитие в продуктах компаний ASUS, Revopoint, Creality и др., и технология Apple LiDAR, используемая в смартфонах iPhone X. Для пассивной фотограмметрии подходит любой фотоаппарат, в том числе, камера смартфона. В данном случае процесс сводится к выбору программного обеспечения, способного создать на основе фото облако точек.

Облака точек, полученные в результате лазерного сканирования, можно обработать только с помощью программного обеспечения, предоставляемого производителем. Поэтому специалисту необходимо дополнительно покупать и осваивать ПО. Облака точек, получаемые в активной фотограмметрии, непосредственно в ПО преобразуются в полигональные

объекты (3D-модели) с наложением текстур. Как правило, ПО для этого метода значительно дешевле и проще в освоении, нежели для лазерного сканирования. Для получения облаков точек в пассивной фотограмметрии существует огромное множество программ, в некоторых случаях разработанных производителями лазерных сканеров. Это наиболее простое в освоении ПО, среди которого можно найти программы бесплатные и с открытым исходным кодом.

Описанные методы, оборудование и программы делятся на профессиональные, полупрофессиональные, любительские.

На рис. 2 в виде схемы потоков данных представлен алгоритм обработки трехмерной геометрии, полученной на примере реального объекта с применением сканера и ПО FARO.

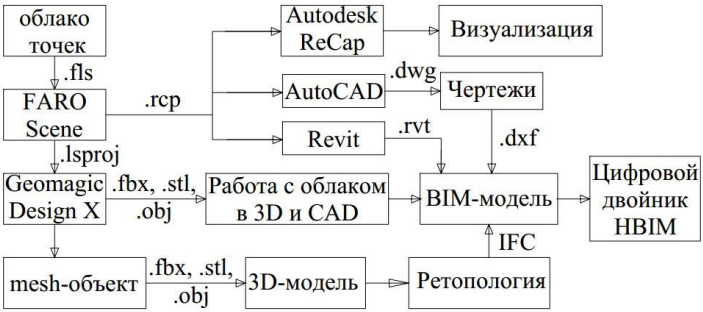


Рис. 2. Схема информационных потоков обработки облака точек

Облако точек, полученное со сканера, обрабатывается для правильных «пересечений» сканирований, после чего может быть экспортировано в формате программ Autodesk для последующей обработки по трем направлениям: *визуализация* – обзор облака как с птичьего полета, так и от первого лица (ReCap), *черчение* – выполнение ортогональных чертежей из сечений облака для научно-проектной документации (AutoCAD) и *моделирование* – создание BIM-модели непосредственно при работе с облаком (Revit). Кроме этого, проект из FARO Scene может быть импортирован в Geomagic Design X, где облако либо экспортируется в других форматах для 3D-моделирования, либо превращается в mesh-объект, когда между каждыми тремя точками облака создается плоскость – полигон. Результатом становится высокополигональная 3D-модель в виде оболочки, которую можно редактировать (упрощать) либо инструментами самой программы,

либо уже другим ПО. Для корректной работы модели в среде BIM требуется также ретопология – уменьшение количества полигонов. Для импорта итоговой 3D-модели в среду BIM применяется стандарт IFC. Собрав таким образом все информационные потоки в одну BIM-модель, можно создать полноценный цифровой двойник исторического здания.

Возможные способы применения цифрового двойника исторического здания на примере объекта культурного наследия ДК Свердлова в Екатеринбурге могут быть следующими.

Мониторинг технического состояния. Здание не эксплуатировалось более 10 лет, наблюдаются повреждения крыши, протечки, разморозка кирпичной кладки, разные режимы отопления внутренних помещений. Мониторинг технического состояния будет осуществляться через IoT на основе показаний установленных на объекте датчиков.

Анализ сохранившихся исторических компонентов. Детализация исторических конструкций и материалов (состав бетонной смеси, марка кирпича и т.д.) позволит выполнить более точный расчет конструкций для приспособления здания, а информация о планировке, декорировании и исторических технологиях позволит провести анализ, полезный как для истории архитектуры, так и для современного строительства.

Анализ утрат и перестроек. Используя цифровой двойник, можно обозначить разновременные включения, выполнить их анализ в рамках Венецианской хартии о сохранении культурного наследия[1]. Например, данное здание было перестроено из епархиального училища, позднее к нему добавились пристрои. Учет этих изменений позволит принять обоснованное решение в проекте приспособления.

Симуляция и расчеты. Цифровой двойник позволит выполнить расчеты и дать прогноз состояния конструкций под воздействием заданных факторов. Например, можно симулировать снеговую и ветровую нагрузку, рассчитать инсоляцию с учетом будущего проекта высотного здания, которое строится напротив, и т.д.

Исторические реконструкции, в том числе, с применением VR. С помощью цифрового двойника можно воссоздать внешний облик исторического здания на определенный момент его существования (например, по окончанию строительства – 1926 г.). Кроме того, можно отобразить окружающую на тот момент застройку и наполнить пространство

[1] Международная хартия по консервации и реставрации памятников и достопримечательных мест (Венецианская хартия) от 31 мая 1964 года. URL: https://docs.cntd.ru/document/901756982 (дата обращения: 03.03.2024)

«жизнью» – добавить людей, показать их профессии, транспорт и прочие элементы того времени. Переведя цифровой двойник в среду виртуальной реальности, можно позволить пользователю наблюдать исторический объект с ракурса человеческого взгляда, от первого лица. Это поможет ему испытать эмоции более значимые, чем при обычном восприятии.

3D-печать макетов и прототипов. Используя цифровой двойник, можно воспроизвести виртуальный объект в виде макета. Кроме того, можно печатать отдельные элементы как прототипы с целью их испытания или внедрения в современное строительство.

Формирование базы данных цифровых двойников исторических объектов. Постепенно собирая информацию по историческим объектам, мы намерены формировать базу данных для использования в научном сообществе. Преимуществом цифрового двойника становится возможность для специалиста из другого региона дистанционно познакомится с объектом.

Интеграция исторического объекта в общую градостроительную модель (на базе BIM и GIS). Перспективное направление градостроительного планирования заключается в создании цифрового двойника города, что предоставит широкие возможности для анализа и проектирования инфраструктуры, обслуживания, туризма, коммуникаций, новых сооружений и т.д. [7]. Большая часть информации о зданиях (кроме визуальной) обычно опускается или дается в виде ссылки на его собственный цифровой двойник. Интеграция исторического здания поможет на ранних этапах планирования присвоить ему культурный статус и предоставить наиболее полную информацию о нем для принятия оптимальных градостроительных решений.

В заключение отметим, что в соответствии с поставленной целью исследования были проанализированы методы получения достоверной цифровой копии физического объекта, такие как лазерное сканирование и фотограмметрия, приведено оборудование, применяемое в каждом из двух методов. Описанные методы, оборудование и программы классифицированы как профессиональные, полупрофессиональные и любительские. Разработан алгоритм в виде схемы потоков данных, в котором облако точек, полученное на реальном объекте с применением сканера и ПО FARO, служит основой для построения BIM-модели и цифрового двойника.

Предложенная концепция и алгоритм формирования цифрового двойника на примере здания конструктивизма в Екатеринбурге будут положены в основу инициативного студенческого проекта под руководством авторов.

Литература

1. Ewart I., Zuecco V. Heritage Building Information Modelling (HBIM): A Review of Published Case Studies. In: 35th CIB W78 2018 International Conference: IT in Design, Construction, and Management, 1-3 October 2018, Chicago, Illinois, USA, 2019. P. 35–41. DOI: 10.1007/978-3-030-00220-6_5.

2. Lovell L.J., Davies R.J., Hunt D.V.L. The Application of Historic Building Information Modelling (HBIM) to Cultural Heritage: A Review // Heritage. 2023. Vol. 6, No. 10. P. 6691–6717. DOI: 10.3390/heritage6100350.

3. Как с помощью BIM-модели восстанавливают Нотр-дам? // URL: https://bim-portal.ru/stati/bim-modeli-v-vosstanovlenie-notr-dam/ (дата обращения: 02.03.2024).

4. Сканирование после пожара. Цифровой двойник. URL: https://www.youtube.com/watch?v=p-2J0H5i6-4&t=10s (дата обращения: 02.03.2024).

5. Варкентин Ирина. Заброшенный Екатеринбург: история здания рок-клуба, который переделают в просветительский центр РПЦ // URL: https://www.e1.ru/text/realty/2020/10/10/69499037/ (дата обращения: 02.03.2024).

6. Omrany H., Al-Obaidi K.M., Husain A., Ghaffarianhoseini A. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions // Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 14. P. 10908. DOI: 10.3390/su151410908.

7. Захарова Г.Б. Как BIM перерастает в CIM и цифровой двойник города // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. IV междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 27–36. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.003. EDN: SBXCVG.

УДК 004.6
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.021

Семенов Виталий Адольфович, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующий отделом
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН, Московский физико-технический институт)
E-mail: sem@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-8766-8454
Морозов Сергей Вячеславович, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник
(Институт системного программирования им. В. П. Иванникова РАН, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Московский физико-технический институт)
E-mail: serg@ispras.ru, ORCID: 0000-0002-0211-2300
Шерстенников Игорь Александрович, начальник отдела технологий информационного моделирования
(СПб ГАУ «Центр государственной экспертизы»)
E-mail: sherstennikov_ia@exp.gne.gov.spb.ru, ORCID: 0009-0000-9132-9036

Semenov Vitaly Adolfovich, Dr. Sci. Phys.-Math., Professor, Head of Department
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, Moscow Institute of Physics and Technology)
Morozov Sergey Vyacheslavovich, PhD in Sci. Phys.-Math., leading research worker
(Ivannikov Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences, Lomonosov Moscow State University, Moscow Institute of Physics and Technology)
Sherstennikov Igor Alexandrovich, Head of the Information Modeling Technology Department
(St. Petersburg State Autonomous Institution “Center for State Expertise”)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПЕРЕХОДА К МАШИНОЧИТАЕМЫМ СТАНДАРТАМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

METHODOLOGICAL BASIS FOR THE TRANSITION TO COMPUTER-READABLE STANDARDS IN CONSTRUCTION

В настоящее время цифровые модели зданий активно применяются в международной и российской практике реализации строительных проектов. Для их автоматизированной оценки ведется работа по переводу национальных стандартов и сводов правил, предусматривающих требования к безопасности зданий, сооружений и процессов, в так называемый «Реестр требований». Однако декларируемый переход к машиночитаемым стандартам с целью повышения качества

проектной документации и автоматизации процедур проверки сталкивается с серьезными методологическими проблемами. Их причиной является отсутствие понимания, каким образом должны представляться стандарты, и какие математические методы и программные инструменты осуществления проверок необходимы для этого. Вместе с тем, подобные проблемы системно и успешно решаются на протяжении четверти века в рамках дисциплины инженерии требований, для чего разработаны соответствующие стандарты, методологии и инструменты. В работе обосновывается применимость дисциплины к области строительства, а также дается интерпретация ее ключевых принципов. На основе сравнительного анализа существующих инструментов проверки описывается перспективный подход к спецификации и валидации требований к цифровым моделям в строительстве с использованием формальных методов.

Ключевые слова: BIM, IFC, IDS, верификация, валидация, инженерия требований.

Currently, building information models are actively used in international and Russian practice in the implementation of construction projects. To assess them automatically, national standards and safety rules for buildings, structures and processes are translated to the so-called “Register of Requirements”. However, the declared transition to machine-readable standards in order to improve the quality of project documentation and to automate model checking procedures, faces serious methodological problems. The reason is a lack of understanding of how standards are represented and what model checking methods and software tools are needed for this. At the same time, such problems have been systematically and successfully solved for a quarter of a century within the discipline of requirements engineering, for which appropriate standards, methodologies, and tools have been developed. The work substantiates its applicability to construction domain and also provides an interpretation of its key principles. Based on a comparative study of existing tools, a promising approach to specification and validation of requirements to building information models using formal methods is described.

Keywords: BIM, IFC, IDS, verification, validation, requirements engineering.

В настоящее время цифровые модели активно применяются в международной и российской практике реализации строительных проектов. Модели зданий, сооружений и инфраструктуры разрабатываются в соответствующих САПР, а при обмене между участниками проектной деятельности и создании архивов, как правило, преобразуются в файловые форматы в соответствии с международными и национальными стандартами по функциональной совместимости программного обеспечения (интероперабельности). Ключевыми из них являются ISO 16739-1:2018 (Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema) и ISO 10303-21:2016 (Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange

structure). В настоящее время они приняты в качестве соответствующих ГОСТ (ГОСТ Р 10.0.02-2019/ИСО 16739-1:2018 «Отраслевые базовые классы (IFC) для обмена и управления данными об объектах строительства. Часть 1. Схема данных» и ГОСТ Р ИСО 10303-21-2022 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 21. Методы реализации. Кодирование открытым текстом структуры обмена»).

С целью повышения качества проектной документации и автоматизации проверок цифровых моделей запланирован перевод национальных стандартов и сводов правил, предусматривающих требования к безопасности зданий, сооружений и процессов, в так называемый «Реестр требований»[1].

Однако декларируемый в Постановлении переход к машиночитаемым стандартам сталкивается с серьезными методологическими проблемами. Их причиной является отсутствие единого понимания:

– каким образом должны представляться стандарты, чтобы обеспечить организацию, ведение и использование каталогов, прозрачный обмен требованиями и замечаниями между участниками инвестиционно-строительной деятельности, а также надлежащий уровень автоматизации и интеллектуализации процедур проверок;

– какие математические методы необходимы, чтобы обеспечить полноту, непротиворечивость, однозначность описания нормативных требований и корректность интерпретации с вынесением верного вердикта об их выполнимости или невыполнимости;

– какие программные инструменты следует создать, чтобы реализовать указанные математические методы и обеспечить развитые функциональные возможности для работы с каталогами требований, а также для осуществления автоматических проверок и интерактивного отслеживания выявленных замечаний непосредственно экспертами.

Общее соображение по разрешению указанных методологических проблем состоит в привлечении дисциплины «инженерии требований», основные положения которой определены международными стандартами

[1] Постановление Правительства РФ от 31 августа 2023 г. № 1417 «Об утверждении Правил формирования и ведения реестра требований, подлежащих применению при проведении экспертизы проектной документации и (или) экспертизы результатов инженерных изысканий, осуществлении архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и сноса объектов капитального строительства, и о признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 12 сентября 2020 г. № 1417»

ISO 9000:2015 (Quality management systems – Fundamentals and vocabulary), ISO/IEC 17029:2019 (Conformity assessment – General principles and requirements for validation and verification bodies), ISO/IEC/IEEE 29148:2018 (Systems and software engineering – Life cycle processes – Requirements engineering), IEEE 830 (Recommended Practice for Software Requirements Specifications. New York: IEEE, 1998) и IEEE 1233 (Guide for Developing System Requirements Specifications. New York: IEEE, 1998).

Отметим лишь основные принципы организации каталогов требований, предусмотренные указанными стандартами, и прокомментируем их содержательность для нормативных требований в строительстве (табл. 1).

Таблица 1

Основные принципы организации каталогов требований

Контекстность (bounded)	Требования должны быть ограничены определенными рамками и не выходить за их границы. Например, требования к медицинскому объекту не должны включать требования к объектам иного типа
Полнота (complete)	Требования должны охватывать все критерии, необходимые для обеспечения заданного уровня надежности, безопасности и удовлетворения потребностей пользователей
Нормализация (normalized)	Требования должны быть структурированы и разделены на логические блоки. Например, требования к функциональным системам могут быть разделены на типы систем (вентиляция, отопление, водоснабжение и т.д.)
Детализируемость (granular)	Требования должны быть написаны на достаточно детальном уровне, чтобы они могли быть использованы для определения «архитектуры» и функционала системы. Например, требование «Система должна быть удобной для пользователей» — слишком общее, так как не содержит конкретных указаний на характеристики, функционал и т.д.
Уникальность (unique set)	Каждое требование должно быть уникальным и не повторяться

Окончание табл. 1

Взаимосвязанность (linked set)	Требования должны быть связаны между собой и соответствовать друг другу. Например, если есть требование к наличию определённого оборудования в помещении, то должно быть требование к допустимым местам размещения и характеристикам этого оборудования
Согласованность (consistent)	Требования не должны противоречить друг другу
Модифицируемость (modifiable) *и* *Настраиваемость (configurable)*	Система должна позволять добавлять новые и дорабатывать существующие требования. Например, заказчик должен иметь возможность указать свои требования к объекту в дополнение к федеральным и региональным требованиям (с учетом озвученных ранее принципов)

При этом описание самих требований также должно соответствовать дополнительным принципам (табл. 2).

Таблица 2

Дополнительные принципы

Абстрактность (abstract)	Описание требований не должно зависеть от возможных способов их реализации в целевой системе
Однозначность (unambiguous)	Смысл требований должен быть однозначным и не вызывать различных толкований
Прослеживаемость (traceable)	Требования должны четко определять контекст и объект, для которого они возникают
Проверяемость (validtable)	Выполнение требований должно проверяться для заданных объектов и контекста

Очевидно, что организация, ведение и использование каталогов требований в строительстве в соответствии с перечисленными выше принципами составляет фундаментальную проблему с учетом сложности цифровых моделей и разнообразия требований, предъявляемых к ним на федеральном, региональном, ведомственном, корпоративном уровне и учитывающих особенности инвестиционно-строительной деятельности.

Данные обстоятельства неизбежно приводят к необходимости формальных подходов, которые бы предусматривали *полное*, *нормализованное*, *согласованное* и *взаимосвязанное* описание требований к цифровым моделям в строительстве и обеспечивали бы их *однозначную*, *прослеживаемую* и *проверяемую* валидацию. В их основе должны лежать формальные методы спецификации и верификации моделей, развиваемые и активно применяемые в системной и программной инженерии на протяжении, по крайней мере, четверти века [1–4]. Отметим, что популярные в настоящее время концепция мета-моделирования и связанные с ней модельно-ориентированный подход (Model-Driven Architecture) и предметно-ориентированные языки (Domain-Specific Languages) нивелируют различия в способах организации прикладных моделей и могут служить обоснованием применимости формальных методов к информационным моделям зданий, сооружений и инфраструктуры.

Наиболее известной реализацией подобного ***декларативного*** подхода в строительстве является EDM Express Data Checker [5], в котором спецификации требований оформляются в виде декларативных правил языка моделирования объектно-ориентированных данных EXPRESS (ISO 10303-11:2004: Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual) и применяются для IFC моделей, схемы которых также специфицированы на EXPRESS. Инструмент обеспечивает необходимую математическую строгость, однако не предоставляет удобных функциональных расширений для конкретных схем и сложен в освоении пользователями, не являющимися IT-специалистами.

Инструменты, реализующие ***императивный*** подход, имеют в своем арсенале предопределенные, готовые к использованию шаблоны проверок. Самым известным среди них, безусловно, является система Solibri Model Checker [6] с развитым набором проверок для IFC моделей. Ограничением инструмента и подхода, в целом, является невозможность спецификации требований нейтральным по отношению к платформам и языкам реализации способом и связанная с этим неопределенность при осуществлении аналогичных проверок разными инструментами.

Эклектичный подход предусматривает применение декларативных средств для описания требований, как правило, в словарных или классификационных терминах и императивных средств для их проверки в конкретных целевых моделях. Требования обычно описываются на диалектах языков правил RuleML, LRML, SWRL, RIF, CLIF, PMML с помощью специальных редакторов [7]. Принципиальным недостатком подхода

является необходимость реализации промежуточного слоя между декларативными и императивными средствами для интерпретации исходных требований в терминах целевых моделей и, как результат, неоднозначность результатов из-за различий в их организации. Этот феномен хорошо известен в теории систем управления базами данных как проблема несоответствия метамоделей (impendance mismatch) [8].

В последние годы заметное распространение получили инструменты, предназначенные для валидации IFC моделей на основе перспективного открытого стандарта IDS (Information Delivery Specification) [9] и предусматривающие поддержку журналов замечаний в соответствии с популярным стандартом BCF (BIM Collaboration Format) [10]. В определенном смысле IDS инструменты сочетают в себе строгость декларативных средств, удобство императивных и гибкость эклектичных. В качестве примера полнофункциональной отечественной реализации стандарта IDS следует указать редактор машиночитаемых требований и сервис валидации IFC моделей ИСП РАН [11]. Сервис обеспечивает проверки полноты объектного и атрибутного состава модели, корректности областей значений, заданных в виде регулярных выражений, перечислимых множеств и числовых интервалов, а также наличия необходимых композиционных отношений между объектами.

Вместе с тем, текущая версия IDS 0.9.6 не предусматривает средств для описания требований релевантности, корректности и согласованности элементов модели, выражаемых соответствующими параметрическими, пространственными, топологическими, метрическими, темпоральными и прочими алгебраическими условиями. Актуальным в связи с этим представляется развитие стандарта IDS в направлении поддержки формальных спецификаций требований на языке EXPRESS. Требования могут оформляться в виде соответствующих локальных правил (WHERE), уникальных правил (UNIQUE) и глобальных правил (RULE) и применяться к экстентам объектных типов (ENTITY), определяемых IFC схемой и стандартными фасетами IDS.

В настоящее время авторами ведутся работы по созданию национального расширения стандарта IDS++, удовлетворяющего базовым принципам инженерии требований и воплощающего представленные идеи.

Литература

1. Кулямин В.В. Интеграция методов верификации программных систем // Программирование. 2009. Т. 35, № 4. С. 41–55. EDN: LMAHJZ.

2. Ilyin D., Morozov S., Semenov V., Zolotov V. Managing and Versioning IFC Models Under Semantic Consistency Requirements // Proceedings of the 16th

International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. Ed. N. Yabuki and K. Makanae. Osaka University, Japan. 2016. P. 997–1004.

3. Semenov V., Ilyin D., Morozov S., Tarlapan O. Effective consistency management for large-scale product data // Journal of Industrial Information Integration. 2019. Vol. 13. P. 13–21. DOI: 10.1016/j.jii.2018.11.006. EDN: TNENQD.

4. Семенов В.А., Аришин С.В., Тарлапан О.А. Верификация и валидация информационных моделей на основе стандарта IFC в сложных проектах // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 187–195. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.026. EDN: ZWDYOQ.

5. EXPRESS Data Manager™. URL: https://jotneit.com/products/express-data-manager (дата обращения: 27.02.2023).

6. Соловьева Е.В., Совков В.И. BIM-технологии в строительстве: Solibri Model Checker // Экологические, инженерно-экономические, правовые и управленческие аспекты развития строительства и транспортной инфраструктуры: сб. статей Междунар. научно-практ. конф. Уфа, 2017. С. 272–275. EDN: ZVWTPH.

7. Макиша Е.В. Анализ методов перевода требований нормативно-технической документации в машиночитаемый формат для проверки информационных моделей строительных объектов // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. Т. 7, № 2(25). С. 339–350. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25.2.028. EDN: TRHLQE.

8. Ireland C., Bowers D., Newton M., Waugh K. A classification of object-relational impedance mismatch // First International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Application. Gosier, France, 2009. P. 36–43. DOI: 10.1109/DBKDA.2009.11.

9. Information Delivery Specification IDS. URL: https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids (дата обращения: 27.02.2023).

10. BIM Collaboration Format (BCF). URL: https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf (дата обращения: 27.02.2023).

11. Сервис валидации IFC моделей. URL: https://bim.ispras.ru/validate-ifc (дата обращения: 27.02.2023).

УДК 658.5:624.05
DOI: 10.23698/BIMAC.2024.022

Артаменко Анастасия Евгеньевна, инженер САПР
(ООО «НИП-Информатика»)
E-mail: anastasia.artamenko@nipinfor.ru, ORCID: 0009-0001-1253-9359
Бовтеев Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: sbovteev@lan.spbgasu.ru, ORCID: 0000-0002-2765-9329
Мартыновский Алексей Михайлович, специалист САПР
(ООО «НИП-Информатика»)
E-mail: alexey.martynovsky@nipinfor.ru, ORCID: 0009-0001-3135-5328

Artamenko Anastasia Evgenievna, Structural CAD Engineer
(“NIP-Informatica”, LLC)
Bovteev Sergei Vladimirovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Martynovsky Alexey Mikhailovich, Engineering systems CAD specialist
(“NIP-Informatica”, LLC)

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

ANALYSIS OF THE PROCESS OF IMPORT SUBSTITUTION FOR 4D MODELING SOFTWARE

Рассмотрены актуальные проблемы импортозамещения программного обеспечения 4D-моделирования строительного производства, вызванные санкционным давлением со стороны зарубежных стран. Представлены российские программные продукты, разработанные в рамках импортозамещения. Установлено, что первым из соответствующих признакам достаточной функциональности стал 7D Modeler. Было проведено сравнение функционально-технических возможностей 7D Modeler с наиболее распространенным в российской практике строительства в период до ввода санкций зарубежным программным обеспечением SYNCHRO Pro. Показаны имеющиеся на сегодняшний момент возможности 4D-моделирования в среде программного продукта 7D Modeler и дана оценка достаточности его функциональности для профессионального формирования 4D-моделей строительства.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, 4D-моделирование, программное обеспечение, строительство, импортозамещение, SYNCHRO Pro, 7D Modeler.

The current problems of import substitution of 4D modeling software for construction production, caused by sanctions pressure from some foreign countries, are considered. Russian software products developed as part of import substitution are presented. It was found that the first of the corresponding signs of sufficient functionality was 7D Modeler. A comparison was made of the functional and technical capabilities of 7D Modeler with the most common foreign software in Russian construction practice, SYNCHRO Pro, in the period before the imposition of sanctions. The currently available 4D modeling capabilities in the 7D Modeler software environment are shown and an assessment is made of the sufficiency of its functionality for the professional formation of 4D construction models.

Keywords: BIM, 4D modeling, software, construction, import substitution, SYNCHRO Pro, 7D Modeler.

Строительство в Российской Федерации характеризуется высоким потенциалом для перехода на цифровые технологии. Вместе с тем, из-за введённых санкций со стороны иностранных разработчиков программного обеспечения, особо актуален вопрос скорейшего перехода на отечественные программные продукты. Отсутствие российского программного обеспечения (ПО) или его недостаточно развитый функционал могут служить серьезным препятствием на пути цифровизации строительной отрасли.

Целью настоящей работы служит анализ текущего состояния процесса импортозамещения 4D-моделирования или визуализации строительства за счет синхронизации 3D-моделей и календарно-сетевых графиков.

Передовые отечественные строительные компании уже накопили солидный опыт использования 4D-моделей для визуализации и оптимизации строительного процесса и осознали их преимущества [1]. Однако 4D-моделирование невозможно без специализированного ПО. Наиболее распространенным и успешно применяемым до 2022 года программным продуктом 4D-моделирования строительства в нашей стране являлся SYNCHRO Pro [2]. Со временем данное ПО развилось до целой линейки программ, дающей возможность пользователям не только разрабатывать 4D-модели (SYNCHRO 4D) или отдельно от них календарно-сетевые графики (SYNCHRO Scheduler), но и вести отслеживание и контроль сроков строительных работ на 4D-модели, находясь непосредственно на строительной площадке (SYNCHRO Field, SYNCHRO Control). Одним из преимуществ SYNCHRO Pro можно считать адаптированность к методологии прогрессивного пакетирования работ, что повышает эффективность применения данного ПО в промышленном и энергетическом строительстве [2].

Достаточно распространенным ПО, используемым российскими строительными организациями, являлся Autodesk Navisworks. Модули Timeliner и Animator предоставляли возможность разработки 4D-моделей, хотя и сильно уступали по своему функционалу SYNCHRO Pro [3]. Распространенность Autodesk Navisworks объяснялась наличием такой функции, как «сшивка» разных 3D-моделей одного объекта и поиском коллизий между ними. Этот инструментарий был крайне важен проектировщикам, при этом не все организации были готовы приобретать другое дорогостоящее ПО, если формирование 4D-моделей в Autodesk Navisworks было возможным.

Известно и другое, менее распространенное в нашей стране зарубежное ПО, такое как Bexel Manager, Powerproject BIM, DELMIA [4]. Однако уход иностранного ПО с российского рынка, вызванный санкционным давлением на нашу страну, с одной стороны лишил наши строительные организации возможности официального применения уже ставших привычными программных продуктов, но с другой стороны открыл отечественным ИТ-компаниям возможности разрабатывать и внедрять соответствующее ПО.

Одним из первых шагов, которые было необходимо сделать для эффективного импортозамещения, стало формирование функциональных и технических требований к ПО, первоочередная реализация которых уже на самых ранних этапах должна позволить относительно безболезненно заместить зарубежное ПО. Выявлению этих требований было посвящено несколько работ, в том числе [5, 6]. Реализация требований занимает достаточно большое количество времени, поэтому можно выделить две стратегии разработчиков, в каждой из которых есть свои преимущества и недостатки: поэтапные релизы ПО путем постепенного наполнения функционалом (по принципу достаточной функциональности), и релиз ПО только после полной его готовности.

На сегодняшний момент известно несколько отечественных программных продуктов, которые с той или иной степенью детализации и функциональности предоставляют возможности для формирования 4D-моделей строительства, а именно: «CADLib Модель и Архив» (АО «СиСофт Девелопмент»), «Адепт: BIM» (группа компаний «Адепт»), 7D Modeler (ООО «Открытые ТИМ системы»), BIM-R (ООО «Цифровые практики»). Сравнительный анализ уже выпущенного на рынок российского ПО 4D-моделирования представлен в [5]. Установлено, что наиболее близким по функционалу к зарубежному ПО 4D-моделирования SYNCHRO Pro является 7D Modeler, первый релиз которого состоялся

в октябре 2022 г., а на сегодняшний момент предлагается функционально дополненная версия 1.3 данного продукта. Рассмотрим основные сходства и различия 7D Modeler и SYNCHRO Pro, которые можно выявить на основании анализа полученного практического опыта работы в среде этих продуктов.

Прежде всего заметно, что 7D Modeler требует более мощных ресурсов компьютера: выделенной видеокарты, большего объема оперативной памяти. Это объясняется тем, что исходные 3D-модели для 7D Modeler могут загружаться исключительно в формате IFC 4.0. В этом и заключается одно из ключевых и принципиальных отличий 7D Modeler от SYNCHRO Pro: полная поддержка российским продуктом IFC-схемы. Если проект, созданный в SYNCHRO Pro, имел проприетарный формат “sp”, то проект, созданный в 7D Modeler будет сохранен в рамках IFC-схемы с типом файлов “ifc” или “bifc”, что обеспечивает интероперабельность, в том числе с отечественными системами автоматизированного проектирования. С другой стороны, размеры видеофайлов стандартной 4D-анимации, выгруженные средствами 7D Modeler, намного меньше, чем у SYNCHRO Pro и, тем более, Autodesk Navisworks.

В части календарно-сетевого планирования существенных отличий для пользователей нет: график можно создавать с нуля, добавлять атрибуты для работ, календари, рассчитывать расписание работ с учётом возобновляемых и невозобновляемых ресурсов, импортировать графики (с возможностью синхронизации) в файлах формата XML из Microsoft Project и Oracle Primavera.

Импорт 3D-моделей в 7D Modeler осуществляется исключительно в формате IFC 4.0, но для импорта моделей строительных машин и оборудования поддерживаются модели в форматах “fbx” и “dae”. 7D Modeler позволяет загрузить в один проект несколько 3D-моделей для формирования сводной модели и создать «мастер-план» со ссылками на подпроекты, с краткой сводной информацией по объекту и его сроках строительства и с возможностью отдельно вносить изменения в каждый подпроект.

На данный момент разрабатывается функционал 7D Modeler по синхронизации измененных проектных моделей (аналогично SYNCHRO Pro), а также создания собственных деревьев, структур и иерархий элементов сводной модели по аналогии с Bexel Manager. Сама же работа с 3D-моделью выглядит привычно для людей, применяющих BIM-технологии. Есть возможности выделять объекты как в дереве модели, так и в 3D-сцене, доступен выбор нескольких объектов рамкой, скрытие, фильтрация и изоляция, а также перемещение и трансформация объектов.

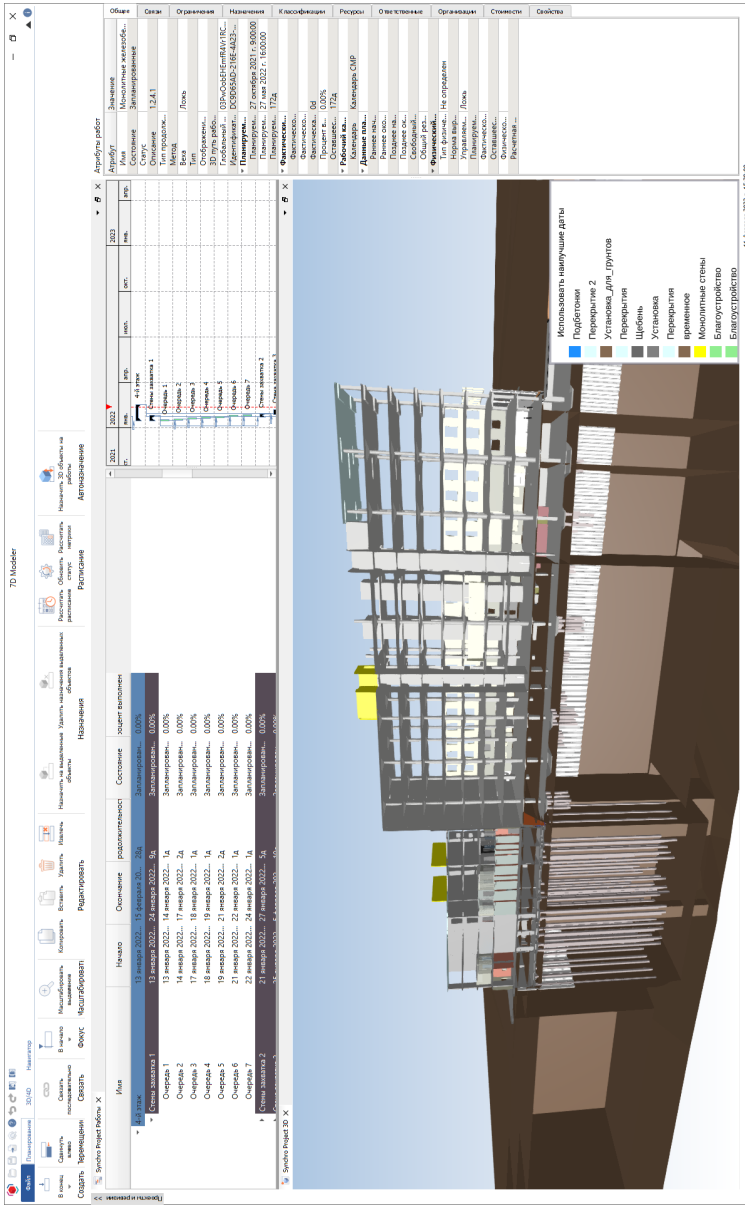


Рис. 1. Облет построенного объекта с 4D-сечением в среде 7D Modeler

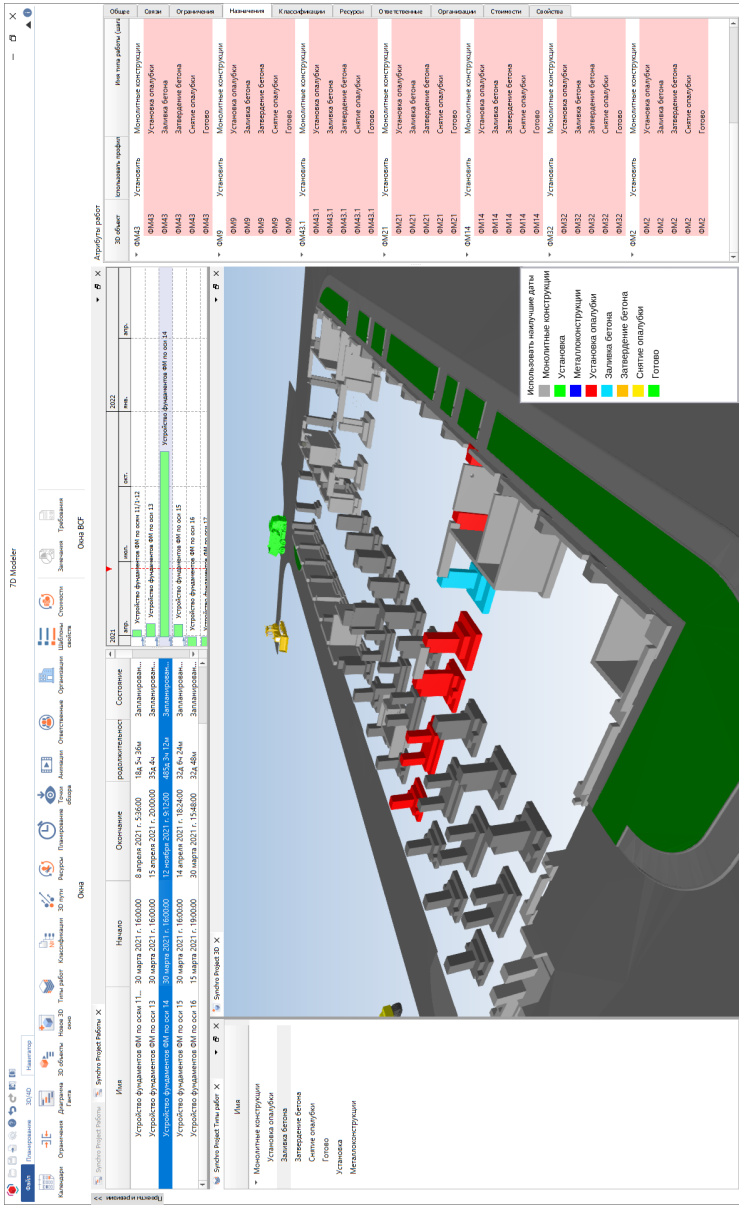


Рис. 2. Отображение прогресса работ на 3D-сцене с учетом шагов в ПО 7D Modeler

Как в SYNCHRO Pro, так и в 7D Modeler есть функционал, отсутствующий в конкурирующих решениях. Среди таких инструментов – создание 3D-примитивов (кубов, сфер, цилиндров), что удобно для обозначения фронта работ, разделения на зоны строительства или демонстрации областей движения стрел кранов. Есть функция удаления 3D-элементов из проекта. Важным инструментарием являются 4D-сечения (рис. 1, с. 165), благодаря которым появляется возможность наблюдать прогресс строительства внутри зданий, например монтаж инженерных сетей после возведения наружных стен. Также уникальной возможностью является разделение объектов на несколько захваток непосредственно в среде ПО, т. е. без необходимости возвращать модель на доработку.

При создании 4D-модели в 7D Modeler можно формировать типы работ аналогично визуальным профилям в SYNCHRO Pro и шаги работ аналогично статусам работ и ресурсов там же (рис. 2), доступна анимация строительной техники с привязкой к графику и последующей проверкой на 4D-коллизии.

В заключение следует отметить, что на сегодняшний день вопросы импортозамещения программного обеспечения 4D-моделирования еще далеко не решены, продолжается работа нескольких ИТ-организаций над разработками конкурирующих программных продуктов. Вместе с тем уже есть возможности формировать и актуализировать 4D-модели строительства на достаточно профессиональном уровне в среде отечественного ПО.

Литература

1. Бовтеев С.В., Колесников С.В., Шерстобитова П.А. Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2020. № 4. С. 276–284. EDN: HPKXVB.

2. Диско А.И. Применение продуктов SYNCHRO для комплексного управления строительством // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. V Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2022. С.226–232. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.028. EDN: RDSPFA.

3. Петроченко М.А., Шерстобитова П.А., Мацкина М.Л. BIM 4D: Naviswork Manage и Synchro Soft // Управление проектами: идеи, ценности, решения: материалы I Междунар. науч.-практич. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 152–157. EDN: BINGUS.

4. Пименов С.И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3(67). С. 92–104. DOI: 10.36622/VSTU.2022.67.3.009. EDN: OPJFKX.

5. Бовтеев С.В., Погребной А.А. Определение требований к функциональным и техническим возможностям систем 4D-моделирования строительного производства // Инновации и инвестиции. 2023. № 9(23). С. 354–357. EDN: YXJQUA.

6. Бовтеев С.В., Петелин М.Е. Требования к разработке 3D-модели и календарно-сетевого графика для оптимизации процесса 4D-моделирования // Инновации и инвестиции. 2023. № 10(24). С. 226–229. EDN: OUEFFF.

УДК 721.021.23
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.023

Беляков Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент
(Уральский государственный университет путей сообщения)
E-mail: 9222283482@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9576-5086
Хламов Михаил Андреевич, инженер строительного отдела, магистрант
(АО «Уралмеханобр», Уральский государственный университет путей сообщения)
E-mail: mikhailkhlamov@gmail.com

Belyakov Vladimir Aleksandrovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Ural State University of Railway Transport)
Khlamov Mikhail Andreevich, Engineer of the Construction Department,
Master's degree student
(JSC "Uralmekhanobr", Ural State University of Railway Transport)

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM- И VR-ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

THE JOINT USE OF BIM AND VR TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF BUILDINGS AND STRUCTURES

В процессе совместной работы в рамках сотрудничества кафедры «Строительные конструкции и строительное производство» УрГУПС и строительного отдела научно-исследовательского института АО «Уралмеханобр» проведен сравнительный анализ классического метода проектирования и информационного моделирования с помощью технологии виртуальной реальности. Цель – показать уровень эффективности использования BIM и VR технологий проектирования по сравнению с традиционными методами. В результате работы определены преимущества и недостатки современного подхода в проектировании. Подтверждена эффективность подхода включающего совместное использование BIM и VR в вопросах качества и скорости реализации конечного продукта – здания либо сооружения, а также взаимодействия между ключевыми участниками проекта.

Ключевые слова: информационное моделирование, BIM-технологии, BIM-проектирование, 3D-модель, VR-технологии, технологии виртуальной реальности, итерация.

In the course of joint work within the framework of cooperation between the Department of "Building Structures and Construction Production" of USUPS and the construction department of the Scientific Research Institute of JSC Uralmekhanobr, a comparative analysis of the classical method of design and information modeling using virtual reality

technology was carried out. The goal is to show the level of efficiency of using BIM and VR design technologies in comparison with traditional methods. As a result of the work, the advantages and disadvantages of the modern approach to design have been identified. The effectiveness of the approach involving the joint use of BIM and VR in matters of quality and speed of implementation of the final product – a building or structure, as well as interaction between key project participants has been confirmed.

Keywords: information modeling, BIM technologies, BIM design, 3D-model, VR-technologies, virtual reality technologies, iteration.

В настоящее время важен вопрос эффективной реализации проектов строительства зданий и сооружений, для этого требуется применение новых современных технологий, методов и систем, таких как Apple Vision Pro, Meta Quest Pro и других VR устройств. Актуальность вопроса одновременного использования BIM-систем с технологиями виртуальной реальности обуславливается тем, что в настоящее время востребованным для компаний строительного комплекса является внедрение информационных технологий, как на стадии проектирования, так и на всех этапах реализации проектов строительства зданий и сооружений.

Исследования, ранее проведенные на кафедре «Информационного моделирования в строительстве» Института строительства и архитектуры УрФУ и в ООО «Институте проектирования, архитектуры и дизайна» с участием авторов, показывают, что от 50 до 90 % рабочего времени современный работник тратит на обмен информацией, происходящий в процессе совещаний, собраний, встреч, бесед и переговоров. Опыт использования технологий VR показывает, что совещание в любом формате, в том числе видеоконференции, проходит наиболее эффективно, если участники имеют дело с созданным средствами VR виртуальным прототипом или макетом, дающим максимально реалистичное представление объекта [1, 2]. Это помогает выстраивать гибкий однозначный для понимания и восприятия подход по поиску решения проблемы всеми сторонами при возникновении конфликта интересов.

В первую очередь виртуальная реальность позволяет увидеть будущее здание таким, каким оно будет в реальной среде, и ознакомиться с его наполнением. Визуализация и рассмотрение объектов в масштабе 1:1 является максимально эффективным инструментом презентации. Кроме того, объединение VR с BIM позволяет разработчикам начать рыночный и маркетинговый процесс как можно раньше [3].

Сотрудниками кафедры «Строительные конструкции и строительное производство» Уральского университета путей сообщения и строительного отдела научно-исследовательского института АО «Уралмеханобр»

в качестве модели исследования рассматривался реализуемый на практике проект станции химводоподготовки в составе инфраструктуры металлургического комбината (рис. 1).

Станция химводоподготовки – двухэтажное однопролетное отапливаемое здание каркасного типа, со сплошностенчатыми одноветвевыми колоннами, стальной 12-ти метровой балкой покрытия и с двумя вспомогательными пристроенными объемами каркасного типа вдоль здания по ряду В и с торца по оси 3. Общие габаритные размеры здания в плане составляют 19,0×49,2 м. Размеры основного производственного пролета составляют 12,9×42,7 м. Отметка низа балок покрытия равна +20,550.

Рис. 1. Графическое представление станции химводоподготовки

Основными элементами формообразования внутреннего пространства являются каркас, состоящий из массивов колонн, ферм, связей и распорок, поверхностей стенового и кровельного ограждений. Это единое внутреннее пространство с читающейся сеткой колонн, определенной высотой и, как правило, единой транспортной коммуникацией – подвесным или мостовым краном. Значительными деталями в восприятии интерьера являются габаритное технологическое оборудование, рядное расположение этажерок, трубные и кабельные разводки различного назначения.

В строительном отеле АО «Уралмеханобр» было оборудовано 12 учебных и рабочих мест с персональными компьютерами высокой

производительности, оснащенными специализированным программным обеспечением для совместного применения BIM совместно с VR устройствами требуемой конфигурации. В современных условиях важным и необходимым является применение отечественных платформ, например, nanoCad Pro. Ранее апробация решений производилась на примере модели, созданной в программном продукте Autodesk Revit. Сотрудниками кафедры «Строительные конструкции и строительное производство» УрГУПС организовано и внедрено в рабочий график обучение специалистов по разделам проектной документации АР, КЖ, КМ, ОВ и ВК.

При реализации проекта было установлено, что использование Autodesk Revit и NanoCAD позволило оперативно подгружать ряд BIM-моделей в искусственно созданную программную виртуальную оболочку и обеспечить возможность совместной работы. Отрицательными факторами внедрения данных современных технологий явилась высокая стоимость VR-шлемов и персональных компьютеров в необходимой комплектации. Например, стоимость графических видеокарт NVIDIA требуемой мощности, объема памяти и скорости находится в диапазоне от 100 до 250 тысяч рублей, а процессоров AMD или Intel высокой производительности порядка 40-60 тысяч рублей. Стоимость шлемов может достигать 500-600 тысяч рублей. Соответственно, в современных экономических условиях не все проектные организации в нашей стране могут себе позволить модернизацию рабочих мест сотрудников с применением современной техники. Стоимость оборудования, используемого в проектировании объекта капитального строительства, в итоге закладывается в цену договора, заключаемого с Заказчиком. В будущем, при развитии в России отечественной сборки либо производства VR устройств, стоимость оборудования может существенно уменьшиться [4].

Использование VR позволило наглядно ознакомиться с принятыми архитектурными, конструктивными и технологическими решениями; оценить рациональность их применения, необходимость внесения корректировок в проект, своевременно обнаружить коллизии.

В режиме реального времени прямо в процессе работы над проектом удалось устранить обнаруженные погрешности всеми специалистами, ускорился процесс проектирования приблизительно на 25 %, в 3 раза сократилось время, необходимое на подготовку и выпуск проектной и рабочей документации здания химводоподготовки металлургического завода (рис. 2). Данные приведены в ВКР магистранта М. А. Хламова.

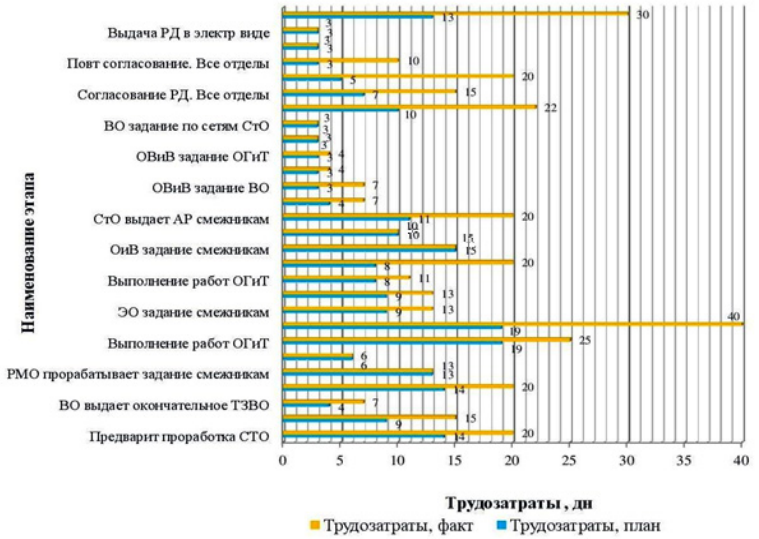


Рис. 2. Диаграмма фактических и планируемых трудозатрат

В процессе согласования проекта, на различных стадиях проработки с Заказчиком с помощью VR-технологий на базе информационной модели представляется более результативно обосновывать принятые взаимоувязанные компоновочные решения. Они в свою очередь соотносятся с принятой конструктивной схемой и инженерно-технологическими сетями и оборудованием. Таким образом, инвестор либо заказчик становится полноценным участником процесса реализации конечного продукта – здания, в полном соответствии с техническим заданием, с учетом требований к проектированию и производству работ со стороны законодательной базы и учетом производственных мощностей строительной площадки будущего объекта [5].

Выявлено, что применение информационных технологий позволяет сократить количество ошибок на 30 % и на 100 % обнаружить все пространственные коллизии в конструкциях и технологическом оборудовании и коммуникациях. При традиционном проектировании взаимодействие, а также выявление и исключение ошибок проектирования обычно ложится на главного инженера проекта, что не всегда удобно.

Уменьшилось количество привлеченных к работе сотрудников на 2 человека. В строительном отделе института АО «Уралмеханобр»,

в котором были внедрены BIM-технологии совместно с VR-технологией, отмечают более высокое качество проекта, сокращение времени на внесение изменений, а также лучшее взаимодействие с заказчиком и остальными участниками инвестиционно-строительного проекта. Развитие взаимодействия кафедры СК и СП УрГУПС с проектными организациями в части обучения сотрудников будет продолжено.

Литература

1. Козленко Т.А., Придвижкин С.В. BIM и VR. Разработка программного модуля для интеграции информационного моделирования зданий и виртуальной реальности // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18, № 4(80). С. 440–449. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449. EDN: HBRRUH.

2. 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: матер. II Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 107–112. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.019.EDN: FWYHJE.

3. Вигер И.Н. Роль и значение технологий VR в BIM-подходе. URL: http://www.remmag.ru/upload_data/files/2018-01/VR%20Concept.pdf (дата обращения: 19.02.2024).

4. Сальников В.Б., Беляков В.А., Бернгардт К.В. Расширение возможностей оптимизации проектных решений с внедрением BIM // Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур (SAFETY2016): матер. II Междунар. конф. под ред. В.Н. Алехина. Екатеринбург: УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2016. С. 210–213. EDN: WLMFIV.

5. Ожиганова М.Е., Ремпель А.В. Консолидация BIM и VR // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. II Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 164–169. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.029. EDN: ERBSFE.

УДК 004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.024

Бурадчук Михаил Анатольевич, доцент
(Пермский национальный исследовательский политехнический университет)
E-mail: burad@yandex.ru, ORCID: 0009-0005-1176-8837

Buradchuk Mikhail Anatolyevich, Associate Professor
(Perm National Research Polytechnic University)

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ СВОДЧАТЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГОСТИНОГО ДВОРА В ГОРОДЕ КУНГУРЕ

THE METHODOLOGY OF MODELING VAULTED CEILINGS WHEN CREATING AN INFORMATION MODEL OF AN ARCHITECTURAL MONUMENT ON THE EXAMPLE OF GOSTINY DVOR IN THE CITY OF KUNGUR

В статье описан опыт создания сводчатых перекрытий для цифровой модели здания, на примере объекта культурного наследия федерального значения «Гостиный двор», расположенного в городе Кунгур. Здание является кирпичной постройкой второй половины XIX века. При создании цифровой модели были выявлены характерные особенности, усложняющие процесс моделирования. К наиболее значимым факторам можно отнести переменность высотных отметок полов и потолков в границах этажа и нарушение геометрии несущих стен. Как следствие, большая часть помещений в плане имеют линейные и угловые отклонения, влияющие на геометрию сводчатых перекрытий цокольного этажа. В результате этого, процесс моделирования перекрытий значительно усложняется. Представленный в данной статье метод рассказывает об одном из возможных вариантов решения данной задачи.

Ключевые слова: информационное моделирование, цифровая модель, BIM, сводчатое перекрытие, памятник архитектуры, Гостиный двор, Кунгур.

The article describes the experience of creating vaulted ceilings for the digital model of the building, on the example of the object of cultural heritage of federal significance “Gostiny Dvor”, located in the city of Kungur. The building is a brick construction of the second half of the XIX century. When creating the digital model, characteristic features that complicate the modeling process were identified. The most significant factors include the variability of floor and ceiling elevations within the floor boundaries and the violation of the geometry of load-bearing walls. As a consequence, most of the rooms have linear and angular deviations in plan, affecting the geometry of the vaulted basement floor slabs.

As a result, the slab modeling process becomes much more complicated. The method presented in this paper describes one of the possible solutions to this problem.

Keywords: information modelling, digital model, BIM, vaulted ceiling, architectural monument, Gostiny Dvor, Kungur.

Одним из передовых научно-технологических направлений, основывающихся на цифровых технологиях, является информационное моделирование в строительстве (BIM – Building Information Modeling). Применительно к объектам архитектурного наследия, к сожалению, BIM-моделирование масштабного применения на данный момент не получило [1]. В то же время, создание «цифрового двойника» здания может быть обязательным условием, как при проектировочных работах, так и при эффективной эксплуатации объектов культурного наследия [2].

