REFERENCES

1. Korgin, A. V. Pervyj v Rossijskoj Federatsii avtodorozhnyj most iz alyuminievykh splavov [The first highway bridge made of aluminum alloys in the Russian Federation] / A. V. Korgin, E. V. Vasiliev, O. G. Maslov. – DOI 10.22227/2305-5502.2024.3.6-27 // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2024. – Vol. 14, No. 3. – Pp. 6–27.
2. Korgin, A. V. Avtodorozhnye mosty iz alyuminievykh splavov v Rossii [Highway bridges made of aluminum alloys in Russia] / A. V. Korgin // Mir dorog [The world of roads]. – 2021. – No. 141. – Pp. 97–99.
3. Strength of aluminum alloys for bridge building [Strength of aluminum alloys for bridge building] / A. V. Korgin, P. D. Odesskiy, V. A. Ermakov, L. Z. Z.Kilani, V. A. Romanets, E. A. Koroleva. – DOI 10.1134/S003602952004014X // Russian Metallurgy (Metally) [Russian Metallurgy (Metally)]. – 2020. – No. 4. – Pp. 373–382.
4. Borodkina, V. V. Perspektivy razvitiya alyuminievogo proizvodstva v Rossii [Prospects for the development of aluminum production in Russia] / V. V. Borodkina, O. V. Ryzhova, Yu. V. Ulas. – DOI 10.17513/fr.42354 // Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]. – 2018. – No. 12 (part 1). – Pp. 72–77.
5. Perspektivy i problemy primeneniya alyuminievykh splavov pri stroitel'stve mostov v RF [Prospects and problems of using aluminum alloys in bridge construction in the Russian Federation] / A.V. Korgin, V. A. Romanets, V. A. Ermakov, L. Z. Zeid Kilani. – DOI 10.12737/article_5bab4a1a42eee3.23235487 // Vestnik BGTU [Bulletin of BSTU]. – 2018. – No. 9. – Pp. 42–48.
6. Road and pedestrian bridges in aluminum : Report on visits and Sweden, Holland, and the United States / Aluminum Association of Canada. – Ottawa, 2015. – 56 p.
7. Grosu, R. A. Perspektivy primeneniya stalealyuminevykh konstruktsij v mostostroenii [Prospects for the use of steel-aluminum structures in bridge construction] / R. A. Grosu // Perspektivnye materialy v stroitel'stve i tekhnike (PMST-2014) : Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii molodykh uchyonykh, Tomsk, 15–17 oktyabrya 2014 goda [Advanced Materials in Construction and Engineering (PMST-2014) : Proceedings of the International Scientific Conference of Young Scientists, Tomsk, October 15-17, 2014]. – Tomsk : Izd-vo TGUAS [TGUAS Publishing House], 2014. – Pp. 383–390.
8. Mosty s konstruktsiyami iz alyuminievykh splavov. Pravila proektirovaniya : Svod pravil SP 443.1325800.2019 [Bridges with aluminum alloy structures. Design rules : Code of Rules SP 443.1325800.2019] : utverzhdyon prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishhno-kommunal'nogo khozyajstva Rossijskoj Federatsii ot 30 aprelya 2019 g. № 251/pr i vvedyon v dejstvie s 31 oktyabrya 2019 g. [approved by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation dated April 30, 2019 No. 251/pr and entered into force on October 31, 2019] / Minstroj Rossii [Ministry of Construction of Russia]. – Moscow : Standartinform, 2019. – 59 p.
9. Vliyanie korrozionnoj sredy na svojstva friktsionnogo soedineniya listov splava 6082-T6 [The influence of the corrosive environment on the properties of the friction joint of alloy sheets 6082-T6] / A. G. Katunina, A. N. Shuvalov, O. A. Kornev, E. V. Sokolova. – DOI 10.32683/0536-1052-2022-764-8-102-118 // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo [News of higher educational institutions. Construction]. – 2022. – No. 8 (764). – Pp. 102–118.
10. Patton, G. Aluminum Orthotropic : Desk Research Report / G. Patton. – Florida : Archive Florida Department of Transportation, 2017. – 52 p.
11. Korgin, A. V. Raschyot mostovykh konstruktsij iz alyuminievykh splavov na vynoslivost' [Calculation of bridge structures made of aluminum alloys for endurance] / A. V. Korgin. – DOI 10.22227/2305-5502.2022.2.3 // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie [Construction: science and education]. – 2022. – Vol. 12, No. 2. – Pp. 31–49.
12. Korgin, A. V. Vklyuchenie ortotropnykh plit nastila v rabotu nesushhikh konstruktsij mostov iz alyuminievykh splavov [Inclusion of orthotropic flooring plates in the work of load-bearing structures of bridges made of aluminum alloys] / A. V. Korgin, V. A. Ermakov, L. Z. Zeid Kilani. – DOI 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896 // Vestnik MGSU [Bulletin of MGSU]. – 2022. – Vol. 17, No. 7. – Pp. 882–889.