Решение практических задач, возникающих при реставрации и сохранении культурно-исторического наследия, выявило некоторые ограничения BIM-платформ, такие как отсутствие специализированных библиотек параметрических объектов и отсутствие удобных инструментов для моделирования сложных, неправильной формы элементов [3, 4]

Кунгурский гостиный двор – объект культурного наследия федерального значения. Здание кирпичное двухэтажное с цокольным этажом, выстроено в форме «каре» со срезанными углами. Цокольный этаж выполнен только под частью здания, в следствии перепада рельефа местности. Перекрытие цокольного этажа частично кирпичное сводчатое (рис. 1, *а, б*) [5].

а)

Рис. 1, *начало*. Гостиный двор, сводчатые перекрытия цокольного этажа:
а – цилиндрический свод с распалубками

б)

Рис. 1, *окончание*. Гостиный двор, сводчатые перекрытия цокольного этажа: *б* – комбинированный свод

Разработка информационной модели производится в программе Autodesk Revit, однако описанный метод моделирования применим для других BIM-платформ [6]. На плане цокольного этажа (рис. 2, *а*) показана схема расположения сводчатых перекрытий.

а) *б*)

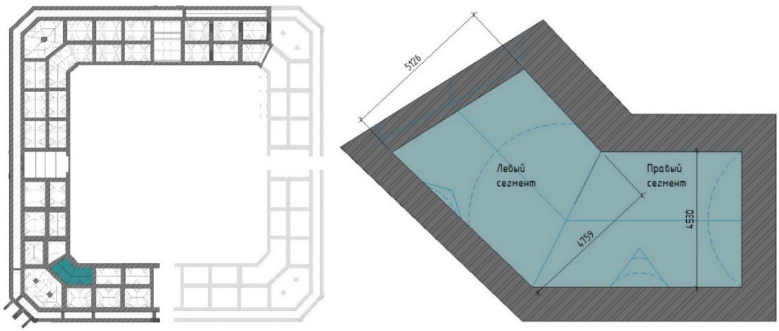


Рис. 2. План помещения со схемой сводчатого перекрытия: *а* – план цокольного этажа; *б* – помещение со схемой сводчатого перекрытия

В конструкциях цокольного этажа присутствуют четыре основных типа сводчатых перекрытий (рис. 3).

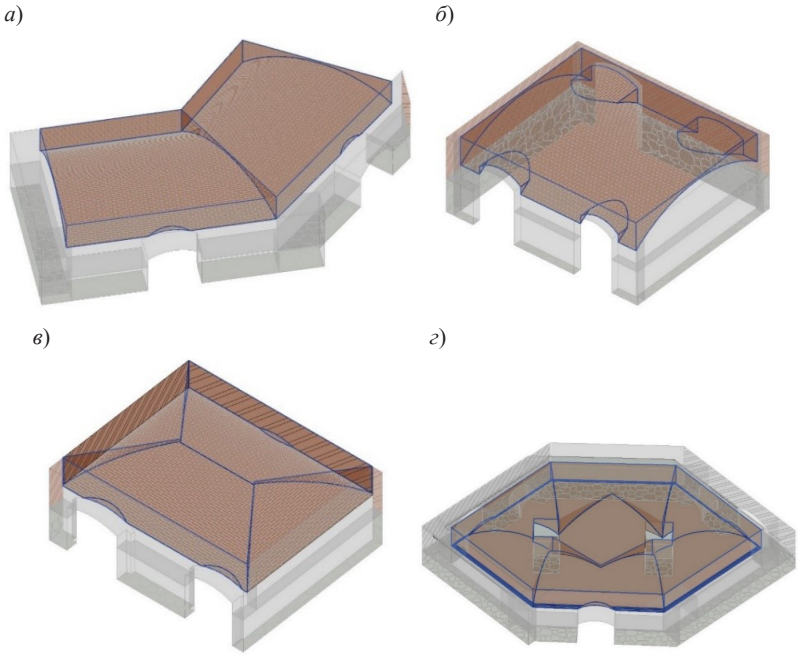


Рис. 3. Типы сводчатых перекрытий:
а – цилиндрический свод (с поворотом); *б* – цилиндрический свод с распалубками; *в* – сомкнутый свод; *г* – комбинированный свод

Рассмотрим процесс моделирования на примере цилиндрического свода с поворотом. Представленная методика верна и для более сложных типов сводчатых перекрытий. На фрагменте плана (рис. 2, *б*) сводчатое перекрытие имеет два сегмента, условно назовем их правым и левым. Процесс моделирования разбивается на два этапа. Последовательно создаются два сегмента перекрытия, которые соединяются друг с другом.

Начнем с правого сегмента. Как видно на плане, он имеет более правильную форму. Все три стены, окружающие его находятся под прямыми углами, относительно друг друга, что значительно упрощает процесс моделирования. Для создания перекрытия сложной формы в Revit будет использоваться инструмент «Модель в контексте», расположенный во вкладке «Архитектура». В категории «Перекрытия», вводится имя нового перекрытия. После этого моделирование обоих сегментов будет

происходить в этом диалоговом окне. Для правого сегмента используется элемент меню «Выдавливание» (рис. 4), для создания твердотельных элементов выдавливания.

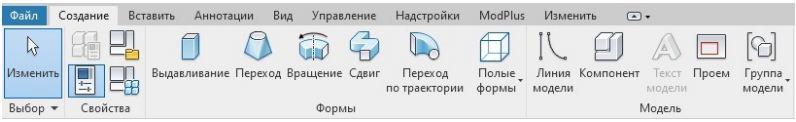


Рис. 4. Меню создания объемных форм панели инструментов Revit

В качестве рабочей плоскости выбирается вертикальная ось правой стены или создается опорная плоскость, расположенная на границе этой стены. Далее в виде, параллельном рабочей плоскости чертится профиль будущего перекрытия (рис. 5).

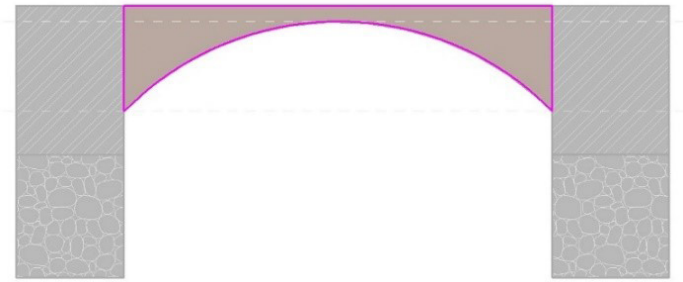


Рис. 5. Профиль перекрытия правой секции на разрезе

После завершения редактирования профиля, на плане регулируется длина выдавливания элемента. С правой стороны это граница стены с левой стороны точка угла поворота перекрытия (рис. 6, *а*).

После создания перекрытия, необходимо «обрезать» лишний сегмент. Это делается с помощью элемента меню «Полые формы» (рис. 4). На плане этажа создается эскиз «выреза» (рис. 6, *б*), указываются высоты выдавливания. Для новой полой формы задается режим «Разрешить вырезание геометрии», правый сегмент завершен.

Переходим к моделированию левого сегмента, как видно на плане (рис. 2, *б*), он имеет неправильную форму. Все стороны его границы лежат под разными углами относительно друг друга. В данном случае, инструмент «Выдавливание» не применим.

а) *б*)

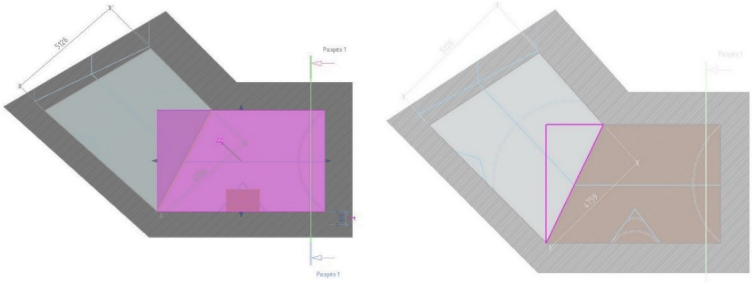


Рис. 6. Этапы создания правого сегмента сводчатого перекрытия, виды в плане: *а* – полная граница перекрытия; *б* – эскиз границы «выреза» перекрытия

Границы левого сегмента перекрытия находится под сложными углами относительно сетки осей. При проектировании сегмента в его текущем положении можно столкнуться с появлением ошибок в программе. Из-за сложных угловых размеров плоскостей стен относительно друг друга, конечное положение плоскостей границ создаваемого перекрытия будет незначительно отклоняться от проектного, что крайне нежелательно. Для устранения этой проблемы моделирование будет происходить на базе плоскости, лежащей на одной из линий сеток координационных осей. В данном случае, удобно использовать горизонтальную цифровую ось.

На первом этапе создается копия контура перекрытия в плане. Для этого удобно использовать инструмент «Цветовая область» во вкладке «Аннотации». После этого цветовая область разворачивается в проектное положение, при котором нижняя грань параллельна горизонтальным линиям сетки. Точкой центра вращения выбирается правый нижний угол цветовой области. На следующем этапе создаются необходимые опорные плоскости (рис. 7, *а*). Плоскости А и Б располагаются вертикально, из крайних точек широкой нижней грани. Плоскость 4 принадлежит верхней грани цветовой области и находится под углом относительно горизонтальных линий. Из точек пересечения плоскостей 4 и А, Б строятся горизонтальные плоскости 2 и 3.

Для создания левого сегменты используется инструмент «Переход по траектории» (рис. 4). В плане этажа создается «Траектория эскиза» перехода, от плоскости А до плоскости Б (рис. 7, *б*). В рабочей плоскости Б создается «Профиль 1» в границах плоскостей 1–2, а в рабочей

плоскости А создается «Профиль 2» в границах плоскостей 1–3 (рис. 7, *в*). После создания сводчатого перекрытия по траектории, в плане этажа, по аналогии с правым сегментом, с помощью команды «Полые формы» создаются «вырезы» (рис. 7, *г*), не забывая задать режим «Вырезание геометрии». Завершается редактирование перекрытия. Последним действием левый сегмент поворачивается в свое проектное положение. Создание сводчатого перекрытия завершено. Конечный вид перекрытия представлен выше (рис. 1, *а*).

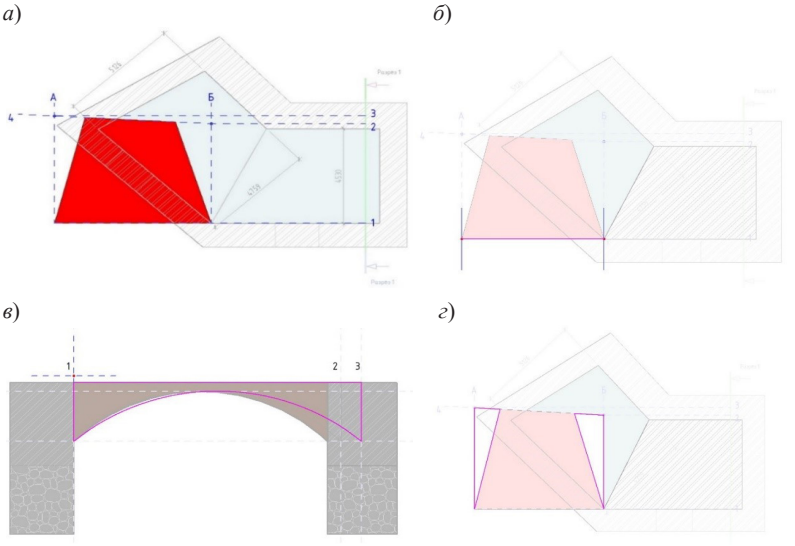


Рис. 7. Этапы создания левого сегмента сводчатого перекрытия:
а – расположение дополнительных опорных плоскостей; *б* – схема траектории эскиза; *в* – профили перекрытия, вид в разрезе; *г* – эскиз границы «выреза» перекрытия

Подводя итог можно отметить, что с помощью представленного метода можно моделировать сводчатые перекрытия любой сложности (рис. 3, *в, г*), с сохранением необходимого уровня точности цифровой модели. При этом моделирование геометрически сложных сегментов сводчатого перекрытия целесообразно производить в удобном пространственном положении, при котором, одна из граней перекрытия параллельна одной из базовых осей модели. Данный подход значительно

упрощает процесс моделирования и уменьшает вероятность возникновения ошибок.

Обобщенный алгоритм моделирования сложных сводчатых перекрытий при использовании других BIM приложений выглядит следующим образом: определяется граница перекрытия в плане, данный контур разворачивается в удобное проектное положение, создаются направляющие или опорные плоскости, строится перекрытие с различными сечениями, отсекаются лишние элементы, перекрытие устанавливается в исходное положение. Например, в Archicad Graphisoft данный алгоритм реализуется с помощью инструмента «Морф». При использовании пакета Renga Software базовыми инструментами решить данную задачу крайне сложно, рекомендуется использовать Renga STDL, язык описания шаблона стиля.

Литература

1. Варенik К.А. Обзор исследований внедрения технологий информационного моделирования для объектов архитектурного наследия // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 3. С. 61. EDN: USCJAU.

2. Горовой Н.В., Хмельницкая М.К., Плетнева К.Г., Волков А.В. Организация работы специалистов при создании эксплуатационных информационных моделей исторических зданий // Вестник гражданских инженеров. 2022. № 6. С. 65–74. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-6-65-74. EDN: BSJFMG.

3. Watson A. Digital buildings – Challenges and opportunities // Advanced Engineering Informatics. 2011. Vol. 25, No. 4. P. 573–581. DOI: 10.1016/j.aei.2011.07.003.

4. Bozoglu J. Collaboration and coordination learning modules for BIM education // Journal of Information Technology in Construction. 2016. Vol. 21. P. 152–163.

5. Сведения из Единого государственного реестра объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации. URL: https://opendata.mkrf.ru/opendata/7705851331-egrkn#a:eyJ0YWIiOiJidWlsZF90YWJsZSJ9 (дата обращения: 08.03.2024).

6. Козлова Т.И., Талапов В.В. О методике применения BIM в моделировании памятников архитектуры // Архитектура и современные информационные технологии. 2010. № 3(12). С. 11. EDN: MUOPYJ.

УДК 697.1
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.025

Горбунова Анастасия Михайловна, канд. техн. наук, доцент
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: a.m.gorbunova@urfu.ru
Сухов Александр Дмитриевич, старший преподаватель
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: a.d.sukhov@urfu.ru
Горбунов Алексей Владимирович, операционный директор
(ООО «ПБ Р1»)
E-mail: gorbunov.av@r1pro.ru

Gorbunova Anastasia Mikhailovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)
Sukhov Alexander Dmitrievich, Senior Lecturer
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)
Gorbunov Alexey Vladimirovich, Technical Director
(LLC "PB R1")

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСЧЕТНОГО МОДУЛЯ ПЛАГИНА LiNear® В ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ

PROBLEMS USING THE CALCULATION MODULE OF THE LiNear® PLUGIN IN ENGINEERING PRACTICE

Рассматривается опыт использования плагина LiNear® для платформы Autodesk Revit® при расчете теплопотерь здания. Расчеты производились при помощи данного плагина, программы RTI® ООО «Поток», а также вручную, при помощи таблиц Microsoft Excel®. Сравнивается степень автоматизации процессов, в том числе при изменении архитектурной модели, временные затраты на каждый из расчетов, корректность, численные расхождения и возможные причины возникновения ошибок. Отмечаются достоинства и недостатки для инженерной практики, требования к архитектурным моделям для корректных инженерных расчетов, перспективы использования плагина на имеющейся в настоящее время стадии развития 3D-моделирования.

Ключевые слова: BIM, теплотехнический расчет, системы отопления, 3D-модель, проектирование, автоматизация расчетов.

The experience of using the LiNear® plug-in for the Autodesk Revit® platform when calculating the heat loss of a building is considered. Calculations were performed using this plug-in, the RTI® program LLC "Potok", as well as manually, using Microsoft Excel® tables. The degree of automation of processes is compared, including when changing the architectural

model, the time spent on each of the calculations, correctness, numerical discrepancies and possible causes of errors. The advantages and disadvantages for engineering practice, the requirements for architectural models for correct engineering calculations, and the prospects for using the plug-in at the current stage of development of 3D modeling are noted.

Keywords: BIM, thermal engineering calculation, heating systems, 3D model, design, automation of calculations.

Введение. В последние годы при бурном развитии строительства новых зданий растут требования и к качеству как непосредственно выполняемых работ и материалов, так и к качеству выпускаемой проектной документации.

Современное проектирование ведется в сжатые сроки, архитектурные и инженерные решения становятся более сложными, и их уже невозможно проработать в 2D пространстве. При этом построение 3D модели в свою очередь часто требует довольно больших временных затрат, и, соответственно, для сохранения или даже сокращения общего срока проектирования весьма желательно ускорение и автоматизации его локальных процессов, которое становиться возможны за счёт использования 3D-моделирования. Отдельно можно выделить автоматизацию инженерных расчётов расчетов, в том числе теплотехнического.

Наиболее простым способом расчетов являются таблицы Microsoft Excel®. В них заводятся стандартные таблицы, рекомендованные в справочной [1] и нормативной литературе[1]. Этот способ расчета имеет довольно низкую степень автоматизации. На практике, при данном методе все размеры строительных конструкций заводятся вручную в таблицу, для каждой ограждающей конструкции проставляется направление по сторонам света и, довольно часто, коэффициенты теплопередачи. При изменениях в архитектурном проекте все правки отслеживаются и вносятся в ручном режиме. При этом, в условиях жестких ограничений по времени, велика вероятность ошибок.

Также существуют несколько более автоматизированные и достаточно популярные в среде инженеров систем ОВиК программы, предназначенные для расчёта потерь тепла задания (например, RTI® ООО «Поток»). В подобные модули уже заведены основные расчетные зависимости, но все значения коэффициентов теплопередачи и размеров ограждающих конструкций также заводятся вручную. Никакого сопряжения с графическими программами не предполагается.

В последнее время разработчики производят программное обеспечение, адаптированное под 3D модели, а конкретно под платформу

[1] СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 23-02-2003 (С изменением N 1) / Госстрой России. М.: Минрегион России, 2020. 149 с.

Autodesk Revit®, на которую приходится львиная доля проектирования объектов строительства. Одной из таких программ для ускорения инженерных расчетов в сфере проектирования систем отопления зданий стала программа LiNear®. Она позволяет как производить полностью ручной расчет систем отопления (подобно RTI® ООО «Поток»), так и выполнять полный автоматический анализ, расчет отопительной нагрузки и передачу информации в/из цифровой информационной модели здания, созданной в Autodesk Revit®, в соответствии с действующим нормативным законодательством РФ на основе [2]. Последний вариант при корректной его работе, безусловно, является предпочтительным.

Опыт применения. Авторы производили пробные расчеты, на моделях, выполненных компанией ООО «ПБ Р1» в Autodesk Revit®, и сравнивали с расчетами, произведенными в Microsoft Excel® и RTI® ООО «Поток». Подробно работа плагина и подготовка модели описана в [3–5]. Составлены внутренние инструкции по использованию.

Также проведено внедрение программы в инженерный отдел и получена обратная связь по удобству использования программы.

Как было указано ранее в [4], решающую роль играет архитектурная модель, качество ее выполнения. Также весьма желательно задание коэффициентов теплопередачи ограждающих конструкций, что на данном этапе развития 3D моделирования не представляется возможным. В данный момент архитекторы могут задать сопротивление только отдельных слоев конструкции, что не будет учитывать коэффициенты теплотехнической неоднородности[1]. Таким образом, следует отследить коды ограждающих конструкций, назначающихся в программе, внутри расчета. Отслеживание не составляет проблемы в зданиях с простой архитектурой. В случаях же, когда имеются криволинейные конструкции или различный состав стен, например, из-за особенностей отделки, возможных вариантов становится очень много. При этом точность задания сопротивлений, которую может обеспечить расчетный модуль, не требуется фактически в инженерной практике. Также имеется проблема с заданием размеров витражей, у которых LiNear® неверно считывает размеры из-за особенностей их создания.

Инженерной командой замечено, что при расчете в LiNear® нет возможности задания инфильтрации для всех помещений, как внутри модуля, так и на стадии выгрузки из Autodesk Revit®, в связи с чем появляется необходимость проставлять инфильтрацию для каждого помещения отдельно.

[1] СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (С изменением N 1) / Госстрой России. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.

При этом имеется достаточно много вариантов задания значений (см. рис.), но из пространства 3D модели данные не переносятся (хотя при создании пространств имеется возможность задания таких параметров и быстрого копирования их через спецификации между помещениями). Когда количество помещений очень большое (например, в многоэтажных жилых зданиях), при этом достаточно однотипное, данная особенность модуля существенно увеличивает время заведения данных даже по сравнению с Microsoft Excel®. Ввиду большого объема проектирования ООО «ПБ Р1» жилых зданий, оказалось проблемой и отсутствие возможности объединения помещений по квартирам. Такая возможность реализована при полностью ручном заведении расчета (без возможности синхронизации с Autodesk Revit®), но отсутствует в автоматическом режиме [5]. При этом объединение по квартирам, их типизация и возможность пакетного копирования параметров позволила бы задавать параметры инфильтрации в одинаковых по планировке квартирах гораздо быстрее.

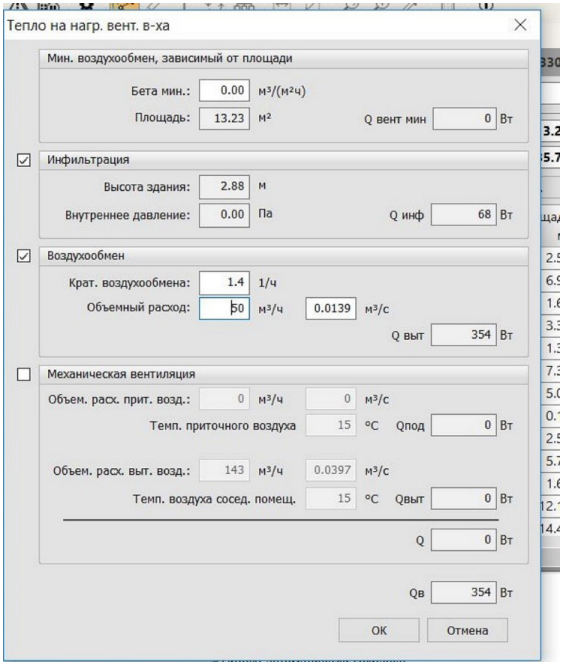


Таблица задания значений инфильтрации для помещений

Отмечена также проблема отмены изменений, внесенных вручную в расчет при повторной синхронизации с 3D моделью. При этом необходимые параметры приходится прописывать заново, что увеличивает вероятность ошибок.

При тестировании модуля LiNear® в условиях реального проектирования некоторых жилых зданий инженеры сравнивали временные затраты на расчеты в различных программах. При учете всех сложностей и того, что инженеры приступают к расчетам часто задолго до того, как архитектурная модель достигнет стадии завершения, затраченное время оказалось примерно одинаковым во всех трех программах. В итоге плагин LiNear® оказалось удобнее всего использовать для выгрузки размеров ограждающих конструкций в Microsoft Excel®, где и производить дальнейшие расчеты.

Заключение. В заключении хочется отметить, что в целом модуль LiNear® представляет собой достаточно перспективное решение для расчета теплопотерь здания, удобный в условиях меняющихся архитектурных решений. Сравнение расчетов LiNear® с расчетами в таблицах Microsoft Excel® и модуле RTI® ООО «Поток» показали различия не более 8 %. При этом на данном этапе развития 3D моделирования ее удобно использовать скорее как вспомогательный инструмент для выгрузки размеров помещений, чем для полного расчета, который с полным внесением всех необходимых данных и проверкой занимает столько же или даже больше времени, чем аналогичный расчет в менее автоматизированных модулях.

Возможно, при использовании других модулей плагина, таких как расчет отопительных приборов и гидравлический расчет (как описано в [6, 7]), программа покажет большую совокупную эффективность по сравнению с ручным вводом данных и отдельными плагинами для каждой из этих целей.

Литература

1. Староверов И.Г. Внутренние санитарно-технические устройства. В трех частях. 4-е издание, переработанное и дополненное. Ч. 1. Отопление. М.: Стройиздат, 1990. 345 с.

2. Макарчук Ю. liNear: расчёт отопительной нагрузки с прицелом на будущее // Журнал С.О.К. 2018. № 7. С. 70–71.

3. LiNear® Building 20. Часть 3. Расчет тепловой нагрузки СП. Рекомендации некоммерческого партнерства инженеров АВОК. 2019. 60 с.

4. Горбунов А.В., Горбунова А.М., Сухов А.Д. Опыт использования программного обеспечения LiNear® на практике // Актуальные проблемы строительства, природообустройства, кадастра и землепользования. Сб. науч. тр. междунар. научно-практ. конф. Махачкала: ООО «Издательство Алеф», 2022. С. 13–17. EDN: IUWTDZ.

5. LiNear® Building 20. Часть 1. Основные положения. Рекомендации некоммерческого партнерства инженеров АВОК. 2019. 242 с.

6. Маркасян С.Р., Суханов К.О. Подбор отопительных приборов в программном комплексе liNear Building // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Матер. III Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 263–269. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.034. EDN: SPSTZK.

7. Федотов И.Д., Суханов К.О. Гидравлический расчет системы отопления с использованием надстройки liNear для Autodesk Revit // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры. Матер. III Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 424–432. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.055. EDN: ETJLJS.

УДК 69:004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.026

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

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

АЛГОРИТМ ПОЛУЧЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ В СРЕДЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ALGORITHM FOR OBTAINING DESIGN PARAMETERS OF ENGINEERING SYSTEMS IN THE INFORMATION MODELING ENVIRONMENT

В статье рассмотрены вопросы использования алгоритмов группирования и расчета данных в среде визуального программирования, а именно Dynamo Revit, с целью автоматизации процесса составления рабочей документации. Представлен алгоритм задания входных и расчета выходных параметров. Освещены принципы работы и примеры его реализации посредством разработки скрипта при моделировании инженерных систем (на примере гибких трубопроводов). Проанализированы полученные результаты работы скриптов и рассмотрены потенциальные направления доработки алгоритма, такие как улучшение точности расчетов, расширение функциональности для работы с различными типами элементов и инженерных сетей, оптимизация структуры скриптов с использованием языка программирования Python.

Ключевые слова: визуальное программирование, автоматизация, алгоритмы, проектирование, параметризация.

The article deals with the issues of using algorithms of data grouping and calculation in the visual programming environment, namely Dynamo Revit, in order to automate the process of drawing up working documentation. The algorithm of input parameters setting and output parameters calculation is presented. The principles of work and

examples of its realization by means of script development in modeling of engineering systems (on the example of flexible pipelines) are covered. The obtained results of the scripts work are analyzed and potential directions of the algorithm improvement are considered, such as improvement of the calculation accuracy, expansion of functionality for working with different types of elements and engineering networks, optimization of the scripts structure using the Python programming language.

Keywords: visual programming, automation, algorithms, design, parameterization.

Информационное моделирование зданий (BIM) – это цифровое отображение характеристик строительного объекта, предоставляющее полную информацию и достоверную основу для принятия решений на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений. Соответственно, информация об объекте представлена в виде его информационной модели. В контексте этого подхода к разработке проекта возникает необходимость извлечения и анализа BIM-данных.

Информационная модель объекта строительства строится на основе трехмерной модели здания. Трехмерная модель здания и его элементы имеют не только геометрические, но и информационные характеристики разных типов.

Область ответственности BIM-специалистов заключается в задании параметров модели в целом и элементов в частности, а также дальнейшей установке между ними корректных зависимостей для получения достоверных расчетных данных.

С точки зрения хранения информационная модель представляет собой структурированную базу данных, в которой все элементы имеют параметры (или атрибуты), описывающие геометрические, технические, экономические и другие характеристики здания, необходимые на разных этапах его жизненного цикла.

В рамках данного исследования были проанализированы источники [1–3]. Исследования в данных статьях нацелены на автоматизацию разработки спецификаций с помощью как стандартных нодов, так и кодирования в Python Script. В результате работы скриптов отбирается и сортируется нужная информация о заданных элементах с дальнейшей возможностью экспорта в MS Excel.

Также были рассмотрены источники [4, 5], где предлагаются алгоритмы структурирования полученного в ходе эксперимента массива данных и обработки информации на примере работы с классификатором. Работа предлагается в связке нодов Dynamo с разработкой или редактированием семейств.

Авторы этих статей подчеркивают, что применение Dynamo Revit помогает создать автономную информационную модель, способную наглядно отображать все необходимые данные на протяжении всего процесса проектирования. Также делается вывод о необходимости развития навыков создания скриптов в Dynamo, представляющего собой актуальное направление в сфере технологичного проектирования. Этим можно значительно сократить время разработки проекта.

Значения параметров спецификации могут быть рассчитаны, однако ни одно программное обеспечение в BIM не может обеспечить решение всех специализированных задач. Поэтому было рассмотрено большее количество направлений работы и выявлена потребность в разработке алгоритма и инструментов моделирования гибких трубопроводных систем с целью корректного подсчета такой характеристики как длина трубопровода и переноса соответствующих данных в спецификацию.

В статье описан алгоритм скрипта «Расчет трубопроводов в универсальном шаблоне», задача которого заключается в считывании системных и пользовательских параметров разных групп (типов) элементов, подсчета общей длины и передачи значения в поля спецификаций методом копирования заданных параметров и объединения в одном поле спецификации (списке элементов Dynamo).

Уникальность скрипта заключается в том, что его может использовать специалист любой дисциплины проекта, например, архитектор, конструктор, специалист по инженерным сетям в универсальном шаблоне Revit. Таким образом, один специалист может расширить свой функционал на разные разделы проекта.

Алгоритм скрипта представлен на рис. 1.

Данный алгоритм реализован посредствам построения скрипта в среде визуального программирования (рис. 2).

Скрипт состоит из нескольких функциональных разделов, выполнение которых в определенной последовательности приводит к получению корректных результатов расчета.

Рассмотрим фрагменты скрипта более подробно.

Первый блок состоит из операций определения категорий элементов нодами Categories и All Elements of Category и задания входных параметров нодом Element.GetParameterValueByName (рис. 3).

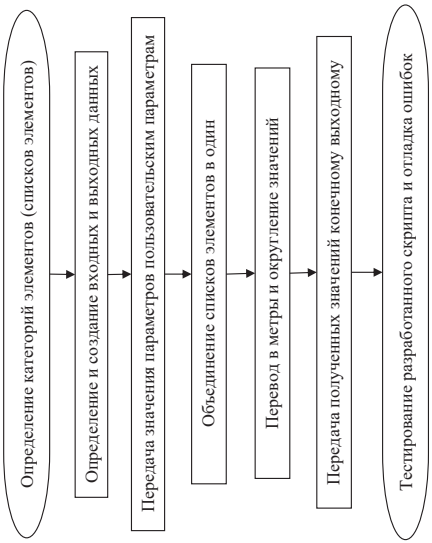


Рис. 1. Алгоритм работы скрипта

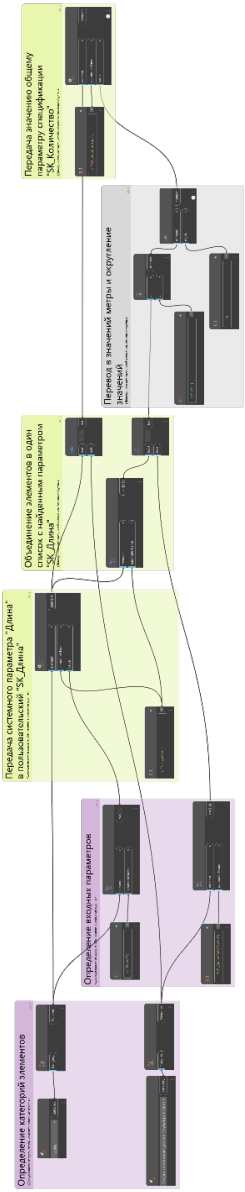


Рис. 2. Общая структура скрипта «Расчет трубопроводов в универсальном шаблоне»

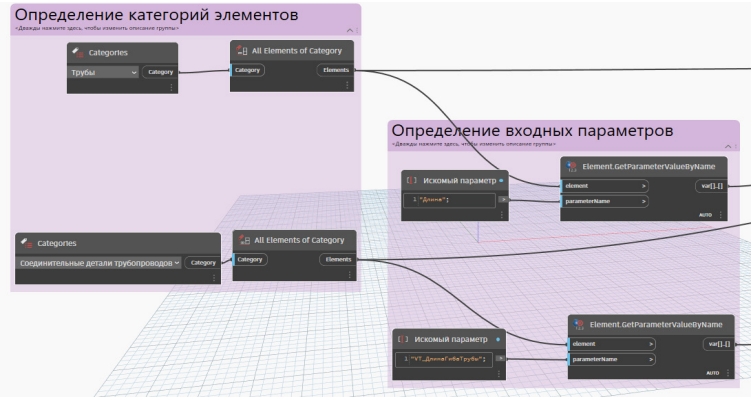


Рис. 3. Блок определения категорий элементов и задания входных параметров

В данном случае рассматриваются категории, относящиеся к трубопроводам, такие как «Трубы» и «Соединительные детали трубопроводов». Затем обозначаются и выводятся искомые значения параметров «Длина» и «VT_ДлинаГибаТрубы» (длина секторов окружностей в семействе соединительных деталей трубопроводов).

Далее происходит присвоение значений системного параметра «Длина» и созданного в семействе отводов параметра «VT_ДлинаГибаТрубы» в параметр, добавленный в файл проекта, «SK_Длина» нодом Element.SetParameterValueByName с объединением двух ранее выведенных списков в один общий список для элементов и значений нодом List.Join (рис. 4).

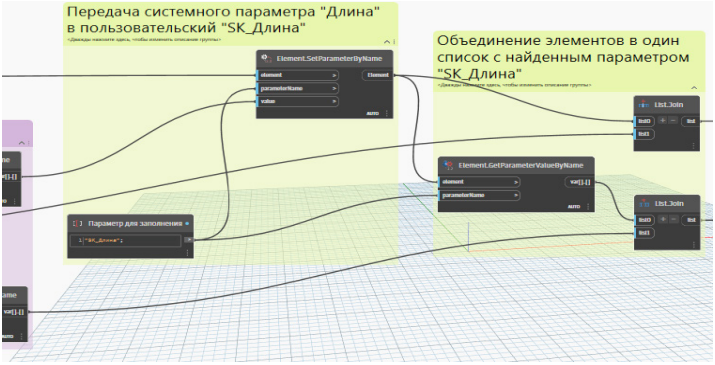


Рис. 4. Блок присвоения значений и объединения списков

В финальном блоке (рис. 5) происходит перевод значений из миллиметров в метры с корректировкой количества знаков после запятой нодом Math.Round и присвоение их в параметр «SK_Количество» (параметр типа «Число»).

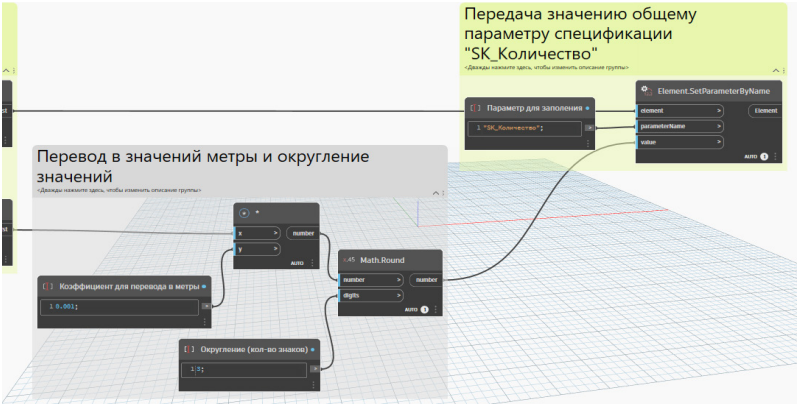


Рис. 5. Блок перевода в метры, округления и присвоения значений в итоговый параметр спецификации

Таким образом, заполняются необходимые для спецификации параметры элементов (рис. 6), благодаря чему можно достаточно точно рассчитать длину трубопровода (рис. 7).

Разработанный скрипт поможет автоматизировать процесс создания спецификаций, особенно для малоэтажных зданий. Например, если в проекте предполагается проектирование системы теплых полов и необходимо создать спецификации количества, то в спецификациях стандартного шаблона Revit не получится автоматизированный расчет инженерной системы, так как стандартный функционал программы не считывает системный параметр длины и не совмещает длины элементов разных категорий в одном параметре. С помощью скрипта данная задача может быть быстро выполнена. При этом дополнительной информации из проекта, кроме создания стандартных спецификаций (шаблонов), не требуется, а остальные параметры являются пользовательскими, определяемыми BIM-специалистом или проектировщиком.

Точность расчетов в дальнейшем можно увеличить. К примеру, если моделируется система трубопроводов большой протяженности, соответственно величина погрешности будет также весомой, то за счет меньшего

округления значений в скрипте, можно добиться увеличения точности расчета длины.

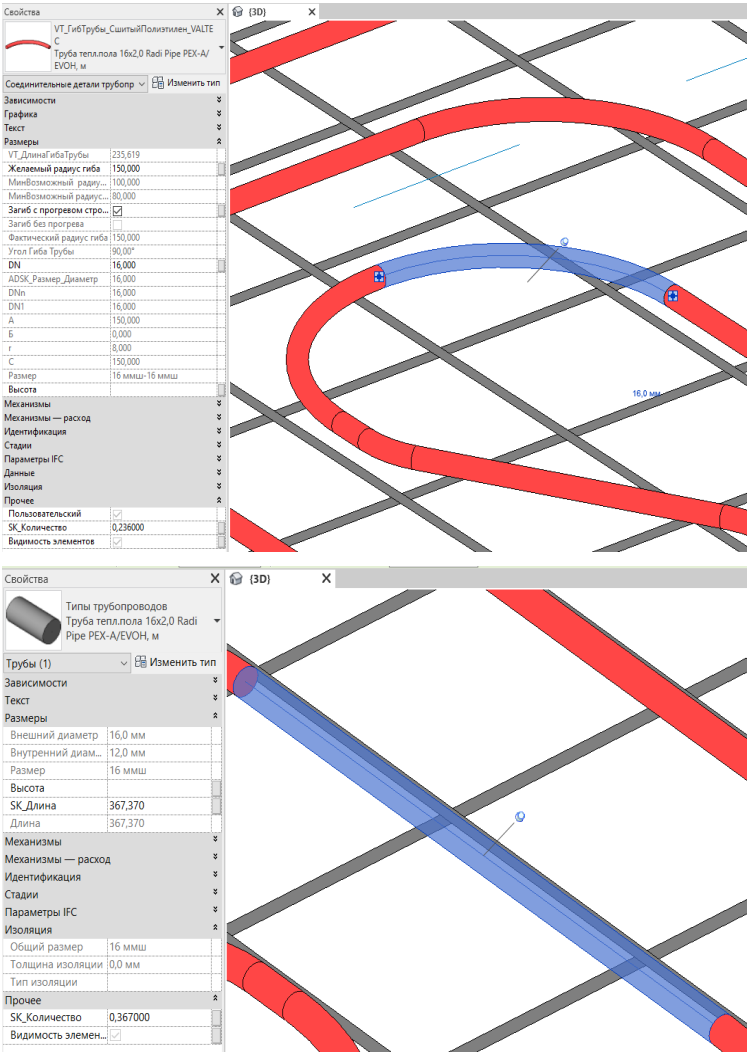


Рис. 6. Заполненные с помощью скрипта параметры

Спецификация элементов водяного теплого пола			
A	B	C	D
Данные элементов пола	Наименование	Кол-во	Примечание
	Провод H07V-K 2,5 GN/YE, арт. 312000411, м	0,04	
	Проволока вязальная, м	90	
	Труба ПВХ с протяжкой 20 мм, арт. 91920, м	7,246	
	Труба гофрированная Teck красная 20 мм, Дн 25/20 мм, м	2,013	
	Труба тепл.пола 16x2,0 Radi Pipe PEX-A/EVOH, м	19,094	

Рис. 7. Заполненная спецификация

Функционал скрипта можно расширить, добавив в него группирование и фильтрацию по заданным участкам системы. Также можно добавить расчет не моделируемых элементов в зависимости от длин участков трубопроводов (если, к примеру, это труба с кабелями для электрики). Тогда можно присвоить кабелям значение длины трубы и просуммировать с добавочными значениями, если таковые требуются. Это также значительно облегчит работу проектировщика и сократит время моделирования и разработки документации.

Есть возможность оптимизации построения и работы данного скрипта за счет включения программирования в блоках Python Script, чтобы облегчить нагрузку системы графического отображения скрипта и увеличить его быстродействие.

Литература

1. Абдельхади М.М.Н., Карманова М.М. Автоматизирование функционала по созданию спецификаций в Autodesk Revit // Технологии информационного моделирования зданий и территорий. Экосистемы ТИМ/BIM: матер. II Всеросс. научно-практ. конф. Екатеринбург: УрФУ, 2022. С. 89–97. EDN: DYKVMC.

2. Абдельхади М.М.Н., Придвижкин С.В., Карманова М.М., Печеркина Е.А. Автоматизация формирования спецификаций с помощью скрипта, разработанного в среде Dynamo // Перспективы науки. 2022. № 5(152). С. 82–87. EDN: PVATVS.

3. Пученков И.С. Обработка информации в BIM среде с помощью Dynamo // Дни студенческой науки: Сб. докл. научно-техн. конф. по итогам НИР студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости НИУ МГСУ. М.: НИУ МГСУ, 2020. С. 527–529. EDN: MBKVRN.

4. Мельников Д.В., Мансуров Р.Ш. Использование инструментов визуального программирования для обработки массивов данных // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2021. Т. 24, № 3/4(81/82). С. 49–58. DOI: 10.32683/1815-5987-2021-24-81/82-3/4-49-58. EDN: GAUYPZ.

5. Пученков И.С. Обработка информации в BIM среде с помощью Dynamo на примере работы с классификатором // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. III Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 414–424. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.054. EDN: DUJTDT.

УДК 624.21/.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.027

Козак Николай Викторович, канд. техн. наук, старший преподаватель
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: kozak.spbgasu@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7707-4388
Зобова Мария Александровна, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: masha.zobova12@gmail.com, ORCID: 0009-0000-0271-0071
Гуманюк Илья Александрович, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: navest74@mail.ru, ORCID: 0009-0006-9751-4420

Kozak Nikolai Viktorovich, PhD in Sci. Tech., Senior Lecturer
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Zobova Maria Aleksandrovna, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Gumaniuk Ilia Aleksandrovich, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ МОСТОВ

CASE STUDY OF BRIDGE INFORMATION MODELING

В статье приведен практический опыт разработки информационных моделей автодорожных мостовых сооружений с использованием Autodesk Revit в качестве основного инструмента. Рассмотрены два основных случая применения – создание информационных моделей малых и средних железобетонных мостов, распложенных на прямом участке дороги, а также создание информационной модели большого сталежелезобетонного мостового сооружения на криволинейной оси. Выделены и проанализированы основные возникшие проблемы в разработке моделей, приведены рекомендации по их возможным путям решения. В заключении отмечено, что Autodesk Revit рационально использовать как единственный универсальный инструмент для моделирования малых и средних железобетонных мостовых сооружений, в том время как для сложных криволинейных объектов оправданно и необходимо применение целого комплекса различных взаимосвязанных программ.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, BrIM, информационная модель, мост, Revit, SOFiSTiK, SketchUp.

The paper discusses a case study of information modeling for road bridges using Autodesk Revit as the primary tool. Two main cases are examined: information

modeling for small and medium-sized reinforced concrete bridges situated on a straight road axis, and information modeling for a large steel-concrete composite bridge on a curved road axis. The primary issues in the modeling process are identified and analyzed, with recommendations provided for potential solutions. In conclusion, it is highlighted that using Autodesk Revit as the universal tool for modeling small and medium-sized reinforced concrete bridges is reasonable, whereas for large curved bridges, it is both justified and essential to employ a comprehensive set of diverse BIM tools.

Keywords: BIM, TIM, BrIM, Information Model, Bridge, Revit, SOFiSTiK, SketchUp.

Введение. На сегодняшний день информационное моделирование в области проектирования мостовых сооружений распространено не столько широко, как в области промышленного и гражданского строительства [1]. С одной стороны, на это влияют как различные внешние факторы (иная система взаимодействия заказчик-исполнитель, часто отсутствие прямой заинтересованности в оптимизации процессов проектирования и эксплуатации и т.п.), так и внутренние причины, связанные, в первую очередь, с наличием удобных инструментов моделирования.

Тем не менее, на сегодняшний день в Российской Федерации информационное моделирование для всех проектируемых мостов фактически является обязательным для прохождения государственной экспертизы по причине их государственного финансирования.

На уровне исполнителей отмечаются объективные сложности с реализацией этого постановления уже на уровне подбора инструментов для создания информационных моделей. Подходы к информационному моделированию зданий и мостов значительно отличаются, поэтому прямая проекция методов и технологий, апробированных на зданиях, представляется не самой корректной [2, 3]. Специализированное программное обеспечение для создания информационных моделей мостов существует, однако стоит отметить, что доступные там инструменты в большинстве своем ориентированы на западные конструкции и методы строительства. В условиях сложившихся в РФ парадигм проектирования это влечет значительные дополнительные затраты на адаптацию инструментов. Кроме того, в текущих реалиях подобное программное обеспечение практически недоступно к использованию.

Таким образом, представляется рациональной адаптация «стандартных» широко распространенных инструментов информационного моделирования к решению задач по созданию моделей мостов. В данной статье обобщен практический опыт, полученный коллективом авторов

при разработке информационных моделей мостовых сооружений с использованием такого «стандартного» инструмента моделирования, как Autodesk Revit.

Малые и средние железобетонных мосты с прямой осью. Опираясь на опыт разработки 5 информационных моделей мостовых сооружений на дорогах России сделан вывод, что собственные инструменты Autodesk Revit хорошо подходят для построения моделей «массовых» железобетонных мостов с прямой в плане осью (рис. 1, *а*). Компоненты таких моделей создаются как семейства Revit с использование встроенных функций, позволяя обеспечить необходимую параметризацию и атрибутивный состав (рис. 1, *б*, *в*) [4]. В условиях отсутствия строгой регламентации состав атрибутов может регулироваться внутренним стандартом организации.

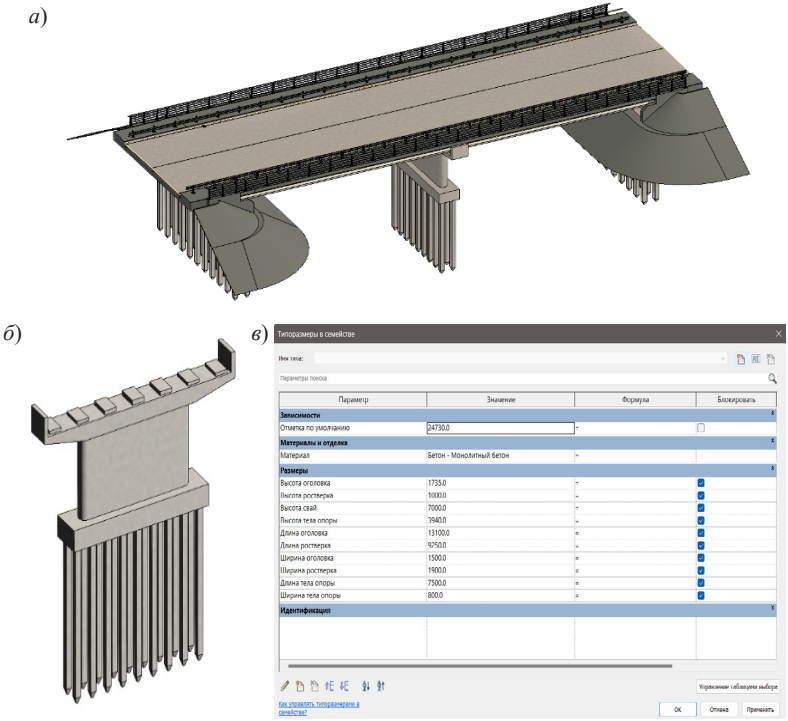


Рис. 1. Модель железобетонного моста, созданная в Autodesk Revit: *а* – общий вид; *б* – компонент модели (промежуточная опора); *в* – атрибуты компонента

Структура информационной модели моста имеет отличия от моделей здания; так, например, разделение на «Уровни» в ней не имеет физического смысла. В связи с этим в процессе моделирования было принято решение использовать группировку по уровням как группировку по группам конструкций (пролетное строение, опоры, и т.д.), отметка же уровня назначалась условной. Подобная идея с группировкой по группам конструкций лежит в основе нового стандарта IFC 4.3, адаптированного, в том числе, и под искусственные сооружения [5].

Большие мостовые сооружения на криволинейной оси. Опыт разработки информационной модели большого сталежелезобетонного мостового сооружения, расположенного на криволинейной оси (рис. 2), показал, что собственных инструментов Autodesk Revit для решения задач недостаточно и необходимо использовать пользовательские скрипты или стороннее программное обеспечение. В таблице авторами приведены основные выявленные проблемы и возможные способы их решения.

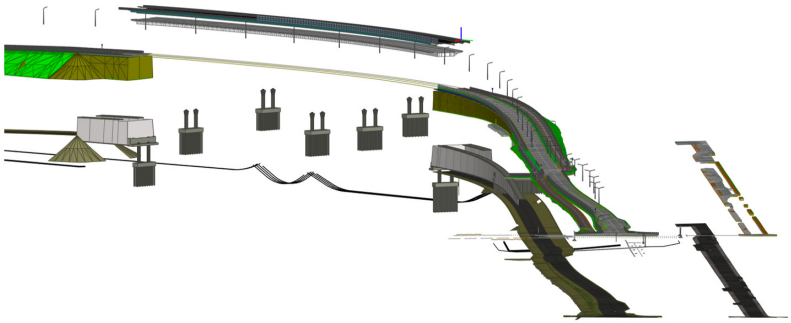
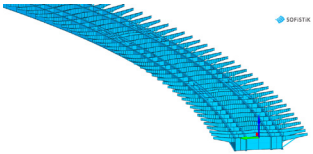
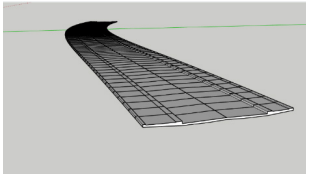
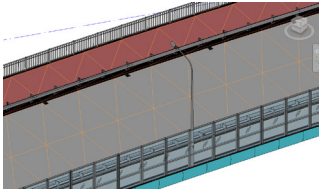


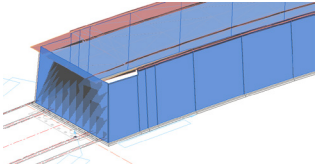
Рис. 2. Модель путепровода на криволинейной оси
(группировка по конструкциям)

Проблемы моделирования мостовых сооружений на криволинейной оси

Проблема	Возможное решение	Преимущества и недостатки
Моделирование металлических пролетных строений на кривой Нет возможности моделировать сложные металлоконструкции индивидуального проектирования, расположенные на криволинейной траектории	 Использование модуля CABD (Computer-Aided Bridge Design) расчетного комплекса SOFiSTiK для построения параметрической модели металлоконструкций с последующим экспортом в *.ifc	**Преимущества:** – удобство построения; – возможность использования модели для поверочного расчета. **Недостатки:** – возможность применения только на низких LOD; – модель экспортируется с «плоской» структурой, без сборки элементов в группы главных балок, поперечных балок и т.п.; – слабый атрибутивный состав в IFC
Моделирование железобетонной плиты на кривой Нет возможности построить (выдавить) элемент по криволинейной в двух и более плоскостях траектории)	 Использование SketchUp в качестве «ручного» инструмента построения объемного тела по характерным сечениям (в начале и конце пролетного строения) и направляющим. Экспорт в *.dxf с подгрузкой геометрии в пользовательское семейство плиты в Revit	**Преимущества:** – возможность построить любую геометрию с использованием наглядных инструментов. **Недостатки:** – высокие трудозатраты на построение; – необходимость «ручной» перестройки в случае изменения модели металлической части пролетного строения

Расстановка элементов мостового полотна (элементы ограждений, водоотводные трубки, шум защитные экраны) Ввиду большого кол-ва точек ручная расстановка нерациональна. Массив возможен только для прямых и радиальных участков одной плоскости, в то время как ось сооружения состоит в т.ч. из клотоид. Необходимость наклона элементов в вертикальной плоскости	 Использование встроенного инструмента визуального программирования Dynamo для расположения элементов по сложной кривой. Для расстановки элементов был создан скрипт, принцип работы которого заключается в следующем: – выбор семейства располагаемого элемента и траектории, т.е. линии модели, заранее построенная по поверхности плиты; – разбивка кривой на участки с задаваемым интервалом (шагом расстановки); – расположение элементов в узлах; – поворот элементов в плане ортогонально к кривой; – поворот элементов в вертикальной плоскости ортогонально к кривой с использование специального параметра вложенного семейства	**Преимущества:** – универсальность (применение одного скрипта для расстановки всех элементов мостового полотна); – низкие трудозатраты; – возможен широкий спектр настроек и автоматическое заполнение атрибутов. **Недостатки:** – высокий риск коллизий с другими элементами; – сложность в уточнении «адресов» установки отдельных элементов; – риски нестабильной работы Dynamo

Окончание таблицы

Проблема	Возможное решение	Преимущества и недостатки
Моделирование подпорных стенок участков подхода Нет возможности построить наклонные стены переменной высоты по криволинейной траектории подходных насыпей	 Экспорт из IFC-файла автодорожных подходов (н-р, разработанного в Topomatic Robur) объемов тела насыпи. Открытие в SketchUp, очистка файлов от лишних элементов, далее преобразование в *.dxf. Импорт в Revit как формообразующие и построение стен по граням формообразующих	**Преимущества:** – возможность построить любую геометрию с использованием наглядных инструментов. **Недостатки:** – изначальное снижение точности модели из-за использования в основе полигональной модели автодорожных подходов; – высокие трудозатраты на построение; – необходимость «ручной» перестройки в случае изменения насыпей подходов

Заключение. По результатам разработки серии информационных моделей с использованием инструментов Autodesk Revit авторами сделаны следующие выводы:

1. Модели малых и средних мостов и(или) мостов на прямой оси дороги удобно создавать с использованием стандартных инструментов программы. При наличии уже готовой библиотеки семейств модель моста для стадии проектной документации возможно собрать за 1-2 дня.

2. Модели больших мостов также принципиально возможно создавать в Autodesk Revit, однако отмечается значительное повышение трудоемкости и появляется необходимость дополнительно использовать сторонние программы для отдельных элементов. При этом теряется параметризация элементов и общая связанность модели элементов; так, например, довольно часто встречаемое в процессе проектирования уточнение отметок опорных частей влечет за собой полую перестройку всех вышерасположенных конструкций, причем для некоторых (например, плита) – в полностью ручном режиме. Таким образом, при решение подобных задач значительное внимание должно уделять процессу организации разработки информационной модели, синхронизации действий всех исполнителей и обеспечению совместимости форматов данных используемых программ.

Литература

1. Талапов В.В. Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий. 2-е изд. Саратов: Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

2. Козак Н.В., Ярошутин Д.А. BrIM или BIM: Особенности концепции информационного моделирования мостовых сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. III Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 245–253. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.032. EDN: JWQOIY.

3. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Third Edition. New Jersey: Wiley, 2018. 659 p. DOI: 10.1002/9781119287568.

4. Ращепкин А.А., Кокоева Е.С. Назначение состава атрибутов цифровой информационной модели для экспертизы автодорожных мостов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 98–105. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.014. EDN: WTWBRY.

5. IFC 4.3.2 Documentation [Электронный ресурс]. URL: https://ifc43-docs.standards.buildingsmart.org/ (дата обращения: 03.03.2024).

УДК 624.21/.8
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.028

Козак Николай Викторович, канд. техн. наук, BIM-менеджер
(ООО «ЦКМ»)
E-mail: kozak.ckmost@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7707-4388
Ярошутин Дмитрий Андреевич, генеральный директор
(ООО «ЦКМ»)
E-mail: day.ckmost@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1630-9531
Утенков Олег Валерьевич, главный инженер проекта
(ООО «ЦКМ»)
E-mail: oleg_ut@bk.ru

Kozak Nikolai Viktorovich, PhD in Sci. Tech., BIM-manager
(“Center of Competence “Bridges”, LCC)
Yaroshutin Dmitry Andreevich, CEO
(“Center of Competence “Bridges”, LCC)
Utenkov Oleg Valerievich, Chief Project Engineer
(“Center of Competence “Bridges”, LCC)

ИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В КОНТЕКСТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ЗАКАЗЧИКОМ И ЭКСПЕРТИЗОЙ: АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ СО СТОРОНЫ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

INFORMATION MODELS OF BRIDGES IN THE CONTEXT OF THE INTERACTION WITH THE OWNERS AND EXPERTS: ANALYSIS OF CURRENT PROBLEMS ON THE SIDE OF CONTRACTORS

В настоящее время в большинстве контрактов, заключаемых на разработку проектно-сметной документации строительства, капитального ремонта или реконструкции мостовых сооружений, присутствует пункт о необходимости разработки информационной модели. Опираясь на полученный практический опыт, в данной статье авторами систематизированы и проанализированы проблемы, возникающие у исполнителей-проектировщиков при реализации необходимых требований разработки информационных моделей мостовых сооружений, проанализированы причины «отставания» процесса внедрения информационного моделирования в сфере проектирования мостовых сооружений, рассмотрены актуальные проблемы формирования технического задания на разработку информационных

моделей мостовых сооружений, а также вопросы регулирования требований к их структуре и составу.

Ключевые слова: BIM, BrIM, ТИМ, информационная модель, мост.

Today, most contracts for bridge design in Russia include a clause that requires the development of a bridge information model. This paper systematizes and analyzes the issues faced by contractors during the development of bridge information models based on the authors' practical experience. It discusses the reasons for delays in implementing information modeling technologies in the bridge design process, current challenges in forming a technical task for bridge information models, and questions regarding the regulation of requirements for structural decomposition and content of bridge information models.

Keywords: BIM, BrIM, TIM, information model, bridge.

Введение. В настоящее время в большинстве государственных контрактов, заключаемых на разработку проектно-сметной документации строительства, капитального ремонта или реконструкции (реже – ремонта) мостовых сооружений (далее – МС), присутствует пункт о необходимости разработки информационной модели (далее – ИМ). Данный факт объясняется вступившими в силу с 2022 года требованиям Постановления № 331 Правительства РФ[1] о необходимости разработки ИМ для объектов, сооружаемых за бюджетные средства. В контексте этого важно отметить, что на момент вступления постановления в силу опыт разработки полноценных информационных моделей мостовых сооружений (далее – ИМ МС) присутствовал у крайне ограниченного числа профильных организаций (в основном у крупных проектных институтов).

Опираясь на полученный практический опыт, в данной статье авторами систематизированы и проанализированы проблемы, возникающие у исполнителей-проектировщиков при реализации необходимых требований по разработке ИМ МС. Принципиально выделены следующие основные группы проблем:

1. Причины «отставания» процесса внедрения ИМ в сфере проектирования МС.

2. Проблемы формирования технического задания на ИМ МС.

[1] Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства» URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202103100026 (дата обращения: 03.03.2024)

3. Состояние документов, регулирующих требования к ИМ МС.
4. Требования к структуре ИМ МС.
5. Требования к атрибутам ИМ МС.

Почему «мостовой BIM» отстает? В мировой практике уже значительное время присутствует разделение технологий информационного моделирования (далее – ТИМ) в строительстве на «гражданский» BIM и «мостовой» BIM (Bridge Information Modeling или BrIM) [1, 2].

В первую очередь это связано с техническими особенностями разработки ИМ МС, и, соответственно, с другими требованиями к инструментам моделирования (более подробно рассмотрено в [3]). Ограниченность объемов рынка проектирования МС и нацеленность разработчиков программного обеспечения (далее – ПО) на работу с крупными рынками приводит к тому, что предлагаются не «универсальные» инструменты, а адаптированные к наиболее используемым техническим решениям в том или ином регионе, преимущественно в Евросоюзе или США. При этом типовые решения, принятые в отечественной практике проектирования, моделируются сложнее, с использованием дополнительными разработок.

Однако не менее важным при ответе на вопрос причин отставания «мостового» BIM представляется фактор целесообразности разработки ИМ. На взгляд авторов статьи, на сегодняшний день могут быть выделены 5 основных причин необходимости применения ТИМ в процессе проектирования и строительства любых объектов (рис. 1).

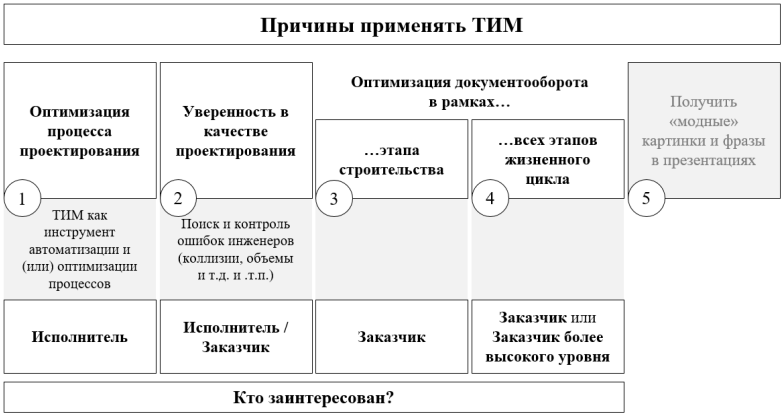


Рис. 1. Причины необходимости применять ТИМ

Предложенная схема предусматривает, что инициатива по использованию ТИМ может идти как «снизу» – от непосредственных исполнителей (как на уровне отдельного специалиста или рабочей группы, так и на уровне компании-подрядчика в целом), так и «сверху» – от заказчика.

В первом случае целью использования ТИМ однозначно выступает оптимизация (снижение трудозатрат) процесса проектирования (например, автоматизированная подготовка чертежей или определение объемов работ). Во втором случае, если инициатива по использованию ТИМ идет от Заказчика, то целями могут быть выделены повышение качества разработки документации (точнее – повышение уверенности в качестве), а также оптимизация документооборота (перевод в единую информационную среду).

Для области промышленного и гражданского строительства (ПГС), где значительная часть проектов реализуется на частные средства, заинтересованность во внедрении ТИМ в большинстве случаев представляется обоюдной как со стороны исполнителя, так и заказчика. Для последнего дополнительные затраты на внедрение ТИМ в итоге могут окупиться снижением рисков возникновения непредвиденных ошибок в проекте, а также оптимизацией затрат на документооборот в рамках строительства или всего жизненного цикла (в случае, если заказчик является и эксплуатирующей организацией).

При проектировании МС в условиях «до ввода Постановления № 331» инициатива внедрения ТИМ обычно шла «снизу», от исполнителей. Инициатива «сверху» была значительно ограничена тем, что заказчикам проектов МС являются учреждения на госуправлении и с финансированием из госбюджета – с соответствующими зонами компетенций и ответственности. С вступлением в силу Постановления № 331 пункт о необходимости разработки ИМ начал вносится в текст договора на проектирование МС; однако, как показывает практика, разработка ИМ в этих условиях необходима в основном для формального выполнения требований договора на проектирование.

Таким образом, складывается ситуация, когда, несмотря на приятные на высшем уроне стратегические цели по единым моделям МС на всех этапах жизненного цикла, непосредственные заказчики не видят конкретных преимуществ в использовании ТИМ. Естественно, подобное непонимание конкретных целей применения ИМ не может способствовать развитию применения ТИМ при проектировании МС.

Что «хочет» заказчик? С точки зрения исполнителя значительной проблемой на сегодняшний день является получение внятного

технического задания (далее – ТЗ) на ИМ МС. Как уже было отмечено ранее, заказчик часто не имеет возможности сформулировать, что «хочет» (или, точнее, что должен «хотеть» и что может «хотеть»), что вполне объяснимо в условиях крайне ограниченной самостоятельности организации с государственным управлением и финансированием. В итоге в техническое задание часто включается пункт о необходимости разработки ИМ без уточнения деталей.

Практический вариантом решения данной проблемы может быть консультирование заказчика по вопросам составления ТЗ, однако с этим связаны две дополнительные проблемы. Во-первых, это спорная правовая сторона вопроса подобных консультаций, во-вторых, отсутствие нормативных, методических и иных основ для формирования предложений по составу ТЗ. В тоже время, работа «по устному согласованию», без конкретизации ТЗ, несет в себе значительные риски для исполнителя по «бесконечным» доработкам и исправлениям модели.

«Серая зона» в техническом регулировании. На сегодняшний день в основных документах[1,2], регулирующих ТИМ в строительстве, не рассмотрены аспекты, касающиеся ИМ МС. Требования региональных экспертиз часто сформированы только в области ПГС[3], и, отчасти, для таких линейных объектов, как автомобильных дороги[4].

Если рассматривать совместно требования сводов правил (СП) и экспертиз применительно к некоторым общими вопросам (не специфическим для МС), то будут заметны значительные расхождения в требованиях к структуре и составу ИМ, к правилам наименования элементов и т.п. Применение в ИМ МС всех требований из указанных документов будет противоречить здравому смыслу из-за специфики конструкций МС (так, например, базовые элементы «Уровень» и «Помещение» для МС не имеют никакого физического смысла).

---

[1] СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла / СПб.: Кодекс, 2001. – 1 электрон. носитель. – 2021.

[2] СП 328.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели / СПб.: Кодекс, 2001. – 1 электрон. носитель. – 2021.

[3] Требования к цифровым информационным моделями объектов капитального строительства, представляемым для проведения экспертизы. – Ред. 3.0. – СПб.: СПб ГАУ «ЦГЭ», 2022.

[4] Требования к цифровым информационным моделями линейных объектов, представляемым для проведения экспертизы. – Ред. 1.0 (проект). – СПб.: СПб ГАУ «ЦГЭ», 2021.

Фактически получаются условия, в которых от исполнителя требуется ИМ МС, без определения, что это такое. Вполне может сложиться ситуация, когда заказчик представляет себе ИМ в виде 3D-картинки, а «продвинутая» региональная экспертиза – в виде «полноценной» ИМ с полным атрибутивным составом (или – наоборот).

Данные особенности оказывают влияние на состав разрабатываемого исполнителем BEP (BIM Execution Plan – план работы над ИМ). В условиях отсутствия ТЗ (или EIR – Employer's Information Requirements, требований к ИМ со стороны заказчика) и профильных аспектов в СП план работы над моделью превращается в самостоятельный документ, определяющий требования к ИМ со стороны исполнителя. Возникает ситуация «Сам придумал задание на ИМ – сам сделал ИМ», при этом без каких-либо гарантий постоянства начальных требований к ИМ. *Возможным решением* видится рабочее согласование BEP, что требует компетенций заказчика в данной области.

Из чего состоит мост? Так как типовая структура МС значительно отличается от стандартной структуры объектов ПГС, то и структуры их ИМ также должны отличаться. В связи с этим на сегодняшний день могут быть выделены две основных проблемы:

Во-первых, в действующих нормативных документах отсутствует прямая регламентация иерархической структуры ИМ МС (перечень основных групп конструкций, входящих в них подгрупп конструкций и т.д.). *Практическим решением* для исполнителей может быть разработка внутренних стандартов организаций по ТИМ с закреплением принципов декомпозиции МС; при этом за основу может быть принята уже используемая модель типовой структуры ИМ МС[1] на стадии эксплуатации (используемая в базах данных АИС ИССО, АБДМ и т.п.).

Во-вторых, в стандарте IFC версии 2x3, который обычно прописывается в требованиях к процессу передачи модели заказчику или в экспертизу, реализована структура модели по принципам ПГС, с разбивкой на «Уровни» и «Помещения». Возможность «инфраструктурной разбивки» на «Объекты» и «Части объектов» добавлена лишь в самом последнем стандарте IFC версии 4.3, который еще в полной мере не вошел в использование. *Практическое решение* данной проблемы возможно в использовании стандартных «Уровней» как способа разделить конструкции на группы (например, «Пролетное строение», «Опоры»).

[1] ОДМ 218.3.042-2014 Рекомендации по определению параметров и назначению категорий дефектов при оценке технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. – М.: Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2015. – 46 с.

Какая информация нужна в модели? С учетом отмеченных выше сложностей с определением целей разработки ИМ МС, а также с учетом несовершенства регламентации требований к ИМ, важным является вопрос атрибутивного состава модели [4]. Необходимо ли добавлять в проектную модель информацию о расчетных усилиях в конструкциях, производителях, путях доставки и так далее? Геометрическая модель и такая же модель, но наполненная значительным объемом полезной информации («цифровой двойник» бумажных томов документации) требуют значительно разных трудозатрат на разработку. Вероятно, перечень необходимых атрибутов должен формироваться заказчиком с согласованием его с исполнителем по следующему этапу жизненного цикла. В то же время, в данный момент подобная схема вряд ли реализуема, т.к. конкретные требования по наличию ИМ прописываются только для этапа разработки проектной документации.

Также отдельно стоит отметить вопрос обеспечения взаимодействия «проектной» ИМ с ИМ МС, используемыми на стадиях эксплуатации (базы АИС ИССО, АБДМ, электронные формы паспорта МС и т.п.) [5]. Представляется рациональным для новых МС формировать «эксплуатационную» ИМ на основе «проектной» ИМ, что позволит как повысить уровень сохранения информации о проектных решениях, так и снизить трудозатраты на «восстановление» «эксплуатационных» ИМ по бумажной документации. *Практический опыт:* в качестве эксперимента при разработке ИМ МС ко всем компонентам были добавлены атрибуты, которые впоследствии могут быть использованы для автоматического формирования паспорта МС (рис. 2).

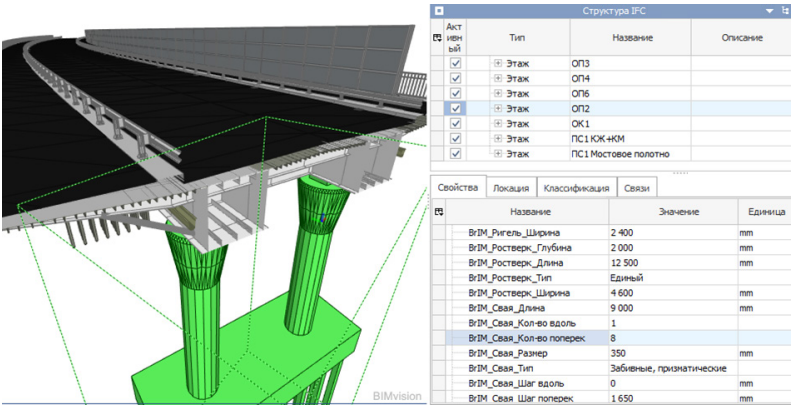


Рис. 2. Пример ИМ МС с пользовательской структурой и заполненными атрибутами

Заключение. В работе обобщён и проанализирован практический опыт разработки серии информационных моделей проектируемых мостовых сооружений в условиях действия Постановления № 331 об обязательности разработки ИМ для прохождения государственной экспертизы. Отмечено множество проблем и вопросов, связанных с отсутствием регламентации структуры и состава ИМ МС. На сегодняшний день стоит признать, что разработка ИМ МС является самоцелью, без привязки к реальной полезности. Отсутствие регламентации не позволяет задать единый уровень ИМ, и, таким образом, под прописываемым в ТЗ понятием ИМ МС могут пониматься абсолютно разные по глубине проработке и функционалу модели. С другой стороны, «сегодняшний» ввод обязательности разработки ИМ при проектировании МС работает скорее на перспективу, подготавливая и службы заказчика, и исполнителей к дальнейшим этапам цифровизации проектирования и строительства.

Литература

1. Талапов В.В. Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий / 2-е изд. Саратов: Профобразование, 2017. 392 с. EDN: ZGKAKN.

2. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Third Edition. New Jersey: Wiley, 2018. 659 p. DOI: 10.1002/9781119287568.

3. Козак Н.В., Ярошутин Д.А. BrIM или BIM: Особенности концепции информационного моделирования мостовых сооружений // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. III Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 245–253. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.032. EDN: JWQOIY.

4. Ращепкин А.А., Кокоева Е.С. Назначение состава атрибутов цифровой информационной модели для экспертизы автодорожных мостов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 98–105. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.014. EDN: WTWBRY.

5. Ращепкин А.А., Попова А.В., Чусовитина Ю.Н. К определению атрибутов цифровой информационной модели для эксплуатируемых автодорожных мостов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 106–112. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.015. EDN: SOJYFA.

УДК 658.51+69.04
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.029

Мельник Андрей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент
(Южно-Уральский государственный университет)
E-mail: melnikaa@susu.ru

Melnik Andrey Anatolevich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(South Ural State University)

ВОПРОСЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА В ГРУППЕ КОМПАНИЙ БЕТОТЕК

ISSUES AND PROSPECTS OF THE INTRODUCTION OF INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES IN THE DESIGN AND ORGANIZATION OF CONSTRUCTION IN THE BETOTEK GROUP OF COMPANIES

В статье проведен анализ ситуации с обязательным внедрением технологий информационного моделирования с 01.07.2024 г. для проектного финансирования строительства, содержится статистика по внедрению информационных моделей в строительстве среди застройщиков, определены проблемные вопросы внедрения, раскрыты преимущества внедрения информационных моделей для участников строительства, рассмотрены примеры использования 4D-моделей в организации строительства, сформированы пути решения по внедрению технологий информационного моделирования в проектирование и организацию строительства объектов в группе компаний Бетотек.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, цифровая информационная модель, 4D-модель строительства, организация строительства, наглядность проектных решений, визуализация строительства.

The article analyzes the situation with the mandatory introduction technologies of building information model from 01.07.2024 for project financing of construction, contains statistics on the implementation of building information models in construction among developers, identifies problematic implementation issues, reveals the advantages of introducing building information models for construction participants, and considers examples of use 4D models in the organization of construction, solutions for the implementation of building information modeling in the design and organization of construction at sites in the Betotek group of companies.

Keywords: building information model, digital information model, 4D construction model, construction management, visibility of design solutions, visualization of construction.

Цель статьи: обоснование необходимости внедрения ТИМ как в проектирование, так и в организацию строительства в группе компаний Бетотек.

С 1 июля 2024 года Министерство строительства Российской Федерации, Постановлением Правительства № 2357[1] в рамках программы цифровизации экономики вводит обязательным условием для получения проектного финансирования строительства многоквартирных домов, реализуемых с привлечением средств дольщиков по Федеральному закону от 30.12.2004 № 214-ФЗ (ред. от 04.08.2023)[2], проектирование объектов с применением ТИМ. Реализация указанного решения несет как неоспоримые преимущества в развитии, так и риски, связанные с неготовностью строительной отрасли России к переходу на применение ТИМ в проектировании и строительстве [1, 2] в требуемые сроки.

По данным государственной компании «ДОМ.РФ», которая сопровождает переход застройщиков на ТИМ, участвует в подготовке методической базы, развитии информационного обеспечения и ведет статистику применения ТИМ в строительстве, очевиден рост использования ТИМ застройщиками в 2022 [3], 2023 [4] годах (см. таблицу) с учетом требований законодательства, теперь этот рост станет еще более динамичным.

Использование застройщиками ТИМ в 2022–2023 годах

Годы	Общее количество застройщиков	Застройщики, применяющие ТИМ модели	% застройщиков с ТИМ, от общего количества застройщиков
2022	3596	503	14 %
2023	3890	739	19 %

[1] Постановление Правительства № 2357 от 20 декабря 2022 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства»

[2] Федерального закона от 30.12.2004 № 214-ФЗ (ред. от 04.08.2023) «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации»

Безусловным преимуществом ТИМ является повышение наглядности проектных решений за счет создания цифровой (трехмерной) информационной модели (ЦИМ) (рис. 1). Также ЦИМ может использоваться при моделировании трехмерного температурного поля в выдерживаемом бетоне монолитных конструкций в зимних условиях [5]. Объединение дисциплинарных (по разделам проектной документации) ЦИМ формируют сводную ЦИМ ОКС. С ее помощью можно автоматизированно формировать точные ведомости и спецификации, что снизит трудозатраты проектировщиков и инженеров ПТО. Использование специализированного программного обеспечения (ПО) для аудита ЦИМ позволяет проводить проверки на коллизии (нестыковки конструкций и сетей, пересечения несущих элементов и сетей) и соответствие нормативным требованиям, что дает возможность еще на стадии проектирования внести необходимые корректировки. Внесение изменений в проектные решения с применением ТИМ производится с меньшими трудозатратами, чем при традиционном проектировании [6, 7].

Рис. 1. Цифровая информационная модель

Опыт работы автора статьи в компании застройщике Бетотек г. Челябинск (ГК Бетотек) и собранные им данные о дополнительных работах, связанных с «невязкой» сетей, коллизиями, когда сети секут несущие конструкции либо пересекают друг друга, свидетельствуют об увеличении стоимости объекта за счет исправления таких коллизий на 2-3 %, увеличении трудоемкости на 2-5 %. Кроме того, проектировщикам приходится повторно предлагать решения, возвращаясь к разделам, которые они уже сделали. После внесения изменений в стадию «П» требуется сопровождение экспертизы или подтверждение ГИПа на соответствие, что требует

дополнительных трудозатрат. Таким образом, сценарий проверки на коллизии позволит уменьшить стоимость дополнительных работ и трудозатрат, связанных с устранением коллизий до 50 %, а также сократить срок строительства объекта.

Также в ГК Бетотек планируется организовать процесс строительства таким образом, чтобы все участники имели доступ к ЦИМ, в том числе с рабочего места на строительной площадке.

Привязка компонентов ЦИМ к календарному плану строительства позволяет получить уже 4D-модель (рис. 2). Важным является также следование подрядчиков календарному плану строительства, изложенному в 4D-модели, такие подходы значительно повысят эффективность решения организации строительства на объектах и позволят визуализировать процесс строительства, сделать его для всех участников более наглядным.

Проблемные вопросы при внедрении ТИМ: нехватка кадров, увеличение времени разработки проектной документации, недостаточный уровень проработки нормативной базы и обеспеченности проектных и строительных организаций необходимыми программными комплексами, аппаратными устройствами, отсутствие методологической базы реализации ТИМ у застройщиков, работающих ранее с традиционным проектированием, неопределенность затрат.

Автор статьи, проанализировав существующую ситуацию в ГК «Бетотек» пришел к выводу, что невозможно единовременное внедрение ТИМ и решение вышеперечисленных вопросов без снижения производительности проектирования и увеличения сроков подготовки проектов.

Для повышения эффективности и скорости внедрения ТИМ, снижения влияния вышеупомянутых проблемных вопросов экспертами «ДОМ.РФ» совместно с ГК «Бетотек» при участии автора статьи подготовлены решения для перехода на ТИМ.

На первом этапе проведен ТИМ-аудит, составлен отчет, в котором зафиксированы потребности сотрудников застройщика в применении ТИМ и определены сценарии для последующего внедрения в проектировании и организации строительства. Осуществлен подбор необходимого ПО, сформированы требования к кадрам и регламентам применения ТИМ.

На втором этапе разработаны требования заказчика к ИМ ОКС (EIR) и регламент работы в системе для организации среды взаимодействия (СОД). Он включает схемы процессов, требования к папочной структуре, маршруты согласований, требования к загружаемым форматам электронных документов.

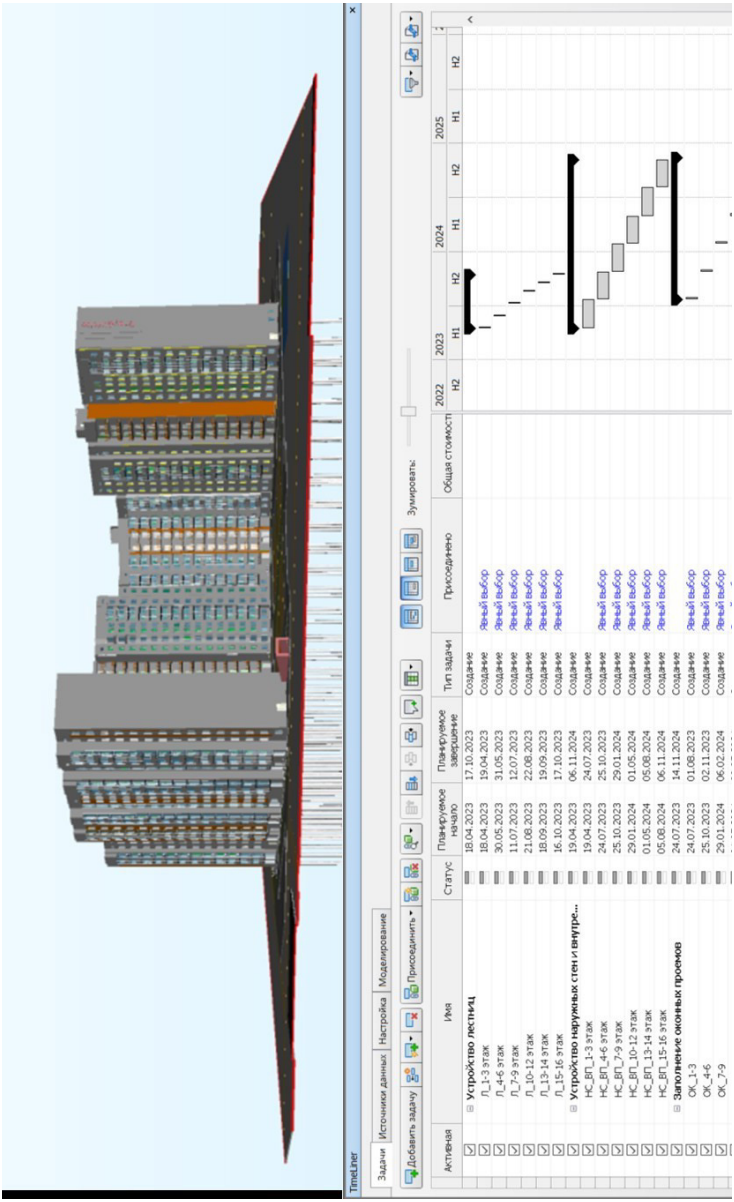


Рис. 2. Пример визуализации строительства с применением 4D-модели

На третьем этапе выбран пилотный проект многоэтажного жилого панельного здания. Заказчиком в задании на проектирование установлены требования EIR, в соответствии с которыми необходимо формировать модель. Для контроля качества проектных решений и соблюдения требований EIR каждые 15 рабочих дней проектировщик загружает в СОД модель для проверки ее качества в специализированном ПО для аудита модели. Данные проверки позволяют контролировать соблюдение требований к модели и повысить качество проектных решений за счет проведения продуктовых проверок и проверок на коллизии. Для оценки стоимости строительства на основе модели автоматизированно подготовлена ведомость объемов работ, что позволяет избежать ошибки при ручном подсчете и повысить скорость оценки стоимости работ.

На четвертом этапе после завершения пилотного проекта и накопления практики применения ТИМ компанией проведена ретроспектива и сформирован ТИМ-стандарт организации, в который включены требования заказчика к ИМ ОКС и регламент работы в СОД с учетом правок, выявленных на пилотном проекте. Положительную практику применения ТИМ решено масштабировать на последующие проекты.

В дальнейшем для повышения качества планирования организации строительства предполагается внедрение технологии Virtual Design and Construction (VDC) – виртуальное проектирование и строительство или 4D-моделирования.

Можно сделать выводы о целесообразности внедрения ТИМ в ГК Бетотек, поскольку это позволяет повысить наглядность проектных решений, скорость корректировки проектов, наладить взаимодействие участников проекта в единой информационной среде и удовлетворить требования законодательства. Использование 4D-модели повышает качество планирования работ, улучшает визуализацию строительства, дает возможность определить резервы и сократить сроки строительства объекта.

Литература

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

2. Кондратеня В.В., Кондратеня А.В., Окольникова Г.Э., Данилова Е.А. Проблематика внедрения инновационных технологий управления в строительстве // Системные технологии. 2020. № 4(37). С. 9–12. EDN: UKCSRX.

3. «В домике отсидеться не получится»: Минстрой России, ДОМ.РФ и застройщики оценили предлагаемые меры поддержки по переходу на ТИМ //

Единый ресурс застройщиков [электронный ресурс]. URL: https://erzrf.ru/news/v-domike-otsidetsya-ne-poluchitsya-minstroy-rossii-domrf-i-zastroyshchiki-otsenili-predlagayemyye-mery-podderzhki-po-perekhodu-na-tim?tag=BIM (дата обращения: 23.02.2023).

4. Применение ТИМ в жилищном строительстве. Технологии-информационного-моделирования [электронный ресурс]. URL: https://наш.дом.рф/технологии-информационного-моделирования (дата обращения: 23.02.2023).

5. Melnik A.A. Calculation of the strength of concrete in winter conditions on the basis of modeling heat exchange processes // Procedia Engineering International Conference on Industrial Engineering. 2017. Vol. 206. P. 831–835. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.10.559.

6. Макиша Е.В., Мочкин К.А. Состояние и перспективы применения систем проверки информационных моделей строительных объектов // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11, № 4. С. 6. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.4.6. EDN: PLCXYK.

7. Георгиев Н.Г., Шумилов К.А. О комплексном применении пакетов визуального программирования в BIM // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 106–112. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.013. EDN: ICKQVX.

УДК 658.512.6+004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.030

Романович Марина Александровна, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: m.romanovich.spbstu@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-1608-2883
Полюх Анастасия Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)
E-mail: polyuh.aa@gmail.com, ORCID: 0009-0002-4297-2943

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

ПРИМЕНЕНИЕ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЕКТАХ РЕКОНСТРУКЦИИ

APPLICATION OF 4D MODELING IN RECONSTRUCTION PROJECTS

Применение технологий информационного моделирования на разных стадиях жизненного цикла объектов капитального строительства получает все большее распространение. Однако, в проектах реконструкции такие технологии на данный момент практически не используются при том, что имеют ряд преимуществ. В статье представлена методика создания 4D-модели для реконструкции объекта выявленного культурного наследия. Разработан универсальный классификатор строительных конструкций, включающий в себя информацию о физическом износе элементов. Продемонстрировано применение разработанной методики в программах Autodesk Revit и Synchro 4D Pro. Выделены преимущества применения 4D-моделирования в проектах реконструкции над традиционными методами проектирования.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, 4D-моделирование, реконструкция, классификатор строительной информации.

Application of building information modeling at different stages of the life cycle of capital construction objects is becoming more and more widespread. However, such technologies are currently practically not used in reconstruction projects, despite the fact that they have a number of advantages. The article presents a methodology for creating a 4D model for the reconstruction of an object of identified cultural heritage. A universal classification system of building elements has been developed, which includes information on the physical wear of elements. The application of the developed methodology in

Autodesk Revit and Synchro 4D Pro programs is demonstrated. The advantages of using 4D modeling in reconstruction projects over traditional design methods are outlined.

Keywords: BIM, building information modeling, 4D modeling, reconstruction, classification system of building elements.

На данный момент все больше строительных организаций внедряют в свою работу технологии информационного моделирования зданий (ТИМ). Применение ТИМ на всех этапах жизненного цикла проекта повышает его эффективность и позволяет обеспечить его организационно-техническую надежность [1].

Использование ТИМ в организации свидетельствует о ее «цифровой зрелости». В ГОСТ Р 57363-2023[1] закреплено понятие «зрелость заказчика» – это «готовность организации к внедрению технологий информационного моделирования на различных стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного объекта». При этом, согласно Стратегии развития строительной отрасли и коммунального хозяйства РФ[2], к 2030 год должны быть получены разрешения на строительство не менее чем 30 % объектов, организация строительства которых была осуществлена с использованием технологий информационного моделирования.

Большое распространение получает технология 4D-моделирования объектов строительства – создание пространственно-временной модели для организации, контроля и управления процессом строительства [2]. Такая модель позволяет визуализировать строительный процесс с привязкой к календарному плану производства работ, что снижает вероятность ошибок и пространственно-временных коллизий, возможных при традиционном методе проектирования [3].

Однако, несмотря на растущую популярность использования 4D-моделирования для проектов организации строительства новых объектов, в проектах реконструкции такая технология на данный момент не применяется. При этом визуализация процесса реконструкции может повысить эффективность планирования и управления проектом [4]. Использование 4D-модели для организации и управления реконструкцией

[1] ГОСТ Р 57363-2023 Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика). URL: https://gostassistent.ru/doc/244e71d0-7ef6-4103-a708-4c0f13409825/ (дата обращения: 15.02.2024)

[2] Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года. URL: http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf (дата обращения: 15.02.2024)

позволит наглядно отслеживать процесс производства работ и производить качественный мониторинг и осуществлять план-фактный анализ на этапе реконструкции.

Целью проведенного исследования является разработка методики реконструкции объектов капитального строительства с использованием технологий 4D-моделирования. Для разработки проекта реконструкции за основу был взят объект выявленного культурного наследия «Мясокомбинат им. С.М. Кирова (с оградой и теплоэлектроцентралью)» (мясокомбинат «Самсон»), расположенный в Московском районе города Санкт-Петербург. Исходными данными являются архивные чертежи объекта и отчет об обследовании, произведенный специализированной организацией в 2016 году.

В основе разрабатываемой методики реконструкции лежит создание универсального классификатора строительной информации, содержащего данные не только о типе элемента, но и о его физическом износе. Внедрение такого классификатора на этапе создания трехмерной модели объекта ускорит процесс подсчета объемов работ, а его интеграция в календарный график будет способствовать ускорению и автоматизации процесса создания 4D-модели.

В работе за основу был взят классификатор UniFormat – система классификации строительных элементов, применяемая в США и Канаде для оценки объемов и экономических затрат. Система основывается на разделении элементов по их функциональному назначению и включает девять категорий [5]. Для создания классификатора для реконструируемых объектов были оставлены три из них: A – подземные конструкции, B – надземные конструкции и C – внутренние конструкции.

Информация о физическом износе элементов была добавлена в классификатор по следующему принципу: <код по классификатору UniFormat>.W<процент износа элемента> («W» – от английского «wear», износ). Например, колонна со степенью физического износа 60 % имеет код B1020.W60, а внутренняя кирпичная стена с износом в 100 % – код C1010.W100.

На основе материалов обследования мясокомбината «Самсон» в программе Autodesk Revit была создана 3D-модель объекта. Далее в модель был загружен файл с разработанным классификатором (рис. 1), после чего каждому элементу модели был присвоен код с информацией об износе.

Путем фильтрации элементов модели по кодам классификатора из программы Revit были получены объемы элементов в зависимости

от степени их износа, на основе чего был составлен перечень восстановительных работ, определена продолжительность работ по реконструкции и разработан календарный график в программе MS Project. Каждой работе в календарном графике был присвоен код по разработанному классификатору в соответствии с элементами, которые ей соответствуют.

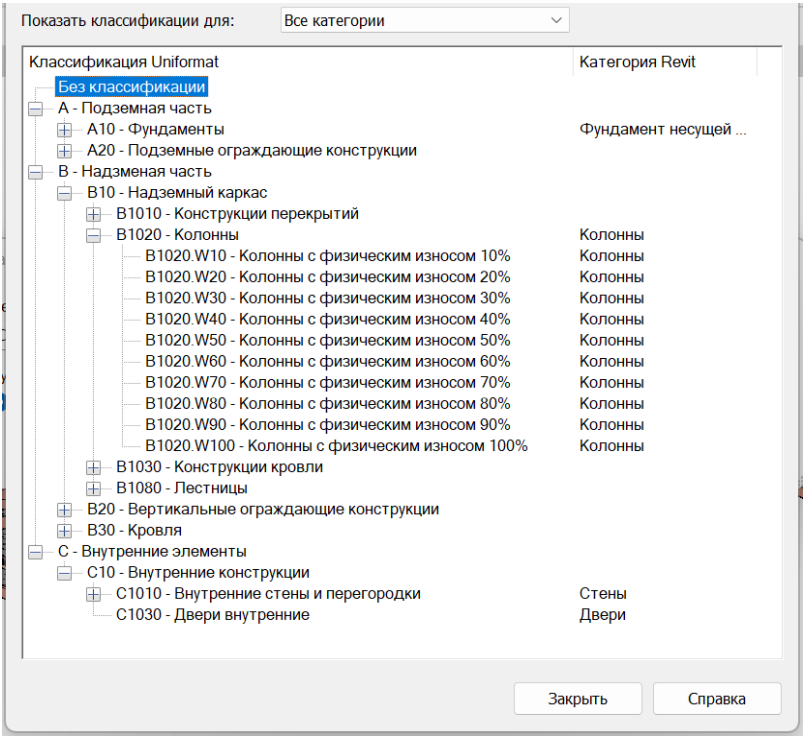


Рис. 1. Вид классификатора конструкций по степени физического износа в программе Autodesk Revit

Для создания 4D-модели была использована программа Synchro 4D Pro. После импорта 3D-модели и файла календарного графика все работы были назначены на соответствующие элементы путем автоматического сопоставления ресурсов с работами по кодам классификатора. С помощью использования пользовательских визуальных профилей создана визуализация процесса реконструкции объекта во времени (рис. 2).

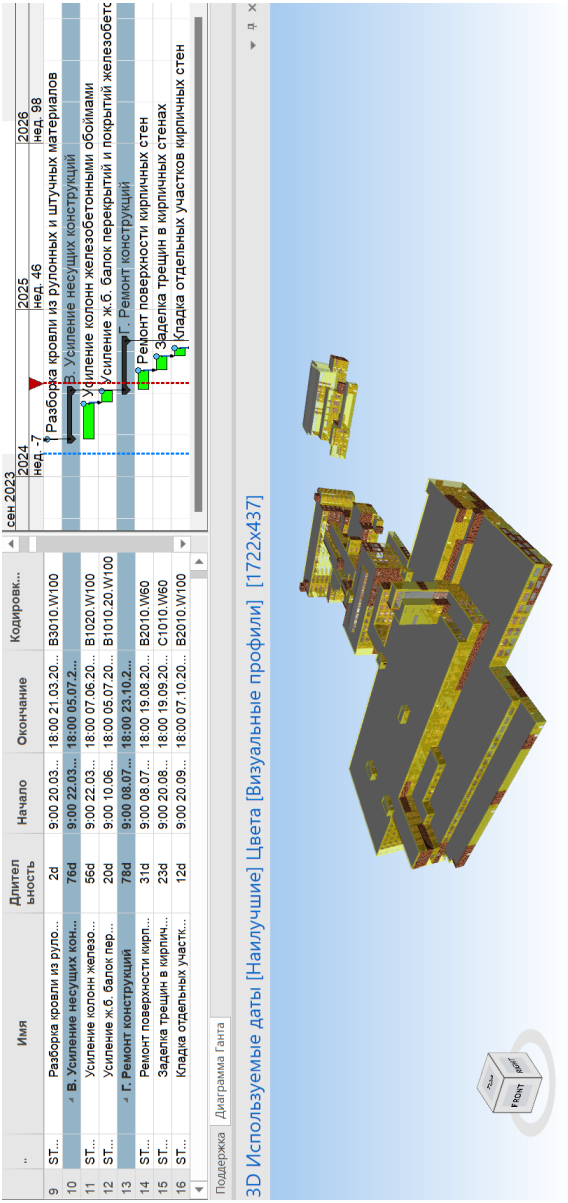


Рис. 2. 4D-модель реконструкции мясокомбината «Самсон»

С помощью 3D-фильтров можно настроить отображения элементов по различным свойствам: по типу 3D-элемента, по коду классификатора (рис. 3), по типу работ, назначенных на элемент (рис. 4). Такое визуальное отображение позволяет качественно оценить объемы работ и может быть использовано всеми участниками строительного процесса на всех этапах реконструкции.

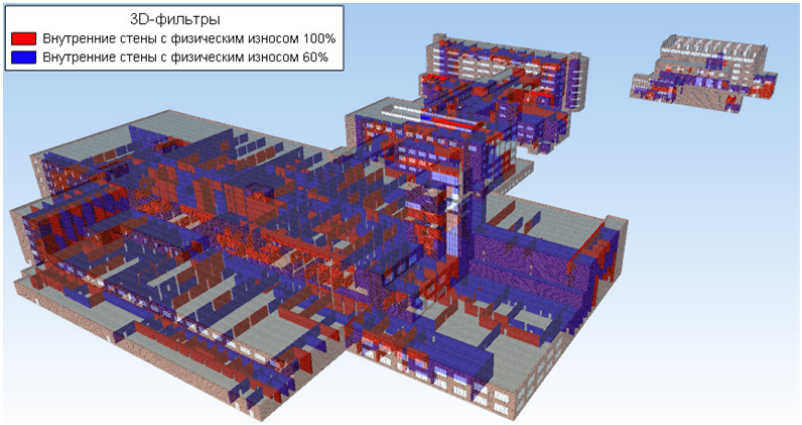


Рис. 3. Применение 3D-фильтра по пользовательским полям (код классификатора)

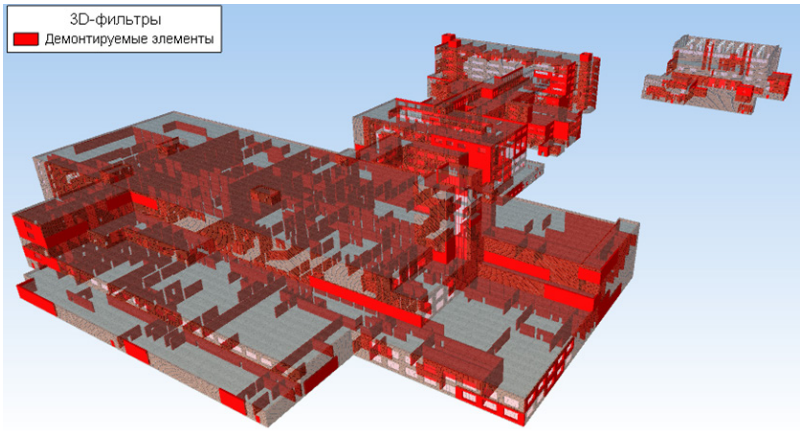


Рис. 4. Применение 3D-фильтра по фильтру работ (демонтаж)

Таким образом, применение технологии 4D-моделирования в проектах реконструкции позволит оптимизировать производственные процессы как на этапе организации и планирования работ, так и непосредственно на строительной площадке. Использование классификатора строительной информации способствует систематизации информации о текущем техническом состоянии элементов и их визуализации для более эффективного мониторинга процесса реконструкции.

Литература

1. Забегина А.Р. Роль и место технологий моделирования (ТИМ) в современном архитектурном проектировании // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2022. № 4. С. 42–48. DOI: 10.52470/2619046X_2022_4_42. EDN: BPFUIL.

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

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

4. Нечипорчук Я., Башкова Р. Краткий обзор 4D моделирования в строительстве // Архитектура. Строительство. Образование. 2020. № 1(15). С. 35–41. DOI: 10.18503/2309-7434-2020-1(15)-35-41. EDN: QOXTIE.

5. Петроченко М.В., Недвига П.Н., Кукина А.А., Шерстюк В.В. Классификация строительной информации в BIM с использованием алгоритмов искусственного интеллекта // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17, № 11. С. 1537–1550. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.11.1537-1550. EDN: JFYSSO.

УДК 69.009.1
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.000

Сербин Сергей Андреевич, главный специалист
(ГАУ СО «Управление государственной экспертизы»)
E-mail: s.serbin@egov66.ru, ORCID: 0000-0002-7795-1205
Архипович Мария Алексеевна, советник
(ГАУ СО «Управление государственной экспертизы»)
E-mail: m.arkhipovich@egov66.ru
Серёгина Наталья Юрьевна, начальник
(ГАУ СО «Управление государственной экспертизы»)
E-mail: n.seregina@egov66.ru

Serbin Sergey Andreevich, Main Specialist
(State Autonomous Institution “Office of State Expertise”)
Arkhipovich Maria Alekseevna, Advisor
(State Autonomous Institution “Office of State Expertise”)
Seregina Natalya Yurievna, Head
(State Autonomous Institution “Office of State Expertise”)

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ БЕЗ ДВУМЕРНЫХ ЧЕРТЕЖЕЙ – ПО ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

ASSESSING THE POSSIBILITY OF CONDUCTING AN EXPERTISE OF DESIGN DOCUMENTATION WITHOUT TWO-DIMENSIONAL DRAWINGS USING A BUILDING INFORMATION MODEL

Несмотря на законодательные инициативы, в России полноценному внедрению в процесс экспертизы технологий информационного моделирования препятствует одновременное наличие требований к формированию двумерного и трехмерного представления графической части проектной документации. Для решения проблемы авторы разработали схему пилотного проекта, реализация которого установит возможность проведения экспертизы проектной документации без двумерных чертежей по цифровой информационной модели. В ходе исследования была рассмотрена текущая схема проведения экспертизы проектной документации по двумерным чертежам, и была разработана схема проведения экспертизы проектной документации по цифровой информационной модели. На основе этих схем была создана схема пилотного проекта проведения экспертизы раздела «Архитектурные и объемно-планировочные решения» по цифровой

информационной модели, при анализе которой были установлены индикаторы успешности проведенного проекта, а также описаны выводы, к которым можно будет прийти при положительном или отрицательном исходе пилотного проекта.

Ключевые слова: экспертиза проектной документации, информационная модель объекта капитального строительства, цифровая информационная модель, технологии информационного моделирования, требования к информационному и геометрическому наполнению цифровой информационной модели, схема проведения экспертизы.

Despite legislative initiatives in Russia, the full implementation of building information modeling technologies in the examination process is hampered by the simultaneous presence of requirements for the formation of two-dimensional and three-dimensional representations of the graphic part of design documentation. To solve the problem, the authors developed a pilot project scheme, the implementation of which will establish the possibility of conducting an expertise of design documentation without two-dimensional drawings using a building information model. During the study, the current scheme for conducting the examination of design documentation based on two-dimensional drawings was reviewed, and a scheme for conducting the examination of design documentation using a building information model was developed. Based on these schemes, a pilot project scheme was created for conducting an expertise of the section “Architectural and space-planning solutions” using a building information model, during the analysis of which indicators of the success of the project were established, and the conclusions that could be reached in the event of a positive or negative outcome of pilot project were described.

Keywords: expertise of design documentation, information model of a capital construction asset, building information model, building information modeling technologies, requirements for information and geometric content of a building information model, expertise scheme.

В России внедрению информационного моделирования способствуют законодательные инициативы, в частности Градостроительный кодекс Российской Федерации[1], постановление Правительства Российской Федерации[2], свод правил[3]. Разработка и поддержание жизнеспособности информационной модели (ИМ) на протяжении жизненного цикла

[1] Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 01.05.2022).

[2] Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

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

объектов капитального строительства должно обеспечиваться заказчиком[1] в случаях, установленных постановлением Правительства Российской Федерации № 331[2]. На данный момент это необходимо при проектировании объектов, строительство и реконструкция которых финансируется с привлечением средств бюджетной системы РФ, а с 2024 года это будет обязательно и для объектов долевого строительства. Требования к составу и содержанию ИМ в постановлении Правительства Российской Федерации № 1431[3] (утратил силу в связи с истечением срока действия постановления) обязывали при разработке дополнять такую модель цифровой информационной моделью (ЦИМ)[4] по требованию заказчика. В рамках общих правил регулирования нормотворчества Федеральным законом №151-ФЗ[5] установлена возможность использования региональной нормативной базы правил формирования и ведения информационной модели, а также состава сведений, документов и материалов, подлежащих включению в информационную модель. На территории Свердловской области утверждены требования к формированию ЦИМ и ее наполнению в ТИМ-Стандарте[6].

---

[1] Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 01.05.2022).

[2] Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

[3] 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».

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

[5] Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 27.06.2019 N 151-ФЗ.

[6] Приказ Министерства строительства и развития инфраструктуры Свердловской области от 17.02.2023 №121-17 «Об утверждении Требований к подготовке проектной документации, содержащей материалы в форме информационной модели площадных объектов, финансирование строительства которых осуществляется с привлечением средств областного бюджета».

Учитывая текущее законодательство, в том числе проект постановления, подготовленный Минстроем России взамен утратившего силу[1], ПД, передаваемая заказчиком при заключении договора на проведение экспертизы, в некоторых случаях[2] предоставляется в форме ИМ, которая может включать в себя как ЦИМ, так и двумерную документацию. В этом случае эксперту нужно затратить большую трудоемкость: провести экспертизу двумерной документации, экспертизу ЦИМ, а также проверить их соответствие друг другу. Следует отметить, что нельзя брать за основу часть информации из одного представления, а другую часть из другого представления, не доказав при этом, что двумерное и трехмерное представление соответствуют друг другу. Например, если провести экспертизу по двумерным чертежам, то нельзя однозначно верить объемам работ, полученным из трехмерного представления, так как соответствие не было доказано. Такой подход не подразумевает экономию трудозатрат за счет применения ТИМ, так как не отменяет обработку данных двумерных чертежей.

Учитывая, что информационная модель – одна из возможных форм представления проектной документации в соответствии с действующим законодательством[3, 4], а единственный документ[4], регламентирующий состав и содержание разделов проектной документации, представляемой в соответствии с постановлением Правительства РФ № 145[5] на экспертизу,

---

[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] Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

[3] Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 01.05.2022)

[4] Постановление Правительства Российской Федерации от 16.02.2008 № 87 (ред. от 15.09.2023 г.) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

[5] Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 N 145 (ред. от 15.09.2023) «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

не адаптирован под трехмерные модели [1], большая часть экспертных организаций сформировала требования к разделам ПД, выполняемым в форме ЦИМ [2–4]. Однако при этом такие требования не являются обязательными для всех участников строительной отрасли и применяются добровольно. На сегодняшний день ни у одной экспертной организации нет реального опыта проведения экспертизы ПД без двумерного представления графической части даже одного раздела. Данный факт в совокупности с тем, что в соответствии с законодательством в некоторых случаях[1] могут одновременно существовать двумерное и трехмерное представление графической части ПД, сформировали устоявшееся мнение о том, что ЦИМ имеет второстепенную роль при проведении экспертизы, которое в свою очередь понижает востребованность в формировании ЦИМ на этапе разработки ПД. В то время как большинство застройщиков, ориентируясь на эффективность собственных процессов [5], выстроили внедрение таким образом, что первостепенная задача состоит в получении правильных спецификаций и ведомостей объемов работ, проектировщики и эксперты пытаются реализовать автоматизацию проверок нормативных документов с помощью технологий информационного моделирования [6–10]. При таком подходе большая часть современных исследований требований к ЦИМ находится на стыке потребностей всех участников и представляет собой исключительно поиск пересечений [11, 12] в ЦИМ. При этом провести экспертизу проектных решений с применением такой ЦИМ невозможно, а значит ее соответствие с проходящей экспертизу двумерной графической частью не проверено.

Для решения вышеизложенной проблемы авторы сформировали цель своего исследования: разработать схему пилотного проекта, реализация которого установит возможность проведения экспертизы проектной документации без двумерных чертежей по трехмерной модели.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) Описать текущую схему проведения экспертизы проектной документации по двумерным чертежам.

[1] Постановление Правительства Российской Федерации от 05.03.2021 № 331 «Об установлении случая, при котором застройщиком, техническим заказчиком, лицом, обеспечивающим или осуществляющим подготовку обоснования инвестиций, и (или) лицом, ответственным за эксплуатацию объекта капитального строительства, обеспечиваются формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства».

2) Сформировать схему проведения экспертизы проектной документации по цифровой информационной модели.

3) Разработать схему пилотного проекта на основании полученного алгоритма проведения экспертизы раздела «Архитектурные и объемно-планировочные решения» по цифровой информационной модели с учетом необходимости подтверждения достоверности результатов предстоящего проекта.

Рассмотрим схему проведения экспертизы на основании регламента ГАУ СО «Управление государственной экспертизы», применяемую для жилых объектов капитального строительства. Чертежи предоставляются в формате PDF, после чего в течение трех рабочих дней проходит процесс приемки документации, в рамках которого проверяется наличие всех необходимых документов по постановлению Правительства РФ № 145[1]. При успешном прохождении приемки запускается процесс заключения договора и оплаты, после которого ПД передается в экспертные отделы. Схема представлена на рис. 1.

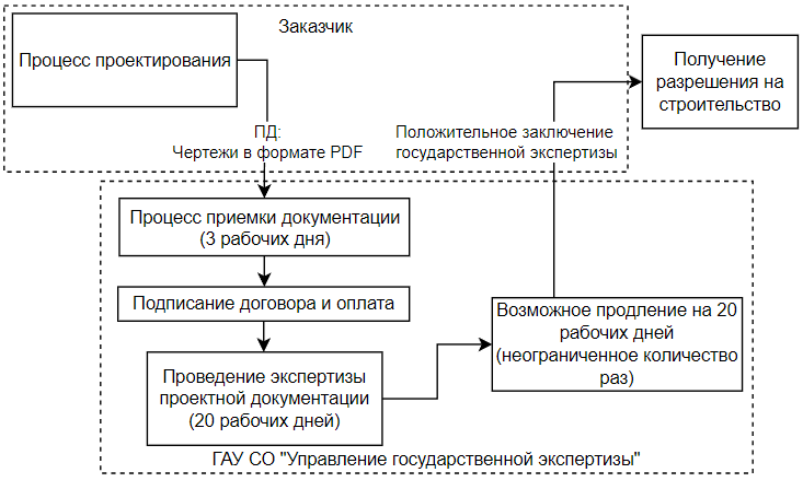


Рис. 1. Текущая схема проведения экспертизы ПД по двумерным чертежам

[1] Постановление Правительства РФ от 05.03.2007 N 145 (ред. от 15.09.2023) «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

При анализе схемы видно, что были совмещены процессы проведения входного контроля ЦИМ и приемки документации. Это необходимо, так как без проведенного входного контроля ЦИМ ТИМ-отделом (отделом по технологиям информационного моделирования) проведение экспертизы невозможно, и экспертам остается меньше времени на рассмотрение раздела, так как продолжительность проведения экспертизы регламентирована, а значит, в конечном итоге продолжительность может быть превышена. Совместить процессы приемки и входного контроля стало возможным благодаря проведению подготовительных работ по настройке проверок валидации и верификации модели и наличию унифицированных требований к ЦИМ.

Теперь рассмотрим схему проведения экспертизы ПД по ЦИМ. Она представлена на рис. 2.

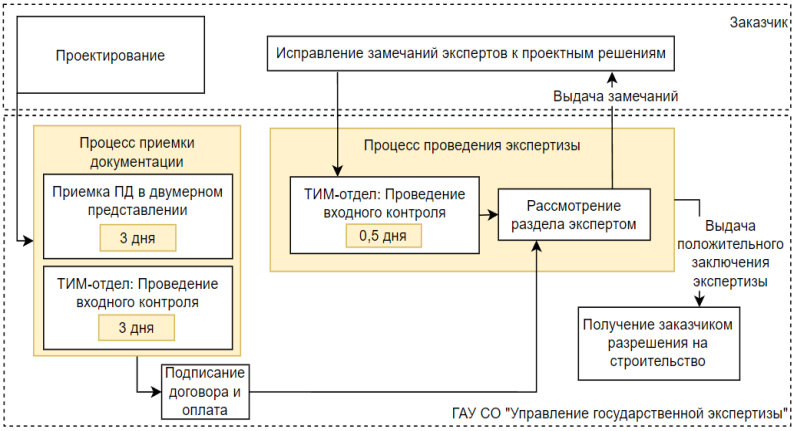


Рис. 2. Схема проведения экспертизы проектной документации по цифровой информационной модели.

Таким образом, в соответствии с прогнозом за счет заранее сформированных автоматизированных проверок валидации продолжительность процесса проведения экспертизы не будет превышена относительно схемы на рис. 1 за исключением дополнительного входного контроля ТИМ отделом при повторном рассмотрении доработанной версии ЦИМ.

На основании схемы на рис. 2 была разработана схема пилотного проекта проведения экспертизы без применения двумерной графической

части ПД раздела «Архитектурные и объемно-планировочные решения» с учетом подтверждения результатов. Схема представлена на рис. 3.

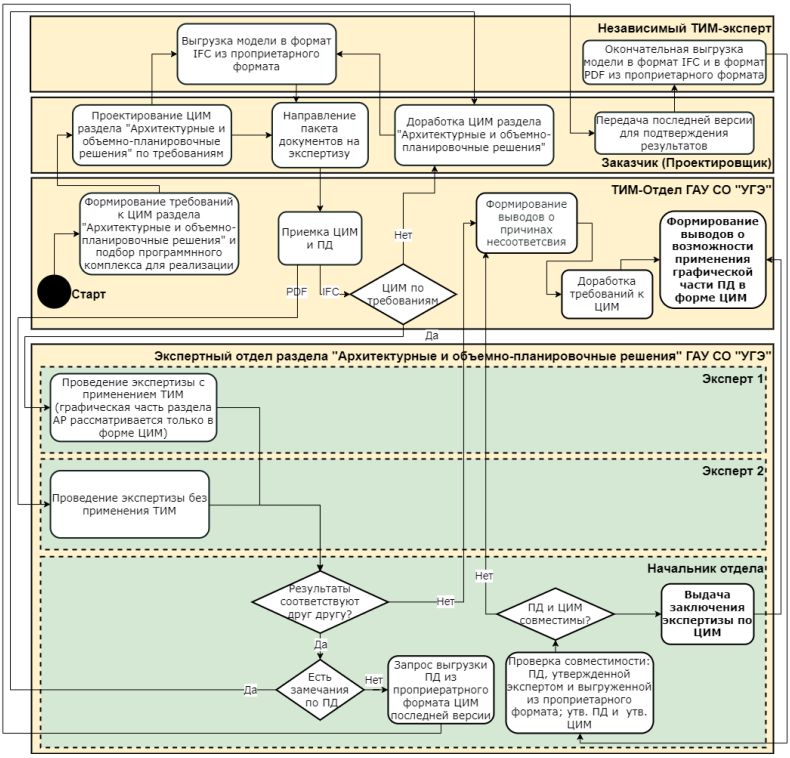


Рис. 3. Схема пилотного проекта проведения экспертизы раздела «Архитектурные и объемно-планировочные решения» по цифровой информационной модели

Пилотный проект начинается с формирования перечня требований к ЦИМ раздела «Архитектурных и объемно-планировочных решений» силами ТИМ-отдела ГАУ СО «Управление государственной экспертизы» (ГАУ СО «УГЭ»), а также подбора программного комплекса для реализации пилотного проекта. Далее, проектировщик выбранного раздела ПД по сформированным требованиям моделирует ЦИМ и передает ее в проприетарном формате независимой организации, компетентной в области

ТИМ, которая производит выгрузку в формат IFC по рекомендациям проектировщика и передает полученные форматы заказчику, который в свою очередь направляет пакет документов, в том числе графическую часть в формате PDF и ЦИМ в формате IFC в ГАУ СО «УГЭ». ЦИМ проходит сначала входной контроль ТИМ-отдела, затем Эксперт 1 проводит проверку выполнения требований нормативной документации (процесс экспертизы). Подтверждение результатов экспертизы ЦИМ происходит с помощью рассмотрения графической части ПД в формате PDF выбранного раздела ПД другим экспертом (Эксперт 2) одновременно с Экспертом 1. Начальник экспертного отдела аккумулирует замечания, выданные экспертами (при их наличии), анализирует их и делает вывод об их согласованности. Далее происходит доработка ЦИМ проектировщиком по замечаниям, повторная выгрузка IFC и PDF, а также повторная проверка экспертным отделом. В момент, когда все замечания будут устранены, ГАУ СО «УГЭ» запрашивает окончательную выгрузку PDF и IFC, которую производит независимая организация из последней версии ЦИМ в проприетарном формате для проверки совместимости проверенных графических представлений.

Об успешности проведенного проекта будут сигнализировать следующие индикаторы:

1) Замечания (при их наличии), полученные экспертом по двумерному представлению графической части и по ЦИМ, совпадают.

2) При окончательной проверке соответствия будет подтверждено соответствие двумерного представления графической части и ЦИМ (чертежи получены из ЦИМ).

3) Сроки проведения экспертизы при применении ЦИМ не будут значительно превышены.

При выполнении условий вышеизложенных пунктов можно будет сделать вывод о возможности проведения экспертизы раздела «Архитектурных и объемно-планировочных решений» только по ЦИМ без применения двумерной документации. Невыполнение одного из пунктов может произойти по одной из следующих причин:

1) Выбранный программный комплекс не обладает нужным функционалом для проведения экспертизы по ЦИМ (программный комплекс подобран неправильно или отраслевой рынок программных продуктов не готов к проведению экспертизы по ЦИМ).

2) Сроки экспертизы по ЦИМ будут значительно превышены, что окажется неприемлемым для заказчиков.

3) Разработанные требования к ЦИМ не достаточны для проведения экспертизы без применения двумерной документации.

Таким образом, реализация пилотного проекта по разработанной схеме (рис. 3) позволит установить возможность проведения экспертизы раздела «Архитектурных и объемно-планировочных решений» только по ЦИМ без применения двумерной документации, либо определить причины отсутствия такой возможности.

Литература

1. Сербин С.А., Серегина Н.Ю., Фомин Н.И. Анализ текущей нормативной документации по отношению к технологиям информационного моделирования // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2022. № 6(61). С. 18–21. EDN: MRIXCL.

2. Требования к трехмерной модели архитектурных решений для прохождения экспертизы при использовании технологий информационного моделирования. ГАУ СО «Управление государственной экспертизы». URL: https://tim.expert-so.ru/ (дата обращения: 01.03.2024).

3. Требования к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства, представляемым для проведения экспертизы. «Центр Государственной Экспертизы» (СПб ГАУ «ЦГЭ»). URL: https://www.spbexp.ru/upload/iblock/906/trebovaniya_k_tsim_redkatsiya_18_06_2020.pdf (дата обращения: 01.03.2024).

4. Требования к информационным моделям объектов капитального строительства. Московская Государственная Экспертиза. URL: https://www.mos.ru/upload/documents/files/6083/04_TrebovaniyakCIMIOS_41.pdf (дата обращения: 01.03.2024).

5. Лушников А.С. Обеспечение качества, стоимости и сроков реализации инвестиционно-строительных проектов на основе внедрения информационного моделирования: дисс. на соиск. уч. степ. канд. экон. наук. Спец. 08.00.05. СПб.: СПбГАСУ, 2019. 157 с. EDN: KTURFZ.

6. Ланкина Ю.А. Оценка эффективности внедрения BIM модели в процесс экспертизы проектной документации // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: Матер. Всеросс. научно-техн. конф. Саранск: МГУ им. Н.П. Огарёва, 2016. С. 71–74. EDN: XYFRHN.

7. Гуро Д.Т. Разработка рекомендаций по эффективному внедрению в институт государственной строительной экспертизы технологий информационного моделирования // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее: Сб. науч. статей по матер. Всеросс. научно-практ. конф. Красноярск: СФУ, 2022. С. 113–117. EDN: AEVSCX.

8. Shilov L., Evtushenko S., Archipov D., Shilova L. The prospects of information technology using for the analysis of industrial building defects // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030. P. 012039. DOI: 10.1088/1757-899X/1030/1/012039. EDN: MCKZLG.

9. Шологин С.А., Ильичев Д.С. BIM – как новый способ прохождения экспертизы // Дни студенческой науки: Сб. докл. научно-техн. конф. по итогам НИР студентов института экономики, управления и информационных систем в строительстве и недвижимости НИУ МГСУ. М.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. С. 725–729. EDN: WJAAXO.

10. Бурцев И.Г., Фоменкова А.И. Совершенствование методов экспертизы проектов строительства с помощью BIM-технологий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: Сб. статей 77-ой всеросс. научно-техн. конф. Под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, В.Ю. Алпатова. Самара: СамГТУ, 2020. С. 389–392. EDN: JGVBFV.

11. Макиша Е.В., Семенова К.С. Подготовка файлов информационных моделей для передачи в программы выявления коллизий // Строительное производство. 2022. № 4. С. 73–80. DOI: 10.54950/26585340_2022_4_7. EDN: TAEXCY.

12. Макиша Е.В., Мочкин К.А. Состояние и перспективы применения систем проверки информационных моделей строительных объектов // Строительство: наука и образование. 2021. Т. 11, № 4. С. 70–86. DOI: 10.22227/2305-5502.2021.4.6. EDN: PLCXYK.

УДК 628.87+004.772
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.032

Степанов Иван Олегович, студент
(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: stepoooo98@gmail.com
Крайнов Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент
(Казанский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3074-9090

Stepanov Ivan Olegovich, student
(Kazan State University of Architecture and Engineering)
Kraynov Dmitriy Vladimirovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Kazan State University of Architecture and Engineering)

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЯ

APPLICATION OF DIGITAL TWIN AT THE STAGE OF OPERATION BUILDING

Постановка задачи. Информационное моделирование активно применяется на стадии проектирования и строительства, генерируя большой объем информации об объекте. На этапе эксплуатации эта информация почти не используется, хотя эксплуатационным службам она необходима для принятия эффективных решений, это и стало причиной особого внимания к данной теме. *Целью* исследования является разработка цифрового двойника на примере зданий кампуса КГАСУ. Для достижения поставленной цели решаются следующие *задачи*: описание технологии цифрового двойника и анализ его применения на стадии эксплуатации здания, разработка метода передачи данных о температуре и влажности внутреннего воздуха в информационную модель учебной аудитории центра Системы. *Результаты*. В работе проведен анализ применения цифрового двойника для решения задача эксплуатации и разработан метод мониторинга микроклимата в учебной аудитории центра Системы с передачей данных в информационную модель.

Ключевые слова: цифровой двойник, эксплуатация здания, технология информационного моделирования, интернет вещей.

Problem statement. Information modeling is actively used at the design and construction stage, generating a large amount of information about the object. At the operational stage, this information is almost not used, although operational services need it to make effective decisions, which is the reason for special attention to this topic. The purpose of the study is to develop a digital twin using the example of buildings on the KSUAE campus. To achieve this goal, the following tasks are solved: description of

digital twin technology and analysis of its application at the stage of building operation, development of a method for transmitting data on temperature and humidity of internal air to the information model of the classroom of the Systems center. *Results.* The work analyzed the use of a digital twin to solve an operational problem and developed a method for monitoring the microclimate in the classroom of the Systems center with data transfer to an information model.

Keywords: digital twin, building operation, information modeling technology, Internet of things.

Проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция (ремонт) и стадия сноса здания являются основными этапами жизненного цикла объекта капитального строительства (ОКС). В настоящее время на каждом этапе наблюдается различная степень внедрения информационных технологий [1].

На стадии проектирования для получения проектно-сметной документации активно используются системы автоматизированного проектирования (САПР) и технология информационного моделирования (ТИМ). На этапе строительства информационные технологии применяются в меньшей степени и в основном для решения определённых задач отдела капитального строительства [2–5]. А на этапе эксплуатации информационные технологии практически не используются [6], именно это факт стал причиной особого внимания к этой теме.

На стадии эксплуатации необходимо эффективно управлять зданием, своевременно обслуживать техническое оборудование, контролировать износ конструкций, отслеживать динамические характеристики здания и быстро реагировать на чрезвычайные ситуации. Для решения этих задач возможно использование цифровой информационной модели (ЦИМ). Однако, только ЦИМ будет недостаточно по причине того, что она предоставляет лишь статические данные созданного физического объекта, что ограничивает возможности ее применения на стадии эксплуатации.

Вследствие стремительного развития технологий передачи информации в режиме реального времени с датчиков, расположенных на физическом объекте, активно стала развиваться технология цифрового двойника, в которой ЦИМ является одним из основных элементов.

На сегодняшний день исследования технологии цифровых двойников находятся на начальной стадии и имеют тесную связь с технологиями информационного моделирования и умного дома (умного города) [7–9].

Для решения задачи мониторинга микроклимата в помещении авторы применили цифровой двойник для дистанционного обучения беспроводных сенсорных сетей с целью повышения энергоэффективности

системы мониторинга микроклимата [10, 11]. Подход по проверке и калибровке цифрового двойника на примере лучистого отопления описан в [12]. Цифровые двойники применяются для управления отоплением и вентиляцией университетского здания [13], а также теплоснабжением с целью снижения финансовых затрат при сохранении высокого уровня теплового комфорта [14], для решения задачи прогнозирования профилактического обслуживания вентиляционного и промышленного оборудования [15–18].

Как было сказано выше, одной из задач на стадии эксплуатации является эффективное управление зданием. Для решение этой задачи в исследовании [19] была предложена платформа для комплексного сбора исторических данных, а также получения данных в режиме реальном времени, на основе которых алгоритмы искусственного интеллекта поддерживают техническое обслуживание здания, позволяя достичь оптимизации энергоэффективности. Цифровой двойник используется для создания интеллектуальной системы оптимизации и автоматизации управления электроэнергией в жилых районах города [20]. Результаты мониторинга в реальном времени на основе цифровых двойников могут преодолеть разрыв между проектными энергетическими характеристиками и фактическими характеристиками здания [21].

На основе проведенного анализа работ и исследований в области применения цифровых двойников, а также развитием проекта «Умный город», направленного на формирование эффективной системы управления городским хозяйством, можно сделать вывод, что выбранная тема является актуальной. Целью данной работы выбрана разработка цифрового двойника зданий кампуса КГАСУ для решения задач эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

– описание технологии цифрового двойника и анализ его применения на стадии эксплуатации здания;

– разработка метода передачи данных о температуре и влажности внутреннего воздуха в информационную модель учебной аудитории центра Системы.

В данной работе цифровой двойник понимается как набор параметризованных цифровых моделей, интегрированных в общий алгоритм управления объектом, с использованием внешних данных, полученных с датчиков и оборудования здания в режиме реального времени. В данной статье разработан метод мониторинга микроклимата в учебной аудитории учебного центра Системы с передачей полученных данных в информационную модель. Цифровой двойник состоит из трех базовых уровней (рис. 1).

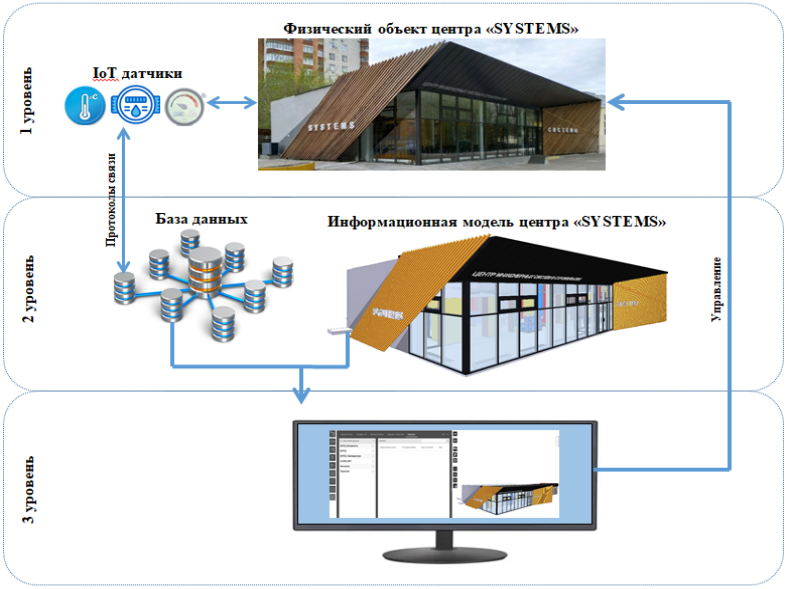


Рис. 1. Концепция цифрового двойника здания на примере центра SYSTEMS

Первый уровень осуществляет сбор информации при помощи умных датчиков, расположенных в здании.

Второй уровень хранит информационную модель здания и динамическую базу данных (БД), в которую при помощи протоколов связи поступает информация с датчиков. Стандартные протоколы передачи данных обеспечивают двунаправленный поток обмена информацией между физическим и цифровым объектом.

Третий уровень объединяет информационную модель и базу данных при помощи Web-интерфейса. Здесь же осуществляется анализ, прогнозирование и управления зданием.

В рамках представленной работы на первом уровне для сбора информации о параметрах воздуха был разработан датчик, который состоит из измерительного устройства и платы со встроенным WiFi модулем, при помощи которого осуществляется выход в интернет и передача данных (рис. 2).

Измеренные значения температуры и относительной влажности воздуха при помощи встроенного WiFi модуля передаются по протоколу MQTT в облачную базу данных (рис. 3).

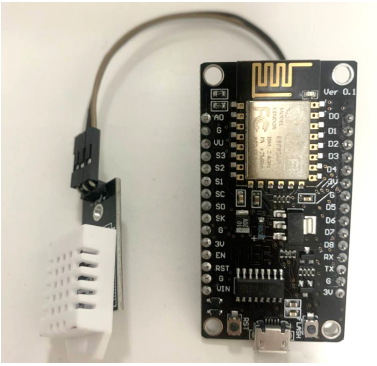


Рис. 2. Прототип датчика температуры и влажности

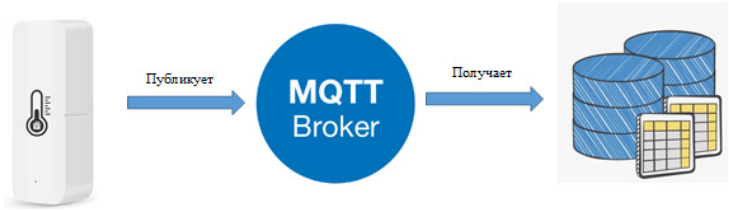


Рис. 3. Схема передачи данных по MQTT-протоколу

На втором уровне в рамках данной работы использовалась информационная модель учебной аудитории центра Системы, которая отражает геометрические характеристики объекта (рис. 4). Также была развернута SQL база данных на облачном сервере, в которую с периодичностью 5 минут поступает информация о текущей температуре и влажности воздуха в учебной аудитории. В дальнейшем цифровой двойник датчика при помощи SQL-запросов будет получать информацию и записывать ее в свои свойства.

На третьем уровне при помощи Web-сервиса осуществлено создание структуры зданий кампуса КГАСУ, их архитектурно-строительных конструкций и инженерных систем, загрузка разработанных трехмерных информационных моделей, а также подключение каналов передачи данных о параметрах микроклимата воздуха в учебной аудитории центра Системы (рис. 5).

На основе переданной информации, хранящейся в БД, были визуализированы изменения параметров микроклимата в учебной аудитории и представлены в виде графиков (рис. 6).

Рис. 4. Информационная модель учебной аудитории центра Системы

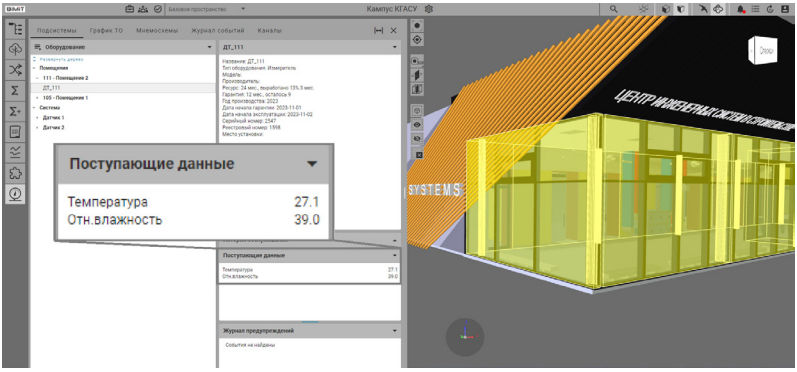


Рис. 5. Отображение параметров микроклимата с привязкой к информационной модели в среде общих данных BIMIT

Рис. 6. Графики изменения температуры и влажности в учебной аудитории

Таким образом, в данной статье был рассмотрен цифровой двойник кампуса КГАСУ, на примере мониторинга микроклимата в учебной аудитории центра Системы. Данный пример цифрового двойника решает одну из задач на стадии эксплуатации здания, а именно: отслеживание динамических характеристик с дальнейшей возможностью реагирования при изменении показаний.

Перспективой развития данной темы является разработка механизма дистанционного доступа и управления лабораторными стендами и инженерными системами при помощи технологии цифрового двойника, а также масштабирование применения приборов контроля за различными параметрами микроклимата в помещениях кампуса КГАСУ, что станет основой для эффективного управления зданиями в процессе эксплуатации.

Литература

1. Технологии информационного моделирования // наш.дом.рф: ежедн. интернет-изд: 2024. URL: https://наш.дом.рф/технологии-информационного-моделирования (дата обращения: 28.02.2024).

2. Вайсман С.М., Байбурин А.Х. Разработка организационно-технологических решений в строительстве с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ) // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2016. Т. 16, № 4. С. 21–28. DOI: 10.14529/build160404. EDN: XBDEYJ.

3. Пашин Д.А., Колосов И.Л., Якушев Н.М. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2023. Т. 19, № 4. С. 24–31. DOI: 10.22213/2618-9763-2023-4-24-31. EDN: SEANFJ.

4. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченкова В.П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия наук. 2017. № 10. С. 529–529. EDN: YLPAZJ.

5. Постинов К.В. Применение BIM-технологий в процессах управления проектными организациями // Научное обозрение. 2015. № 18. С. 367–371. EDN: UWOOOP.

6. Содис лаб – ежедн. интернет-изд. 2024. URL: https://www.sodislab.com/ru (дата обращения: 28.02.2024).

7. Van Der Valk H., Haße H., Möller F., Otto B. Archetypes of Digital Twins // Business & Information Systems Engineering. 2022. Vol. 64, No. 3. P. 375–391. DOI: 10.1007/s12599-021-00727-7.

8. Van Nederveen G.A., Tolman F.P. Modelling multiple views on buildings // Automation in Construction. 1992. Vol. 1, No. 3. P. 215–224. DOI: 10.1016/0926-5805(92)90014-B.

9. Deng M., Menassa C.C., Kamat V.R. From BIM to digital twins: a systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry // Journal of Information Technology in Construction. 2021. Vol. 26. P. 58–83. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.005.

10. Zaballos A., Briones A., Massa A., Centelles P., Caballero V. A Smart Campus' Digital Twin for Sustainable Comfort Monitoring // Sustainability. 2020. Vol. 12, No. 21. P. 9196. DOI: 10.3390/su12219196.

11. Clausen A., Arendt K., Johansen A., Sangogboye F.C., Kjærgaard M.B., Veje C.T., Jørgensen B.N. A digital twin framework for improving energy efficiency and occupant comfort in public and commercial buildings // Energy Informatics. 2021. Vol. 4, No. S2. P. 40. DOI: 10.1186/s42162-021-00153-9.

12. Bortolini R., Rodrigues R., Alavi H., Vecchia L.F.D., Forcada N. Digital Twins' Applications for Building Energy Efficiency: A Review // Energies. 2022. Vol. 15, No. 19. P. 7002. DOI: 10.3390/en15197002.

13. Marzouk M., Abdelaty A. Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling // Energy and Buildings. 2014. Vol. 84. P. 252–257. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.08.006.

14. Zakharov A., Romazanov A., Shirokikh A., Zakharova I. Intellectual Data Analysis System of Building Temperature Mode Monitoring // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). Sochi, Russia: IEEE, 2019. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867611.

15. Vering C., Mehrfeld P., Nürenberg M., Coakley D., Lauster M., Müller D. Unlocking Potentials of Building Energy Systems' Operational Efficiency: Application of Digital Twin Design for HVAC systems. Rome, Italy. P. 1304–1310. DOI: 10.26868/25222708.2019.210257.

16. Жабицкий М.Г., Ожерельев С.А., Тихомиров Г.В. Концепция комплексного цифрового двойника сложного инженерного объекта на примере исследовательского реактора НИЯУ МИФИ // International Journal of Open Information Technologies. 2021. Т. 9, № 8. С. 43–51. EDN: FHDULM.

17. Blume C., Blume S., Thiede S., Herrmann C. Data-Driven Digital Twins for Technical Building Services Operation in Factories: A Cooling Tower Case Study // Journal of Manufacturing and Materials Processing. 2020. Vol. 4, No. 4. P. 97. DOI: 10.3390/jmmp4040097.

18. Hosamo H.H., Svennevig P.R., Svidt K., Han D., Nielsen H.K. A Digital Twin predictive maintenance framework of air handling units based on automatic fault detection and diagnostics // Energy and Buildings. 2022. Vol. 261. P. 111988. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.111988.

19. Ni Z., Eriksson P., Liu Y., Karlsson M., Gong S. Improving energy efficiency while preserving historic buildings with digital twins and artificial intelligence // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 863, No. 1. P. 012041. DOI: 10.1088/1755-1315/863/1/012041.

20. Agostinelli S., Cumo F., Guidi G., Tomazzoli C. The Potential of Digital Twin Model Integrated with Artificial Intelligence Systems // 2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). Madrid, Spain: IEEE, 2020. DOI: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope49358.2020.9160810.

21. Francisco A., Mohammadi N., Taylor J.E. Smart City Digital Twin–Enabled Energy Management: Toward Real-Time Urban Building Energy Benchmarking // Journal of Management in Engineering. 2020. Vol. 36, No. 2. P. 04019045. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000741.

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, ВЛАДЕЮЩИХ ТИМ (BIM)

УДК 004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.033

Дусалимов Марсель Эдуардович, канд. техн. наук, доцент
(Уфимский государственный нефтяной технический университет)
E-mail: marsst@list.ru, ORCID: 0000-0002-4037-6489
Кулешов Андрей Ильдарович, аспирант
(Уфимский государственный нефтяной технический университет)
E-mail: kuleshov.stftt@mail.ru
Мусина Диана Рафаиловна, аспирант
(Уфимский государственный нефтяной технический университет)
E-mail: musidiana.st@gmail.com

Dusalimov Marsel Eduardovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Ufa State Petroleum Technological University)
Kuleshov Andrey Ildarovich, postgraduate student
(Ufa State Petroleum Technological University)
Musina Diana Rafailovna, postgraduate student
(Ufa State Petroleum Technological University)

ПОДГОТОВКА ТИМ-СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

TRAINING OF BIM SPECIALISTS FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

На сегодняшний день происходит стремительное развитие и внедрение технологий информационного моделирования в процессы строительства. Однако большая часть применения ТИМ наблюдается в сфере гражданского строительства. Для нефтяной и газовой промышленности применение ТИМ является новым направлением, требующим особого внимания, так как производится проектирование и строительство опасных производственных объектов. В статье рассматривается опыт подготовки бакалавров направления 21.03.01 Нефтегазовое дело, соответствующих уровню квалификации 6, а также магистрантов направления 21.04.01 Нефтегазовое дело – уровень квалификации 7. Приведена концепция внедрения проектного междисциплинарного обучения в Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ), так как при реализации проектов от специалистов требуется коллективное принятие решений и командная работа.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, проектное обучение, междисциплинарная подготовка, проектирование, цифровизация, профессиональный стандарт.

Today there is a rapid development and implementation of information modeling technologies in construction processes. However, most of the application of BIM is observed in the field of civil engineering. For the oil and gas industry the application of BIM is a new area that requires special attention, since the design and construction of hazardous production facilities. The article deals with the experience of training of bachelors of the direction 21.03.01 Petroleum Engineering, corresponding to the qualification level 6, as well as masters of the direction 21.04.01 Petroleum Engineering - qualification level 7. The concept of project-based interdisciplinary training implementation in Ufa State Petroleum Technological University (USPTU) is given, since specialists are required to make collective decision-making and teamwork when implementing projects.

Keywords: information modeling technologies, project-based learning, multidisciplinary training, design, digitalization, professional standard.

В современном мире информационное моделирование в строительстве играет ключевую роль в повышении эффективности проектирования, строительства и эксплуатации объектов.

На сегодняшний день в нефтегазовой отрасли происходит переход от двухмерного проектирования к проектированию с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ) [1]. Многие нефтегазовые компании активно внедряют программные продукты для создания информационных моделей [2]. Однако, для работы в данных программных комплексах требуются специалисты, владеющие инструментами трехмерного информационного моделирования [3–5].

Внедрение в учебный процесс дисциплин, связанных с технологиями информационного моделирования, а также специализированных программных комплексов по информационному моделированию является актуальной задачей, так как будущий выпускник будет более востребованным специалистом по окончании обучения в вузе.

Для успешного выполнения профессиональных задач специалисты в данной области должны обладать навыками работы с современными программными комплексами, такими как Model Studio CS («СиСофт Девелопмент»), которое наиболее близко подходит для решения задач по проектированию объекта капитального строительства в нефтегазовой отрасли с применением технологии информационного моделирования.

Целью работы является разработка концепции внедрения технологии информационного моделирования в учебный процесс в Уфимском государственном нефтяном техническом университете.

В рамках подготовки студентов по направлению 21.03.01 Нефтегазовое дело знакомство с основами информационного моделирования и ПК Model Studio CS начинается со второго курса бакалавриата на дисциплине «Системы автоматизированного проектирования». На последующих курсах студенты могут углубить свои знания и навыки, используя Model Studio CS и его модули, такие как Model Studio CS Строительные решения, Model Studio CS Трубопровод, CADLib Модель и Архив для выполнения курсовых проектов по различным дисциплинам, таким как «Строительные конструкции», «Организация проектирования объектов нефтегазовой отрасли», «Строительство площадочных объектов нефтегазовой отрасли» и другим.

На выпускном курсе студентов ожидает проектная мастерская «Разработка информационной модели объектов нефтяной и газовой промышленности», которая станет ключевым этапом их обучения и позволит им применить полученные знания на практике. Разработанный проект в рамках проектной мастерской может в дальнейшем быть использован при защите выпускной квалификационной работы.

Согласно Профстандарту 16.151 «Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве», после получения шестого уровня квалификации, выпускники смогут претендовать на такие востребованные вакансии, как ТИМ-проектировщик и ТИМ-координатор, с последующим ростом до ТИМ-менеджера, после получения седьмого уровня квалификации в магистратуре.

Программный комплекс Model Studio CS, являющийся перспективным в плане импортозамещения, все больше набирает популярность среди крупных проектных организаций, что делает его знание еще более актуальным для будущих специалистов. Таким образом, обучение студентов основам информационного моделирования на примере программного комплекса Model Studio CS на протяжении всего периода обучения является необходимым для подготовки квалифицированных специалистов, способных успешно работать в сфере строительства и проектирования объектов нефтегазовой отрасли и систем трубопроводного транспорта.

Достижение седьмого квалификационного уровня позволяет специалисту стать ТИМ-менеджером, который в свою очередь отвечает за координацию и управление ТИМ-процессами в рамках проекта или организации. Для достижения седьмого квалификационно уровня необходим не менее трехлетний опыт работы в сфере информационно моделирования в строительстве или управления инвестиционно-строительными проектами, а также наличие профильного образования не ниже магистратуры.

В рамках магистратуры по профилю 21.04.01 Нефтегазовое дело реализуется программа подготовки магистрантов «Информационное моделирование в проектировании и строительстве». Предполагается, что специалист, пришедший в магистратуру по указанной специальности, уже владеет базовыми навыками работы в специализированном программном обеспечении с бакалавриата, таком как Model Studio CS и его компонентах. В связи с этим, он обучается таким компетенциям, как управление проектами в трубопроводном строительстве и в строительстве в целом, автоматизированное проектирование объектов строительства с использованием технологий информационного моделирования, организация информационного моделирования в инвестиционном строительном проекте, в рамках которых приобретает навыки организации проектирования, создания и администрирования единого информационного пространства, а также навыки организации работы отдела.

Для получения навыков по организации работы группы людей, организации единого рабочего и информационного пространства, практикуется выполнение магистрантами самостоятельных заданий в группах с четко определенными ролями, где у каждого члена группы свои четко разграниченные обязанности. Реализовывать данный формат обучения позволяет уже упомянутый программный комплекс Model Studio CS, где каждый член команды выполняет свою часть в конкретном модуле. Как пример, один член команды создает проект в Model Studio CADLib Архив и Модель, другой создает основу для проектирования необходимых зданий, задавая рельеф, координационные сетки Model Studio Генплан. Третий выполняет проектирование зданий, которые привязываются к созданным координационным сетям и так далее.

По окончанию обучения в магистратуре, выпускник является специалистом, овладевшим профессиональными компетенциями организации информационного моделировании при проектировании, необходимыми знаниями нормативно-технической документации в сфере проектирования и строительства нефтегазовых объектов, а также нормативными документами, регламентирующими применение технологии информационного моделирования в строительстве.

Реализация проектов для нефтяной и газовой промышленности с применением ТИМ предполагает выполнение работ специалистами разного профессионального профиля. Подготовка ТИМ-специалистов в вузах имеет огромное значение, так как запрос на таких специалистов от профильных организаций с каждым годом возрастает.

Для повышения качества обучения необходимо вводить междисциплинарную подготовку студентов в рамках различных направлений подготовки с целью обучения студентов в реальной проектной среде.

В данном случае возникает ряд проблем, которые могут препятствовать реализации междисциплинарной подготовки студентов:

– обучение с применением технологии информационного моделирования проводится не на всех факультетах;

– трудности в освоении ТИМ другими направлениями подготовки;

– необходимость перехода с иностранного ПО на отечественные программные продукты.

На сегодняшний день в УГНТУ обучение с применением ТИМ в УГНТУ производится лишь на трех направлениях: 07.03.01 Архитектура, 08.03.01 Строительство, 21.03.01 Нефтегазовое дело.

Для комплексного выполнения разделов проектирования необходимо добавить изучение ТИМ в направления: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств. Внутри данных направлениях возникают трудности с освоением ТИМ, так как необходимо вводить дополнительные дисциплины по изучению ТИМ.

В рамках вводимого проекта междисциплинарной подготовки студентов разработана дополнительная профессиональная программа «Специалист по информационному моделированию объектов капитального строительства», целью которой является:

– получение компетенции в области технологий информационного моделирования;

– получение навыков работы в специализированном программном обеспечении для информационного трехмерного проектирования Model Studio CS.

Данная программа будет реализована для студентов 3 курса бакалавриата.

Программа профессиональной переподготовки студентов УГНТУ представлена в таблице.

Освоение программы профессиональной переподготовки позволит студентам выполнять в дальнейшем междисциплинарные курсовые проекты в рамках проектного обучения и комплексные выпускные квалификационные работ.

Подводя итоги, можно отметить следующее. Необходимо комплексно подходить к подготовке ТИМ-специалиста, так как сама идеология ТИМ заключается в междисциплинарном взаимодействии между различными

участниками строительства, а это невозможно осуществить без взаимодействия между различными кафедрами вуза.

Программа дополнительной профессиональной переподготовки студентов УГНТУ

№	Наименование раздела	Семестр	Код направления подготовки
1	Основы информационного моделирования	1	07.03.01 08.03.01 21.03.01 13.03.01 13.03.02 15.03.04
2	В1 Создание модели в ПК Model Studio CS Трубопроводы	1	21.03.01 13.03.01
	В2 Создание модели в ПК Model Studio CS Строительные решения		07.03.01 08.03.01
	В3 Создание модели в ПК Model Studio CS Кабельное хозяйство		13.03.02 15.03.04
3	Организация проекта в среде CADLib Модель и Архив	2	07.03.01 08.03.01 21.03.01 13.03.01 13.03.02 15.03.04
4	В1 Моделирование объектов в ПК Model Studio CS Трубопроводы	2	21.03.01 13.03.01
	В2 Моделирование объектов в ПК Model Studio CS Строительные решения		07.03.01 08.03.01
	В3 Моделирование объектов в ПК Model Studio CS Кабельное хозяйство		13.03.02 15.03.04

Литература

1. Агаев Т., Чуманов А., Силин В., Кошкаров А., Володин А. Компетенция R94 «Инженерное проектирование» как площадка для отработки навыков проектирования объекта капитального строительства // Информационное моделирование. 2023. № 1. С. 42–47. EDN: NDVTPK.

2. Короленок А.М., Комаров Д.Н., Темис М.Ю., Соколов Н.О., Бессонов В.С., Щиров Е.С. Применение современных систем автоматизированного проектирования объектов нефтегазового комплекса в учебном процессе // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2022. Т. 12, № 3. С. 302–312. DOI: 10.28999/2541-9595-2022-12-3-302-312. EDN: WWIVIH.

3. Баженов А.А. Внедрение BIM-технологий в процесс обучения студентов строительных специальностей // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. III Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 317–322. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.041. EDN: DTQMZA.

4. Фонтокина В.А., Савенко А.А., Самарский Е.Д. Роль BIM-технологий в организации и технологии строительства // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14, № 1. EDN: IPTBYB.

5. Назарова Ж.А. Перспективы развития графической подготовки студентов технических вузов // Омский научный вестник. 2023. № 2(186). С. 67–72. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-186-67-72. EDN: CEZKNC.

УДК 721.011
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.034

Енуленко Надежда Владимировна, магистрант
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: enulenkon@mail.ru
Коробкова Татьяна Александровна, магистрант
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: ktalex11@yandex.ru
Карманова Марина Михайловна, старший преподаватель
(Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина)
E-mail: m.m.karmanova@urfu.ru

Enulenko Nadezhda Vladimirovna, master's degree student
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)
Korobkova Tatiana Alexandrovna, master's degree student
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)
Karmanova Marina Mikhailovna, Senior Lecturer
(Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin)

ОПЫТ ОБУЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЯМ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ BIM-СИСТЕМЫ RENGA

EXPERIENCE OF TRAINING INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES BY THE EXAMPLE OF DEVELOPING AN INFORMATION MODEL OF A RESIDENTIAL COMPLEX USING THE RENGA BIM SYSTEM

В статье анализируется процесс обучения технологиям информационного моделирования на примере разработки информационной модели жилого комплекса с использованием российской BIM-системы Renga. Описываются этапы работы над проектом, результаты работы, полученные студентами навыки. Выявляются компетенции, необходимые выпускникам-строителям для повышения их конкурентоспособности на рынке труда и соответствия их навыков ожиданиям работодателей. Поднимается проблема обеспечения сферы строительства

высококвалифицированными кадрами. Обосновывается необходимость внедрения обучения технологиям информационного моделирования в высших учебных заведениях. Описываются преимущества российской BIM-системы Renga.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования (ТИМ), BIM-технологии, информационное моделирование зданий, обучение BIM-технологиям, гражданское строительство, жилые комплексы.

The article analyzes the process of teaching information modeling technologies using the example of developing an information model of a residential complex using the Russian BIM system Renga. The stages of work on the project, the results of the work, and the skills acquired by the students are described. The competencies required for construction graduates to increase their competitiveness in the labor market and match their skills to employers' expectations are identified. The problem of providing the construction sector with highly qualified personnel is raised. The necessity of introducing training in information modeling technologies in higher educational institutions is substantiated. The advantages of the Russian BIM system Renga are described.

Keywords: information modeling technologies (TIM), BIM technologies, building information modeling, BIM technology training, civil engineering, residential complexes.

Строительство как отрасль – один из основных возможных источников роста экономики страны. На данный момент вопрос обеспечения сферы строительства высококвалифицированными кадрами требует незамедлительного решения. Кроме того, актуальными проблемами остаются несоответствие качества подготовки молодых специалистов требованиям работодателей, отсутствие у выпускников высших учебных заведений необходимой производственной практики, неактуальность образовательных программ и отсутствие актуальных знаний, касающихся современных технологий, у преподавателей [1, 2].

Как раз одной из таких современных технологий, автоматизирующих проектирование и строительство, является BIM (Building Information Modeling). К преимуществам BIM-моделирования по сравнению с более традиционными способами проектирования относится комплексная подготовка и агрегация архитектурной, инженерной, технической и экономической информации в единой информационной модели здания. Все составляющие BIM-модели взаимосвязаны, что делает процесс предельно точным и позволяет уменьшить временные и экономические расходы [3].

Сотрудничество практиков строительного рынка с высшими учебными заведениями, подготавливающими будущих строителей и проектировщиков, является важнейшим этапом внедрения технологий информационного моделирования в строительстве на государственном уровне [4].

Проектное обучение, используемое в Уральском федеральном университете, направлено на повышение качества и практикоориентированности системы высшего образования.

Для выполнения студенческого проекта была выбрана программа Renga [5]. Российская BIM-система Renga была разработана для замены зарубежных BIM-продуктов, для которых характерна высокая ценовая стоимость, сложность освоения, а также в большинстве случаев несоответствие отечественным нормам проектирования.

Освоение программы проходило отдельно в рамках дисциплины «Информационные технологии в строительстве», где на основе реальной проектной документации было выполнено моделирование индивидуального жилого дома [6].

Главным отличием данного проекта от предыдущей работы является то, что исходной документации не было, а только техническое задание от внешнего заказчика с описанием общих требований. Командой студентов был разработан эскизный проект многофункционального жилого комплекса переменной этажности с общественными помещениями в первых этажах, то есть полностью проработан раздел «Объемно-планировочные и архитектурные решения». Проект является прикладным (практико-ориентированным).

Разработанная цифровая информационная модель может в дальнейшем использоваться как основа, например, для проектирования инженерных систем или составления сметной документации.

Для выполнения проекта использовалось программное обеспечение:

– Renga – для построения цифровой информационной модели здания;
– Renga Collaboration Server – для совместной работы над проектом;
– Twinmotion – для создания визуализации модели.

Работа над проектом была разделена на 3 этапа:

1. Разработка общей концепции проектного решения на основе технического задания и существующего контекста.
2. Разработка проектного решения многофункционального жилого комплекса.
3. Защита проекта перед комиссией.

Работа в BIM-системе Renga началась с создания структурных элементов жилого комплекса, таких как фундаменты, несущие вертикальные конструкции (стены и пилоны), перекрытия, крыша.

Далее разрабатывались объемно-планировочные структуры жилого комплекса по секциям, этажам и в целом, уточнялись схемы обслуживания и разрабатывались отдельные планировочные элементы (входные группы, внутренние лестницы, сантехническое оборудование) (рис. 1).

Рис. 1. Создание 3D-модели жилого комплекса в BIM-системе Renga

В процессе работы над созданием 3D-модели жилого комплекса уточнялись схемы конструктивного решения, выполнялись разрезы и узлы по наружной оболочке с учетом теплотехнических и звукоизоляционных расчетов (рис. 2).

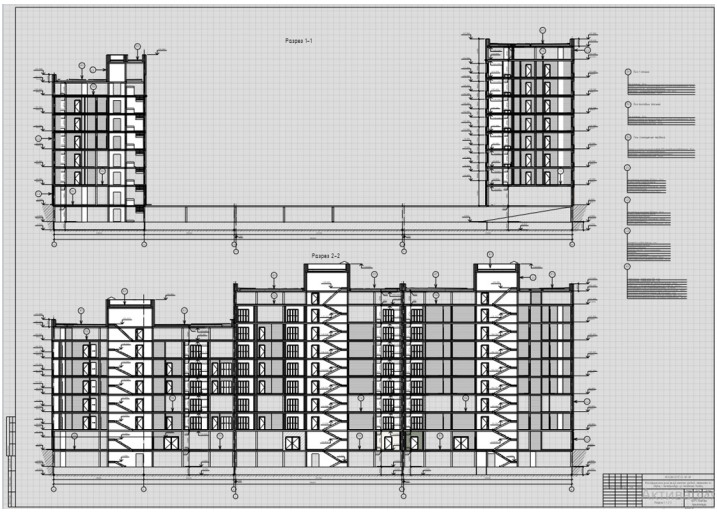


Рис. 2. Разрез 1-1, разрез 2-2

Режим совместной работы позволил работать над проектом одновременно всем участникам команды, даже находясь удаленно друг от друга. После синхронизации на сервере, каждый получал актуальную модель мгновенно. Между участниками проектирования были правильно распределены этапы создания и редактирования элементов, что позволило избежать конфликтных ситуаций, что сервер получает изменения касательно одного и того же элемента. Такой режим работы позволил быстро и слаженно выполнить такой крупный проект в рамках одного учебного семестра (рис. 3).

Затруднения на последних этапах реализации были связаны с аппаратным обеспечением, например, при оформлении графической части документации наблюдалось сильное торможение компьютера.

В рамках работы были предложены мероприятия по энергоэффективности жилого комплекса, утвержден итоговый эскиз проекта по разделам и выполнена визуализация жилого комплекса в статическом и динамическом режиме в Twinmotion для представления проекта заказчику (рис. 4). Благоустройство двора было разработано следующим образом: зонирование и создание дорожно-тропиночной сети в соответствие с нормами выполнено в Renga, наложение текстур, расстановка МАФ и озеленения при помощи готовых 3D-моделей в Twinmotion.

Применение инструментов информационного моделирования в строительстве позволяет избегать немалую часть коллизий, ошибок при проектировании. Использование BIM-технологий позволит получить экономию времени на проектирование вплоть до 20 % и снизить себестоимость объекта на 15-20 % [5].

Идеальной BIM-программы нет, в каждое программное решение вложены определенные технологии и методы работы. Но важно иметь опыт работы в разных прикладных пакетах, знать их возможности и особенности. Это повышает уровень компетентности в определенной сфере деятельности.

Благодаря полученному опыту, были выделены ключевые преимущества российской BIM-системы Renga при обучении в высших учебных заведениях:

1. Простота использования. BIM-система Renga имеет простой и интуитивный интерфейс, что позволяет пользователям быстро освоить программу и начать работу над проектами.

2. Большой функционал: трехмерное проектирование с возможностью работы в режиме 2D, автоматизированное получение спецификаций, ведомостей и чертежей благодаря параметрической связи с моделью, визуализация зданий и сооружений и настройка текстур объектов, совместная работа над одной моделью в режиме реального времени для всех специалистов.

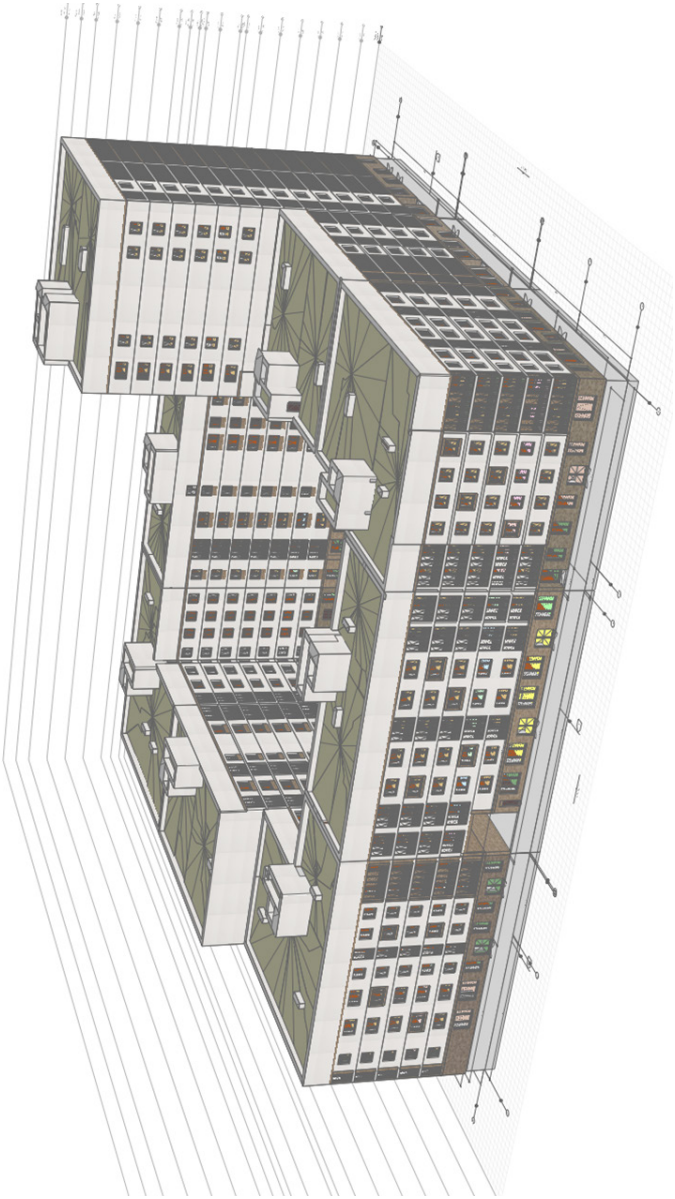


Рис. 3. Готовая информационная 3D-модель жилого комплекса

Рис. 4. Визуализация проекта в Twinmotion

3. Соответствие российским стандартам. Вся документация, создаваемая в программе, соответствует используемой в России нормативно-технической документации.

4. Возможность дорабатывать проект в сторонних программах.

Обучение студентов BIM-технологиям в высших учебных заведениях с использованием методов проектного обучения, реализуемого в Уральском федеральном университете, повышает их конкурентоспособность на рынке труда, а также соответствует вектору внедрения технологий информационного моделирования в строительстве на государственном уровне.

Литература

1. 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. EDN: YLMZED.

2. Черных А.Г., Нижегородцев Д.В., Кубасевич А.Е., Цыгановкин В.В. Внедрение технологий информационного моделирования в процесс обучения студентов высших образовательных учреждений // Категория «социального» в современной педагогике и психологии: матер. 8-й всеросс. научно-практ. конф. с дист. и междунар. уч. Ульяновск: ИП Кеньшенская В.В. (изд-во «Зебра»), 2020. С. 307–310. EDN: AUIIYF.

3. Фролов М.В., Злобин Н.С., Бахтеев Н.А. Технология информационного моделирования и проблемы при ее внедрении в учебную программу строительных вузов // Дневник науки. 2022. № 8(68). С. 17. EDN: SOSHSO.

4. Гришина Н.М., Чалый Ю.Ю. Проблемы и перспективы обучения BIM в ВУЗах: управление развитием в строительстве // Известия КГАСУ. 2017. № 3(41). С. 277–288. EDN: ZHJPNZ.

5. Дьячева И. Системы проектирования от компании Renga Software // САПР и графика. 2017. № 10(252). С. 34–37. EDN: YWPFXH.

6. Пономарева А.И., Коробкова Т.А., Карманова М.М. Использование ТИМ-технологий при выполнении проекта индивидуального жилого дома // Весенние дни науки: Сб. докл. междунар. конф. студентов и молодых ученых. Екатеринбург: ООО Издательский Дом «Ажур», 2023. С. 475–480. EDN: GJWUUO.

УДК 69
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.035

Карелин Дмитрий Викторович, канд. архит., заведующий кафедрой
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: d.karelin@sibstrin.ru, ORCID: 0009-0002-7275-6889
Чмир Юлия Эдуардовна, старший преподаватель
(Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин))
E-mail: yu.chmir@sibstrin.ru, ORCID:0009-0004-6431-3353

Karelin Dmitry Viktorovich, PhD in Arch., Head of Department
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))
Chmir Yulia Eduardovna, Senior Lecturer
(Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin))

ТИМ КАК ИНСТРУМЕНТ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ УНИВЕРСИТЕТА

TIM AS AN INSTRUMENT FOR COMPREHENSIVE DEVELOPMENT OF THE UNIVERSITY

Развитие автоматизации разработки проектной продукции находится на стадии перехода на генеративные цифровые двойники. Основным этапом формирования цифровых прототипов объектов капитального строительства (ОКС) является разработка информационной модели (ИМ). С помощью таких моделей исследователи и инженеры могут анализировать, предсказывать и улучшать различные аспекты системы, опираясь на точные и качественные данные. В данной статье рассматриваются современные технологии информационного моделирования (ТИМ) на примере управления информационными моделями объектов кампуса Университета.

Ключевые слова: информационная модель, технологии информационного моделирования, ТИМ в университетах, отечественное программное обеспечение.

The development of automation in the development of design products is at the stage of transition to generative digital twins. The main stage in the formation of digital prototypes of capital construction projects (CCS) is the development of an information model (IM). With the help of such models, researchers and engineers can analyze, predict and improve various aspects of a system based on accurate and high-quality data. This article discusses modern information modeling technologies (IM) using the example of managing information models of University campus objects.

Keywords: information model, information modeling technologies, BIM in universities, domestic software.

ТИМ является на сегодняшний день наиболее важным и перспективным направлением развития строительства в Российской Федерации. Несмотря на принципиальные различия между подходами к проектированию и строительству, информационное моделирование и технологии строительства взаимосвязаны, и их интеграция в ТИМ позволяет увеличить прибыль, сократить сроки выполнения работ, снизить риск возникновения дефектов и упростить отдельные этапы процесса разработки проекта [1].

Предпосылки для создания ИМ ОКС студенческого городка НГАСУ (Сибстрин):

– комплексная программа развития (программа стратегического развития университета) НГАСУ (Сибстрин) содержит раздел, включающий в себя модернизацию инфраструктуры университета, содержит план на новое строительство (изменение конфигурации главного корпуса, а также развитие технопарка «Строительство»);

– имеющийся мастер-план НГАСУ(Сибстрин) также включает объекты для перспективного внедрения новых или достраиваемых элементов единой системы (рис. 1);

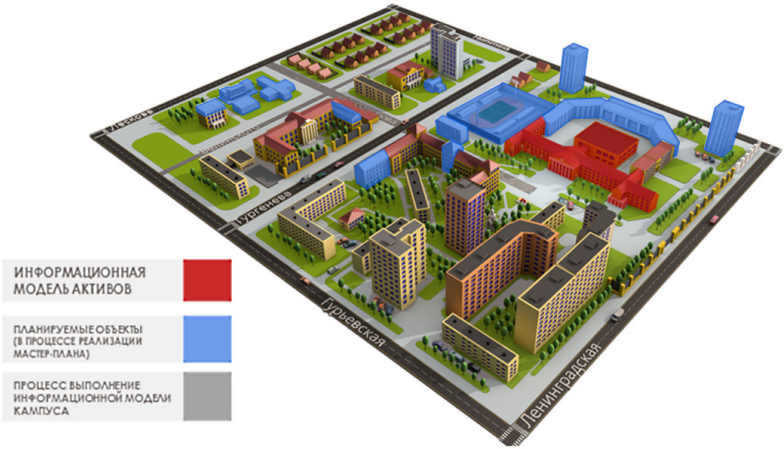


Рис. 1. Предпосылки создания информационной модели объектов студенческого городка НГАСУ (Сибстрин)

– с 2021 г. НГАСУ (Сибстрин) сотрудничает с ООО «Ренга Софтвэа», в рамках соглашения создан Авторизованный Учебный Центр Renga на базе университета. Цель сотрудничества – организация

дополнительного профессионального образования в отношении программного обеспечения Renga и создание благоприятных условий для организации учебного процесса в рамках реализации дополнительного профессионального образования в Авторизованном Учебном Центре Renga;

– в рамках «Online-школы Renga» преподаватели НГАСУ (Сибстрин) успешно прошли обучение и подтвердили свои знания по BIM-системам Renga, включающие обширные навыки в области инженерии. По итогу получены сертификаты, дающие право проводить обучение.

Основная цель, заложенная в первый модуль – создание активов цифровой информационной моделей объектов, находящихся на территории кампуса, затрагивающих раздел архитектурно-строительных решений для осуществления капитального ремонта конструкций.

Установлены промежуточные цели в первом модуле:

– создание ЦИМ актива для анализа инструментов Renga, с точки зрения проработки требований, предъявляемых к атрибутивным данным элементов модели, согласно СП 333.1325800.2020 при учете компетенций роли BIM-автора, с дальнейшей выгрузкой модели в открытый формат обмена данными со сторонним ПО;

– формирование ведомостей объемов работ на основе данных ЦИМ.

Для достижения основной цели, заложенной в первый модуль, были определены следующие задачи:

– организация работы в команде, распределение ролей и локальное управление ЦИМ-проектами (объектами ОКС) для развития у студентов цифровых компетенций, не затрагивая среду общих данных [2];

– развитие навыков в создании цифровых моделей на примере реализации главного корпуса НГАСУ (Сибстрин) по адресу: г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113 и спортивно-оздоровительного корпуса по адресу г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 115[1];

– обучение студентов работе в ПО Renga;

– создание ЦИМ активов с учетом поэтажных планов БТИ (главный корпус) (рис. 2) и проектных чертежей (спортивно-оздоровительный корпус) (рис. 3). В ходе работы студентами были выполнены обмерные работы для детализации в соответствии с установленными уровнями проработки создаваемых ИМ ОКС[2] [3];

---

[1] Профстандарт: 16.151 Специалист в сфере информационного моделирования в строительстве https://classinform.ru/profstandarty/16.151-cpetcialist-v-sfere-informatcionnogo-modelirovaniia-v-stroitelstve.html (дата обращения: 12.03.2024).

[2] Методические рекомендации по подготовке информационной модели объекта капитального строительства, представляемой на рассмотрение в ФАУ «Главгосэкспертиза

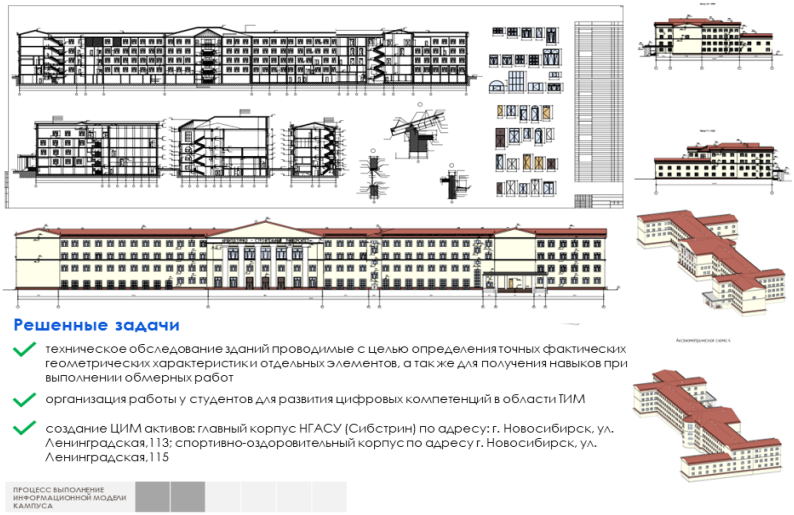


Рис. 2. Уровень внедрения в образовательный процесс технологий информационного моделирования на примере главного корпуса НГАСУ (Сибстрин)

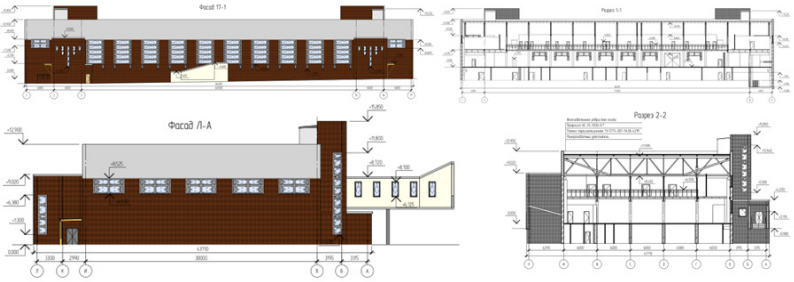


Рис. 3. Уровень внедрения в образовательный процесс технологий информационного моделирования на примере спортивно-оздоровительного корпуса НГАСУ (Сибстрин)

России» в связи с проведением государственной экспертизы проектной документации, а также по оценке информационной модели объекта капитального строительства. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400464409/ (дата обращения: 08.03.2024).

– многократный итерационный процесс, связанный с управлением активами, представленными в виде ядра – ИМ, которое позволяет аккумулировать необходимые данные и процессы, связанные с ОКС (рис. 4) [4].

Следующий планируемый модуль включает в себя задачи, связанные с:

– разработкой по объектной цифровой информационной модели местности (ЦИММ) проекта территории кампуса НГАСУ (Сибстрин);

– формализацией документооборота ЦИМ, что позволит участникам процесса структурировать информацию и выводить ее в машиночитаемом виде для того, чтобы коммуникация процессов была структурирована и при этом отвечала требованиям, выставляемым экспертизой при проверке.

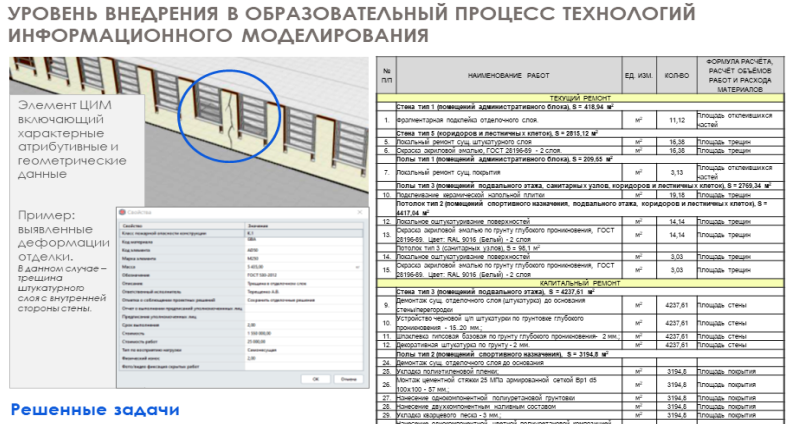


Рис. 4. Проработка атрибутивных данных и автоматический вывод объемов работ

В качестве итогового перспективного результата авторы предполагают получить:

– сводную ИМ студенческого городка НГАСУ (Сибстрин);

– методику управление активом – мониторинг состояния и принятие решений (об осуществлении планового обслуживания, реконструкции или технического перевооружения) [5];

– совершенствование навыков у студентов и преподавателей в области ТИМ при использовании отечественного ПО, в том числе совместной работы.

Литература

1. Каган П.Б., Рыбакова А.О. Повышение эффективности проектирования и строительства // Научно-технический журнал «Наука и бизнес: пути развития». 2019. № 3(93). С. 46–48. EDN: WMQHRI.

2. Гинзбург А.В. Информационная модель жизненного цикла строительного объекта // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 9. С. 61–65. DOI: 10.33622/0869-7019. EDN: WWIGWT.

3. Волков А.А., Петрова С.Н., Гинзбург А.В., Иванов Н.А., Клашанов Ф.К., Коников А.И., Никитина С.В., Постнов К.В. Информационные системы и технологии в строительстве: учебное пособие. М.: МГСУ, 2015. 424 с. EDN: VRSZKX.

4. Каган П.Б., Куликова Е.Н., Малыха Г.Г., Кулакова В.В., Шеина С.Г. Функционально-системный анализ и системотехника организационно-технологического проектирования в строительстве // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 9(87). С. 11–16. EDN: MGIILJ.

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

УДК 004.9+514.18
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.036

Крысько Александра Анатольевна, канд. техн. наук, доцент
(Донбасская национальная академия строительства и архитектуры)
E-mail: a.a.krysko@donnasa.ru, ORCID: 0000-0001-5225-3411
Воронова Ольга Сергеевна, канд. техн. наук, доцент
(Донбасская национальная академия строительства и архитектуры)
E-mail: o.s.voronova@donnasa.ru, ORCID: 0000-0003-3740-5151

Krysko Alexandra Anatolevna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture)
Voronova Olga Sergeevna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКИХ И ТИМ-ДИСЦИПЛИН

THE EXPERIENCE OF USING DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF GEOMETRIC, GRAPHIC AND BIM DISCIPLINES

В статье авторы делятся опытом применения дистанционных образовательный технологий в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры при изучении геометро-графических и ТИМ дисциплин на примере сквозной программы обучения технологии информационного моделирования в строительстве, разработанной кафедрой специализированных информационных технологий и систем для студентов направления подготовки 07.03.01 «Архитектура». Подробно рассмотрена последовательность реализации сквозной программы, раскрыты способы и приемы проведения лекционных и лабораторных занятий в условиях дистанционного обучения. Описан процесс создания мультимедийных лекций со сложными многослойными чертежами. Рассмотрены различные способы взаимодействия с обучающимися в зависимости от изучаемых дисциплин.

Ключевые слова: дистанционные образовательные технологии, технологии информационного моделирования в строительстве, учебная дисциплина, мультимедийные лекции, видеоконференция, начертательная геометрия.

In the article, the authors share their experience of using distance learning technologies at the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture in the study of geometric, graphic and BIM disciplines using the example of an end-to-end training program for information modeling technology in construction, developed by

the Department of Specialized Information Technologies and Systems for students of the 07.03.01 “Architecture” training direction. The sequence of implementation of the end-to-end program is considered in detail, methods and techniques of conducting lectures and laboratory classes in distance learning are disclosed. The process of creating multimedia lectures with complex multi-layered drawings is described. Various ways of interacting with students are considered, depending on the disciplines studied.

Keywords: distance learning technologies, information modeling technologies in construction, academic discipline, multimedia lectures, video conference, descriptive geometry.

В ФГБОУ ВО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДОННАСА) на кафедре специализированных информационных технологий и систем (СИТИС) для студентов архитектурных и строительных специальностей разработаны сквозные программы обучения технологии информационного моделирования в строительстве [1]. Рассмотрим одну из таких программ на примере направления подготовки 07.03.01 «Архитектура» (см. таблицу).

Предметы, реализуемые кафедрой СИТИС в рамках сквозной программы обучения технологии информационного моделирования в строительстве по направлению подготовки 07.03.01 «Архитектура»

№	Название дисциплины	Семестр обучения
1	Начертательная геометрия	1-2
2	Информатика	1
3	Основы компьютерных технологий в архитектуре	2-5
4	Компьютерная графика и мультимедийные технологии	6-8

На первом курсе сквозная программа обучения информационному моделированию в строительстве архитекторов включает в себя базовую подготовку по дисциплинам «Начертательная геометрия» и «Информатика». Курс «Начертательной геометрии» позволяет развить пространственное мышление и получить теоретические знания о геометрических объектах и практические навыки о способах их использования при проектировании объектов капитального строительства. Вторая базовая учебная дисциплина, «Информатика», позволяет студентам приобрести знания

по теоретическим основам информатики и основным подходам их использования в архитектурно-строительной деятельности, а также современным методам компьютерной обработки информации.

Параллельно с базовыми учебными дисциплинами во втором семестре студенты начинают изучать программные комплексы автоматизированного проектирования в рамках дисциплины «Основы компьютерных технологий в архитектуре». Данная дисциплина изучается 4 семестра, со второго по пятый, и включает в себя изучение нескольких программных комплексов. Во втором и третьем семестре студенты изучают программные комплексы, позволяющие познакомиться с основами автоматизированного проектирования, изучить требования нормативной документации ГОСТов ЕСКД и СПДС. До 2022 года глубоко изучался программный комплекс Autodesk AutoCAD, вплоть до знакомства с трехмерной графикой, и предусматривалось ознакомление с российской платформой nanoCAD. На нынешний момент кафедрой разработан полноценный курс изучения платформы nanoCAD, которая предназначена для проектирования и моделирования объектов капитального строительства различной сложности.

Следующие два семестра дисциплины «Основы компьютерных технологий в архитектуре» и первый из трех семестров дисциплины «Компьютерная графика и мультимедийные технологии» посвящены изучению основ информационного моделирования с переходом на углубленное изучение соответствующего программного обеспечения. Студенты знакомятся с принципами информационного моделирования, способами создания пользовательских объектов и организации работы над проектом, начиная от концепции и заканчивая выпуском рабочих чертежей и спецификаций в соответствии с принятыми в Российской Федерации стандартами системы проектной документации для строительства[1]. В настоящий момент кафедра осуществляет переход от преподавания технологий информационного моделирования на базе продуктов Autodesk к программным продуктам АСКОН и Renga Software.

Седьмой и восьмой семестры студенты знакомятся с элементами трехмерного полигонального моделирования на примере создания помещения и насыщения его пространства различными предметами и элементами интерьера, затем выполняют геометрическое моделирование

[1] СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». URL: https://minstroyrf.gov.ru/docs/120028/?sphrase_id=1456219 (дата обращения: 29.02.2024).

индивидуального жилого дома, экстерьера и малых архитектурных форм с последующим текстурированием и визуализацией трехмерной сцены. Здесь взамен программным продуктам Autodesk приходят такие свободно-распространяемые программы, как Blender или SketchUp.

Все читаемые учебные дисциплины на протяжении всего учебного процесса тесно связаны друг с другом. Начиная с изучения начертательной геометрии и заканчивая компьютерной графикой и мультимедийными технологиями, студенты архитектурных специальностей приобретают основные навыки и принципы работы при проектировании и информационном моделировании объектов капитального строительства, разработки рабочей документации в соответствии с принятыми в Российской Федерации стандартами.

Отметим, что подобные программы разработаны и успешно реализуются в ДОННАСА для всех направлений подготовки на архитектурном факультете, а также по профилям «Технологии информационного моделирования в строительстве» и «Информационно-стоимостной инжиниринг» направления подготовки 08.03.01 «Строительство» [2].

В современном мире дистанционный формат получения новых знаний стал неотъемлемой частью нашей действительности [3, 4]. Впервые наша академия использовала формат дистанционного обучения студентов в январе-феврале 2015 года в связи с обострением военных действий на линии соприкосновения. Осенью 2014 года на платформе Google преподавателями академии были разработаны сайты для всех изучаемых студентами дисциплин, что значительно облегчило сложившуюся ситуацию. В это же время в электронной информационно-образовательной среде нашей академии был развернут портал системы дистанционного образования и постепенно наполнялся курсами в соответствии с учебными планами по всем направлениям подготовки. Портал системы дистанционного обучения ФГБОУ ВО ДОННАСА (режим доступа: http://dl.donnasa.ru/) активно задействован в процессе обучения в настоящее время и использует оболочку СДО Moodle и сервисы платформы VK WorkSpace.

Следующая волна «дистанционки» в Донецкой Народной Республике была связана с пандемией, вызванной коронавирусной инфекцией COVID-19. И с 2020 года все высшие учебные заведения республики перешли на дистанционный формат обучения, лишь периодически возвращаясь к нормальному режиму обучения. С началом специальной военной операции (СВО) дистанционное обучение в ВУЗах республики стало постоянным.

Рассмотрим подробнее способы и методы преподавания геометро-графических и ТИМ дисциплин в сложившихся условиях.

Интересную трансформацию прошла методика преподавания дисциплины «Начертательная геометрия» [5]. Лекции по данной дисциплине в потоке студентов архитектурных специальностей ещё с 2011 года проводятся с использованием мультимедийных технологий для лучшей подачи информации и восприятия её студентами. Графические задачи, рассматриваемые на лекциях, достаточно сложные и многослойные, а размеры доски и построения при помощи цветных мелков не позволяют в полной мере донести до студентов методику и алгоритм решения задач.

Презентации к лекциям разрабатывались в программе Microsoft PowerPoint, которая позволяет выполнять презентации с поэтапной анимацией чертежа, что, в свою очередь, дает возможность преподавателю представлять студентам чертеж от начала построения первой линии до полного его выполнения при помощи инструментов анимации и области выделения. На рис. 1 представлена технология выполнения слайда с поэтапным построением аксонометрического изображения по заданным ортогональным проекциям. Для выполнения наглядного построения аксонометрии на одном слайде использовалось 24 наложенных друг на друга рисунка, которые появляются и исчезают при необходимости. Чертежи выполнялись в Autodesk AutoCAD и по частям копировались в PowerPoint последовательно и в одинаковом масштабе.

Такой способ позволяет перенести на слайд презентации очень сложные и многослойные изображения, например, построение падающих теней на комбинированных поверхностях вращения (рис. 2). Для этого слайда понадобилось 136 наложенных друг на друга рисунка. Для слайда с построением перспективы интерьера (рис. 3) понадобилось 124 наложенных друг на друга рисунка. Скорость построения регулируется преподавателем в зависимости от восприимчивости аудитории. Также по ходу выполнения задания преподаватель дает пояснения и при необходимости может вернуть назад на несколько построений.

При переходе на режим дистанционного обучения наличие у преподавателя лекций, выполненных в такой форме, значительно облегчило преподавание курса. В дистанционном режиме для проведения лекций использовался сервис видеотелефонной связи и видеоконференций Google Meet, разработанный компанией Google, а с 2022 года сервис VK WorkSpace. На лекции присутствовало до 100 студентов одновременно. Преподаватель включал функцию демонстрации экрана и на своем компьютере запускал презентацию. Последовательно, так же, как и на лекции в аудитории, воспроизводилась презентация, а преподаватель давал необходимые голосовые пояснения.

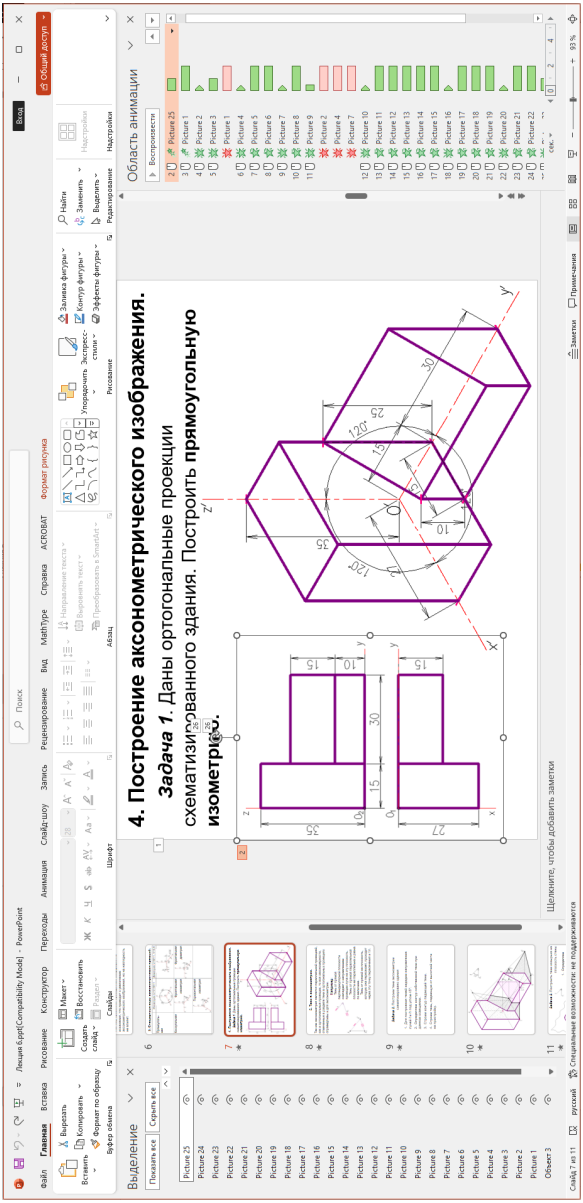


Рис. 1. Использование инструментов анимации и области выделения для поэтапного построения чертежа на слайде

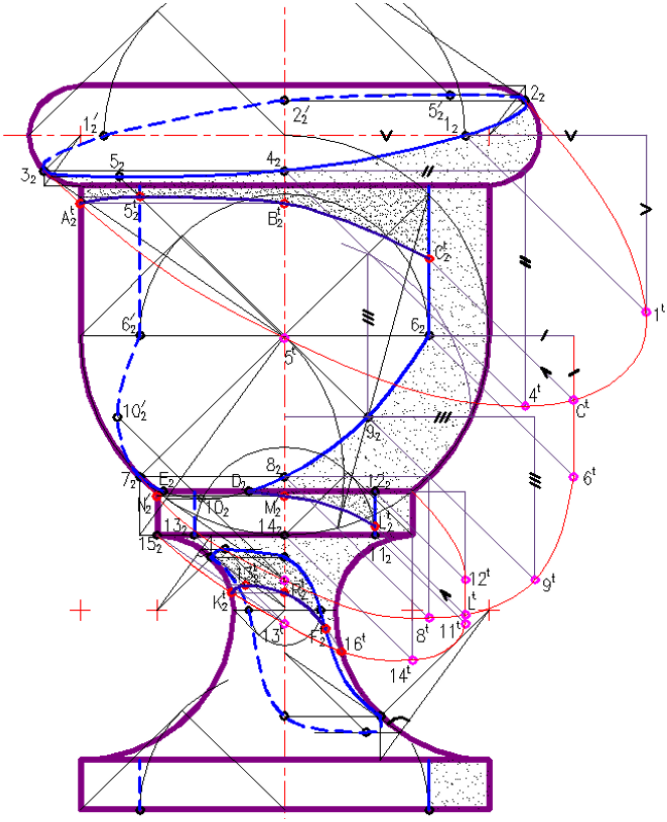


Рис. 2. Построение падающих теней на комбинированных поверхностях вращения

Ещё одним важным преимуществом при дистанционном обучении является возможность вести видеозапись проводимых лекций. Эта функция доступна в сервисе Google Meet при проведении конференций. Также есть соответствующие программы, позволяющие делать запись с экрана вместе с записью голоса преподавателя, например, программа ApowerREC от компании Apowersoft, которая позволяет делать запись с экрана в лучшем, по сравнению с Google Meet, качестве. После проведения лекции запись выкладывалась на Google Диск, а студентам открывался доступ к ней. Это позволило студентам при необходимости

пересматривать лекции и более качественно разбираться в теоретическом материале, а также студенты отсутствующие, по той или иной причине на занятии, могли восстановить свои пробелы в знаниях.

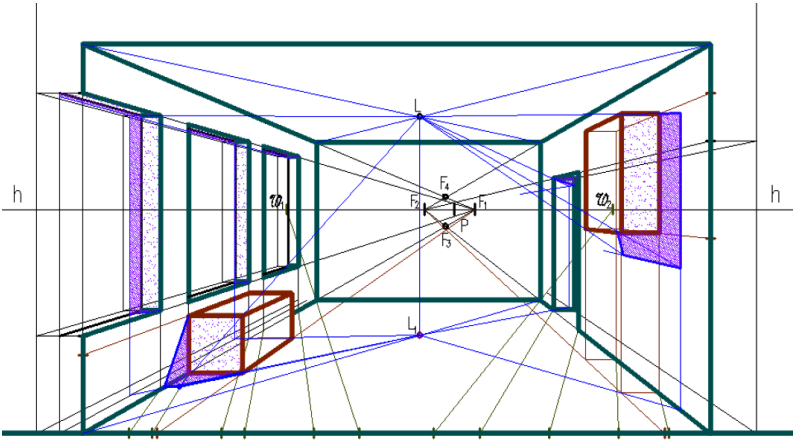


Рис. 3. Построение перспективы интерьера

Для обратной связи со студентами было создано сообщество в социальной сети ВКонтакте «ДонНАСА_Начерталочка для архитекторов» (режим доступа: https://vk.com/ng_ar_donnasa). Для каждой группы студентов архитектурного потока были созданы чаты, посредством которых студенты могли консультироваться с преподавателем и сдавать свои работы. Работа в чатах дает возможность передавать оперативно информацию студентам и сразу иметь обратную связь с ними. Сюда студенты размещают фотографии своих работ, выполненных вручную в тетрадях или на листах. Преподаватель скачивает себе на компьютер студенческие работы, проверяет их посредством графического редактора и выкладывает обратно в чат. Для проверки преподаватели могут использовать такие компьютерные программы, как Paint, ACDSee Pro, AutoCAD, Компас.

Для проведения контрольных работ в условиях дистанционного обучения используется корпоративная внутривузовская электронная почта как средство ограничения доступа к выполненному заданию одного студента другим, а также ограничения по времени получения письма с выполненной работой. Контрольные работы выполнялись вручную, затем

подписывались ручкой с датой и подписью студента, фотографировались и отправлялись по почте преподавателю.

Преподавание остальных дисциплин сквозной программы обучения технологиям информационного моделирования в строительстве в дистанционном формате проводится подобным образом, с той лишь разницей, что лекции не нуждаются в такой сложной проработке, а изучение различных программных комплексов проходит следующим образом. На каждом лабораторном занятии преподаватель в режиме видеоконференции рассказывает последовательность выполнения работы, транслируя свой экран студентам и одновременно включая видеозапись экрана. Поскольку каждый из обучающихся работает при освоении программ в разном режиме, и не всем удобно одновременно работать в программе и смотреть последовательность выполнения действий преподавателя, видеозаписи пройденного материала являются очень важным элементом процесса обучения.

С начала СВО проведение занятий в дистанционном режиме претерпело некоторые изменения. За предшествующие годы проведения занятий преподавателями накоплен большой объем видеоматериалов по преподаваемым дисциплинам, а видеозаписи хранятся в облачных хранилищах с постоянным доступом к ним студентов. И обстоятельства непреодолимой силы, такие как отключение электроэнергии, интернета или опасность обстрелов, повышают необходимость наличия таких записей. При отсутствии возможности подключиться к занятию по видеосвязи, студент может в другое, удобное для него время, изучить материалы и выполнить необходимые задания.

Для обратной связи преподавателями используются корпоративная внутривузовская электронная почта или чаты в социальной сети ВКонтакте. При необходимости выполняются короткие видеозаписи с экрана с пояснениями и ответами на вопросы студентов.

Также курсы дисциплин на портале СДО Moodle наполнены всей необходимой для обучения информацией, включая ссылки на облачные хранилища с видеозаписями лекционных и лабораторных работ, тестами, необходимыми для контроля знаний по некоторым дисциплинам.

Конечно, при работе в режиме дистанционного обучения есть много недостатков – не видно реакции студентов на полученную информацию, дольше проверять работы и вместо того, чтобы просто показать, какую ошибку допустил, необходимо описывать текстом или видеозаписью их ошибки. Но технологии не стоят на месте, и в современном мире вполне возможно при желании преподавателя и студента качественно учиться графическим дисциплинам в дистанционном режиме.

Литература

1. Крысько А.А., Воронова О.С. Опыт реализации программы обучения информационному моделированию в строительстве // Матер. по результ. Междунар. научно-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДОННАСА»: «Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля». В 3-х т. Т. 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. С. 260–262.

2. Воронова О.С., Полянская С.С. Формирование предметной области модели специалиста в сфере технологий информационного моделирования объектов капитального строительства // Матер. по результ. Междунар. научно-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДОННАСА»: «Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля». В 3-х т. Т. 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. С. 109–111.

3. Саарян А.Н., Овсянникова В.С., Василенко В.Г. Дистанционная форма обучения: особенности и перспективы // Лучшая научная статья 2024: сб. статей VI Междунар. научно-исслед. конкурса. Пенза: Наука и просвещение, 2024. С. 92–95.

4. Андрюшина Т.В. Использование дистанционной формы обучения графическим дисциплинам в экстренной ситуации // Инновационные технологии в инженерной графике: проблемы и перспективы: Сб. тр. Междунар. научно-практ. конф. Брест: УО «Брестский государственный технический университет», 2020. С. 14–20. EDN: NZTJAJ.

5. Крысько А.А. Использование дистанционных образовательных технологий при обучении студентов геометро-графическим дисциплинам // Матер. по результ. Междунар. научно-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДОННАСА»: «Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля». В 3-х т. Т. 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. С. 257–260.

УДК 373+378+004.92+69
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.037

Суханова Инна Ивановна, канд. техн. наук, начальник управления цифровых компетенций в области строительства
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: inna.suhanova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7749-6302
Семенов Алексей Александрович, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: sw.semenov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9490-7364
Нижегородцев Денис Валерьевич, директор учебного центра «ЛЦИМС»
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: mdvd0d@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-9550-9947

Sukhanova Inna Ivanovna, PhD in Sci. Tech., Head of Department of digital competencies in the field of construction
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Semenov Alexey Aleksandrovich, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Nizhegorodtsev Denis Valerievich, Director of the training center “LCIMS”
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ОБУЧЕНИЕ BIM (ТИМ), НАЧИНАЯ СО ШКОЛЫ: ПРОЕКТ «ТИМ-КЛАССЫ»

BIM TRAINING, STARTING FROM SCHOOL: PROJECT “BIM CLASSES”

В работе представлена идея и начальный опыт реализации проекта «ТИМ-классы», реализуемого в СПбГАСУ, который направлен на развитие цифровых компетенций в области строительства у обучающихся средних образовательных учреждений (школ и лицеев). Суть проекта заключается в создании профильных классов на базе существующих общеобразовательных организаций. Представлены цели и задачи проекта, основные разделы учебного плана. Обсуждаются первые результаты от реализации проекта в пяти школах Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: ТИМ, цифровые компетенции, среднее образование, профориентация, образовательная траектория.

The paper presents the idea and initial experience of implementing the “BIM classes” project, implemented at Saint Petersburg State University of Architecture and

Civil Engineering, which is aimed at developing digital competencies in the field of construction among students of secondary educational institutions (schools and lyceums). The essence of the project is to create specialized classes on the basis of existing general education organizations. The goals and objectives of the project and the main sections of the curriculum are presented. The first results from the implementation of the project in five schools in Saint-Petersburg are discussed.

Keywords: BIM, digital competencies, secondary education, career guidance, educational trajectory.

Технологии информационного моделирования в строительстве (ТИМ, BIM) стали основным направлением цифровизации строительной отрасли [1, 2]. Степень их внедрения в строительных компаниях с каждым годом растет, а вместе с этим растут и потребности в кадровом обеспечении [3].

Многие университеты, где есть архитектурно-строительные направления подготовки, уже внедрили в учебный процесс программное обеспечение, позволяющее работать в рамках концепции ТИМ, разработали новые формы и методики обучения [4–7].

Вузы постепенно расширяют спектр цифровых профессиональных компетенций (а, следовательно, и направлений подготовки, где есть ТИМ), стремясь охватить все разделы проектирования и все стадии жизненного цикла объекта капитального строительства (ОКС) [8, 9]. И в разных вузах этот процесс происходит с разной скоростью и разной степенью результативности.

Вслед за университетами, к внедрению BIM (ТИМ) подключились образовательные учреждения среднего профессионального образования (СПО) – колледжи, техникумы и т.д. [10].

Растущий спрос на кадры побудил университеты задуматься об отборе мотивированных студентов еще на стадии поступления в ВУЗ, предоставляя им конкурентное преимущество. В таком случае, работа с ними начинается еще при обучении в школе. В свою очередь, школьникам это позволяет больше узнать об архитектурно-строительных профессиях, и в дальнейшем при желании выстроить свою образовательную траекторию соответствующим образом.

Целью данной работы является представить проект «ТИМ-классы», реализуемый СПбГАСУ и компанией «Ренга Софтвэа», и направленный на развитие цифровых компетенций в области строительства у обучающихся средних образовательных учреждений (школ и лицеев).

Основная идея проекта заключается в создании профильных классов на базе существующих общеобразовательных организаций. Их основная

цель – создание непрерывной системы подготовки кадров для строительной отрасли благодаря формированию эффективной профильной предпрофессиональной образовательной среды посредством интеграции общего и дополнительного образования, вовлечения обучающихся в учебную и внеучебную деятельность для формирования у них инженерных и компетенций в области информационного моделирования зданий и сооружений и построения осознанной образовательной и профессиональной траектории в области строительства с дальнейшим трудоустройством в строительных компаниях.

Задачи проекта:

– реализация практико-ориентированного обучения с погружением обучающихся в архитектурно-строительную и инженерную среду;

– применение и развитие современных педагогических технологий, цифровых сервисов и инструментов обучения, методов организации проектной и исследовательской деятельности обучающихся с использованием лабораторных комплексов и высокотехнологичного оборудования;

– привлечение обучающихся общеобразовательных организаций к выполнению совместных научно-технических проектов в области строительства с применением технологий информационного моделирования;

– поиск и отбор талантливых и мотивированных обучающихся, оказание им поддержки в профессиональном развитии.

В образовательном процессе обучающегося присутствует как углубленное изучение отдельных предметов (черчение, ТИМ-моделирование), так и различные практико-ориентированные мероприятия, связанные с деятельностью в строительной отрасли.

Проект «ТИМ-классы» имеет два уровня – базовый (программа «Инженер строительного профиля», 140 академических часов, 8-9 классы) и проектный (программа «Индивидуальный проект», 40 академических часов, 10-11 классы).

Разработанная учебная программа для 8 класса включает в себя знакомство с инструментами информационного моделирования, использование ПО Renga для моделирования конструкций и систем жилого здания.

Программа для 9 класса подразумевает уже объединение обучающихся в команды для создания цифровой информационной модели школы (или ее части). При этом у школьников имеется возможность меняться ролями в команде (выбранными ТИМ-компетенциями), позволяя остановиться на наиболее интересном направлении деятельности.

Программа для 10 класса предполагает уже углубленное изучение ТИМ – информационное моделирование с элементами программирования.

В 11 классе школьникам предлагается познакомиться с численным моделированием, используя программные комплексы на основе МКЭ.

Следует также отметить, что при реализации образовательных проектов в области ТИМ крайне важно участие индустриальных партнеров и вендоров программного обеспечения [11].

Реализация проекта в СПбГАСУ началась весной 2023 года. Тогда было подписано соглашение с компанией Renga Software и средними общеобразовательными школами № 100, № 255, № 334, № 347, и лицеем № 64 Санкт-Петербурга об открытии классов технологии информационного моделирования (ТИМ-классов).

За первые полгода реализации проекта школьники изучили следующие темы, касающиеся разработки информационных моделей жилых зданий в ПО Renga:

1. Базовые принципы ТИМ. Знакомство с ПО Renga. Создание первого проекта в ПО Renga.
2. Современная архитектура жилых зданий. Введение в конструкции жилых зданий.
3. Объемно-планировочное и функциональное решение жилых зданий.
4. Фундаменты жилых зданий.
5. Конструкции жилых зданий. Создание конструкций жилых зданий. Оформление архитектурной части.

Промежуточные итоги, подведенные в декабре 2023 года, показали высокую заинтересованность обучающихся в освоении ТИМ, а также позитивный отклик администрации средних образовательных учреждений.

На второе полугодие у школьников запланировано изучение систем отопления, вентиляции, водоснабжения и водоотведения здания, создание их информационных моделей и подготовка проектной документации.

Осваивая программу ТИМ-классов, обучающиеся могут также принимать участие в конкурсных мероприятиях по ТИМ для школьников. Среди них:

– Всероссийское чемпионатное движение по профессиональному мастерству «Молодые профессионалы», компетенция «Технологии информационного моделирования BIM» (участвовать могут школьники от 14 лет).

– Открытый школьный ТИМ-чемпионат СПбГАСУ (участвовать могут школьники от 12 лет).

– Международный строительный чемпионат. Школьная лига (участвовать могут школьники от 14 лет).

Уже в феврале 2024 года наиболее талантливые и успешные в освоении ТИМ школьники приняли участие в Открытом школьном ТИМ-Чемпионате СПбГАСУ. В соответствии с конкурсным заданием, они разрабатывали архитектурную концепцию индивидуального двухэтажного жилого дома и выполняли его информационную модель в программном обеспечении Renga. Получившиеся работы оценивали представители компаний, являющихся партнерами Чемпионата: компании «Метрополис», «Vysotskiy consulting», группа компаний «Самолет», а также преподаватели-эксперты СПбГАСУ.

Предполагается, что реализация проекта приведет к увеличению охвата и вовлеченности обучающихся в непрерывную систему подготовки кадров для строительной отрасли; знакомству обучающихся с профессиями в области строительства и требованиями к ним; формированию мотивации к построению осознанной образовательной траектории и выбору профессиональной деятельности в области строительства; развитию инженерных и компетенций по ТИМ-моделированию.

После освоения программы ТИМ-классов, обучающиеся будут крайне востребованы на таких направлениях подготовки, реализуемых в СПбГАСУ, как Архитектура, Реконструкция и реставрация архитектурного наследия, Строительство (профили Водоснабжение и водотведение, Промышленное и гражданское строительство, Теплогазоснабжение и вентиляция), Информационные системы и технологии, Теплоэнергетика и теплотехника, Строительство уникальных зданий и сооружений.

Такая профориентация дает не только осознанный выбор будущей профессии, но и понятную образовательную траекторию от абитуриента до молодого востребованного специалиста.

В перспективе, от реализации проекта «ТИМ-классы» в целом, предполагается достичь следующих результатов:

– формирование комплексной системы профориентации в целях опережающего кадрового развития строительной отрасли;

– развитие системы непрерывной подготовки инженерных кадров, обладающих необходимыми профессиональными компетенциями;

– обеспечение эффективного функционирования системы выявления и развития талантов для строительной отрасли;

– повышение мотивации обучающихся к осознанному выбору профессий в области технологий информационного моделирования в рамках строительного профиля.

– обеспечение получения обучающимися новых востребованных на рынке труда цифровых компетенций;

– освоение учащимися технологий информационного моделирования, а также навыков проектной, творческой деятельности;

– повышение престижа инженерного и строительного образования в Российской Федерации.

Благодарности

Данная работа и проект «ТИМ-классы» выполнены в рамках реализации Инновационного образовательного проекта «Инновационная методика формирования цифровых профессиональных компетенций обучающихся и специалистов строительной отрасли» на базе Федеральной инновационной площадки ФГБОУ ВО СПбГАСУ.

Литература

1. Yusuf B.Y., Ali K.N., Embi M.R. Building Information Modeling as a Process of Systemic Changes for Collaborative Education in Higher Institution // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2016. Vol. 219. P. 820–827. DOI: 10.1016/j.sbspro.2016.05.072.

2. Рыбакова А.О., Якубович А.М. Тенденции развития технологии информационного моделирования зданий // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 12(114). С. 136–138. EDN: CJYYPY.

3. Халаби С.М., Савельева Л.В., Плотникова О.Г. Внедрение технологий информационного моделирования в инженерно-архитектурное образование // Architecture and Modern Information Technologies. 2017. № 3(40). С. 322–331. EDN: ZGEZYF.

4. Гаврилова А.В., Князева Л.Л., Койков В.В., Федоров О.П. Межкафедральный BIM-факультатив вуза как основа внедрения новых технологий в образовательный процесс // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. II Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 200–206. DOI: 10.23968/BIMAC.2019.036. EDN: IMNKYT.

5. Семенов А.А., Суханова И.И. Проект BIM-ICE – интеграция BIM в высшее и профессиональное образование // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. III Междунар. научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2020. С. 372–378. DOI: 10.23968/BIMAC.2020.048. EDN: ZDWPDS.

6. Мухаркина А.А., Хусаинова Г.В. Возможности применения технологии педагогических мастерских при обучении бакалавров архитектуры BIM-проектированию // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 258–264. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.035. EDN: ZUMVZX.

7. Ротков С.И., Конопацкий Е.В., Лагунова М.В. Концепция реализации BIM в учебном процессе на примере профиля ПГС // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 265–273. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.036. EDN: JAJHAV.

8. Шамсутдинова А.Р. Об опыте применения технологии информационного моделирования (BIM) в учебном процессе при подготовке специалистов для строительства и ЖКХ // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 281–286. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.038. EDN: XHLLJH.

9. Ковальчук И.Д., Айбедулов Т.Р., Суханов К.О. Информационное моделирование систем отопления и вентиляции существующего здания // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 324–329. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.044. EDN: FFCHRI.

10. Саломатина Н.С., Чернядьева О.Я. Подготовка BIM-кадров цифровой экономики в системе среднего профессионального образования // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 274–280. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.037. EDN: LINZHW.

11. Мищенко Е.С., Монастырев П.В., Евдокимцев О.В., Струлев С.А. Учет позиции работодателя при проектировании образовательных программ в области BIM-технологий // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. 2019. № 2. С. 106–115. EDN: EVDWUM.

УДК 69.007+69.07+337.5
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.038

Туковская Арина Михайловна, аспирант, преподаватель
(Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербургский техникум отраслевых технологий, финансов и права)
E-mail: arina07_11@list.ru
Токарева Виктория Евгеньевна, преподаватель
(Санкт-Петербургский техникум отраслевых технологий, финансов и права)
E-mail: tokareva.ve98@mail.ru

Tukovskaya Arina Mikhailovna, postgraduate student, lecturer
(Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg College of Industrial Technologies, Finance and Law)
Tokareva Victoria Evgenievna, lecturer
(St. Petersburg College of Industrial Technologies, Finance and Law)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО СОЗДАНИЮ И РАСЧЕТУ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СПО

THE USE OF BIM TECHNOLOGIES TO PERFORM PRACTICAL TASKS ON THE CREATION AND CALCULATION OF BUILDING STRUCTURES IN SPE

Статья посвящена вопросу внедрения технологий информационного моделирования зданий и создания расчетных моделей зданий и сооружений в учебный процесс СПбТОТФиП по направлению подготовки 08.02.15 «Информационное моделирование в строительстве». Данная концепция сводится к необходимости подготовки универсальных кадров среднего звена, обладающих навыками создания информационных моделей зданий и сооружений в специализированных программах, а также преобразованию созданных 3D моделей в расчетные. В статье приведен пример практического здания по созданию и расчету конструкций жилого здания с применением российского программного обеспечения в учреждениях среднего профессионального образования.

Ключевые слова: BIM-технологии, аналитическая модель, среднее профессиональное образование, расчет конструкций, моделирование строительных конструкций.

The article is devoted to the issue of the introduction of building information modeling technologies and the creation of computational models of buildings and structures

in the educational process of SPbTOTFiP in the field of training 08.02.15 “Information modeling in construction”. This concept boils down to the need to train universal mid-level personnel with the skills to create information models of buildings and structures in specialized programs, as well as to transform the created 3D models into calculated ones. The article provides an example of a practical task for the creation and calculation of residential building structures using Russian software in institutions of secondary vocational education.

Keywords: BIM technologies, analytical model, secondary professional education, calculation of structures, structures modeling.

Технологии информационного моделирования в России на сегодняшний день прочно закрепились в строительное отрасли. Концепция BIM моделирования, которая ранее казалась недосягаемой, в настоящее время используется повсеместно, не только на этапах проектирования, но и в эксплуатации здания, затрагивая тем самым все этапы жизненного цикла проекта. В связи со стремительным развитием отрасли информационного моделирования, вопрос о подготовке компетентных кадров, владеющих навыками расчета, создания и управления строительными и эксплуатационными моделями становиться все более актуальным[1].

При внедрении технологий информационного моделирования в учебный процесс, необходимо реализовать комплексный подход посредствам сквозной междисциплинарной подготовки кадров[2]. Ранее считалось, что BIM-технологии – это инструмент, предназначенный только лишь для создания 3D модели здания или сооружения. На данный же момент BIM-модель включает в себя как трёхмерную модель здания, так и сведения, документы и материалы об объекте строительства.

Темпы внедрения BIM-технологий не только в учебный процесс, но и в строительную отрасль при проектировании и эксплуатации объектов строительства и производственных проектов становятся все стремительнее. Отмечается что, появление нормативно-правовой базы по технологиям BIM-моделирования, безусловно, является огромным прогрессом для российской строительной отрасли. Однако с высокими темпами развития тесно соприкасается нехватка квалифицированных кадров.

---

[1] СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М.: Стандартинформ, 2020. 219 с.

[2] Приказ Минпросвещения России от 13.07.2023 № 531 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 08.02.15 “Информационное моделирование в строительстве”»

При разработке учебно-методического комплекса для подготовки кадров среднего специального образования по специальности 08.02.15 «Информационное моделирование в строительстве» основной задачей было создание у студентов полного понимая, о том:

1. Что такое технологии информационного моделирования зданий, знакомство с основными терминами: BEP (BIM Execution Plan), EIR (Employer's Information Requirements), LOD (Level of Development), CDE (Common Data Environment).

2. Что такое среда общих данных, создание папок с разделами и настройки доступа к среде общих данных.

3. Как осуществляется создание информационной модели здания, от выбора концепции здания, его эскизного проекта и расчетов до создания модели с необходимым уровнем детализации.

4. Как можно использовать информационную модель здания на этапе эксплуатации объекта [1].

Для реализации разработанной программы нами были использованы инструменты для информационного моделирования зданий от российских производителей. Основной идеей при использовании программ, представленных в таблице, является продемонстрировать студентам многообразие инструментов для создания информационных моделей зданий, а также возможность интеграции моделей между представленными программами [2].

Программное обеспечение при разработке учебно-методического комплекса по специальности 08.02.15 «Информационное моделирование в строительстве»

Наименование дисциплины/ междисциплинарного курса (темы)	Программное обеспечение
ОП.05 Основы BIM-моделирования	Renga, Компас-3D
ПМ.01 Выполнение технического сопровождения информационного моделирования зданий	Renga, Pilot-BIM, Tangl, BIM-Wizard
ПМ.02 Проектирование и моделирование строительных конструкций, с применением автоматизированной системы управления технологическими процессами	Renga, nanoCAD BIM, Model Studio CS. Строительные решения, Сапфир 3D, Лира 10, Model Studio CS. Водоснабжение и канализация, Умная вода

Окончание таблицы

Наименование дисциплины/ междисциплинарного курса (темы)	Программное обеспечение
ПМ.03 Организация и выполнение видов по разработке, использованию, хранению структурных элементов информационной модели зданий	Renga, Pilot-BIM, nanoCAD BIM, Artisan Rendering

При изучении профессионального модуля ПМ.02 Проектирование и моделирование строительных конструкций, с применением автоматизированной системы управления технологическими процессами, студенты знакомятся со следующими междисциплинарными курсами:

1. МДК 02.01. Проектирование и моделирование архитектурных решений.

2. МДК 02.02. Проектирование и моделирование конструктивных решений.

3. МДК 02.03. Проектирование и моделирование инженерных сетей и коммуникаций.

В данной статье рассматривается пример создание практического задания по междисциплинарному курсу МДК 02.02. Проектирование и моделирование конструктивных решений.

Основной идеей практического задания является подбор, расчет и последующее моделирование строительных конструкций жилого здания по заданным параметрам.

Исходными данными для выполнения практического задания является здание ранее за моделированное в курсе МДК 02.01. Проектирование и моделирование архитектурных решений, а также конструкции покрытий кровли и пола, тип перекрытий здания, тип стен, точки приложения и величина нагрузок, условия эксплуатации строительных конструкций, грунтовые условия площадки строительства [3].

Рассмотрим пример с моделированием фундамента под жилое здание. Существует расширение для интеграции программ Renga и ЛИРА 10. Благодаря данному расширению студентам не придется строить расчетную модель с нуля, необходимо лишь конвертировать созданную модель в Renga в аналитическую модель ЛИРА 10.

После экспорта модели студенты настраивают аналитическую модель для расчета, а именно задают нагрузки на здание и моделируют грунтовые условия участка строительства. Грунтовые условия даются

одинаковые для всех вариантов, чтобы студенты ознакомились с возможностями расчета фундаментов в программе ЛИРА 10.

Расчет фундаментов выполняется на прочность и жесткость, без учета динамических нагрузок и сейсмических воздействий. Тип фундамента по конструктивной схеме: ленточный; по способу возведения монолитный (рис. 1).

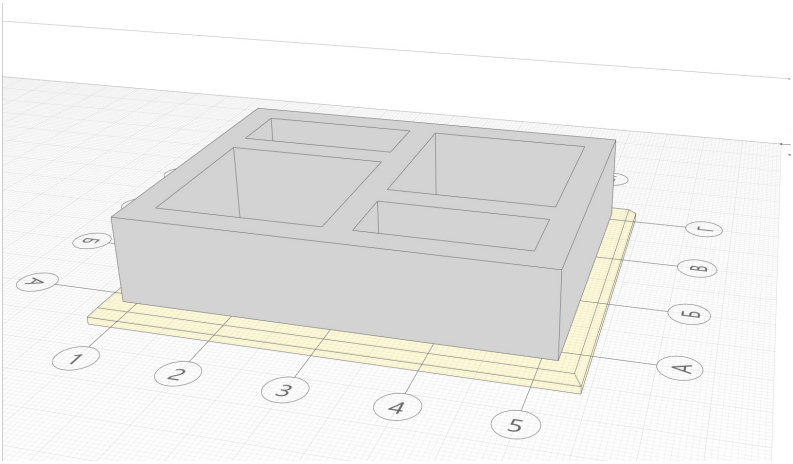


Рис. 1. Общий вид фундамента

После ввода всех параметров и задания граничных условий студентами выполняется расчет фундамента. Цель данного расчета сводится к определению требуемого типа армирования и диметру арматурных стержней.

Во время выполнения задания преподаватель отслеживает правильность выполнения расчетов и получаемых студентами результатов. Студенты должны понять принцип работы расчетной программы и научится анализировать данные расчета.

По результатам расчета в ЛИРА 10 студенты переключаются в программу Renga, где непосредственно выполняют моделирование арматуры для фундамента. Помимо моделирования студентам также необходимо настроить параметры отображения арматурных изделий, для удобного визуального представления армирования конструкций (рис. 2) [4].

По завершению моделирования студентам необходимо оформить чертеж, на котором будут представлены планы и разрезы фундамента, а также спецификация арматуры (рис. 3).

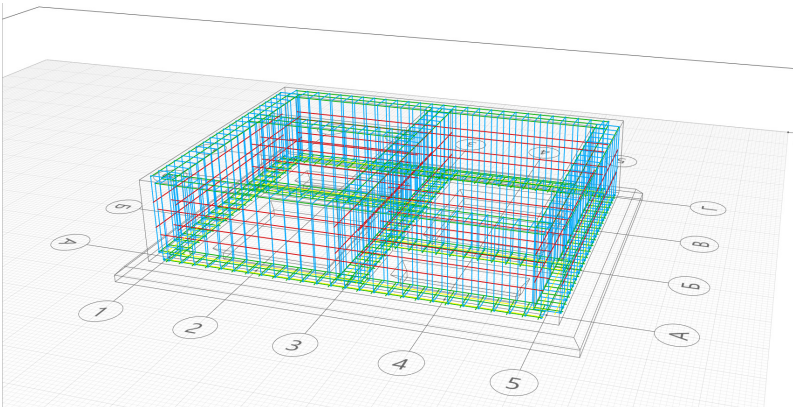
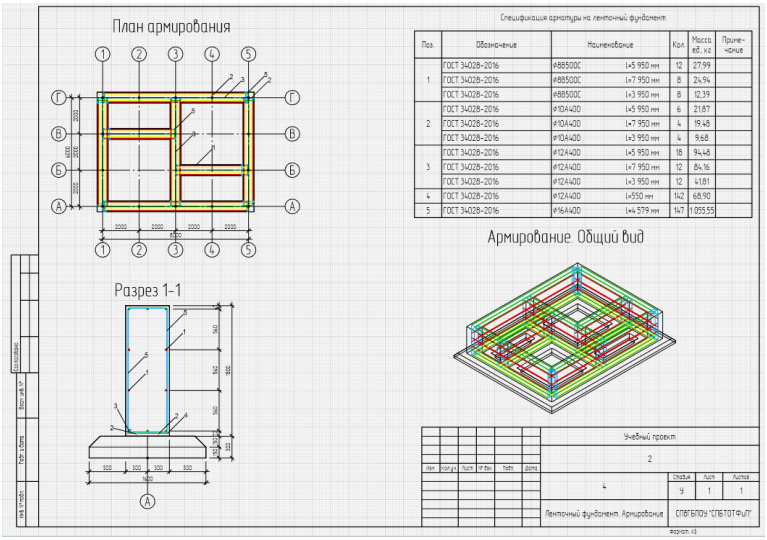


Рис. 2. Фундамент с подобранной по расчету арматурой



Спецификация арматуры на ленточный фундамент

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Примечание
1	ГОСТ 34028-2016	Ø8В500С l=5 950 мм	12	27.99	
	ГОСТ 34028-2016	Ø8В500С l=7 950 мм	8	24.94	
	ГОСТ 34028-2016	Ø8В500С l=3 950 мм	8	12.39	
2	ГОСТ 34028-2016	Ø10А400 l=5 950 мм	6	21.87	
	ГОСТ 34028-2016	Ø10А400 l=7 950 мм	4	19.48	
	ГОСТ 34028-2016	Ø10А400 l=3 950 мм	4	9.68	
3	ГОСТ 34028-2016	Ø12А400 l=5 950 мм	18	94.48	
	ГОСТ 34028-2016	Ø12А400 l=7 950 мм	12	84.16	
	ГОСТ 34028-2016	Ø12А400 l=3 950 мм	12	41.81	
4	ГОСТ 34028-2016	Ø12А400 l=550 мм	14-2	68.90	
5	ГОСТ 34028-2016	Ø16А400 l=4 579 мм	14-7	1 055.55	

Согласовано

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата

Стадия	Лист	Листов
У	1	1

Формат А3

Рис. 3. Вид итогового чертежа армирования

В процессе работы по данной образовательной программе у будущего выпускника формируются и развиваются следующие навыки информационного моделирования: экспортирование моделей в различные

программные комплексы, преобразование аналитической модели для расчета, основные понятия по расчету строительных конструкций в программном комплексе, преобразование информационной модели.

Отрасль BIM-моделирования постоянно развивается, вместе с этим происходит и рост требований работодателей к будущим выпускникам учебных заведений [5]. Система средне-специального образования стремиться выпускать грамотных и востребованных специалистов в области информационного моделирования, способных не только за моделировать здание, но и провести анализ строительных конструкций, а также использовать данные модели на этапе эксплуатации здания.

Литература

1. Ревенков Е.Д. Внедрение BIM-технологий в промышленное и гражданское строительство в России // Инновационные подходы в отраслях и сферах. 2018. Т. 3, № 7. С. 16–19. EDN: YSUFBZ.

2. Каменева Н.В. Современные технологии проектирования в архитектуре и градостроительстве // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2018. Т. 2. С. 247–253. EDN: YOHSKD.

3. Алимов Р.Ш., Абитов Р.Н. К вопросу актуальности внедрения BIM-технологий в учебный процесс подготовки инженеров // Цифровая трансформация в высшем и профессиональном образовании: Матер. 16-ой Междунар. научно-практ. конф. Казань: КГАСУ, 2022. С. 180–182. EDN: TTRHAZ.

4. Игнатова Е.В. Разработка образовательных программ с учетом профессионального стандарта BIM-специалиста // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 443–450. DOI: 10.23968/BIMAC.2021.055. EDN: OJSMWU.

5. Игнатова Е.В., Князева Н.В. Подготовка кадров в сфере информационного моделирования в строительстве // Инновации и инвестиции. 2020. № 2. С. 166–169. EDN: XPSABA.

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

УДК 69.059.35
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.039

Бабинова Анастасия Дмитриевна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: anastasiya.naldaeva@mail.ru, ORCID: 0009-0006-3021-3498

Babinova Anastasia Dmitrievna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОЕКТАХ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

THE EXPEDIENCY OF APPLICATION MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN RESTORATION PROJECTS OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

Освещен вопрос целесообразности применения технологий информационного моделирования в реставрационных проектах объектов культурного наследия. Отдельно уделено внимание причинам особой важности качественных, современных и технологичных методик сбора, обработки и хранения информации об объектах, представляющих собой историческую ценность. Проведено сравнение двух подходов к реставрационному проектированию: традиционного метода плоскостного 2D-черчения и проектирования с использованием технологий информационного моделирования в 3D. Выявлены преимущества и недостатки каждого метода. Проанализированы существующая ситуация в сфере реставрационного проектирования и спрос на внедрение передовых информационных технологий на рынке.

Ключевые слова: ТИМ, ЦИМ, реставрация, архитектура, объекты культурного наследия, проектирование.

The issue of expediency of application technologies information modeling in restoration projects of cultural heritage objects of architecture is highlighted. Special attention is paid to the reasons for the particular importance of high-quality, modern and technological methods of collecting, processing and storing information about objects of historical value. Two restoration design approaches are compared: the traditional method of planar 2D drawing and the design using building information modeling in 3D. The advantages and disadvantages of each method are revealed. The real situation in the

restoration design field and the demand for the introduction of innovative technologies in the market are analyzed.

Keywords: BIM, digital information model, restoration, architecture, cultural heritage objects, design.

Важными аспектами образования идентичности народа являются история и культура страны, к которой этот народ принадлежит [1]. Процесс формирования и приобретения собственных национальных особенностей имеет постоянный характер, прогресс не стоит на месте, в строительстве все чаще используются новые материалы и технологии, благодаря чему отрасль активно развивается. В ситуации гонки за лидерством по объемам строительства зачастую забота о достижениях предыдущих поколений зодчих, которые в свое время также были новаторами и подарили стране произведения архитектурного искусства, уходит на задний план. Но успешное формирование облика современного города с богатой историей зависит от гармоничного совместного звучания прошлого и будущего – памятников архитектуры и новой застройки.

Актуальность рассматриваемого вопроса обусловлена необходимостью исследования и сохранения объектов культурного наследия (ОКН), совершенствования применяемых методов и технологий при реализации проектов реставрации на всех этапах и наиболее эффективным образом.

В настоящее время хранение и передача информации об ОКН, их планировках, примененных материалах, архитектурном облике и проводимых ранее реставрационных работах по-прежнему производится в виде исторических фотографий и сканированных архивных чертежей. Подобный подход не является совершенным, эффективным и надежным, поскольку с течением времени сведения, необходимые в работе по восстановлению здания, приходят в негодность, утрачивают читаемость, и однозначно распознать габариты, материалы, особенности конструкций и отделки становится все сложнее. Помимо этого, часто реставрацией одного объекта последовательно занимаются разные организации, каждая из которых нередко имеет свой взгляд на истинный облик здания, что приводит к искажению заложенного автором внешнего и внутреннего видов памятника архитектуры [2].

Поскольку необходимо сохранять историческую и эстетическую ценность ОКН, сформированный ими градостроительный облик, важно обеспечить качественное проведение работ на всех этапах реставрационного проекта. Очевидно, начинать следует со сбора исходных данных и проектирования. В контексте активно взятого курса на цифровизацию

в сфере строительства, применение технологий информационного моделирования (ТИМ) в реставрации объектов культурного наследия – важный шаг к совершенствованию проектных работ. Однако обладая весомым количеством преимуществ в проектах нового строительства, на сегодняшний день ТИМ в реставрации мало развиты.

В рамках исследования следует выяснить, целесообразно ли применение ТИМ на существующем этапе его развития и возможны ли дальнейшие перспективы совершенствования технологий [3].

Для формирования цифровой информационной модели объекта, подлежащего реставрации, первоначально необходимо провести обмерные работы. Помимо использования архивных данных о габаритах и параметрах здания, существует несколько способов получения необходимой для точного проектирования информации:

– традиционный ручной обмер с использованием различных измерительных приборов от простых рулеток до лазерных дальномеров и толщиномеров;

– лазерное сканирование – технология съемки объекта, результатом которой является сформированное облако точек, для каждой из которых определены координаты в пространстве;

– цифровая фотограмметрия – ортогональная фотосъемка конструкций, фасадов, помещений с преимуществом корректной цветопередачи, которая также фиксирует длины и объемы как отдельных частей, так и всего объекта в целом. Результат достигается путем многократной съемки объекта с разных ракурсов, после чего специализированное программное обеспечение (ПО) из перекрывающихся фотографий синтезирует единое облако точек;

– совмещенная технология наложения полученного по результатам лазерного сканирования облака точек на модель объекта, сформированную по фотосъемке – наиболее точный, но не применяющийся на данный момент метод ввиду своей сложности, дороговизны и недостаточной детальной проработки [4].

Цифровые методы обследования и измерений наиболее достоверно фиксируют и отображают состояние здания на момент проведения работ, уделяя внимание особенностям декора и объемно-планировочных решений, в то время как при традиционном способе проведения обмеров вручную имеет место человеческий фактор и частичное искажение значений. На основе полученных данных разрабатывается проектная документация, в которой отражены и имеющиеся дефекты, и способы их восстановления.

Однако существующие современные технологии позволяют строить объемную информационную модель, преимущества которой не ограничиваются лишь презентабельным внешним видом. Одним из достоинств является возможность заложить в свойства и параметры модели информацию о материалах, состоянии конструкции, об отклонениях от геометрической оси и прочем, что позволяет учесть особенности ведения реставрационных работ и поведения здания под воздействием тех или иных факторов. Трехмерная модель требует большего времени на формирование, но в то же время повышает качество проработки проекта и его детализацию. Кроме того, вносимые при необходимости в проект изменения отражаются сразу на всех видах, поэтому вероятность допустить ошибку по сравнению с двумерным проектированием каждой схемы по отдельности, сводится к минимуму.

Специфика исторических зданий в том, что их строительство происходило в отсутствие развитых технологий и строительного оборудования, чем объясняется наличие погрешностей и отклонений геометрической точности конструкций и зданий в целом. Поэтому имея все необходимые замеры, в большинстве случаев значительно быстрее и проще вычертить плоскостные схемы, а результат получится максимально приближенным к действительности.

На сегодняшний день рядовые реставрационные проекты разрабатываются в технике плоскостных 2D-чертежей планов, схем, фасадов (рис. 1).

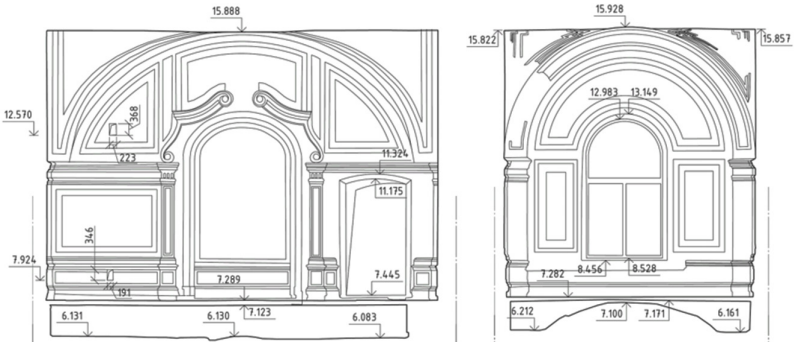


Рис. 1. 2D-чертежи фрагментов развертки стены, полученные по результатам обмерных работ, проведенных ООО «Деи гратиа»

Для объективности оценки рациональности применения ТИМ в реставрационных проектах в рамках исследования было проведено интервьюирование 17 специалистов по проектированию, обследованию и реставрации ОКН, результаты которого приведены в таблице. В первом столбце перечислены критерии сравнения методов, во втором – оценка 3D-проектирования, выраженная в процентах, для удобства сравнения за 100 % приняты показатели для плоскостного проектирования.

Сравнение методов проектирования объектов культурного наследия при реставрации

Критерий	Проектирование с применением ТИМ
Трудоемкость разработки проекта	300 %
Стоимость проектирования	300 %
Качество модели и проектной документации	150 %
Точность отображения реального состояния конструкций	170 %
Навыки проектировщиков	40 %
Возможности программного обеспечения	60 %
Востребованность на рынке	15 %
Удобство повторного использования	200 %
Насыщенность информацией	500 %
Возможности для сложных, уникальных объектов	250 %
Качество полученного результата в натуре на объекте	100 %

Исходя из приведенных результатов исследования можно сделать вывод о том, что на данном этапе разработка реставрационных проектов объектов культурного наследия с использованием ТИМ, обладая неоспоримыми преимуществами, не готова к повсеместному применению, в первую очередь из-за отсутствия специализированного ПО. Приходится использовать доступные программы, не приспособленные к нуждам реставрации, из-за чего значительно возрастает трудоемкость работы над проектом и соразмерно ей – стоимость, к чему не готовы заказчики.

Для развития сферы и, впоследствии, рационального использования цифровых благ в проектах реставрации необходимо создать благоприятные условия: разработать специализированное ПО, обучить реставраторов-проектировщиков до необходимого и достаточного уровня квалификации работы с новыми информационными технологиями, а также принять понятные и однозначные нормативно-правовые акты.

На сегодняшний день технологии информационного моделирования используются только в экспериментальном виде частными проектными компаниями для исследования своих возможностей, поиска новых заказов или при исполнении государственного заказа проекта реставрации ОКН федерального значения с применением ТИМ. Так, в 2018 году Министерство культуры РФ выдало задание на реставрацию «Дома, в котором жил Чехов Антон Павлович в 1886-1890 гг. В доме – музей А.П. Чехова», с чем ФГУП ЦНРПМ не без сложностей, но успешно справились (рис. 2) [5].

Рис. 2. ТИМ-модель реставрируемого объекта «Дом, в котором жил Чехов Антон Павлович в 1886–1890 гг. В доме – музей А. П. Чехова» [5]

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы НИР № 4С24 при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ.

Литература

1. Ибрагимова Р.В. Применение компьютерных технологий для реконструкции памятников архитектуры // Архитектоника региональной культуры: сб. науч. тр. V-й Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. уч. Курск: ЮЗГУ, 2022. С. 123–127. EDN: RHJPIY.

2. Гуриева М.А., Сокол Ю.В. Технологии в производстве реставрационных работ фасадного декора на архитектурных памятниках // Перспективы науки. 2022. № 10(157). С. 87–90. EDN: QEUBRC.

3. Букреева Д.В., Гонтарь Е.В. 3D-моделирование как способ сохранения объекта культурного наследия регионального значения «храм Богоявления» в селе Емецк // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2023. Архангельск: С(А)ФУ им. М.В. Ломоносова, 2023. С. 111–115. EDN: MFFUZZ.

4. Мельникова О.Г., Олейников П.П. Информационное моделирование зданий: опыт реконструкции памятников культурного наследия // Социология города. 2013. № 4. С. 72–80. EDN: RUKNHR.

5. Применение BIM-системы Renga для проекта реставрации дома-музея А. П. Чехова. Опыт ФГУП «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские». URL: https://rengabim.com/experience-of-users/primenenie-bim-sistemy-renga-dlya-restavracii-doma-muzeya/ (дата обращения: 25.02.2024).

УДК 004.94
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.040

Баранчук Мария Юрьевна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: marvelmaria@mail.ru, ORCID: 0009-0009-5651-1903

Baranchuk Mariia Yurievna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНЫХ ДОПОЛНЕНИЙ

IMPROVEMENT OF THE CONSTRUCTION INFORMATION MODELING SYSTEM WITH THE HELP OF SOFTWARE ADD-ONS

Данная статья дает представление о методах и инструментах, способствующих усовершенствованию системы информационного моделирования строительства при помощи технологии информационного моделирования (ТИМ) и программных дополнений (плагинов). Автор рассматривает программные расширения, позволяющие не только оптимизировать рабочее время, но и автоматизировать процесс проектирования в отдельных отраслях (разработка монолитных конструкций, коммуникаций, управление моделью). Также в данной работе приведен сравнительный анализ функционала плагина для отечественного и импортного программного обеспечения, представлен перечень расширений, связанных с различными аспектами проектирования, и сделан вывод о возможности их использования совместно с российским программным обеспечением (ПО).

Ключевые слова: строительство, проектирование, технология информационного моделирования, плагины, отечественное программное обеспечение.

This article gives an idea of the methods and tools that contribute to the improvement of the construction information modeling system using building information model (BIM) and software add-ons (plug-ins). The author considers software extensions that allow not only to optimize working hours, but also to automate the design process in certain industries (development of monolithic structures, communications, model management). This paper also provides a comparative analysis of the plug-in functionality for domestic and imported software, provides a list of extensions related to various aspects of design, and concludes that they can be used in conjunction with Russian software.

Keywords: construction, design, building information model, plug-ins, domestic software.

На сегодняшний день многие конструкторские и архитектурные бюро держат курс в сторону развития ТИМ. Процесс проектирования различной сложности либо частично перебрался в цифровой объем, либо полностью изменил структуру рабочего процесса, получая данные из трехмерной модели. Целью данного исследования является поиск и изучение программных инструментов, которые усовершенствуют систему информационной моделирования строительства и решат проблемы, сопутствующие ТИМ, изложенные далее в статье.

ТИМ привнесла в сферу строительства множество инструментов, позволяющих детализировано представить объект, исключить коллизии со смежными отделами проектирования [1], но они все равно полностью не исключают вероятности возникновения ошибки. Заполнение спецификаций вручную, назначение марок, параметризация модели – эти и другие однообразные рабочие процессы повышают влияние человеческого фактора. Риски увеличиваются при работе с крупными объектами из трех и более зданий или сооружений в единой информационной модели.

Рутинные действия могут быть сведены к нулю при написании определенных алгоритмов действий, которые грамотно организуют рабочий процесс, а также его автоматизируют. Для данной задачи могут послужить такие инструменты как плагины (англ. plug-in, от plug in «подключать») – программные дополнения [2].

На рисунке представлена схема распределения функций плагина для различных разделов проектирования:

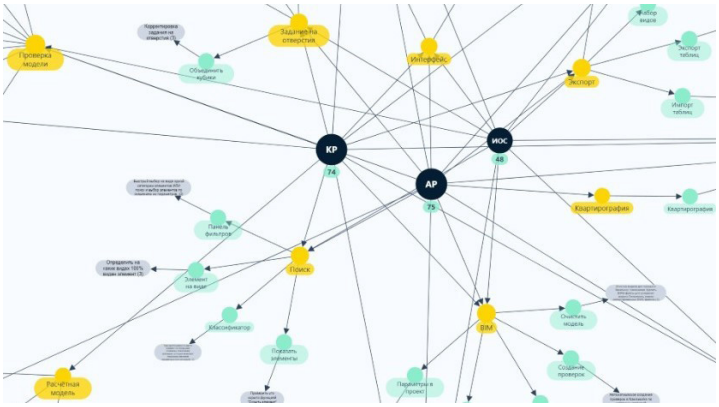


Схема распределения функций плагина для различных разделов проектирования

Расширения программного обеспечения не только ускоряют процесс выполнения базовых функций, но и включают в себя новый функционал [3].

Одним из наиболее популярных и доступных плагинов является дополнение Modplus. Данное расширение автоматизирует процесс проектирования, выполняет моделирование в соответствии с нормативными документами и стандартами [4]. Плагин является отечественной разработкой и внесен в реестр программного обеспечения[1], а также может быть использован в наиболее распространённых программах для проектирования – Renga и Autodesk Revit.

В табл. 1 представлен результат сравнительного анализа функционала рассматриваемого плагина для различных программ.

Таблица 1

Сравнительный анализ функционала плагина Modplus для различного программного обеспечения

№ п/п	Наименование функции	Краткое описание	Применение плагина для ПО	
			Renga	Autodesk Revit
1	Быстрые свойства	Быстрый просмотр и редактирование свойств выбранных элементов	+	Данная функция может быть выполнена базовыми инструментами
2	Пакетный экспорт листов	Плагин позволяет экспортировать все указанные листы в DWG/DXF/PDF/OXPS	+	
3	Фильтр	Фильтр выбранных элементов по категории	+	

[1] Перечень российского программного обеспечения для субъектов градостроительной деятельности в соответствии с данными единого реестра российского программного обеспечения для ЭВМ от Минстрой РФ от 29.11.2023

Окончание табл. 1

№ п/п	Наименование функции	Краткое описание	Применение плагина для ПО	
			Renga	Autodesk Revit
4	Нумератор листов	Нумерация листов, входящих в одну группу листов по заданному порядку	Данная функция отсутствует, нет возможности выполнения базовыми инструментами в автоматизированном режиме	+
5	Пакетное переименование	Плагин позволяет переименовать, заменить, добавить префикс или суффикс для нескольких видов/листов		+
6	Поиск в таблицах	Плагин позволяет найти среди всех таблиц проекта определенную по имени, заголовку или значению в ячейке		+
7	Копировать листы в документы	Пакетное копирование выбранных листов в указанные открытые документы		+

Сравнение функционала плагина Modplus, предназначенного для снижения количества однообразной работы и повышения качества выдаваемой документации, показало недоработку по отношения к отечественному программному обеспечению Renga. Данный факт может быть оправдан новизной российского продукта и невозможностью встройки его в программу, а также низким спросом среди пользователей. Предпочтение в использовании программ для объемного моделирования по-прежнему отдается Autodesk Revit.

Функционал плагина может варьироваться от решения простых задач, избавляющих от такой рутины как заполнение таблиц

и спецификаций, до более сложных, связанных с моделированием и параметризацией элементов.

Рынок с программными расширениями для проектирования многообразен: существует сильная конкуренция между разработчиками программных расширений. На сегодняшний день существуют специализированные расширения, связанные с моделированием определенных элементов, например, коммуникаций, и их расчетом. Плагины более широкой направленности включают в себя более разнообразные функции с возможностью адаптации под запрос пользователя.

В табл. 2 представлены плагины, разработанные программистами и ТИМ-специалистами для импортного и отечественного программного обеспечения.

В ходе исследования продуктов на существующем рынке были определены основные направления функционала, которые присутствуют в большинстве программных расширений: управление моделью, таблицами и спецификациями, параметризация элементов, автоматизация процесса армирования монолитных конструкций простых форм, визуализация объекта.

Таблица 2

Анализ функционала и возможности применения плагина для импортного и отечественного программного обеспечения

№ п/п	Наименование плагина	Краткое описание функционала	Возможность использования в Revit	Возможность применения в Renga
1	BIM-starter	Обширная библиотека семейств, армирование монолитных конструкций, параметризация модели, управление таблицами	Предназначен для данного программного обеспечения, российский разработчик	–
2	Future BIM	Армирование монолитных конструкций, параметризация модели и маркировка элементов, управление таблицами и спецификациями		

Окончание табл. 2

№ п/п	Наименование плагина	Краткое описание функционала	Возможность использования в Revit	Возможность применения в Renga
3	5D Смета	Автоматизация подсчета объема работ и материалов, сокращает процесс оформления документации из-за внедренных шаблонов. Специализированный плагин, предназначен для узкой аудитории	Подходит для данного ПО	Подходит для данного ПО
4	Aristos 3D	Визуализация трехмерной модели с различных устройств	Нет, есть возможность в базовом функционале, есть программы для просмотра	
5	САПР-Альфа	Разработка систем электроснабжения. Специализированный плагин, предназначен для узкой аудитории	Нет, но есть множество аналогов	

Большинство рассмотренных плагинов с широким функционалом предназначены преимущественно для зарубежного программного обеспечения по ряду причин, описанных выше. Также не менее важным недостатком является проработка режима совместной работы: при редактировании одного и того же элемента будут сохранены изменения только того участника, который внес корректировки раньше других. При всем этом, программа не отправит запрос на редактирование, не уведомит пользователя о том, что данные остальных участников не были сохранены.

И, в конечном итоге, множество других недоработок при моделировании: отсутствие анализа модели на коллизии, базового функционала

продуктов Autodesk, к которому привык потребитель, нуждаются в решении от разработчиков Renga [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что вопрос совершенствования системы информационного моделирования строительства при помощи ТИМ и программных дополнений открыт для зарубежных программ объемного моделирования и только начинает свое развитие на отечественном рынке. К сожалению, на сегодняшний день российские программы, предназначенные для объемного моделирования зданий и сооружений недостаточно проработаны, что подтверждается сравнительным анализом функционала Renga и Autodesk Revit. Даже без использования плагина многие базовые функции в отечественном программном обеспечении недоступны для пользователя в сравнении с зарубежным аналогом.

Литература

1. Горохова Т.В. Обоснование необходимости использования BIM-технологий с целью повышения эффективности строительных процессов // Вестник магистратуры. 2021. № 5-2(116). С. 63–66. EDN: DGJTHW.

2. Юрченко С.А., Варибрус Д.С. Инструменты расширения и дополнения программного комплекса «Autodesk Revit» // Инновационная наука. 2019. № 3. С. 50–52. EDN: AHVQGR.

3. Артемова С.Ю., Попова К.С. Информационное моделирование зданий, разработка семейств и плагинов для Revit // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: Матер. Всеросс. конф. с междунар. уч. М.: Изд-во «Перо», 2019. С. 439–443. EDN: AMLEEA.

4. Официальный сайт программного обеспечения Renga. Расширения. Проектирование. URL: https://rengabim.com/designing/ (дата обращения: 25.02.2024).

5. Аниськина К.И. Анализ и сравнение современных автоматизированных систем Autodesk Revit и Renga для информационного моделирования зданий // XI Всероссийский Фестиваль науки. Сборник докладов. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2021. С. 295–299. EDN: MFGSEJ.

6. Борисов М.П., Вавин А.А., Уткина В.Н. Современные автоматизированные системы Revit и Renga для информационного моделирования зданий // Огарёв-Online. 2020. № 3(140). С. 1. EDN: VHGAIQ.

УДК 004.921+338.534
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.041

Бодров Кирилл Геннадьевич, магистрант, специалист отдела САПР
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
ООО «ПроТех Инжиниринг»)
E-mail: kirsan5401@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-8484-4486

Bodrov Kirill Gennadievich, Master's degree student, CAD department specialist
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
LLC "ProTech Engineering")

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫГРУЗКИ ВЕДОМОСТИ ОБЪЕМОВ РАБОТ ИЗ МОДЕЛИ В ПО MODEL STUDIO CS

MAIN PROBLEMS OF UPLOADING BILL OF QUANTITIES FROM THE MODEL INTO MODEL STUDIO CS

В данной статье представлены основные проблемы выгрузки цифровых ведомостей объемов работ (далее ЦВОР) из ПО Model Studio CS. Рассмотрена связь между наименованиями работ по ФЕР и атрибутивной информации цифровой информационной модели, и как это влияет на выгрузку. Затронут вопрос о необходимости наличия четких правил заполнения параметров элементов. Сформированы ключевые характеристики и особенности элементов для возможности вывода ЦВОР из ЦИМ. Отмечено, что не все виды работ возможно выгрузить из ЦИМ, используя базовый функционал ПО и текущую логику назначения работ на элементы. В заключении подведены итоги данного метода выгрузки сметной документации.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, Model Studio CS, 5D - моделирование, ЦВОР, ведомость объема работ.

This article outlines the main problems of downloading volumes of digital bill of quantities (hereinafter referred to as DBOQ) from Model Studio CS software. The relationship between the titles of works and the attribute information of the digital information model is considered, and this affects the unloading. The question of the need to use clear rules for filling out the parameters of elements is raised. The main characteristics and elements of features have been formed for the possibility of deriving the BOQ from model. It is noted that not all types of work can be unloaded from model using the basic functionality of the software and the current logic for assigning work to elements. The conclusions provide the results of this method of downloading estimate documentation.

Keywords: BIM, Model Studio CS, information modeling, 5D - modeling, bill of quantities.

Введение. С переходом на технологии информационного моделирования (ТИМ) в программах информационного моделирования спецификации начинают автоматически формироваться по заданным фильтрам и правилам расчета материалов в заранее заданных шаблонах. Из спецификаций формируется ведомость объемов работ, на основе которой будет производиться расчет локальных смет по проекту. Для проектов, реализуемых с применением ТИМ, на этапе проектирования заказчик получает от исполнителя цифровую информационную модель объекта (ЦИМ ОКС), комплекты разработанной проектной документации с посчитанной ведомостью объемов работ (ВОР). Отличием цифровой ведомости объемов работ является представление объемов работ в цифровом структурированном формате с табличным представлением информации, пригодной для использования в различных программных комплексах [1–3].

Недостатком текущего подхода к созданию проектной документации на основе CAD-проектирования является низкий уровень автоматизации процессов при разработке сметной документации. Сметчику приходится самостоятельно собирать и обрабатывать различные данные от проектировщиков, анализировать и сопоставлять информацию из двухмерных чертежей, устанавливать сметные параметры вручную. Высокая степень вмешательства человека в создание сметы повышает вероятность ошибок и, как результат, необходимость внесения поправок в расчеты бюджета на строительство объекта [4].

В данной статье представлен подход разработки ведомостей объемов работ низкого уровня проработки в автоматическом режиме в виде выгрузки из информационной модели, созданной в ПО Model Studio CS, а также обозначены основные проблемы и особенности данного подхода.

Цели и задачи. Основной целью данного направления разработки является получение наиболее корректной и полной информации из модели проекта средствами Model Studio CS без использования ручного подсчета объемов работ и назначения ФЕР[1] на конкретные элементы проекта для сокращения сроков разработки проектов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

– рассмотреть часто используемые виды работ (ФЕР) в компании;

– оценить существующий подход моделирования и перечень параметров объекта;

[1] Федеральные единичные расценки. Действующая в текущем году тарифная сетка, используемая для расчета укрупненных нормативов сметы.

– проработать алгоритм назначения работ на конкретные виды объектов проекта;

– дополнить информационную модель/каталоги объектов;

– осуществить настройку шаблонов спецификатора и работ;

– разработать инструкцию для проектировщиков по выводу ВОР из модели;

– осуществлять техническую поддержку пользователей по работе.

Основной принцип работы. Принцип работы данного подхода заключается в использовании категории объектов «Объем работ». Данный функционал программы влияет на присвоение объекта работа элементу в модели. В текущих настройках присутствует специализированный параметр «Признак самоудаления работы», который действует как фильтр для отбора объектов модели. Этот параметр может принимать значения «1» и «0». Когда значение параметра равно «1», работа не будет присваиваться объекту при добавлении в модель. Если значение равно «0», то работа будет присвоена выбранному объекту. Этот параметр используется для исключения назначения работы объектам, для которых данная работа не должна учитываться.

Пример написания фильтра для параметра «Признак самоудаления работы» приведен ниже (рис. 1).

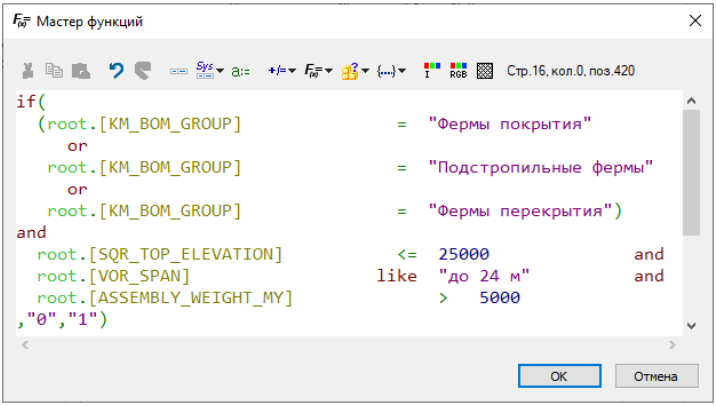


Рис. 1. Пример фильтра для параметра «Признак самоудаления работ»

Из этого следует то, что для того, чтобы выгрузить ЦВОР из модели, необходимо прописать формулу назначения для каждого вида работ

и для каждого типа элемента. Также необходимо доработать модель, чтобы у каждого типа элемента был заполнен свой набор параметров, на которые ссылаются формулы назначения работ. Сам процесс назначения работ на элементы достаточно прост. Необходимо выделить необходимые элементы модели и использовать функцию «Назначить работы».

Основные проблемы выгрузки ЦВОР. Рассматриваемый подход выпуска ЦВОР из ЦИМ[1] заключается в том, что всем элементам модели необходимо назначить необходимую работу по определенным условиям, указанным в специальном параметре. Проектировщику необходимо лишь выделить необходимую часть модели и назначить работы. Как раз именно в этом и заключается основная проблема данного подхода выгрузки ЦВОР.

Изучая различные ФЕР[2], которые являются по сути конкретными работами в ПО, можно заметить, что каждое наименование ФЕР является основой для формирования условия назначения работы на элемент модели. Примером может служить ФЕР 09-03-012-03 с наименованием «Монтаж стропильных и подстропильных ферм на высоте до 25 м пролетом: до 24 м массой более 5,0 т». Из этого наименования можно сделать вывод, что объект модели должен четко указывать, что является стропильной или подстропильной фермой с высотой монтажа до 25 метров и весом от 5 тонн, где пролет монтируемого элемента не превышает 24 метров. Разработчику инструмента остается лишь определить, какие именно параметры отвечают за данные характеристики и написать уникальное условие назначения конкретной работы под заданные характеристики.

Отсюда появляется первая проблема вывода ЦВОР данным подходом: зачастую наименование работы очень четко и подробно определяет содержание условий, характеризующих данный вид работ. Это затрудняет и усложняет разработку ЦИМ, т.к. таких уникальных условий может быть множество, а кроме как в ЦВОР, данная информация нигде использоваться не будет. Примером может служить ФЕР 09-01-001-06[3].

Второй проблемой является то, что не всегда модель может быть корректно сделана, следовательно, некоторые параметры могут быть не актуальными или неправильными, но ЦВОР считывает именно их и выведет некорректный объем согласно полученным данным из объекта.

---

[1] ЦИМ – цифровая информационная модель

[2] ФЕР – федеральные единичные расценки

[3] Монтаж каркасов одноэтажных производственных зданий одно- и многопролетных без фонарей пролетом: до 60 м, высотой до 60 м с подвесными кранами и без них

Еще одна проблема появляется так же из-за некорректных данных модели. Возможна ситуация, когда обобщенная работа попадает под условия назначения работ, но не доходит до конкретной ФЕР (Обобщенной работой в данном случае считается не последний уровень иерархии работы (рис. 2)). Данную ошибку достаточно сложно отследить, так как работа все же назначилась, но объем выводиться не будет. Примером может служить ФЕР 09-03-012-03: Основное условие выполняется (Монтаж стропильных и подстропильных ферм на высоте до 25 м), но не заполнен параметр, отвечающий за длину пролета.

Следующей проблемой является то, что объем/вес элементов может считаться по-разному, поэтому в спецификаторе необходимо настраивать вывод данных характеристик для конкретного типа и вида элемента отдельными условиями (рис. 3).

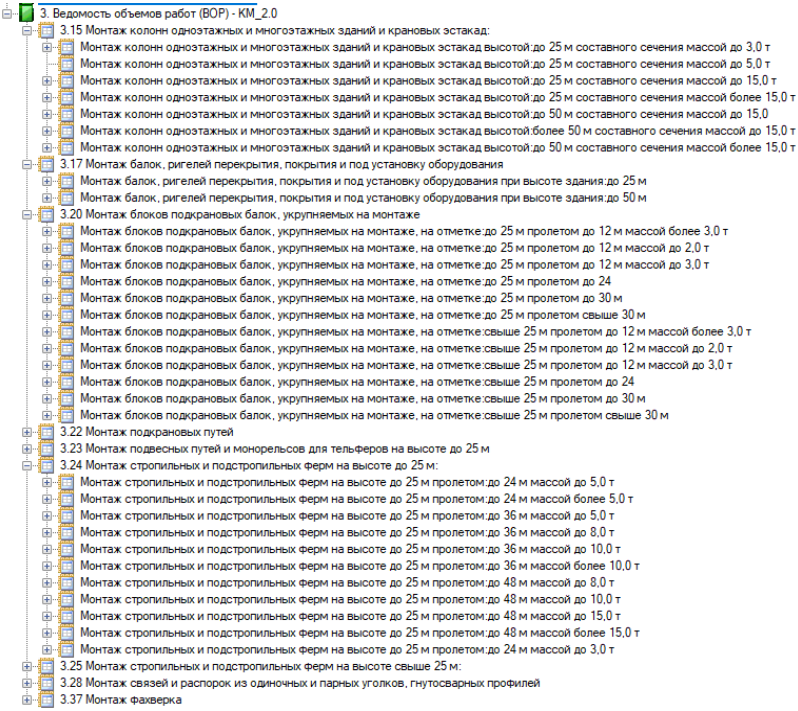


Рис. 2. Пример иерархии работ в базе данных

Мастер функций

Стр.0, кол.11, поз.11

```
case(root.[KM_BOM_GROUP]
when "Колонны"                  then if(root.child(1).[PART_TYPE] = "Прокат листовой", KM_Column_Subordin, KM_Column_ABS_Subordin),

when "Стойки фахверка"          then if(root.child(1).[PART_TYPE] = "Прокат листовой", KM_Column_Subordin, KM_Column_ABS_Subordin),

when "Прогоны покрытия"         then if(root.child(1).[PART_TYPE] = "Прокат листовой", KM_Column_Subordin, KM_Column_ABS_Subordin),
when "Балки покрытия"           then if(root.child(1).[PART_TYPE] = "Прокат листовой", KM_Column_Subordin, KM_Column_ABS_Subordin),
when "Балки"                    then if(root.child(1).[PART_TYPE] = "Прокат листовой", KM_Column_Subordin, KM_Column_ABS_Subordin),

when "Связи покрытия"           then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),
when "Распорки"                 then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),
when "Связи вертикальные"       then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),
when "Связи горизонтальные"     then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),
when "Связи по фахверку"        then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),

when "Фермы покрытия"           then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),
when "Подстропильные фермы"     then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),
when "Фермы перекрытия"         then replace(root.[ASSEMBLY_WEIGHT_MY]/1000, ",", "."),

when "Блоки подкрановых балок"  then KM_WEIGHT,
when "Подкрановые пути"         then KM_WEIGHT,
when "Подвесные пути"           then KM_WEIGHT,

 else "Ошибка")
```

ОК Отмена

Рис. 3. Пример подсчета веса в спецификаторе для раздела КМ для некоторых типов элементов

Еще одним важным аспектом автоматического вывода ЦВОР является то, что не все работы, обычно указываемые ВОР, можно вывести из модели. Примером могут служить как любые земляные работы, которые охватывают различную разработку грунта и засыпку, так и демонтажные работы, которые включают в себя перевозку грузов, погрузочно-разгрузочные работы, у которых так же есть свои условия для потенциального назначения, но самим элементам эти параметры совсем не нужны. Например, работа ФССЦпг-03-21-01-008 называется «Перевозка грузов автомобилями-самосвалами грузоподъемностью 10 т работающих вне карьера на расстояние: I класс груза до 8 км».

Существует еще одна проблема выгрузки ЦВОР: невозможность выгрузить ЦВОР в том виде и формате, который не требует ручной доработки файла. Программа выгружает лишь уже конкретные работы и объемы без указания штампов документов и любых других позиций, необходимых для прохождения нормативного контроля по оформлению (рис. 4).

	A	B	C	D	E	F
1	**Шаблоны ВОР_Ведомость объемов работ (ВОР) - КМ**					
2	**Наименование работ**	**Ед.изм.**	**Вес.**	**Код ФЕР**	**Нижняя отметка**	**Верхняя отметка**
3	3.15 Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад:		26,21			
4	Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад высотой:до 25 м составного сечения массой до 3,0 т	тонн	5	ФЕР09-03-002-04	-4.0 м	21.4 м
5	Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад высотой:до 25 м составного сечения массой до 3,0 т	тонн	5,61	ФЕР09-03-002-04	-4.0 м	21.8 м
6	Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад высотой:до 50 м составного сечения массой до 15,0	тонн	3	ФЕР09-03-002-08	21.8 м	27.8 м
7	Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад высотой:до 25 м составного сечения массой до 3,0 т	тонн	5	ФЕР09-03-002-04	-4.0 м	17.5 м
8	Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад высотой:до 25 м составного сечения массой до 3,0 т	тонн	2,5	ФЕР09-03-002-04	17.5 м	20.7 м
9	Монтаж колонн одноэтажных и многоэтажных зданий и крановых эстакад высотой:до 25 м составного сечения массой до 3,0 т	тонн	5,1	ФЕР09-03-002-04	-1.0 м	18.0 м
10	3.28 Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей		423,64			
11	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:до 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	0,3	ФЕР09-03-014-01	21.4 м	21.4 м
12	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:более 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	2,72	ФЕР09-03-014-03	-4.1 м	11.8 м
13	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:более 24 м при высоте здания до 50 м	тонн	1,27	ФЕР09-03-014-04	15.0 м	28.6 м
14	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:до 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	0,6	ФЕР09-03-014-01	24.9 м	24.9 м
15	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:до 24 м при высоте здания до 50 м	тонн	1,2	ФЕР09-03-014-02	25.1 м	25.1 м
16	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:до 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	0,9	ФЕР09-03-014-01	24.6 м	24.6 м
17	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:более 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	4,12	ФЕР09-03-014-03	3.9 м	3.9 м
18	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:более 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	10,56	ФЕР09-03-014-03	21.4 м	21.4 м
19	Монтаж связей и распорок из одиночных и парных уголков, гнутосварных профилей для пролетов:до 24 м при высоте здания до 25 м	тонн	1,13	ФЕР09-03-014-01	3.9 м	3.9 м

Рис. 4. Пример итогового документа, выгруженного из модели в формате Excel

Заключение. Данный подход позволяет более технологично и корректно выводить ЦВОР из модели в виде списка работ с объемами и привязкой ФЕР для дальнейшего использования сметным отделом.

Достоинствами данного подхода являются:

– уход от ручного подсчета объемов работ;

– гибкая система настройки работ и спецификатора.

– Недостатками данного подхода являются:

– должна проводиться достаточно объемная и сложная работа по написанию формул назначения работ на элементы ЦИМ;

– необходима доработка модели и каталогов элементов под дополнительные условия для формирования ЦВОР;

– не все виды работ на данный момент возможно выгрузить, используя данный подход.

В заключении, можно сделать вывод, что данный подход хоть и достаточно трудоемок в подготовке списка работ и самой модели, но позволяет выводить корректные объемы работ с элементов модели со всей необходимой информацией, в том числе указание расценки в виде ФЕР, для последующей передачи ЦВОР в сметный отдел. На данный момент общепринятой методики проверки соответствия ВОР и ЦИМ не представлено [5, 6], поэтому для разработчиков данного продукта открыт творческий простор для любых запрашиваемых сметным отделов характеристик, необходимых им для более оптимизированной работы и интеграции со сметными программами.

Литература

1. Жаров Я.В., Шабалин М.С. Цифровая ведомость объемов работ – инструмент проверки цифровых информационных моделей // Строительное производство. 2023. № 2. С. 33–37. DOI: 10.54950/26585340_2023_2_33. EDN: QEAAHA.

2. Бозин М.М., Василенко М.А., Кузина Е.Л. Технологии информационного моделирования в формировании механизма сметных расчетов в строительстве // Финансовые аспекты структурных преобразований экономики. 2021. № 7. С. 248–254. EDN: ZXIHCJ.

3. Никитина Е.А. Внедрение BIM-технологий в сметную документацию // Инженерный вестник Дона. 2020. № 12(72). С. 1–9. EDN: CPOSOX.

4. Зеленцов Л.Б., Кокарева Я.А., Акопян Н.Г., Пирко Д.В. Интеграция смет и BIM-проектов // Строительное производство. 2020. № 2. С. 29–34. DOI: 10.54950/26585340_2020_2_29. EDN: RVVZHA.

5. Киевский И.Л., Аргунов С.В., Жаров Я.В., Юргайтис А.Ю. Алгоритмизация систем планирования, управления и обработки информации в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 11. С. 14–24. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.11.14-24. EDN: AGNCHY.

6. Малышев В.Н. Система контроля качества разработки проектно-сметной документации на основе методов проектного управления // Экономический вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2021. № 1(11). С. 52–68. EDN: ZUJFLC.

УДК 658.5:624.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.042

Дорофеева Валерия Владимировна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: budrenkina@yandex.ru, ORCID: 0009-0001-3667-722X

Dorofeeva Valeria Vladimirovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В РОССИИ

DEVELOPMENT PROSPECTS OF 4D MODELING IN RUSSIA

В статье проведен анализ текущего состояния и перспектив развития 4D-моделирования в российском строительстве. Отмечается растущий интерес к технологии среди компаний строительной отрасли, обсуждаются факторы, способствующие ее развитию: государственная поддержка цифровизации, рост числа специалистов с навыками ТИМ, и растущие требования заказчиков к прозрачности в бизнес-процессах. Также рассматриваются проблемы внедрения, такие как высокие затраты на обучение и интеграция новых технологий. В заключении прогнозируется будущее 4D-моделирования в России, подчеркивается потенциал для интеграции с передовыми технологиями автоматизации проектирования.

Ключевые слова: ТИМ, технологии информационного моделирования, 4D-моделирование, визуализация процесса строительства, календарно-сетевой график, строительство.

The article provides an analysis of the current state and future prospects of 4D modeling in the Russian construction industry. The author notes the growing interest in the technology among construction companies, discusses factors contributing to its development: government support for digitalization, the increasing number of specialists with BIM skills, and the rising demand from clients for transparency in business processes. Implementation challenges are also considered, such as high training costs and the integration of new technologies. In conclusion, the future of 4D modeling in Russia is forecasted, emphasizing the potential for integration with advanced design automation technologies.

Keywords: BIM, building information modeling, 4D modeling, visualization of construction processes, schedule, construction.

В последние годы строительные компании в России активно внедряют цифровые технологии, в том числе 4D-моделирование, что позволяет

увеличить эффективность планирования и управления на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства. Эта тенденция поддерживается как стремлением к повышению конкурентоспособности среди компаний, так и необходимостью отвечать на возрастающие требования к качеству и безопасности строительства на уровне государства.

Цель данной работы – проанализировать текущие перспективы развития 4D-моделирования в России. В рамках обзора литературы изучена цифровизация строительной отрасли, в частности применение технологий информационного моделирования зданий (ТИМ). Основное внимание сфокусировано на возможности интеграции календарно-сетевого планирования с 3D-моделями объектов для оптимизации строительного процесса.

По разным экспертным оценкам для перехода к использованию отечественного софта потребуется от одного до трёх лет. Но уже сейчас есть качественное отечественные разработки, способные составить конкуренцию зарубежным аналогам. Данная тема раскрыта в работе [1], в которой подчеркивается необходимость улучшения отечественного ПО для замещения импортных аналогов. На основе анализа научной литературы и интервью с ведущими специалистами в статье определены функциональные и технические требования к таким системам. Проводится сравнительный анализ известных зарубежных и российских программ для 4D-моделирования с указанием на их текущее состояние и направления доработки.

Текущие задачи отечественных разработчиков – обеспечение единообразия систем и создание единой среды цифровой работы. Достаточно системно об этом говорится в работе [2]. В статье описывается возможность применения 4D-моделирования для ускорения строительного цикла и повышения «прозрачности» проектных работ, оптимизации сроков и бюджета строительства. Особое внимание сфокусировано на анализе проблем, с которыми сталкиваются строительные компании при внедрении и использовании ТИМ. Такие, как высокие требования к квалификации специалистов, необходимость инвестиций в программное обеспечение и оборудование, а также сложности интеграции новых технологий в бизнес-процессы.

Применение 4D-моделирования в строительстве предлагает ряд преимуществ для планирования и организации строительства объектов. Очень подробно об этом написано в статье [3]. Данная технология позволяет инженерам точно оценивать необходимое время на каждый этап строительства, минимизируя ошибки, вызванные человеческим фактором. Это способствует составлению наиболее реалистичных и достижимых сроков

строительства. Кроме того, это приводит к оптимизации распределения ресурсов, уменьшению рисков и увеличению экономии за счет предотвращения простоев или конфликтов во время строительства. На этапе предпроектирования использование 4D играет ключевую роль в оценке релевантности строительного проекта. Технология позволяет разработать точные планы реализации проекта, провести анализ 3D-модели и составить календарный график.

4D-модель позволяет всем участникам строительного процесса визуально следить за плановым ходом строительства. Специализированные программы позволяют объединять 3D-модели с календарно-сетевыми графиками строительства и создавать визуальные анимации процесса. Информационную модель здания удобно использовать при составлении отчетов для заказчика, поскольку она может показать фактическое состояние выполнения определенных видов работ на строительной площадке.

В России на сегодняшний день в разработке находится несколько программных продуктов, в том числе 7D Modeler [4] и BIM-R [5]. Программный комплекс 7D Modeler был выпущен в октябре 2022 года. Согласно информации, предоставленной разработчиками BIM-R, программное обеспечение планируется к выпуску в апреле 2024 года.

Ниже представлена сравнительная таблица основных характеристик программных комплексов.

Сравнение характеристик ПО

Характеристика	7D Modeler	BIM-R
Формат данных для импорта и экспорт данных	IFC 4, IFC4.3, XML, FBX, DAE, OBJ, glTF, CityGML, IDS	IFC 2x3 и выше
Сводная 3D-модель	Сборка 3D-моделей	–
Автоматическое создание календарных графиков	Расчет календарно-сетевых графиков и критических путей	Автоматическая привязка 3D-элементов к работам календарно-сетевого графика
Поиск 3D и 4D-коллизий	Определение пространственно-временных конфликтов	Выявление временных коллизий

Окончание таблицы

Характеристика	7D Modeler	BIM-R
Инструменты для создания простых 3D-элементов	Редактирование конструктивных элементов	–
Наличие пользовательских визуальных профилей	Симуляции роста 3D-элемента, выделение различных работ цветом, интерполяция прозрачности	Симуляции роста 3D-элемента, выделение различных работ цветом, интерполяция прозрачности
Возможность создания 3D-путей движения машин и механизмов	Позволяет создавать пути движения машин и назначать их на ресурсы и работы для отображения движения техники	–
Интерфейс пользователя	Интуитивный интерфейс для удобства пользователей	Индивидуальная настройка интерфейса пользователя
Интеграция с другими программами	–	Plan-R
Среда общих данных	Open BIM	Веб-сервис, мобильное приложение

Можно выделить функциональное преимущество программного комплекса 7D Modeler, разработанный компанией Открытые ТИМ системы.

Несмотря на высокий интерес и ряд преимуществ внедрения ТИМ, опрос, который провела команда ООО «ИНГИПРО», показал, что только 28 % строительных компаний использовали среду общих данных (СОД) в своей работе, в то время как остальные 72 % еще не приняли решение о покупке ПО по различным причинам. Статья [6] изучает вопросы внедрения и коммерциализации СОД в контексте российского рынка строительства. Авторы анализируют готовность рынка к принятию новых технологий информационного моделирования, особенно в условиях ухода западных вендоров и роста отечественных ПО. Авторы также подчеркивают основные проблемы и предлагают рекомендации для стимулирования более широкого принятия технологий в отрасли.

Строительные компании сталкиваются с проблемами при внедрении 4D-моделирования. Самые частые из них: финансовые ограничения, нехватка трудовых ресурсов, высокие требования к квалификации специалистов, консервативность руководства, сжатые сроки проекта. Решением данных проблем могут стать инвестиции в обучение сотрудников, ПО и оборудование. Руководителям компаний необходимо принять тот факт, что использование цифровых технологий и 4D-моделирования поможет им лучше планировать сроки и бюджеты проектов. Это повлечет за собой значительную экономию финансов несмотря на то, что появится необходимость в модернизации бизнес-процессов компании и обучении сотрудников.

Ключевую роль в 4D-моделировании зданий могут играть классификаторы строительной информации (КСИ). Они помогают обеспечить некоторую стандартизацию и унификацию данных в проектах [7]. В контексте 4D-моделирования КСИ могут интегрировать информацию о материалах, процессах и временных рамках в единую общую систему. Это позволит точно рассчитывать объем работ и планировать процесс поставки необходимых для работ материалов, а также облегчит совместную работу заказчика и подрядной организации.

4D-моделирование имеет потенциал для дальнейшего развития в России. Учитывая текущие тенденции, можно предположить расширение применения этой технологии как в крупных, так и в малых строительных компаниях. Предполагается, что будущее 4D-моделирования будет связано с дальнейшей интеграцией с другими цифровыми технологиями, что позволит автоматизировать процессы принятия решений. Однако для реализации этого потенциала необходимо разработать нормативные базы, подготовить квалифицированных специалистов и создать условия для внедрения инноваций в отрасли.

Исследование подчеркивает значимость 4D-моделирования для современной строительной индустрии и указывает на необходимость дальнейшей разработки отечественного программного обеспечения и интеграции цифровых технологий в строительные процессы.

Вывод, основанный на анализе текущего состояния и перспектив развития 4D-моделирования в строительной отрасли России, подчеркивает значительные преимущества, которые цифровизация вносит на все этапы жизненного цикла объектов строительства. Внедрение 4D-моделирования увеличивает эффективность планирования и управления объектов строительства. Это является важным аспектом для укрепления конкурентных позиций строительных компаний. Развитие отечественных программных решений для 4D-моделирования, способных конкурировать

на международном уровне, выступает важным шагом на пути к полной цифровизации строительной отрасли в России. Однако, несмотря на высокий потенциал и явные преимущества, проблемы, связанные с квалификацией специалистов, необходимостью инвестиций в ПО и оборудование, а также сложностями интеграции новых технологий в существующие бизнес-процессы, требуют комплексного решения, а также поддержки на государственном уровне.

Прогноз на будущее 4D-моделирования указывает на его более широкую интеграцию в строительный рынок. С развитием технологий и снижением стоимости программного обеспечения можно ожидать, что 4D-моделирование станет обязательным элементом в проектировании строительных проектов. Вероятно, это приведет к интеграции с другими передовыми технологиями, что позволит автоматизировать процесс проектирования.

Благодарности

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

Литература

1. Погребной А.А., Петелин М.Е., Фуртаева А.А. Определение функциональных и технических требований к системам 4D-моделирования строительного производства // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 369–377. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.051. EDN: XBNHHV.

2. Пименов С.И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4d-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3(67). С. 92–104. DOI: 10.36622/VSTU.2022.67.3.009. EDN: OPJFKX.

3. 7D Modeler | Открытые ТИМ Системы. URL: https://www.openbimsystems.ru/7d-modeler (дата обращения: 12.02.2024).

4. BIM-R. URL: https://bim-r.bim-info.ru/ (дата обращения: 12.02.2024).

5. Бовтеев С.В. Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов // Системные технологии. 2023. № 4(49). С. 61–69. DOI: 10.55287/22275398_2023_4_61. EDN: NWAVOD.

6. Пронин В.И., Медведев Д.В., Ислам А.А. Коммерциализация технологий информационного моделирования на примере рынка СОД // Человек. Общество. Инклюзия. 2023. Т. 14, № 3-1(55). С. 141–149. EDN: CSQNSP.

7. Пискун А.С., Астафьева Н.С. Применение классификаторов строительной информации в проектировании фармацевтических заводов // Неделя науки ИСИ: Сб. матер. Всеросс. конф. Ч. 2. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. С. 217–219. EDN: KIVFUX.

УДК 721.011.12
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.043

Зюкина Анна Геннадиевна, студент
(Тамбовский государственный технический университет)
E-mail: annazyu20021112@gmail.com
Долженкова Марина Валентиновна, канд. техн. наук, доцент
(Тамбовский государственный технический университет)
E-mail: dmv20101@yandex.ru

Zyukina Anna Gennadievna, student
(Tambov State Technical University)
Dolzhenkova Marina Valentinovna, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Tambov State Technical University)

BIM-ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЕ

BIM DESIGN IN MODULAR ARCHITECTURE

Сегодня BIM-моделирование значительно упрощает процесс проектирования зданий и сооружений различного назначения. За счет создания информационной модели здания появляется возможность изменять параметры стен, окон и других деталей здания всего в один клик. Упрощается процесс совместной работы над проектированием зданий за счет среды общих данных и облачного хранилища. В данной статье раскрываются особенности BIM-проектирования модульного строительства. На примере студенческого проекта модульной библиотеки, выполненного в программе Autodesk Revit, показано, как с помощью BIM можно создавать различные комбинации модулей и оптимизировать процесс проектирования модульных зданий. В работе выполнен анализ, как с помощью BIM-проектирования упростить процесс создания модульных зданий, которые стали новой тенденцией в строительстве.

Ключевые слова: модульное строительство, BIM-проектирование, модульная архитектура, энергосберегающие технологии, модули из контейнеров.

Today, BIM modeling greatly simplifies the process of designing buildings and structures for various purposes. By creating an information model of the building, it becomes possible to change the parameters of walls, windows and other building details in just one click. The process of collaboration on building design is simplified due to the shared data environment and cloud storage. This article reveals the features of BIM design of modular construction. Using the example of a student modular library project implemented in the Autodesk Revit program, it is shown how using BIM you can create various combinations of modules and optimize the design process of modular buildings.

The paper analyzes how to simplify the process of creating modular buildings using BIM design, which have become a new trend in construction.

Keywords: modular construction, BIM design, modular architecture, energy-saving technologies, modules from containers.

Архитектурное проектирование – сложный процесс создания зданий и сооружений различного назначения. Одной из ключевых проблем проектирования является создание в проекте реалистичного отображения здания. Визуализация проекта в виде 3D-модели отображает все детали, архитектурные особенности и соразмерность с другими объектами. Но BIM – это не только инструмент для проектирования и строительства зданий. Технологии BIM позволяют поддерживать проект на всех этапах жизненного цикла здания.

BIM расшифровывается как Building Information Modeling, то есть информационное моделирование зданий. Это не просто чертежи планов и фасадов, это полноценная 3D-модель, которая содержит не только архитектуру здания, но и его конструктивные и инженерные особенности. В российском законодательстве информационная модель, или цифровая информационная модель объекта капитального строительства – это совокупность взаимосвязанных инженерно-технических и инженерно-технологических данных об объекте капитального строительства, представленных в цифровом объектно-пространственном виде [1].

Использование BIM в современном проектировании помогает облегчить процесс за счет создания различных вариативных пространств на базе одной модели. При этом вариативность создается за счет использования различных форм, цвета, фактур, материалов и других вполне определенных средств [1].

Создание модульной архитектуры органично встраивается в принципы BIM-проектирования за счет повторяемости элементов (модулей) [2].

Модульная архитектура все больше развивается в современном строительстве, особенно в проектировании частных домов из-за быстрой возводимости и экономичности зданий. Развитие цифровых инструментов и имплементация их в строительстве радикально изменило применение модульного строительства, например, за счет упрощения проектирования модулей [3].

Один из принципов модульной архитектуры – создание различных сочетаний модулей и нахождение наилучшего варианта с использованием различных комбинаций [4].

На примере студенческого проекта модульной библиотеки, выполненного в программе Autodesk Revit, покажем, как с помощью BIM можно

создавать различные комбинации модулей и оптимизировать процесс проектирования модульных зданий. Хотелось бы отметить, что российский софт для BIM-проектирования все больше развивается и упрощает процесс проектирования для студентов государственных университетов. Например, Renga Architecture – это BIM-система для архитектурно-строительного проектирования. По мнению пользователей, работа в Renga, в отличие от Revit, характеризуется более высокой производительностью, отсутствием регулярных задержек при выполнении команд [5].

Основная концепция проекта модульной библиотеки – создание объекта, доступного для использования школьниками и жителями небольшого населенного пункта. Библиотека является экологичной, так как позволяет использовать вторичное сырье в виде морских контейнеров для создания объекта. Проект предполагается использовать в деревнях, располагающихся вблизи портов и моря. Это позволит сократить логистические проблемы и неудобства с установкой объекта. Так как библиотека является модульной (где один модуль – морской контейнер), вариантов сборки модулей может быть несколько. В данном варианте представлен пример сборки с модулями, объединенными в 2 блока с читальными залами. Также были созданы из модулей несколько замкнутых блоков в виде квадрата, внутри которого располагается небольшой сад с зеленью и деревьями. Так как библиотеку предполагается располагать в южных районах, выбранное решение позволит использовать объект в разные времена года. Модульный проект поможет решить проблему с местом рекреации жителей деревень (рис. 1).

Как было сказано ранее, процесс модульного проектирования – это создание комбинаций одного или нескольких модулей. Из-за наличия различных факторов они часто меняются и преобразовываются, так как архитектурное проектирование сочетает в себе творческие и технические аспекты [6].

При создании студенческого проекта был выбран модуль в виде морского контейнера. Был создан один типовой модуль библиотеки. Все стены, перекрытия, окна и мебель были объедены в единую группу с помощью команды в программе «Группа». Из-за объединений всех деталей модуля процесс создания комбинаций значительно упрощается.

Следующим этапом при проектировании было создание разнообразных комбинаций модулей для библиотеки. Так как модуль объединен в единую «группу» процесс создания вариаций библиотеки значительно упрощен. Благодаря этому было создано несколько вариантов того, как бы могло выглядеть здание за счет копирования одного единого модуля (рис. 2).

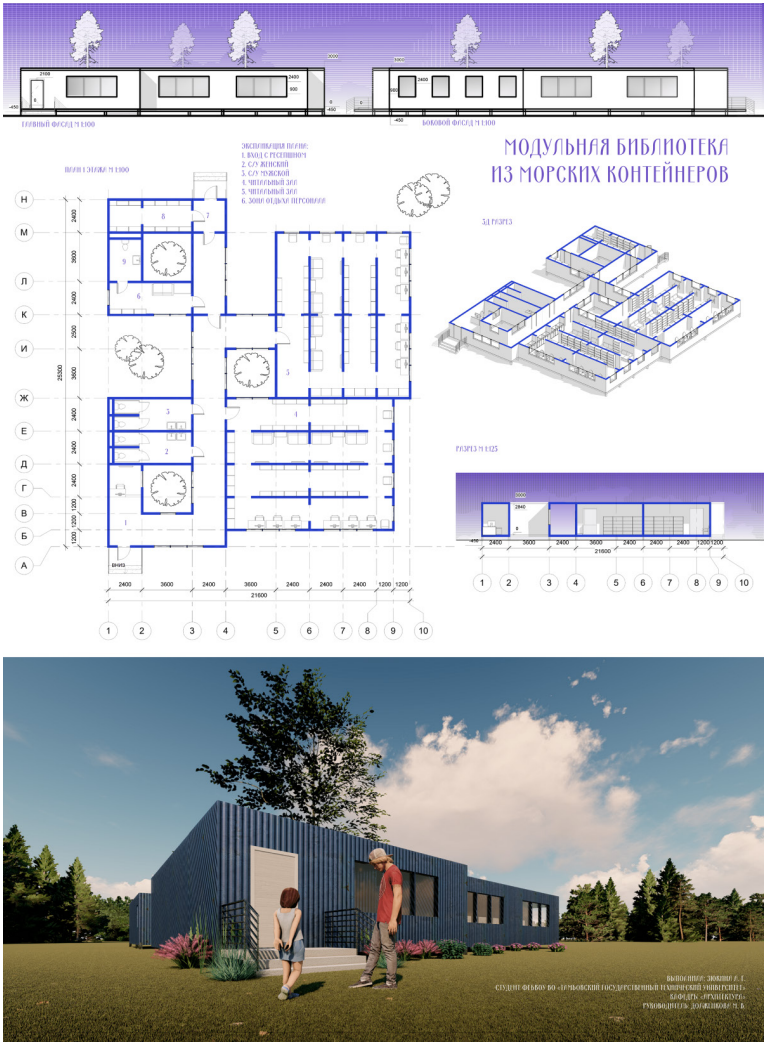


Рис. 1. Проект модульной библиотеки из морских контейнеров

После определения архитектурно-планировочных решений были созданы дополнительные модули входа, санузлов, хранилища и других. Благодаря возможностям программы можно наглядно увидеть модули,

как они выглядят в объеме и как сочетаются между собой. Это очень важный аспект в архитектурном проектировании – наглядность. 3D-модель позволяет увидеть, как выглядит в объеме здание, подобрать выгодное архитектурно-планировочное решение (рис. 3).

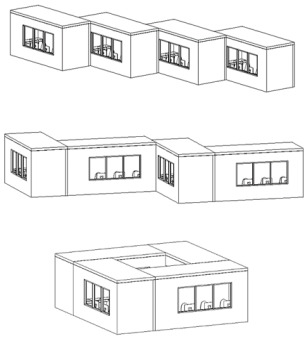


Рис. 2. Комбинация модулей библиотеки

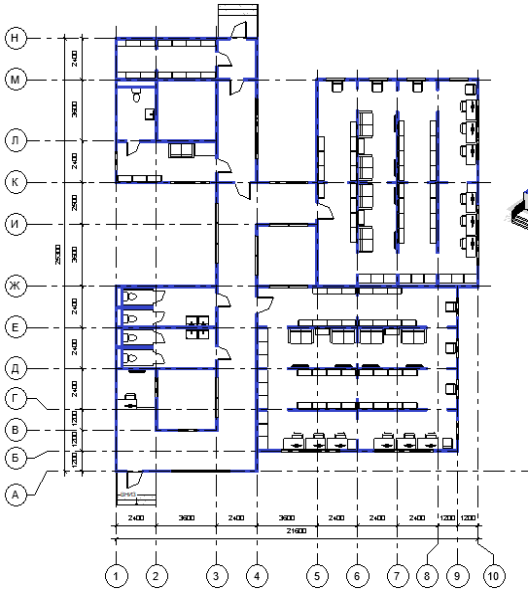


Рис. 3. План первого этажа библиотеки

При создании модели часто некоторые параметры корректируются. С помощью инструментов программы можно легко отредактировать толщину стены, ограждение лестницы, высоту свай, мебель помещения и так далее. Так как каждый модуль находится внутри своей «группы», его легко можно редактировать, при этом не нужно менять каждый модуль, так как «группа» сразу видоизменяется и изменяет свой типовой модуль.

Немаловажную роль в студенческом и реальном проектировании играет подача проекта. С помощью инструментов «Параметры отображения графики» и «Переопределить графику на виде» можно изменять штриховку разреза, цвет штриховки, добавлять отображение теней, менять толщину линии и многое другое (рис. 4).

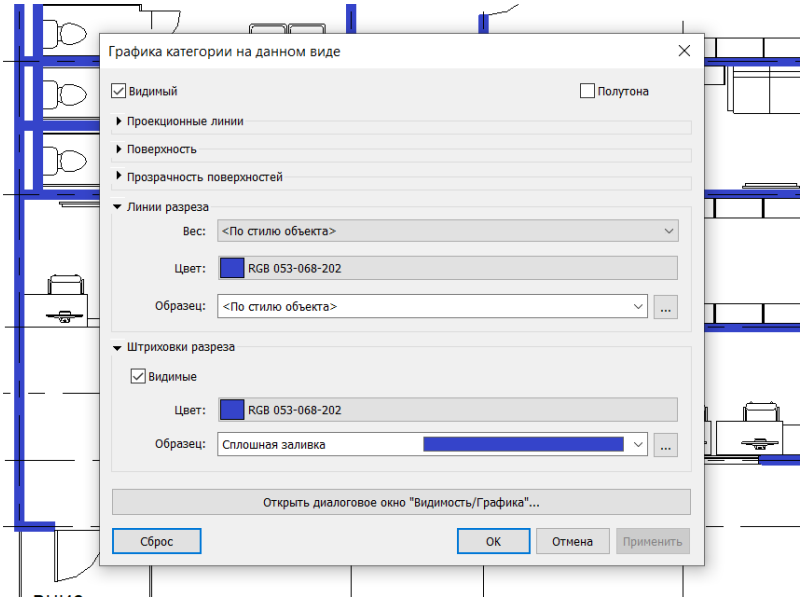


Рис. 4. Панель графики категории на виде 1-го этажа в программе Autodesk Revit

В заключение отметим, что существующие возможности BIM значительно упрощают процесс проектирования зданий и сооружений, в том числе модульных. Возможности BIM могут оптимизировать повторяющиеся задачи в программе, создавать 3D-модели проекта, находить коллизии внутри проекта и многое другое. Что касается модульной

архитектуры, из-за ее особенностей BIM-проектирование отлично решает многие проблемы при создании модульного здания.

Литература

1. Забегина А.Р. Роль и место технологий моделирования (ТИМ) в современном архитектурном проектировании // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2022. № 4. С. 42-48. DOI 10.52470/2619046X_2022_4_42. EDN: BPFUIL.

2. Шеломенцев А.С., Полякова И.Ю. Модульное строительство как новый толчок развития бережного строительства // Актуальные вопросы строительства на Дальнем Востоке России: Матер. научно-практ. конф. Хабаровск: ДВГУПС, 2023. С. 76. EDN: KBNEIQ.

3. Суворова Н.А., Талалаева Э.О. Модульное строительство // Студенческий научный поиск – науке и образованию XXI века: Сб. тр. конф. Рязань: Современный технический университет, 2021. С. 103–107. EDN: TXQQVW.

4. Помыканова А.А., Кирина А.В. Малоэтажное модульное строительство // Технические науки на службе созидания и прогресса: сб. статей Междунар. научно-практ. конф. Самара: ООО «Аэтерна», 2017. С. 127–129. EDN: ZVBECL.

5. Паршина С.В., Низина Т.А. BIM-комплекс Renga – российский программный продукт // Основы экономики, управления и права. 2019. № 1(19). С. 53–56. DOI: 10.51608/23058641_2019_1_53. EDN: GHXWQS.

6. Захарчук А.В. Применение модульной структуры в курсовом проектировании при подготовке студентов специальности «Архитектура» // Матер. научн. конф. «Актуальные проблемы современной архитектуры, градостроительства и дизайна». Нижний Новгород: ННГАСУ, 2019. С. 185–189. EDN: DXXGDG.

УДК 004.91
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.044

Кабайлов Денис Дмитриевич, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: denis2000kab@gmail.com, ORCID: 0009-0006-5738-8837
Османов Магди Мурадович, старший преподаватель, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: magdi.osmanov97@gmail.com

Kabailov Denis Dmitrievich, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)
Osmanov Magdi Muradovich, Senior Lecturer, postgraduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

МЕТОД ОБНОВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПОМОЩИ VR-ПРИЛОЖЕНИЯ

A METHOD FOR UPDATING THE ORIENTATION OF INFORMATION MODEL ELEMENTS USING A VR APPLICATION

В представленной работе описан метод обновления расположения и поворота элементов информационной модели, созданной в программном продукте Autodesk Revit, при помощи приложения виртуальной реальности (VR). Также кратко описан функционал инструментов для взаимодействия с элементами цифровой информационной модели здания. Описана структура файла для передачи обновленных данных об элементах модели, форматом которого является JavaScript Object Notation (JSON) формат. Приведены основные особенности и недочеты работы VR приложения в связке с продуктом Autodesk Revit. Также предложены пути улучшения VR приложения посредством добавления новых инструментов и поддержки других форматов файлов с цифровыми информационными моделями.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования (ТИМ), технологии виртуальной реальности (VR) в проектировании, формат обмена данными, редактирование цифровой информационной модели здания, 3D-макетирование.

The provided article describes a method for updating the location and rotation of elements of building information model created in the Autodesk Revit software product using a virtual reality (VR) application. The functionality of tools for interacting with

elements of the digital information model is also briefly described. The structure of the file for transmitting updated data about model elements is described, the format of which is JavaScript Object Notation (JSON) format. The main features and shortcomings of the VR application in conjunction with the Autodesk Revit product are presented. It also suggests ways to improve the VR application by adding new tools and supporting other file formats with building information models.

Keywords: Building Information Modeling (BIM), virtual reality (VR) technologies in design, data exchange format, digital information model editing, 3D layout.

Многие сферы профессиональной деятельности человека, такие как медицина, обучение, строительство, уже используют технологии виртуальной реальности (в дальнейшем – VR). В статье Д. Д. Кабайлова [1] подробно описаны примеры и методы применения данных технологий. Также в данной статье предложено создать приложение, передающее информацию об элементах напрямую в цифровую информационную модель, но не описан алгоритм и конкретные инструменты данного приложения.

В статье Д. Д. Кабайлова и М. М. Османова [2] детально описана работа VR-приложения с подобным функционалом и предложен краткий алгоритм работы с данным приложением, посредством которого можно воздействовать на элементы цифровой информационной модели здания в VR и передавать обновленную информацию о них в исходный проект при помощи плагина, который также необходимо разработать для ПО Autodesk Revit. Но в существующей статье не приведены конкретные инструменты и методы подобного приложения для обновления информации об элементах цифровой информационной модели здания, в том числе информации об ориентации в пространстве. В связи с чем необходимо изучить рынок подобных приложений и, в случае отсутствия предложений, разработать инструменты и методы для редактирования, получения и передачи обновленной информации об ориентации объекта цифровой информационной модели здания, а также обновление этой информации об элементах на стороне приложения для проектирования. Также необходимо выбрать самый оптимальный формат обмена данными для передачи обновленной информации об элементах модели.

На рынке программных продуктов для проектирования в России на данный момент существуют продукты, поддерживающие VR, но все они в основном позволяют лишь проанализировать модель, не оказывая на нее никакого влияния. Например, программный продукт «BIM VR» от компании «JetXR» позволяет загружать и просматривать модель

в онлайн-режиме совместно с другими пользователями, реализован пользовательский интерфейс для просмотра данных элементов модели, но данный продукт находится на стадии разработки и не содержит в себе инструментов, позволяющих редактировать цифровую информационную модель [3]. Также в статье Т. А. Козленко и С. В. Придвижкина [4] представлены научные наработки по использованию редактора Unreal Engine и языка визуального программирования Dynamo для редактирования цифровой информационной модели здания в VR, но не раскрыт алгоритм отдельного приложения для редактирования и изменения модели.

На основе предложенного и описанного алгоритма в статье [2], на игровом движке Unreal Engine 5.3 разработано приложение и реализованы следующие инструменты и методы:

1. Перемещение и поворот элементов цифровой информационной модели здания.

2. Экспорт данных о модели и составляющих ее элементах в виде текстового файла формата JSON.

3. Обновление данных о расположении и повороте элементов, а также их подсветка определенными цветами на техническом 3D-виде, в программном продукте Autodesk Revit.

Для загрузки и обработки цифровой информационной модели здания используется плагин «Datasmith», созданный и поддерживаемый компанией «EpicGames» [5]. При помощи данного плагина экспортируются данные и геометрия элементов. Конечно, в данном случае импорт модели зависит от стороннего решения, но в описываемом методе это является неважным, поскольку предложенный подход можно реализовать и на других движках/платформах для создания VR приложения.

В VR-приложение, используя пользовательский интерфейс, подгружается основной файл с расширением «.udatasmith» [5], в котором прописаны все данные элементов и пути к файлам с геометрией. Главным негативным фактором в использовании данного метода выступает ограничение в формате исходных данных. Например, на данном этапе разработки не удастся напрямую загрузить цифровую информационную модель в нативном формате. А для таких относительно молодых и, в связи с этим, непопулярных программ отечественного производства, как Renga, даже нет возможности выгрузить промежуточный файл с расширением «.udatasmith». Данное приложение также не поддерживает файлы международного формата IFC, так как сам движок Unreal Engine хоть и позволяет загрузить IFC-модели, но только в режиме редактирования (Editor) [6].

В связи с этим принято решение в дальнейшем реализовать собственные инструменты для импорта файлов цифровых информационных моделей в форматах IFC и в промежуточном формате «.udatasmith», создаваемом непосредственно через приложения для проектирования. Также хочется отметить, что преимуществом использования формата «.udatasmith» в том, что обработка таких файлов происходит значительно быстрее, материалы создаются более качественные, чем при импорте файла в формате «.ifc». Также хочется отметить, что на текущем этапе разработки данный метод редактирования модели не сосредоточен на графическом представлении. Важными данными для корректной работы описываемого подхода являются координаты точек объектов, их атрибуты и геометрическое представление.

Подгрузив цифровую информационную модель, пользователь может перемещаться в пространстве, выбирать и размещать элементы в нужные ему позиции. Выбранные элементы подсвечиваются желтым цветом, при этом не перекрывая основную текстуру (рис. 1).

а) *б*)

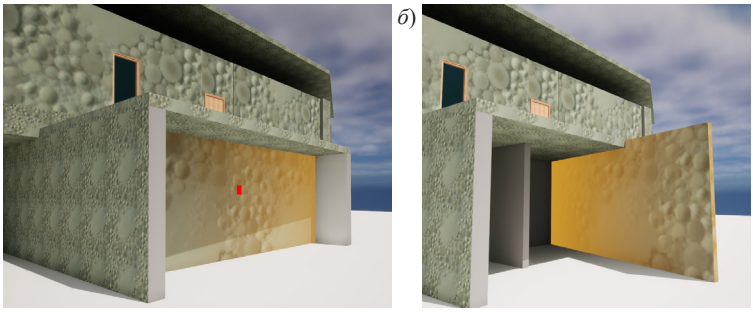


Рис. 1. Цифровая информационная модель: *а* – выделение выбранного элемента; *б* – перемещенный и повернутый выбранный элемент

Перемещение по трем координатам и поворот производится по нажатию конкретных клавиш. Фрагмент кода данного инструмента, представляющего собой конструкцию из нодов визуального языка программирования Blueprint, представлен на рис. 2.

После редактирования цифровой информационной модели здания пользователю необходимо экспортировать файл обмена данными формата «.txt», выбрав путь и название данного файла. Стоит отметить, что данный файл содержит в себе только те элементы и информацию

о них, которые изменил пользователь. За счет данной особенности и использования формата JSON можно добиться высокой скорости чтения файла. Безусловно, рассматривался также формат XML. Но в силу большей громоздкости и необходимости обрабатывать большие данные на стороне клиента, был исключен из рассмотрения. Также JSON формат более прост для чтения человека, что позволит быстрее выявить ошибку в данных [7].

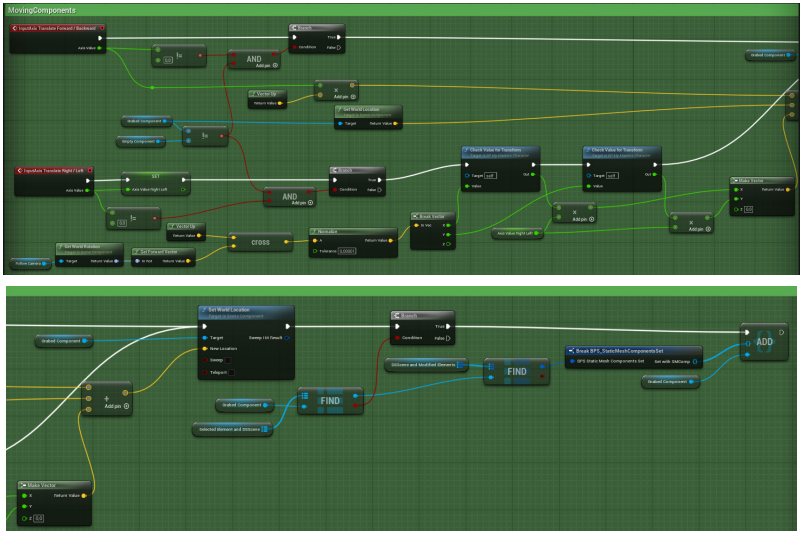


Рис. 2. Структура Blueprint-кода, реализующего перемещение выбранных объектов модели и добавление элементов в список измененных

После отправки файла с обновленными данными об элементах, проектировщику нужно запустить специально созданный плагин «Revision» в программе Autodesk Revit. Работа плагина заключается в чтении созданного в VR приложении текстового файла формата JSON, поиске элементов по уникальному идентификатору (Id) и присвоении обновленных значений записанных в данный файл атрибутов. Далее необходимо выбрать текстовый файл в диалоговом окне и дождаться обновления модели. По итогу загрузки на открывшемся техническом 3D-виде отобразятся измененные элементы, окрашенные в желтый цвет, и нетронутые элементы, окрашенные в зеленый цвет (рис. 3).

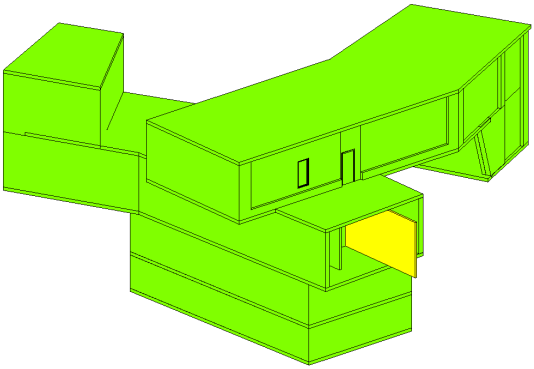


Рис. 3. Графическое отображение обновленных элементов
в программе Autodesk Revit

По окончанию проделанной работы получены следующие выводы:

1. Созданный метод реализует возможность изменения ориентации объектов цифровой информационной модели здания посредством создания и чтения файла обмена данными формата JSON, в котором содержится информация об измененных атрибутах объектов. Причем обрабатываются только те элементы, ориентация которых изменялась в среде виртуальной реальности;

2. Данный метод является уточнением к предложенному в статье [2] алгоритму VR-приложения;

3. В дальнейшем необходимо реализовать свой инструмент для импорта моделей различных форматов, так как на данный момент движок Unreal Engine позволяет импортировать файлы со всей информацией о модели только в формате «.udatasmith».

Также хочется отметить, что в последующем планируется реализовать алгоритм обновления атрибутивной информации об элементах, такой как высота, ширина, комментарии и др.

Литература

1. Кабайлов Д.Д. Возможности и методы применения VR- и AR-технологий в процессе проектирования // Актуальные проблемы экономики и управления в строительстве: матер. нац. (всеросс.) научно-практ. конф. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 310–317. EDN: SXKQOC.

2. Кабайлов Д.Д., Османов М.М. Возможности и методы применения VR- и AR-технологий в процессах строительства зданий // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. 2023. № 6-2(67). С. 26–30. EDN: SNOKXV.

3. BIM VR: офиц. сайт. URL: https://bimforge.ru/ (дата обращения: 12.12.2023).

4. Козленко Т.А., Придвижкин С.В. BIM и VR: разработка программного модуля для интеграции информационного моделирования зданий и виртуальной реальности // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18, № 4(80). С. 440–449. DOI: 10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449. EDN: HBRRUH.

5. Datasmith: офиц. сайт. URL: https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/datasmith-plugins-for-unreal-engine/ (дата обращения: 10.01.2024).

6. IFC Files: офиц. сайт. URL: https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/importing-ifc-files-into-unreal-engine-using-datasmith/ (дата обращения: 10.01.2024).

7. OTUS JOURNAL: офиц. сайт. URL: https://otus.ru/journal/vse-chto-nuzhno-znat-o-json-osobennosti-opisanie-pervye-proekt/ (дата обращения: 09.02.2024).

УДК 004.9+72.02
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.045

Карен Ксения Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: kseniakaren@yandex.ru, ORCID: 0009-0002-8182-6551

Karen Ksenia Alexandrovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

PROBLEMS OF LASER SCANNING APPLICATION IN RESTORATION OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

Первоначальным этапом организации работ по реставрации объектов культурного наследия является комплексное обследование с целью определения фактического состояния здания и конструкций, а также состава и объема ремонтно-реставрационных работ. Технология лазерного сканирования, активно внедряемая в процессы изучения архитектурных памятников, позволяет получить не только точные обмерные чертежи, но и объемную цифровую копию здания в виде облака точек, что значительно оптимизирует выполнение проектных работ. Тем не менее, возможности методов 3D-сканирования в сфере сохранения культурного наследия ограничены. В статье представлен анализ накопленного опыта применения различных видов лазерного сканирования на объектах культурного наследия, а также освещен круг проблем внедрения данных технологий в проекты реставрации.

Ключевые слова: лазерное сканирование, объекты культурного наследия, облако точек, реставрация, обследование зданий и сооружений, архитектурные обмеры.

The initial stage of organizing restoration of cultural heritage objects is a comprehensive survey to determine the actual condition of the building and structures, as well as the composition and scope of repair and restoration works. Laser scanning technology, which is being actively introduced into the processes of studying architectural monuments, makes it possible to obtain not only accurate measurement drawings, but also a three-dimensional digital copy of the building in the form of a point cloud, which significantly optimizes the performance of design work. Nevertheless, the possibilities of 3D-scanning methods in the field of cultural heritage preservation are limited. The article presents an analysis of the accumulated experience of applying various types

of laser scanning on cultural heritage objects, and highlights the range of problems of implementing these technologies in restoration projects.

Keywords: laser scanning, cultural heritage objects, point cloud, restoration, survey of buildings and structures, architectural measurements.

Согласно действующему законодательству Российской Федерации[1], решение задач сохранения объектов культурного наследия, должно обеспечивать сохранение ключевых элементов исторической среды, что требует выполнения большого объема натурных и научных исследований. В настоящее время при решении вопросов организации реставрационных работ все чаще используются современные цифровые технологии, позволяющие упростить и ускорить процессы обследования и проектирования. К таким технологиям относится лазерное сканирование с применением различных видов сканеров. На объектах культурного наследия наиболее широко применяется наземное, воздушное и мобильное лазерное сканирование.

Целью данной работы является обобщение опыта и определение проблем и ограничений при использовании разных видов трехмерного сканирования и его результатов в задачах архитектурного обследования памятников истории и культуры.

Наземное лазерное сканирование

Наземное лазерное сканирование (НЛС) является самым распространенным способом пространственной съемки исторических зданий, для которого характерны высокая детализация и точность данных при коротких сроках выполнения, а также совместимость полученных данных с форматами программ двухмерного и трехмерного моделирования [1]. Облако точек, полученное по результатам НЛС, характеризуется хорошей цветопередачей. Но наряду с положительными сторонами наземного сканирования существует и ряд трудностей.

Во время камеральной обработки результатов наземного сканирования объектов культурного наследия отмечается необходимость дополнительного уточнения количества и мест расположения позиций сканирования в связи с образованием в полученном облаке точек «дыр», которые значительно затрудняют выполнение обмерных чертежей. Такие сложности зачастую возникают при съемке поверхностей и элементов,

[1] Федеральный закон от 25 июня 2002 г. N 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/18230/page/1 (дата обращения: 15.02.2024)

расположенных на высоте, например, конструкций кровли и архитектурных деталей на карнизах и фронтонах (рис. 1), так как для исправной работы наземного сканера необходимо соблюдение условия горизонтальности позиции сканирования и прямой видимости.

Пустоты в цифровой модели также могут образоваться в случае наличия преград видимости, перекрывающих отдельные части здания. Такими препятствиями могут служить деревья, окружающая застройка и отдельные конструктивные или архитектурные элементы.

При использовании наземных лазерных сканеров для изучения особо уникальных объектов культурного наследия со сложным объемным декором фасадов и интерьеров была обнаружена недостаточная плотность точек сложных архитектурных деталей, в связи с чем невозможно достоверно восстановить информацию о сечениях и профилях. Такие элементы требуют отдельной и более детальной съемки.

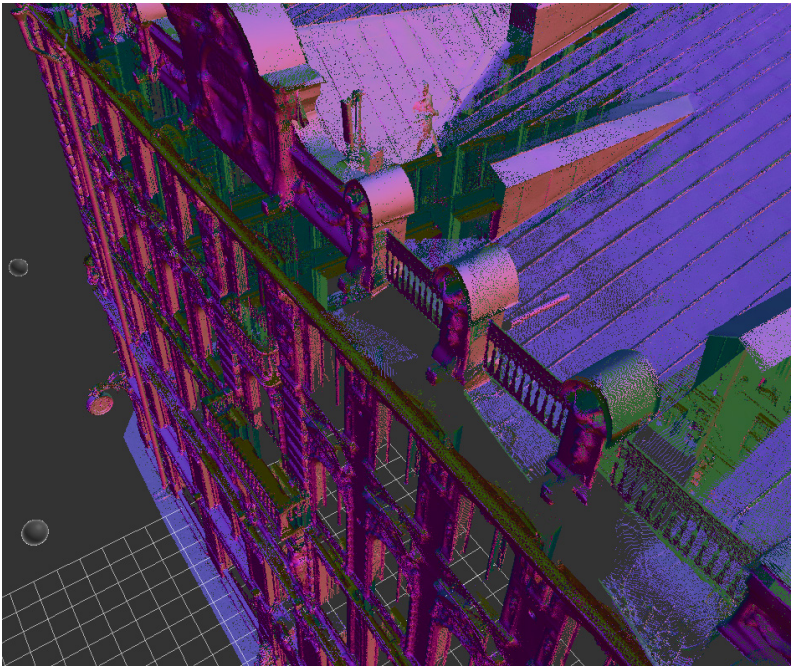


Рис. 1. Результат наземного лазерного сканирования доходного дома Г. И. Гансена в Санкт-Петербурге. Материалы автора

Воздушное лазерное сканирование с БПЛА

В последние годы область исследования памятников истории и культуры претерпела значительные изменения за счет внедрения беспилотных авиационных систем. Съемка с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) превосходит метод наземного сканирования за счет более высокого пространственного разрешения и возможности сканирования в труднодоступных местах. Дроны позволяют собирать данные, снимая изображения и видео с близкого расстояния и уникальных ракурсов в местах возможного обрушения конструкций, а также на высоте. С помощью БПЛА за относительно короткий период могут быть обследованы и задокументированы не только сами объекты культурного наследия, но окружающая территория (рис. 2), что облегчает планирование реализации проектов по сохранению культурного наследия.

Рис. 2. Результат воздушного сканирования с помощью БПЛА Шильонского замка в Швейцарии [2]

Тем не менее, выполнение воздушного лазерного сканирования объектов культурного наследия с применением БПЛА ограничено как техническими, так и юридическими аспектами.

Технические ограничения связаны с автономным временем работы дрона, которое в среднем составляет не более 30 минут, и с трудностями

сканирования в сложных погодных условиях, которые могут значительно повлиять на качество съемки за счет появления шумов и вибраций. Большие объемы данных, полученных в результате съемок, могут создавать проблемы обработки и хранения: обработка данных требует мощных компьютеров и специализированного ПО, а хранение данных – значительный объем хранилища.

Кроме того, согласно законодательству Российской Федерации[1] БПЛА с массой от 0,15 до 30 килограммов подлежат обязательному государственному учету федеральным органом исполнительной власти, а в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 полеты БПЛА над населенными пунктами выполняются при наличии разрешения органа местного самоуправления или исполнительной власти. Существует также отдельный перечень зон воздушного пространства, запрещенных для полетов, поэтому использование воздушного лазерного сканирования при обследовании памятников не всегда представляется возможным.

Мобильное лазерное сканирование

Оцифровка архитектурной среды с помощью портативных мобильных лазерных сканеров является сравнительно новой технологией, которая еще не получила такого широкого применения на практике, как вышеперечисленные методы.

Переносные лазерные системы сочетают в себе технологию лазерного сканирования и инерциальной навигации в ручном оборудовании, которое может с легкостью использоваться во время пешей прогулки по объекту [3]. Преимущество данной системы заключается в отсутствии необходимости установки оборудования в фиксированных местах и экономии времени на проведение съемки, а также более доступной цене. Масса мобильного оборудования незначительна: ручная часть системы имеет массу около 1 килограмма, а остальное снаряжение может располагаться в рюкзаке. Результатом съемки является плотное облако точек (рис. 3), которое можно напрямую экспортировать в AutoCAD, ReCap, Navisworks или другие платформы.

Однако отмечается, что уровень точности, достигнутый с применением переносной системы, во многих случаях ниже точности, достигнутой с применением методов, указанных выше, в случае существенных расстояний до объекта. Исследования [5] показывают, что плотность

[1] Воздушный кодекс Российской Федерации от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 30.01.2024), URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/10705/page/1 (дата обращения: 21.02.2024).

точек, получаемая в результате сканирования сложных декоративных элементов, не является достаточной для распознавания формы и моделирования поверхности из-за высокого уровня шума. Кроме того, применение лидарных мобильных систем ограничено возможностями доступа для человека-оператора.

Рис. 3. Результат сканирования национального музея
Республики Башкортостан с помощью ручного сканера [4]

Последние технологические разработки мобильных лазеров позволили интегрировать лидарное сканирование в смартфоны. Так в соответствии с этими разработками компания Apple в 2020 году выпустила первую серию телефонов моделей iPhone, оснащенных LIDAR-сканером [6]. Данный датчик был добавлен в систему камер для обеспечения точного позиционирования и восприятия глубины. В настоящее время в зарубежной литературе приведены лишь единичные примеры документирования памятников истории и культуры с использованием LIDAR-датчика на iPhone.

Подводя итоги обобщения опыта применения лазерного сканирования в задачах архитектурного обследования, приведем сравнительную характеристику (см. табл.) вышеперечисленных видов сканирования.

Сравнительный анализ типов лазерного сканирования

Критерии	Виды лазерного сканирования		
	Наземное	Воздушное	Мобильное
Точность, мм	0,5 – 6	10 – 50	0,1 – 3
Возможность съёмки в труднодоступных местах и на высоте	–	+	–
Отсутствие правовых ограничений использования	+	–	+
Дальность действия, м	0,5 – 150	10 – 450	0,3 – 30
Скорость сканирования, точек/сек	400 000 – 2 200 000	500 000 – 1 800 000	200 000 – 3 000 000

В заключении можно отметить, что использование любого из вышеперечисленных видов лазерного сканирования при комплексном изучении объектов культурного наследия сопряжено со специфическими трудностями. Ни один из трех видов лазерного сканирования (наземное, воздушное и мобильное) не может одновременно удовлетворять всем условиям и требованиям изучения памятников, поэтому для организации работ по реставрации возможно комбинирование способов 3D-сканирования или интеграция лазерного сканирования с другими цифровыми технологиями в целях повышения эффективности выполнения архитектурных обмеров и построения более точной цифровой модели.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы научно-исследовательской работы номер 20С24 при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ.

Литература

1. Шамарина А.А. Сравнительная оценка результатов наземного лазерного сканирования с данными традиционного обследования на примере объекта историко-культурного наследия доходный дом М.М. Барановой в г. Перми // Инновации и инвестиции. 2023. № 5. С. 537–541. EDN: ZWVZPP.

2. Роль БПЛА в археологических исследованиях и памятниках культуры. URL: https://skylexus.com/drones-in-cultural-heritage-preservation-documenting-historic-sites/ (дата обращения: 15.02.2024).

3. Di Filippo A., Sánchez-Aparicio L.J., Barba S., Martín-Jiménez J.A., Mora R., González Aguilera D. Use of a Wearable Mobile Laser System in Seamless Indoor

3D Mapping of a Complex Historical Site // Remote Sensing. 2018. Vol. 10, No. 12. P. 1897. DOI: 10.3390/rs10121897.

4. Новая эра мобильного лазерного 3D сканирования // Геопрофи. 2023. № 4(124). С. 22–26.

5. Conti A., Pagliaricci G., Bonora V., Tucci G. A comparison between terrestrial laser scanning and hand-held mobile mapping for the documentation of built heritage // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2024. Vol. XLVIII-2/W4-2024. P. 141–147. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W4-2024-141-2024.

6. Dörtbudak B., Akca S. Investigating the Utilization of iPhone LiDAR Sensor in Documenting Cultural Heritage // Intercontinental Geoinformation Days. 2023. No. 7. P. 217–221.

УДК 69:004
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.046

Клековкин Евгений Алексеевич, магистрант
(Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова)
E-mail: z0h0e0n0y0a@gmail.com, ORCID: 0009-0008-0161-3518

Klekovkin Evgenii Alekseevich, Master's degree student
(Kalashnikov Izhevsk State Technical University)

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КАРКАСОВ ОДНОЭТАЖНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С БАЛОЧНОЙ СИСТЕМОЙ ПОКРЫТИЯ В СРЕДЕ GRASSHOPPER

PARAMETRIZATION OF MODELLING OF LOAD-BEARING STRUCTURES OF ONE-STOREY INDUSTRIAL BUILDINGS WITH A GIRDER ROOFING SYSTEM USING GRASSHOPPER

Показаны возможности применения среды Grasshopper для параметризации информационного и аналитического моделирования несущих конструкций на примере каркаса одноэтажного промышленного здания с балочной системой покрытия. Рассмотрен процесс моделирования несущих конструкций с использованием параметрического скрипта в среде визуального программирования. Разработанный алгоритм реализует связь ПО Tekla-Grasshopper-SCAD и способствует интеграции этапов информационного моделирования и создания расчетной модели. Отмечены возможные направления применения таких алгоритмов. Приведено общее условие эффективности применения параметрических скриптов в проектировании.

Ключевые слова: параметризация, визуальное программирование, скрипт, информационное моделирование, несущие конструкции.

The possibilities of Grasshopper environment application for parametrization of information and analytical modelling of load-bearing structures are shown on the example of a frame of a one-storey industrial building with a beam covering system. The process of load-bearing structures modelling with the use of parametric script in the visual programming environment is considered. The developed algorithm implements the Tekla-Grasshopper-SCAD software connection and promotes the integration of information modelling and calculation model creation stages. Possible directions of application of such algorithms are marked. The general condition of efficiency of parametric scripts application in design is given.

Keywords: parametrization, visual programming, script, information modeling, load-bearing structures.

Информационное моделирование получает все больше распространение в проектировании несущих конструкций зданий [1]. При этом прослеживается тенденция на увеличение количества атрибутивной информации в моделях. Критической точкой роста для повышения эффективности проектирования становится качество и полнота передачи данных между программными комплексами.

При идеальной системе проектирования атрибутивная информация передается между ПО в полном объеме [2].

Однако по состоянию на сегодняшний день существует множество проблем в работе с атрибутивными данными моделей. Конкурентная среда на рынке программного обеспечения привела к распространению «дискретной» системы проектирования. При такой схеме для решения каждой отдельной задачи используется наиболее эффективное ПО. Каждое ПО имеет свой функционал и, как следствие, набор атрибутивных параметров объектов. Поэтому пользователи сталкиваются с проблемами при передаче данных. Использование нейтрального формата данных IFC пока что не позволяет передавать информацию в полном объеме [2]. Специальные плагины для прямой передачи данных между ПО позволяют решить проблему лишь в частном случае.

Попытки использования единого программного продукта для решения всех задач проектирования, в свою очередь, приводят к невозможности эффективного решения специальных узких задач, поскольку создание всеобъемлющего функционала – это большая и пока нерешенная задача.

В разрезе проектирования несущих конструкций существует значительная проблема интеграции этапов информационного и аналитического моделирования [3]. Разрыв информационного моделирования несущих конструкций и их расчета обусловлен использованием специального ПО для каждой из этих задач. Наиболее эффективным представляется проектирование несущих конструкций в ПО, которое позволяет моделировать конструкции, проводить расчеты и оформлять документацию в едином интерфейсе.

Исследования показывают эффективность визуального программирования для:

– параметризации информационного моделирования [4];

– поиска оптимальных архитектурных форм и конструктивных решений [5];

– интеграции и передачи данных между ПО различного назначения [6].

Однако Grasshopper можно использовать также и для комплексной параметризации конструктивного проектирования и интеграции программных средств, используемых для этого [7].

Цель данной работы – показать возможности среды визуального программирования Grasshopper для параметризации и интеграции проектирования на примере каркаса одноэтажного промышленного здания с балочной системой покрытия.

Рассмотрим процесс проектирования несущих конструкций. При традиционном подходе сначала создается эскизная схема каркаса, по которой строится информационная модель, а затем расчетная модель. Или, наоборот, сначала строится аналитическая модель, а затем по результатам расчета создается информационная. Если данные процессы параметризировать и автоматизировать, то их можно выполнять параллельно. Такой подход может значительно сократить время на моделирование несущих конструкций.

Реализуем данный подход на примере одноэтажного промышленного здания. На рис. 1 и рис. 2 представлены эскиз поперечного разреза и аксонометрическая схема каркаса.

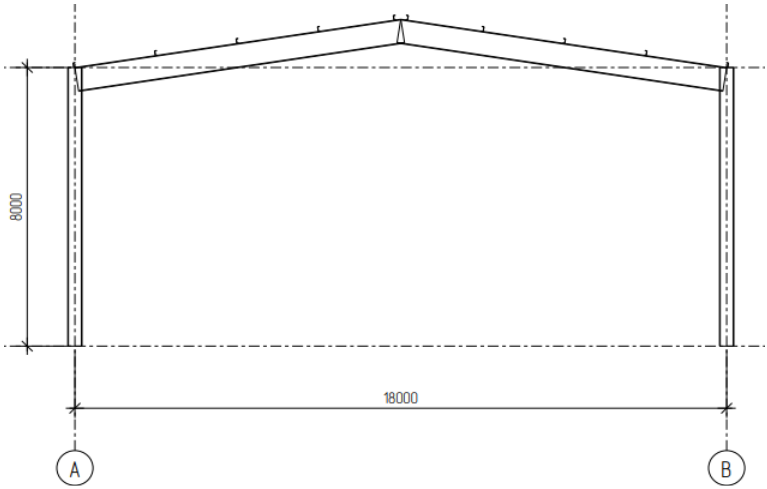


Рис. 1. Поперечный разрез каркаса

Для параметризации моделирования каркаса был разработан скрипт в среде визуального программирования Grasshopper. Алгоритм состоит из блока входных параметров, блока построения геометрической модели Tekla, блока построения геометрической модели SCAD, блока экспорта в Tekla и блока экспорта в SCAD (рис. 3, рис. 4).

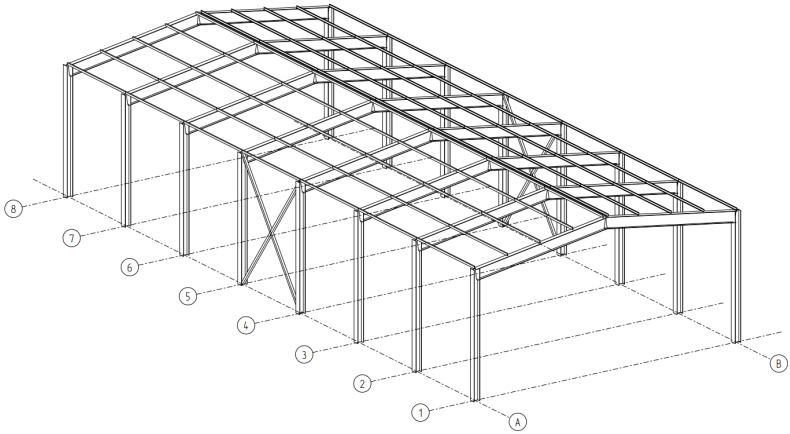


Рис. 2. Аксонометрическая схема каркаса

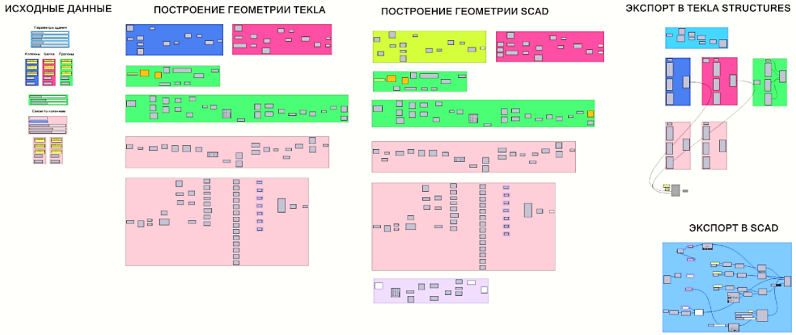


Рис. 3. Общий вид алгоритма Grasshopper

Рис. 4. Укрупненная блок-схема работы алгоритма

Для создания геометрической схемы каркаса задаются следующие параметры: пролет ригеля, шаг колонн, количество шагов, высота колонн, уклон кровли (рис. 5).

Рис. 5. Блок 1 исходных данных – геометрические характеристики

Далее в исходных данных выбираются сечения и материалы для элементов конструкций (рис. 6).

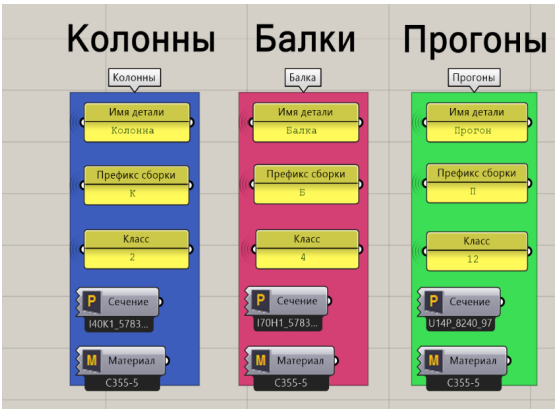


Рис. 6. Блок 2 исходных данных – характеристики сечений, материала и наименования объектов в Tekla

Экспорт в Tekla Structures происходит в интерактивном режиме за счет связи через плагин Grasshopper-Tekla-live-link.

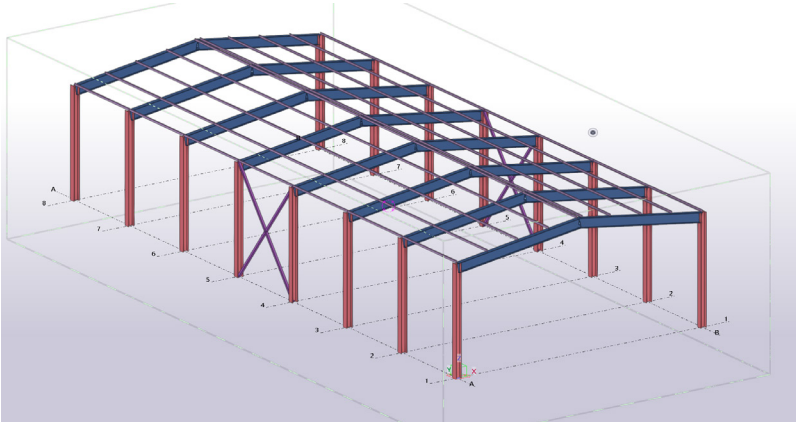


Рис. 7. Результат формирования модели в Tekla

Далее задаются параметры расчетной модели в специальных компонентах скрипта (сечения, закрепления, величины нагрузок и т.д.). Экспорт в SCAD происходит посредством формирования расчетного файла, который подгружается в SCAD через системный плагин (рис. 8).

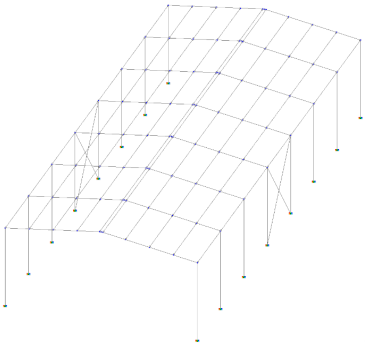


Рис. 8. Результат формирования КЭ модели в SCAD

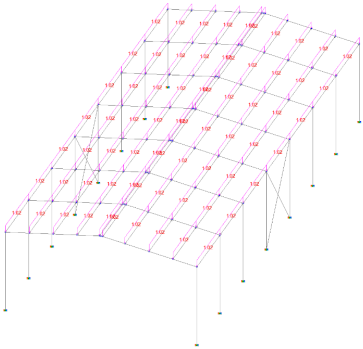


Рис. 9. Результат задания снеговой нагрузки на прогоны покрытия

На стадии концептуального проектирования параметрический скрипт позволяет быстро оценить металлоемкость каркаса в первом приближении. Параметрические скрипты можно использовать и для создания

рабочих информационных моделей с уровнем детализации LOD400. Для этого необходимо иметь настроенные компоненты узлов конструкций в модели Tekla.

Параметрические скрипты также можно использовать для оценки рациональности применения того или иного типа конструкций в зависимости от исходных данных. Для этого необходим скрипт, в котором реализовано создание различных типов ригелей – ферма или балка, различных решеток связей и т.д.

При этом параметризация процессов снижает трудоемкость проектирования при выполнении следующего условия:

$$\frac{\mathrm{T}}{x \cdot \left(t - t_{ps}\right)} \leq 1, \tag{1}$$

где T – трудоемкость создания скрипта параметрического проектирования, ч; t – трудоемкость проектирования несущих конструкций объекта без параметрического скрипта, ч; t_{ps} – трудоемкость проектирования несущих конструкций объекта с параметрическим скриптом, ч; x – количество объектов, которые могут быть спроектированы с использованием скрипта.

Так, для рассмотренного выше примера каркаса минимальное необходимое количество проектов при котором написание скрипта оправдывает затраты находится по формуле:

$$x \geq \frac{\mathrm{T}}{\left(t - t_{ps}\right)} = \frac{11}{\left(5 - 3\right)} = 5{,}5. \tag{2}$$

Автором было затрачено 11 часов на разработку скрипта. Разработка информационной модели LOD200 и расчетной модели каркаса без скрипта заняла 5 часов, а с использованием скрипта – 3 часа. По результату видно, что в данном случае при использовании скрипта 6 и более раз выполняется условие снижения трудоемкости. При этом трудоемкость разработки информационной модели LOD200 каркаса и расчетной модели снижается на 40 %. Данная оценка является приблизительной и нуждается в уточнении.

Параметризация информационного и аналитического моделирования несущих конструкций зданий может быть реализована с помощью скриптов в средах визуального программирования. За счет параметризации снижается трудоемкость моделирования конструкций, а значит и трудоемкость проектирования в целом. Заслуживают дальнейших исследований вопросы эффективности скриптов в различных условиях

применения. Также необходимо изучение целесообразности использования скриптов с учетом затрат на их создание и внедрение в рабочий процесс. В общем случае параметрическое проектирование эффективно тогда, когда суммарное снижение затрат на проектирование больше затрат на внедрение параметризации.

Литература

1. Травуш В.И. Цифровые технологии в строительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 107–117. DOI: 10.22337/2077-9038-2018-3-107-117. EDN: VJBYXC.

2. Gerbino S., Cieri L., Rainieri C., Fabbrocino G. On BIM Interoperability via the IFC Standard: An Assessment from the Structural Engineering and Design Viewpoint // Applied Sciences. 2021. Vol. 11. No. 23. P. 11430. DOI: 10.3390/app112311430.

3. Sampaio A.Z., Sequeira P., Gomes A.M., Sanchez-Lite A. BIM Methodology in Structural Design: A Practical Case of Collaboration, Coordination, and Integration // Buildings. 2022. Vol. 13, No. 1. P. 31. DOI: 10.3390/buildings13010031. EDN: YTPXWG.

4. Бузало Н.А., Царитова Н.Г., Платонова И.Д., Лысенко В.Н. Параметрическое моделирование конструкций в среде визуального программирования // Вестник евразийской науки. 2021. Т. 13, № 4. С. 2. EDN: PSJZHP.

5. Георгиев Н.Г., Шумилов К.А., Семенов А.А. Визуальное программирование в задачах моделирования строительных конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. № 4(38). С. 117–123. DOI: 10.52684/2312-3702-2021-38-4-117-123. EDN: ZPSGCJ.

6. Курс Grasshopper для инженера. URL: https://www.structuristik.com/grasshopper_dlya_ingenera (дата обращения: 03.03.2024).

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

УДК 721+004.01
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.047

Колодизенко Екатерина Аркадьевна, аспирант
(Московский архитектурный институт (государственная академия))
E-mail: kolodizenko.e@mail.ru, ORCID: 0009-0006-7697-6108

Kolodizenko Ekaterina Arkadievna, postgraduate student
(Moscow Architectural Institute)

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ: ОТ ГРАФИЧЕСКОГО ЭСКИЗА ДО ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

INFORMATION MODELING OF COMPOSITION SOLUTIONS FOR ARCHITECTURAL OBJECTS: FROM GRAPHIC SKETCH TO INFORMATION MODEL

Данная статья посвящена теме взаимодействия и использования архитектурной композиции в информационном моделировании архитектурных объектов. Рассматриваются возможности, которые внедряются в процесс проектирования в настоящее время. Выделены четыре аспекта соприкосновения перехода от ручного эскиза к информационной модели, а затем к поиску оптимальных решений для проектирования. В заключении статьи делается вывод о том, что информационное моделирование помогает автору проекта максимально сохранить первоначальный образ или улучшить его, исходя из внешних факторов. Адресатом может являться архитектор, научный деятель или любой человек, интересующийся исследуемой темой.

Ключевые слова: архитектурная композиция, информационное моделирование, проектирование, эскиз, информационные технологии.

This article is devoted to the topic of interaction and the use of electrical composition in information modeling of architectural objects. The possibilities that are currently being introduced into the design process are considered. Four aspects of the transition from a manual sketch to an information model, and then to the search for optimal design solutions, are highlighted. In conclusion, the article concludes that information modeling helps the author of the project to preserve the original image as much as possible or improve its outcome due to external factors. The addressee can be an architect, a scientist, or anyone interested in following the topic.

Keywords: architectural composition, information modeling, design, sketch, information technology.

Информационные технологии изменили подход к проектированию и анализу архитектурных форм. Сейчас активно применяют информационное моделирование, или BIM-технологии, внедрение которых в нашей стране поддержано Президентом Путиным В.В. в Поручении Правительству РФ – обеспечить переход строительной отрасли на BIM-технологии[1]. Информационное моделирование занимает ключевое место в индустрии строительства, способствуя повышению качества проектирования, сокращению сроков и оптимизации затрат на строительство и эксплуатацию зданий.

Сегодня творчество архитекторов опирается на возможности информационных технологий, а образ зданий характеризуется особой степенью открытости, динамичности и вариативности [1]. С одной стороны, информационное моделирование значительно ограничивает творческий процесс в создании выразительных форм архитектурной композиции сооружений. С другой стороны, информационное моделирование помогает архитекторам и инженерам принимать обоснованные решения на каждом этапе проектирования, улучшая качество проекта и, как отмечалось выше, оптимизируя процесс строительства.

Архитектурная композиция – это целостная художественно выразительная система форм, отвечающая функциональным и конструктивно-техническим требованиям [2]. Из определения следует, что, исследуя нормативные требования в построении архитектурных форм, архитектор должен сохранить предметную конкретность и ее зримый выразительный облик. Первичным при представлении концепции для архитектора и дизайнера архитектурной среды является вопрос быстрого создания объемной абстрактной модели будущего объекта и просмотр его со всех возможных ракурсов и точек восприятия для собственной оценки композиционной составляющей придуманной формы, а также для демонстрации формообразования архитектурного образа [3]. Поэтому цель данной статьи – продемонстрировать изменение архитектурных решений и выявить составляющие аспекты работы с архитектурной композицией проектов при переходе от ручного эскиза к информационной модели зданий.

В представленных примерах из архива архитектурного бюро СПИЧ переход от эскиза к информационной модели производится через создание модели в контексте их формообразующих элементов. К формообразующим, как и к семействам, можно применять изменяемые параметры, что позволит использовать в одном или нескольких проектах одну

[1] Поручение Президента ПР-1235 от 19.07.2018 опубликовано на официальном сайте Комитета по техническому регулированию РСПП. Целью внедрения BIM в нем названы «модернизация строительной отрасли» и «повышение качества строительства»

и ту же геометрию, но с разными соотношениями размеров [4]. После построения форм и согласования основных показателей проекта формируются фасады, перекрытия и другие элементы здания. В зависимости от выбранного материала определяется способ моделирования фасадов. Стоит отметить, что на данном этапе уже закладывается конструктивная и инженерная части проекта. После оптимизации внутренних планировок и создания фасада начинается процесс визуализации. Создание визуализации позволяет отображать здание прямо перед проектировщиком, уменьшая сложность понимания пространства во время проектирования и выявления недостатков и ошибок в проекте [5].

Выделим следующие аспекты перехода от эскиза к модели:

1. Визуализация композиционных элементов

Образ здания складывается из комбинации элементов и приемов его создания. Использование закономерностей построения формы и насыщение ее элементами помогают выстроить взаимосвязи между всеми составляющими композиции здания. Каждый элемент композиции имеет достаточную свободу для видоизменений. К элементам архитектурной композиции здания можно отнести окна, двери, конструктивные элементы, декоративные элементы и др. Моделируя элементы в 3D-пространстве получается значительный диапазон вариативности.

Рассмотрим пример. На рис. 1 представлена концепция высотного здания. На эскизе виден объем, состоящий из разновысотных частей. Фасад решен вертикальными линиями. Нижний объем имеет вертикальные ниши или цветовые вставки. Некоторые объемы имеют подсечку. На данную идею было выполнено две информационные модели. Первая достаточно точно передает образ эскиза. Выступающие профили подчеркивают вертикаль, стирая границу между составляющими формами. Вторая модель имеет противоположный прием. На главный объем здания «навешены» небольшие объемы. Кроме этого, выступающие профили подчеркивают вертикаль и горизонталь.

Рассмотрим еще один пример (рис. 2). На эскизе второго варианта концепции высотного здания просматривается акцент на оконные ниши, которые сбивают масштаб здания. На более низких объемах – окна с преобладанием горизонтали. На высоком объеме оконные ниши выполнены в несколько этажей с преобладанием вертикального расположения.

Рассмотрим варианты информационных моделей. Первая визуализация исполнена достаточно точно. Разные оконные ниши сбивают масштаб. Зрительно невозможно отличить, из какого количества объемов состоит здание – перед нами единая форма. Вторая визуализация использует тот же прием, но здание воспринимается по-новому, благодаря подсеченным элементам.

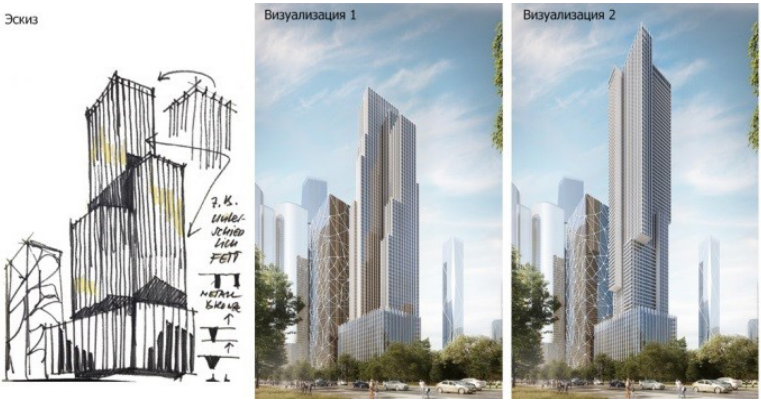


Рис. 1. Пример переноса ручного эскиза в информационную модель Revit: вариант 1

Рис. 2. Пример переноса ручного эскиза в информационную модель Revit: вариант 2

Из приведенных выше примеров видно, что эскизное решение элементов может быть воплощено достаточно точно (в нашем случае выступающие профили и оконные ниши), но при этом дальнейшая работа с образом может осуществляться только в 3D-пространстве.

2. Анализ композиционных решений

Информационное моделирование способствует проведению анализа пространственных решений и подбору оптимального значения показателей,

например, с техническим заданием. Наряду с этим, становится понятно внутреннее пространство здания и его возможности при дальнейшем проектировании. Рассмотрим на примере жилого здания (рис. 3).

Рис. 3. Пример информационной модели жилого здания (варианты 1–3)

В первом варианте пластика здания строится на упорядоченном хаосе балконов, длина которых увеличивается в зависимости от высоты расположения. Во втором варианте здание имеет ступенчатый фасад с небольшими балконами, количество которых увеличивается по высоте.

Фасад третьего варианта имеет беспорядочно расставленные окна разного масштаба и террасы. По техническому заданию площадь в границах наружных стен (ГНС) этажа примем 1500 м^2. Первый и третий вариант в плане имеют простую форму и поэтому имеют схожие показатели ГНС этажа около 1500 м^2. Второй вариант имеет площадь ГНС 1450 м^2, но при этом видно, что коэффициент эффективности будет достаточно низкий из-за сложной формы и обеспечения доступности всем квартирам.

Данные примеры показывают, что при разной форме зданий площадь этажа может соответствовать заданию, но при этом внутренняя планировка может не отвечать требованиям технического задания.

3. Управление средствами композиции

Кроме композиционных элементов и архитектурных приемов, на внешний облик здания влияют материалы, фактура, цвет и др. Информационное моделирование позволяет легко «загрузить» выбранные материалы в программу и посмотреть, как здание будет выглядеть в реальности. Рассмотрим на примере фрагментов фасадов. На рис. 4 представлены фасады с использованием каменной и кирпичной фактур. Профили имеют схожую форму, но эстетика элементов отличается. Камень визуально выглядит более массивно. Кирпич – более мелкий архитектурный элемент и не дает ощущения массивности, но при этом, от выступающих частей на фасад падает тень, которая визуально «оживляет» плоскость фасада. Пример показывает, что использование разных материалов позволяет создавать яркие образы зданий и дополнять окружающее пространство.

Рис. 4. Фрагменты решения фасада из разных материалов

4. Визуальная проверка композиционных решений

Информационное моделирование позволяет визуально проверить архитектурные концепции и композиционные решения, что помогает выявить потенциальные проблемы или улучшить планировочные решения до начала разработки проектной документации. Рассмотрим примеры эскизов (рис. 5), представляющих варианты застройки территории.

Рис. 5. Проект планировки жилого комплекса (варианты 1, 2)

В первом варианте на эскизе жилые блоки домов имеют форму с преобладанием горизонтального направления, тогда как в проектном решении из-за нормативных ограничений жилые блоки выстроены по вертикали. Несмотря на то, что автор проекта хочет уйти от ортогональной

системы расположения зданий, нормативные ограничения не позволяют этого сделать. Во втором варианте идея автора проекта достаточно точно отображена в проектном решении. Жилые блоки имеют многоугольные формы. Пластику блоков удается вписать в существующие ограничения. Данный пример показывает, что несмотря на визуальную эстетику архитектурного образа, проектировщикам не всегда удается воплотить первоначальную идею в полном объеме. При этом поиск и оптимизация форм расположения блоков помогают найти оптимальное проектное решение.

Приведенные выше примеры перехода от графического эскиза в модель свидетельствуют о том, что информационное моделирование не просто дополняет процесс работы над архитектурой здания, но и значительно помогает автору воплотить свою идею в постройку. Информационное моделирование позволяет рассматривать разные варианты элементов фасада здания. Быстрая замена фактуры и цветов материалов подчеркивает и усиливает выбранный объем. Внесение нормативных ограничений в созданную архитектурную композицию позволяет рационально дорабатывать эскиз, а также обеспечивать комфорт в использовании потребителями.

Литература

1. Кудаева Е.А. Информационные технологии как средство организации функциональных процессов и дополнительный элемент в создании образа архитектурного объекта // Инновации и инвестиции. 2017. № 11. С. 183–189. EDN: VCGAYI.

2. Объемно-пространственная композиция: учебник для вузов / под ред. проф. А. В. Степанова. 3-е изд. М.: Архитектура-С, 2014. 256 с.

3. Кузнецова О.Г. Представление концепта средствами BIM-программ // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 69–75. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.010. EDN: OSJNSD.

4. Бессонова Н.В. Информационное моделирование уникальных зданий, сооружений и памятников архитектуры // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: матер. IV Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А.А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2022. С. 110–121. DOI: 10.23968/BIMAC.2022.015. EDN: AXDSIO.

5. Саморуков С.А. Архитектурная визуализация на практике // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 74-4. С. 96–98. DOI: 10.18411/lj-06-2021-147. EDN: FNBVQH.

УДК 004.942+712.00
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.048

Мазняк Елена Владиславовна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: emamel901@yandex.ru

Maznyak Elena Vladyslavovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЯДОВЫХ ПОСАДОК РАСТЕНИЙ В ЛАНДШАФТНОМ ПРОЕКТЕ ДЛЯ AUTODESK REVIT

A METHOD FOR AUTOMATING THE DESIGN PROCESS OF ORDINARY PLANTINGS IN A LANDSCAPE PROJECT FOR REVIT SOFTWARE

В статье предлагается оригинальный подход к проектированию рядовых посадок в проектах городского благоустройства с помощью плагина для Revit на языке C#. Описана структура программы и этапы реализации подхода в программном коде с использованием среды Visual Studio. Плагин формирует отдельную вкладку для создания элементов озеленения и благоустройства в Autodesk Revit, расставляемых с задаваемым пользователем шагом, по задаваемой пользователем траектории. Отмечены преимущества и дополнительные возможности. Продемонстрирована реализация плагина на примере жилого комплекса в концептуальной модели проекта благоустройства с использованием стандартной библиотеки растений Revit.

Ключевые слова: проектирование городского благоустройства, автоматизация процесса проектирования в ландшафтном проекте, плагин для ПО Revit, программирование на языке C#, концептуальная модель объекта благоустройства.

The article proposes an original approach to the design of ordinary plantings in urban improvement projects using a plugin for Revit in C#. The structure of the program and the stages of implementing the approach in the program code using the Visual Studio environment are described. The plugin forms a separate tab for creating landscaping and landscaping elements in Autodesk Revit, arranged with a user-defined step, along a user-defined trajectory. Advantages and additional features are noted. The implementation is demonstrated using the example of a residential complex in the conceptual model of an improvement project.

Keywords: urban landscaping design, automation of the design process in a landscape project, a plugin for Revit software, programming in C#, a conceptual model of the landscaping object.

В современном мире, где технологии и инновации играют ключевую роль, автоматизация процессов становится все более важной. Одним из примеров такого влияния является область проектирования и строительства, где автоматизация может значительно упростить и ускорить процесс проектирования [1]. Возможности анализа, автоматизации, единой классификации и управления данными, в том числе средствами программирования, являются важными преимуществами ТИМ [2, 3].

Актуальность развития автоматизации для проектирования ландшафтов LIM (Landscape Information Modeling) возрастает в связи с активным внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ) и реализацией федерального проекта «Формирование комфортной городской среды» [4].

Направленные на будущее, методы ландшафтного проектирования для городской среды включают в себя несколько ключевых принципов, соблюдение которых предполагает взаимосвязь элементов проектирования и работу в едином информационном пространстве:

– интеграция с существующими структурами;
– использование цифровых технологий;
– применение принципов ландшафтного городского дизайна;
– создание пространств для общественного использования;
– применение принципов устойчивого развития.

В частности, в этой работе предлагается метод автоматизации процесса проектирования рядовых посадок растений в программе Revit с использованием плагина, написанного на языке C#.

Этот код используется для создания элементов озеленения и благоустройства в Autodesk Revit, расставляемых с задаваемым пользователем шагом, по задаваемой пользователем траектории.

Плагин может иметь многофункциональное применение и может использоваться для расстановки любых элементов благоустройства, имеющих ритм в задаче расстановки. Результаты этой работы могут быть полезны для ландшафтных архитекторов, дизайнеров и других специалистов в области проектирования и строительства, работающих в Revit.

Автор использует среду разработки Visual Studio и концепцию MVVM (Model-View-ViewModel), Паттерн MVVM позволяет разделить логику приложения и представление. Это позволяет улучшить архитектуру и качество программного обеспечения, разделить функционал и улучшить читаемость кода [5].

Для удобства пользователя решено создать отдельную вкладку, которая будет вызывать работу плагина, состоящего из двух проектов. Вкладка

содержит две кнопки, одна, «Расстановка растений», отвечает за вызов интерфейса, обработку введенных пользователей данных и выполнение расстановки растений по введенным параметрам; вторая, «Экспорт», отвечает за вывод информации по списку использованных растений проекта в файл Excel. В коде должен быть реализован интерфейс для ввода данных пользователем, модуль обработки введенных данных и модуль расчетов.

Решение задачи автоматизации рядовых посадок предлагается разделить на несколько подзадач (рис. 1):

1. Создание командного кода для реализации функционала принятия введенных данных, обработки их и расстановки объектов в модели.

2. Организация вкладки, которая будет объединять работу основного функционала и дополнительного по составлению отчета экспортируемого в Excel по заданным параметрам, например, наименование и количество экземпляров в модели.

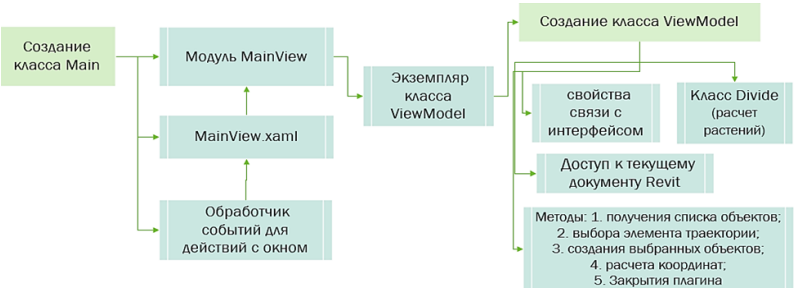


Рис. 1. Функциональная схема работы плагина CreatePlantsInRow по расстановке заданных пользователем растений в ряд с заданным пользователем шагом

Рассмотрим проект по реализации функционала расстановки. В данном плагине «CreatePlantsInRow» представлены MainView (создается графический интерфейс и связи с основной расчетной частью кода), ViewModel (объединяет в себе задачи обработки данных и реализации основного кода), класс DivideClass (содержит в себе расчеты для реализации основного кода и вызывается из ViewModel), (рис. 2).

Создан класс Main, реализующий интерфейс IExternalCommandData, использующий метод Execute, который принимает аргументы и открывает окно MainView. Представлен модуль MainView. Создается экземпляр MainView, который наследует от класса Window. Конструктор этого класса принимает в качестве параметра объект типа IExternalCommandData. Чтобы получать

этот объект из диалогового окна используем метод InitializeComponent. MainView.xaml отвечает за реализацию графического интерфейса и содержит параметры оформления диалогового окна интерфейса. ViewModel содержит свойства и методы для получения, обработки данных пользовательского интерфейса и последующей расстановки объектов (растений). Для доступа к текущему документу Revit, будем использовать объект IExternalCommandData. Используются методы: GetFamilySymbol для получения списка доступных объектов Revit, OnSelectedButton для выбора элемента траектории (используем линии модели), OnDistanceCreate для расчета координат и создания выбранных для расстановки объектов растений [6].

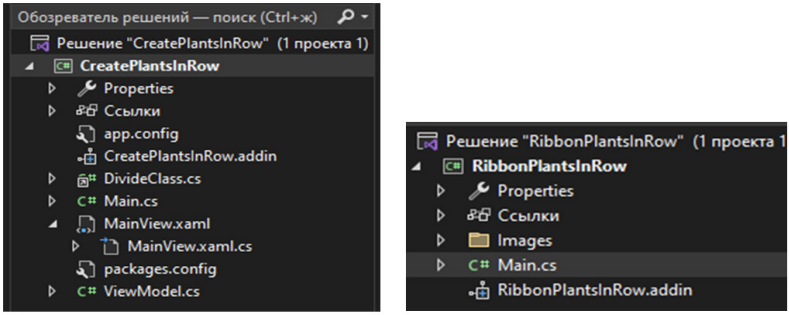


Рис. 2. Структура проектов CreatePlantsInRow и RibbonPlantsInRow

Вторая часть задачи реализована через создание проекта RibbonPlantsInRow, который создает вкладку с названием «Расстановка». Она вызывает панель «Растения», на которой размещены кнопки «Расстановка растений» и «Экспорт» (рис. 3).

Кнопка «Расстановка растений» вызывает проект плагина CreatePlantsInRow, по прописанному пути.

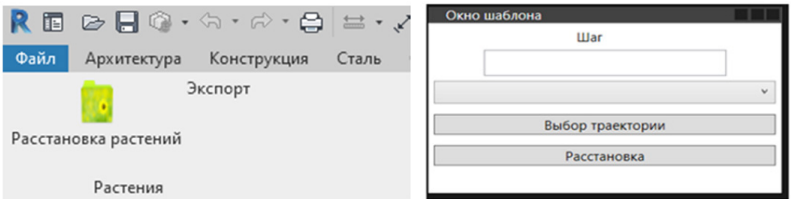


Рис. 3. Представление плагина для пользователя

Рассмотрим практическое применение плагина для проекта благоустройства жилого квартала. Городские проекты ландшафтного благоустройства часто включают в себя создание пространств для общественного использования: парки, скверы, дворы, места для отдыха. Ключевое значение здесь отводится объемно-пространственным решениям, которые сопровождаются рядовыми посадками вдоль улиц, пешеходных дорог, внутри кварталов. Это связывает повторяющиеся и прямолинейные элементы архитектурно-строительных решений с пространственно-планировочными решениями организации кварталов районов, городов.

Рассмотрим пример применения плагина на концептуальную модель варианта благоустройства жилого комплекса «Аврора» (рис. 4), расположенного в Невском районе города Санкт-Петербурга по ул. Коллонтай.

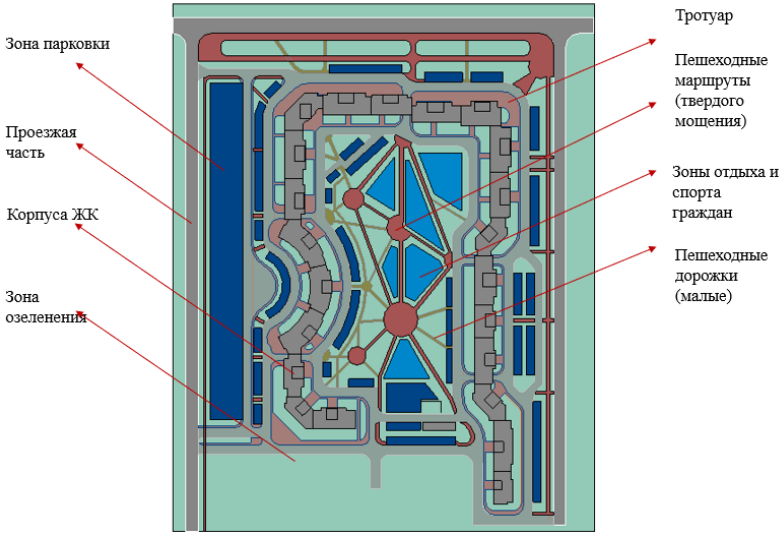


Рис. 4. Графический результат моделирования квартала

Подключим проекты через Addin-Manager загрузив, соответственно, в Command и Loap App. На панели Revit появляется новая вкладка для работы плагина. Запустив плагин несколько раз получаем вариант озеленения рядовыми посадками на внутридомовом пространстве квартала (рис. 5). Результат демонстрирует как модель укрупненно, так и участок с детализацией.

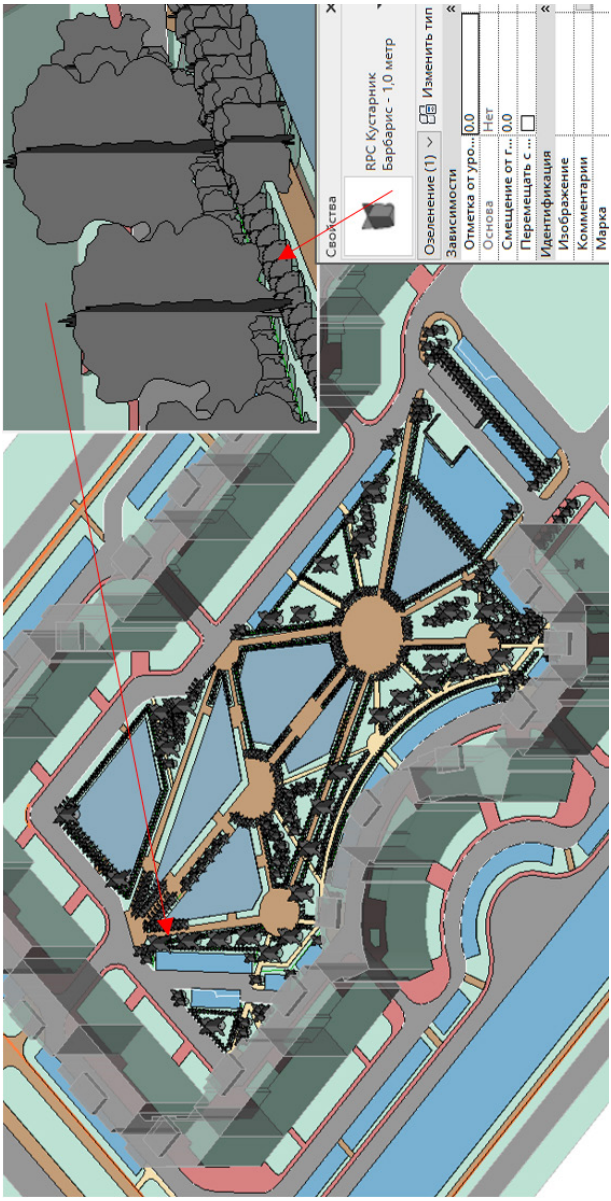


Рис. 5. Представление работы плагина на концептуальной модели проекта благоустройства квартала

Предложенный подход затрагивает лишь небольшой аспект ландшафтного проектирования. А грамотный ландшафтный проект должен быть оптимален в целом [7]. Здесь видится много возможностей для развития предложенного подхода и расширения сферы его применения.

Литература

1. Канхва В.С., Обухов Р.В. Формирование стратегических преимуществ строительных предприятий на основе применения технологий информационного моделирования // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023: Сб. докл. IV Национ. научн. конф. М.: НИУ МГСУ, 2024. С. 1056–1059. EDN: BRKLPM.

2. AUTODESK REVIT 2022 URL: https://help.autodesk.com/view/RVT/2022/ENU/ (дата обращения: 07.02.2024).

3. Online Documentation for Revit API URL: https://www.revitapidocs.com/ (дата обращения: 07.02.2024).

4. Захарова Г.Б. Информационное моделирование ландшафтов LIM: возможности и перспективы новой технологии // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: матер. V Межд. научно-практ. конф. Екатеринбург: УрГАХУ, 2022. С. 26. EDN: VHREGH.

5. Назаркин О.А. Разработка графического пользовательского интерфейса в соответствии с паттерном Model-View-Viewmodel на платформе Windows Presentation Foundation. Основные средства WPF. Липецк: ЛГТУ; ЭБС АСВ, 2014. 61 с. EDN: XQBCQV.

6. Курченкова Т.В. Основы программирования на языке C#. Воронеж: ВГУ, 2021. 83 с. EDN: RSNJZG.

7. Мазняк Е.В. Применение технологии информационного моделирования для ландшафтного проектирования // Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Екатеринбург: УрГАХУ, 2023. С. 53. EDN: PYVDFY.

УДК 004.942+69.059.25+69.059.4
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.049

Пешеков Михаил Сергеевич, студент
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: 23003311@edu.spbgasu.ru, ORCID: 0009-0008-6323-5524

Peshekov Mikhail Sergeevich, student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

ОБЗОР ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИЮ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ЖИЛОГО ФОНДА ДОРЕВОЛЮЦИОННОЙ ПОСТРОЙКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

REVIEW OF DIGITAL TECHNOLOGIES FOR IMPLEMENTATION IN THE ORGANIZATION OF CAPITAL REPAIR OF PRE-REVOLUTIONARY HOUSING STOCK IN SAINT-PETERSBURG

Обоснована необходимость внедрения цифровых технологий в организацию капитального ремонта жилого фонда дореволюционной постройки города Санкт-Петербурга. Проанализирован опыт организации капитального ремонта без применения цифровых технологий. Выполнен анализ теоретических основ организации работ, существующих цифровых технологий, применяемых в организации капитального ремонта. Подобраны наиболее целесообразные цифровые технологии. Предложен альтернативный способ решения проблемы высокого уровня физического износа жилого фонда дореволюционной постройки Санкт-Петербурга. Разработан метод повышения качества организационно-технологических решений в организации капитального ремонта и алгоритм системно-структурного подхода к переводу жилого фонда центральной части Санкт-Петербурга в цифровую среду.

Ключевые слова: BIM, ТИМ, организация капитального ремонта, эксплуатация здания, цифровая трансформация.

The necessity of introducing digital technologies in the organization of capital repair of pre-revolutionary housing stock of St. Petersburg is substantiated. St. Petersburg. The experience of organization of capital repair without application of digital technologies is analyzed. The analysis of theoretical bases of work organization, existing digital technologies applied in the organization of capital repair is carried out. The most expedient digital technologies are selected. An alternative way of solving the problem of high level of physical deterioration of the pre-revolutionary housing stock of St. Petersburg

is offered. The method of improving the quality of organizational and technological solutions in the organization of capital repair and the algorithm of system-structural approach to the transfer of the housing stock of the central part of St. Petersburg into the digital environment are developed.

Keywords: BIM, information modeling, organization of capital repair, building maintenance, digital transformation.

Не смотря на ежегодное повышение минимального размера взноса на капитальный ремонт общего имущества в многоквартирных домах в Санкт-Петербурге, остается нарастающая проблема высокого уровня физического износа зданий, систем инженерно-технического обеспечения и сетей инженерно-технического обеспечения. В большей степени эта проблема касается многоквартирных домов дореволюционной постройки, не прошедших капитальный ремонт, в связи с их возрастом, климатическими условиями и уровнем обслуживания эксплуатирующими организациями. Дома дореволюционной постройки имеют большой запас по прочности, и при своевременно и качественно проведенном капитальном ремонте, способны прослужить еще ни один десяток лет.

В новом капитальном строительстве целесообразность применения цифровых технологий и дальше остается предметом исследований, несмотря на давнее изучение вопроса. Актуальные проблемы существующего жилого фонда Санкт-Петербурга и открытый вопрос внедрения цифровых технологий в организацию капитального ремонта послужили основанием к проведению данного исследования. Целью исследования является повышение эффективности организационно-технических решений в капитальном ремонте жилого фонда дореволюционной постройки Санкт-Петербурга, а также решение проблемы высокого уровня физического износа многоквартирных домов. По данным сервиса «ГосЖКХ» в Санкт-Петербурге в аварийном состоянии находится 262 дома, большая часть из которых построена до 1917 года, общей площадью более 263572 м^2, в которых зарегистрировано более 2045 человек. Для предотвращения перехода многоквартирных домов в аварийное жилье, необходимо приступить к внедрению новых технологий в работы по капитальному ремонту.

Задачей исследования является анализ современных цифровых технологий, применяемых в строительстве, для выявления возможности внедрения их в организацию капитального ремонта Санкт-Петербурга и обоснование необходимости их внедрения.

Организация работ по проведению капитального ремонта в центральной части Санкт-Петербурга представляется затруднительней, чем в других частях города в связи со стесненностью условий. Это объясняется

плотностью окружающей городской застройки, усложняющей планирование строительно-монтажных работ, поставку конструкций и материалов в зону проведения работ, безопасный и рациональный монтаж автокрана и прочих грузоподъемных механизмов, организацию временных зданий и сооружений, складских зон. В конечном счете данные проблемы вытекают в увеличение продолжительности работ. Большинство многоквартирных домов центральной части Санкт-Петербурга относятся к домам дореволюционной постройки, не прошедшие капитальный ремонт. Эти дома характеризуются уникальной планировкой, возможным наличием статуса объекта культурного наследия, наличием конструкций, элементов конструкций в аварийном состоянии, либо в высоком уровне физического износа и отсутствием, либо недействительной информацией в проектно-технической документации, сведениях по строительству и эксплуатации многоквартирного дома. Капитальный ремонт в домах дореволюционной постройки в Санкт-Петербурге представляет собой особый вызов, в силу уникальной архитектуры и исторической ценности таких зданий.

Необходимо рассмотреть внедрение цифровых технологий как инструмент: оптимизации организации работ по капитальному ремонту, сохранения культурного облика зданий, повышения качества жизни жителей города, сокращения продолжительности проведения работ, определения рентабельности капитального ремонта на среднесрочную и долгосрочную перспективу, избавления от непредвиденных затрат в процессе выполнения работ. Внедрение цифровых технологий в организацию капитального ремонта жилого фонда может стать толчком к цифровой трансформации в нашей стране[1].

При капитальном ремонте домов дореволюционной постройки важно сохранить и восстановить уникальные архитектурные детали и фасады. Для наиболее точного воссоздания деталей здания возможно применение наземного лазерного сканирования, представляющего из себя технологию дистанционного зондирования. Здание сканируется с нескольких позиций, стоянка занимает в среднем от 3 до 20 минут. По результатам сканирования создается облако точек, на основе которого можно строить точную трехмерную модель (рис. 1). В случаях, когда не представляется возможным в полном объеме отсканировать здание при помощи

[1] Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года», URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/45726 (дата обращения: 22.02.2024).

наземного сканера, возможно дополнение отсканированных материалов данными аэрофотосъемки, произведенной с малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, которые также могут быть оснащены лазерными сканерами. Цифровая модель дает возможность на этапе строительства добиться минимального количества возможных проектных изменений и предупредить коллизии до начала строительно-монтажных работ. Также наземное лазерное сканирование успешно применяется для обнаружения изменений поверхности стен, таких как трещины или полости, с использованием радиометрической информации [1].

Рис. 1. Результат наземного лазерного сканирования дома для организации работ по капитальному ремонту. Материалы автора

По результатам лазерного сканирования возможно применение цифровой модели многоквартирного дома для создания 4D-модели, представляющей из себя синтез 3D-модели и календарно-сетевого графика производства работ. Календарные графики, включенные в раздел проекта производства работ по капитальному ремонту, не отображают реальную картину в полной мере, составляются неточно и оформляются в среде NanoCAD или Excel, неспособной раскрыть всю точность составленного плана работ. С этой задачей, благодаря визуализации строительно-монтажных работ, справляется 4D-моделирование. Прежде чем приступить к выполнению строительно-монтажных работ в стесненных городских условиях центральной части Санкт-Петербурга и столкнуться с ошибками в календарно-сетевом графике, эффективнее будет произвести компьютерную имитацию различных вариаций организации работ на объекте,

определить риски и выбрать наиболее эффективный и целесообразный вариант. Данные решения, как правило, отражаются на технологических картах, разрабатываемых применительно к конкретным объектам. 4D-модель должна визуализировать данные решения, помогая, тем самым, всем заинтересованным лицам найти оптимальные методы работ [2]. Помимо прочего, в BIM модель можно добавить стоимостную характеристику, что приводит к созданию 5D-модели. При использовании 5D-моделирования включается измерение по стоимости. Каждый элемент объекта содержит детальное описание своей стоимости и взаимосвязей с остальными элементами модели, что позволяет не только оценить затраты на строительные работы, но и провести прогноз бюджета на любой стадии работ (рис. 2) [3].

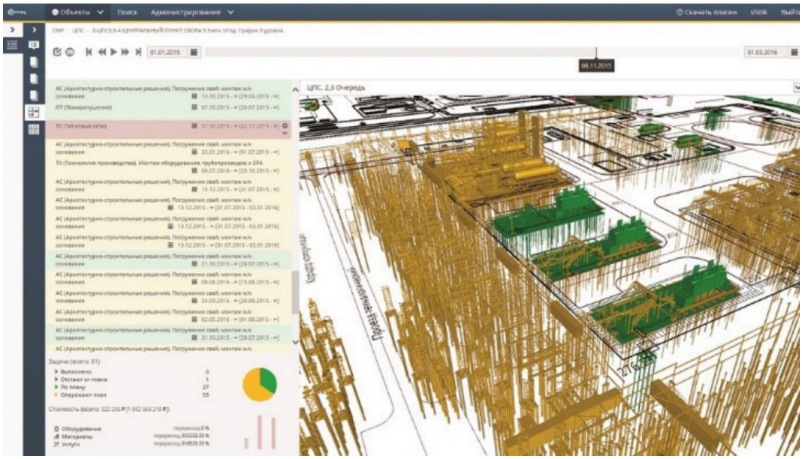


Рис. 2. 5D-модель [3]

При организации капитального ремонта многоквартирных домов дореволюционной постройки актуален мониторинг состояния здания в процессе выполнения работ. В качестве инструмента для контроля за техническим состоянием и изменением параметров в строительных конструкциях возможно применение волоконно-оптических датчиков. Датчики способны измерять возникающие напряжения в структуре конструкции здания, передавая изменения детектируемого сигнала по сравнении с переданным и интерпретируя изменения в длине волны или фазы сигналов [4]. На этапе разработки проектной документации, при разработке

календарного графика, необходимо учесть время на установку в конструкциях здания датчиков. Также подрядной организации, выполняющей строительно-монтажные работы, перед выходом на площадку, необходимо иметь утвержденную рабочую документацию на установку датчиков. Проведение мониторинга в ходе производства работ предупреждает совершение ошибок, способных негативно повлиять на проектный бюджет и общую продолжительность работ. В процессе дальнейшей эксплуатации здания волоконно-оптические датчики можно включить в систему умного дома или интернета вещей (IoT, Internet of Things), организовав общую сеть цифровых устройств, собирающих и обрабатывающих информацию о текущем состоянии многоквартирного дома. IoT устройства могут сообщать о структурных изменениях автоматически, что позволяет оперативно реагировать на проблемы и планировать обслуживание и капитальный ремонт наиболее эффективно, что также дает возможность исключить из части операций по отслеживанию текущего состояния здания участие человека.

Темпы внедрения инновационных технологий в отечественной строительной отрасли в целом, а также при проведении капитального ремонта многоквартирных домов остаются недостаточно высоки. Причинами такого состояния можно выделить внешнюю политическую обстановку в стране, недостаточный размер инвестиций, дефицит грамотных профессиональных кадров, консерватизм эксплуатирующих организаций и отсутствие нормативно-правовой базы [5]. Дополнительное финансирование со стороны государства на федеральном или региональном уровнях способно поспособствовать в побуждении заказчиков и подрядных организаций к применению цифровых технологий в организации капитального ремонта.

Внедрение цифровых технологий в организацию капитального ремонта жилого фонда дореволюционной постройки Санкт-Петербурга способно позволить избежать несоответствие ведомостей объемов работ реальной картине, оперативно решать возникающие вопросы контроля качества, сравнивать проектные чертежи с фактическим исполнением, предупреждать и решать масштабные ошибки, способные негативно повлиять на сроки и итоговую стоимость работ.

На этапе эксплуатации здания с цифровой моделью здания возможно проводить непрерывный мониторинг технического состояния здания с занесением данных об освидетельствовании состояния отдельных строительных конструкций, проектировать новые внутренние сети и системы инженерно-технического обеспечения, предупреждать появление

коллизий с существующими сетями и оборудованием, своевременно принимать меры по текущему и капитальному ремонту здания. Кроме того, на этапе вывода здания из эксплуатации, имеющаяся цифровая модель гарантирует безопасность демонтажных работ, позволяет определить точные объемы строительного мусора.

Требует дальнейшего изучения методология подбора экономически рациональных цифровых технологий и определение окупаемости их внедрения в долгосрочной перспективе.

Благодарности

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

Литература

1. Соргутов И.В. Технологии дистанционного зондирования и их применение при проведении оценки технического состояния зданий и сооружений // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2022. № 1. С. 21. EDN: ABMLEJ.

2. Бовтеев С.В. Применение 4D-моделирования для планирования и организации строительства объектов и их комплексов // Системные технологии. 2023. № 4(49). С. 61–69. DOI: 10.55287/22275398_2023_4_61. EDN: NWAVOD.

3. Карякин Ю.Е., Головкин В.А. Концепция BIM-технологий: прикладное значение при капитальном ремонте жилых зданий // Математическое и информационное моделирование: сб. науч. тр. Вып. 17. Тюмень: Тюменский государственный университет, 2019. С. 168–184. EDN: MMZYXV.

4. Нгуен С.М., Попов Г.А. Система сбора данных по параметрам конструкций интеллектуального здания на основе волоконно-оптических датчиков // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3(37). С. 31. EDN: VHSAMV.

5. Гусяков Д.И. Применение BIM-технологий при организации капитального ремонта и реконструкции зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 312–317. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.042. EDN: ORPXKZ.

УДК 658.5:624.05
DOI: 10.23968/BIMAC.2024.050

Фуртаева Анна Александровна, магистрант
(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)
E-mail: furtaeva.anyuta@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-5910-7206

Furtayeva Anna Alexandrovna, Master's degree student
(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

ANALYSIS OF PRIORITY INFORMATION MODELING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF HEALTHCARE FACILITIES

В данной статье анализируются приоритетности BIM-технологий, используемые в строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов здравоохранения. Рассмотрены важнейшие организационно-технологические особенности строительства медицинских объектов путем изучения данных из научно-технической литературы. Описаны функциональные возможности BIM-технологий и способы их эффективного применения в современных медицинских центрах. Приведены примеры исторически значимого отечественного опыта применение BIM-технологий в ходе реализации объектов здравоохранения. Выявлены основные факторы, влияющие на выбор перспективных сценариев применения BIM-технологий в строительстве медицинских центров.

Ключевые слова: BIM-технологии, информационное моделирование, объекты здравоохранения, организационно-технологические требования, медицинский центр, цифровой двойник.

This article analyzes the most priority BIM-technologies used in construction, reconstruction and operation of health care facilities. The most important organizational and technological features of construction of medical facilities are considered by studying data from scientific and technical literature. The functional capabilities of BIM-technologies and ways of their effective application in modern medical centers are described. Examples of historically significant domestic experience of application of BIM-technologies in the course of realization of objects of health care are given. The main factors influencing the choice of perspective scenarios of BIM-technologies application in the construction of medical centers are revealed.

Keywords: BIM technologies, information modeling, healthcare facilities, organizational and technological requirements, medical center, digital twin.

С каждым годом количество организаций, использующих средства информационного моделирования, становится все больше, вводятся обязательные требования на законодательном уровне. BIM-технологии позволяют достигнуть частичной автоматизации процессов проектирования и исключить большую часть ошибок еще на начальных этапах.

Согласно крупнейшей базе данных о странах мира Numbeo на начало 2024 года Россия находится на 55 месте по уровню системы здравоохранения с индексом удовлетворённости населения 60,9 %, что свидетельствует о наличии проблем в предоставлении медицинской помощи [1]. Чаще всего негативный опыт ассоциируют с некомпетентностью рабочего персонала, но мало кто задумывается, что источником могут оказаться неточности, полученные с момента проектирования до сдачи в эксплуатацию.

Целью данной работы является анализ оптимального выбора BIM-технологий для эффективного решения организационно-технологических задач, возникающих при строительстве объектов здравоохранения. Для достижения данной цели необходимо выполнить анализ существующих организационно-технологических требований к медицинским объектам, выявить из них наиболее значимые, разработать возможности их реализации при помощи информационных технологий, проанализировать среди имеющихся наиболее эффективные способы, изучить существующий опыт применения BIM-технологий в объектах здравоохранения.

«Кантри Парк Клиника» стала первым в России медицинским BIM-проектом, включающая в себя поликлинику, диагностический центр и реабилитационный стационар суммарной площадью 4000 кв. м. Огромным прорывом в BIM стало открытие израильской клиники «Хадасса» на территории Международного медицинского кластера «Сколково». Данный объект стал первым в России, в эксплуатации которого используется BIM-технологии. При помощи интеграции лазерного сканирования, создания 3D-модели и диспетчеризации инженерных систем создана автоматизированная информационная система управления коммуникациями.

Особое место в развитии BIM-технологий в проектировании медицинских учреждений занимает проектно-строительная организация «ВЕРФАУ». Компания одна из первых в России активно использовала все преимущества технологии BIM еще с 2014 года, предоставляя

заказчику полноценную информационную модель с возможностью дальнейшего использования на этапе эксплуатации. Появилась возможность брать из модели любую информацию, решать задачи энергопотребления, проведения ремонтных работ и технического обслуживания. Минстрой России выбрал проекты «ВЕРФАУ» в качестве пилотных для внедрения BIM-технологий. Предприятие насчитывает обширный опыт в реализации объектов по всей России, включая такие, как краевой онкологический диспансер в г. Чите и г. Красноярске, перинатальные центры в г. Мурманске и г. Махачкале, российско-финская клиника «AVA-PETER» в Санкт-Петербурге и Казани, Красноярская краевая клиническая больница (рис. 1) [2].

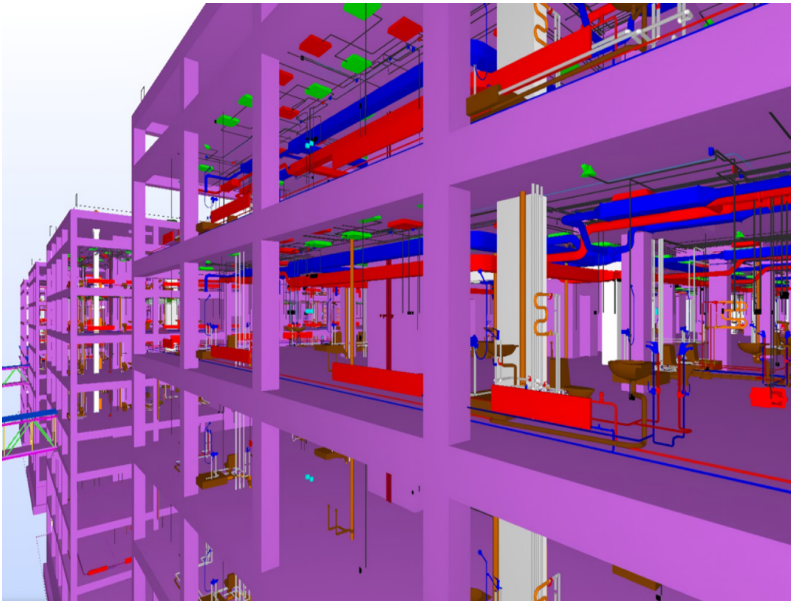


Рис. 1. Модель инженерных сетей Красноярской краевой клинической больницы, разработанная проектно-строительной организацией «ВЕРФАУ»

По уровню значимости и масштабу воздействия можно выделить следующие организационно-технологические особенности проектирования и строительства объектов здравоохранения:

1. Упор на «качество, заложенное в дизайн» [3]. Детальная проработка интерьерных решений, с учетом психологического воздействия на пациентов, требований безопасности и экологичности.

2. Архитектурно-планировочное зонирование для разделения «грязных» и «чистых» потоков, соблюдения оптимальных технологических связей между подразделениями.

3. Создание экологически безопасных медицинских учреждений с учетом утилизации отходов и энергоэффективного производства.

4. Разработка инновационных надежных инженерных систем – электроснабжения, вентиляция, кондиционирования воздуха, подачи медицинских газов и т.д.

5. Монтаж сложного технологического оборудования – разработка специальных монтажных проемов и маршрутов трансфера оборудования.

6. Необходимость достоверного проектно-сметного расчета из-за государственного финансирования.

7. Разработка медико-технологического задания на проектирование в совместном сотрудничестве заказчика и главврача.

Лечебные учреждения XXI века – это не типовые проектные решения, а инновационные сооружения, качественно и быстро спроектированные, исключающие ошибки предыдущих типовых проектов. Путем выделения организационно-технологических требований можно проанализировать возможности наиболее эффективного использования BIM-технологий:

1. Использование BMS (системы управления зданием) на основе BIM, позволяющей отслеживать потребление ресурсов в режиме реального времени и оперативно корректировать излишние расходы. Кроме того, можно отслеживать связанные с этим выбросы углекислого газа и затраты на глобальном уровне [4].

2. Виртуальное планирование различных вариантов расположения зон объекта с учетом функционального назначения и потоков движения.

3. Возможность тестирования и сравнения различных вариантов дизайна с использованием виртуальной и дополненной реальности (рис. 2) [5].

4. Создание информационной 5D-модели, объединяющей 3D/4D-модели и данные о стоимости, что позволяет доказать достоверность сметного расчёта и проводить оценку затрат на работы и материалы.

5. Использование централизованных платформ и облачных сервисов для обмена и хранения данных в режиме реального времени, а также администрирования BIM-моделей. Например, BIM 360 или российский облачный сервис BIMIT [6].

Рис. 2. Тестирование дизайна интерьера при помощи виртуальной реальности

6. Визуализация и координация работы инженерных сетей – предотвращение коллизий на этапе проектирования, а также создание цифрового двойника для постоянного контроля и своевременного обслуживания инженерных систем.

7. Создание параметризованных семейств BIM-моделей технологического оборудования с разной степенью детализации для оптимизации работы и повторного использования (рис. 3).

Рис. 3. Модель операционной, разработанная в Autodesk Revit

Приведённые выше сценарии указывают на то, что цифровым фундаментом является наличие качественно проработанной 3D-модели. Имея

такую модель, можно создать цифровой двойник, который будет служить эффективным инструментом для долгосрочного управления объектом здравоохранения.

Таким образом, выбор BIM-технологий зависит от анализа организационно-технологических особенностей объекта, их применения в проектировании, строительстве и эксплуатации, а также от интеграции BIM-технологий друг с другом. Использование технологий информационного моделирования позволяет оптимизировать процессы проектирования, строительства, эксплуатации, улучшить управление объектами здравоохранения, стать на шаг ближе к созданию новой эры «умных больниц».

К сожалению, на сегодняшний день в России, недостаточно практического опыта реализации объектов здравоохранения с применением информационных технологий, что свидетельствует о необходимости дальнейших исследований и создания единой системы BIM для строительства больниц.

Благодарности

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

Литература

1. Numbeo. URL: https://www.numbeo.com/cost-of-living (дата обращения: 14.02.2023).

2. ВЕРФАУ Медикал Инжиниринг. URL: https://st-petersburg.cataloxy.ru/firms/www.werfau.ru.htm (дата обращения: 17.02.2023).

3. Кулев С.В. Мировые тренды в создании городских пространств и общественных объектов, представленные на XIV международной научно-практической конференции «архитектура здоровья – MES 2022» // Архитектура здоровья. 2023. № 1. С. 70-87. EDN: UAUGRQ.

4. Tennyson R., Ravnestad B., Hadromi N., O'Gorman D., Eckhardt S., Dennison S., Ghorbani Z. What do Facility Managers need from BIM? Case 4: Asset Management for Hospitals A perspective from the Building Room. 2022.

5. Горовой Н.В. Возможности технологий виртуальной и дополненной реальности при обучении проектировщиков // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Матер. VI Междунар. научно-практ. конф. Под общ. ред. А. А. Семенова. СПб.: СПбГАСУ, 2023. С. 236–242. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.032. EDN: PKMMHD.

6. Кулешова А.В., Кирколуп Е.Р. Примеры реализации взаимодействия строительных отделов с использованием технологии информационного моделирования // Ползуновский альманах. 2022. № 1. С. 97-99. EDN: JNVJVM.

Содержание

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ (BIM)

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ, ВЛАДЕЮЩИХ ТИМ (BIM)

ДОКЛАДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

Материалы VII Международной научно-практической конференции

BIMAC 2024

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 07.05.2024. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Заказ 52. «С» 40.
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.
Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.

ДЛЯ ЗАПИСЕЙ