13. Kunin, Yu. S. Raschyot i proektirovanie friktsionnykh soedinenij alyuminievykh konstruktsij. Problemy i puti resheniya [Calculation and design of friction joints of aluminum structures. Problems and solutions] / Y. S. Kunin, A. A. Sineev. – DOI 10.54950/26585340-2022-2-72 // Stroitel'noe proizvodstvo [Construction production]. – 2022. – No. 2. – Pp. 72–76.
14. Kunin, Yu. S. Nesushhaya sposobnost' friktsionnykh soedinenij alyuminievykh konstruktsij [Bearing capacity of friction joints of aluminum structures] / Yu. S. Kunin, A. A. Sineev. – DOI 10.33622/0869-7019.2020.12.82-85 // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and Civil Engineering]. – 2020. – No. 12. – Pp. 82–85.
15. Kunin, Yu. S. Osobennosti raschyota i konstruirovaniya friktsionnykh soedinenij alyuminievykh konstruktsij [Features of calculation and construction of friction joints of aluminum structures] / Yu. S. Kunin, A. A. Sineev // Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya : Sbornik dokladov Pervoj Natsional'noj konferentsii, Moskva, 30 sentyabrya 2020 goda [Actual problems of the construction industry and education : Collection of reports of the First National Conference, Moscow, September 30, 2020]. – Moscow : MGSU, 2020. – Pp. 95–102.
16. Sineev, A. A. Nesushhaya sposobnost' vintovykh (boltovykh) soedinenij ehlementov alyuminievykh konstruktsij [Bearing capacity of screw (bolted) joints of aluminum structural elements] / A. A. Sineev // Funktsiya, konstruktsiya, sreda v arkhitekture zdanij : Sbornik tezisov dokladov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferentsii : v 2-kh tomakh. Tom 1, Moskva, 25–26 aprelya 2019 goda [Function, structure, environment in building architecture : Collection of abstracts of the All-Russian Scientific and Practical Conference : in 2 volumes. Volume 1, Moscow, April 25-26, 2019]. – Moscow : NRU MGSU, 2019. – Pp. 83–84.
17. Abduzhabarov, N. A. Vysokoprochnyj alyuminievyj krepyozh dlya konstruktsij vozdushnykh sudov [High-strength aluminum fasteners for aircraft structures] / N. A. Abduzhabarov // Grazhdanskaya aviatsiya na sovremennom ehtape razvitiya nauki, tekhniki i obshhestva : Sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferentsii, posvyashhyonnoj 100-letiyu rossijskoj grazhdanskoj aviatsii, Moskva, 18–19 maya 2023 goda ; Moskovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet grazhdanskoj aviatsii [Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society : A collection of abstracts of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 100th anniversary of Russian Civil Aviation, Moscow, May 18-19, 2023 ; Moscow State Technical University University of Civil Aviation]. – Moscow : ID Akademii imeni N. E. Zhukovskogo [Publishing House of the N. E. Zhukovsky Academy], 2023. – Pp. 118–120.
18. Metchiki i plashki (lerki) Germaniya [Taps and dies (bars) Germany] / Völkel Threading Solutions : [online store]. – URL: https://volkel.ru / (date of access: 05/11/2025).
19. Experimental investigation for performance of high-strength bolt shear connections with fasteners embedded in aluminum alloy plates / Y. Peng, J. Zhao, W. Huang, J. Dong. – DOI 10.1016/j.istruc.2024.108081 // Structures. – 2025. – Vol. 71. – Art. 108081.
20. Development of High-Strength Bolt Material of Al–Mg–Si Alloy by ECAP and Various Aging Treatments / T. Obata, Y. Tang, H. Iwaoka, S. Hirosawa, K. Mouri, M. Shimoda // The Japan Institute of Light Metals // Materials Transaction. – 2019. – Vol. 60, Iss. 8. – P. 1680–1687. – URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/matertrans/60/8/60_L-M2019825/_html/-char/en.
21. Kang, H. S. Strength of High Strength Aluminum Alloys Single Shear Bolted Connections with Two Bolts / H. S. Kang, T. S. Kim. – DOI 10.7781/kjoss.2018.30.2.087 // Journal of Korean Society of Steel Construction. – 2018. – Vol. 30, Iss. 2. – Pp. 87–96.
22. Patent RU 2 581 544 C2, MPK S22S 21/10, S22F 1/053. Usovershenstvovannye alyuminievye splavy 7khkhkh i sposoby ikh polucheniya [Patent RU 2,581,544 C2, IPC C22C 21/10, C22F 1/053. Improved aluminum alloys 7xxxx and methods of their preparation] : Zayavka № 2013115430/02 ot 08.09.2011 : opublikovano 20.04.2016 [Application No. 2013115430/02 dated 09/08/2011 : published 04/20/2016] / R. G. Kamat, D. M. Newman, R. R. Sawtell, D. K. Lin ; patentoobladateli [patent holders] ALCOA INC. (US).
23. Continuous high strength aluminum bolt manufacturing by the spring-loaded ECAP system / Y. G.n Jin, H. M. Baek, S.-K. Hwang, Y. T. Im, B. C. Jeon // Journal of Materials Processing Technology. – 2012. — Vol. 212, Iss. 4. – Pp. 848–855.
24. Patent EP2548983A1. European Patent Office. Aluminium alloy and high-strength bolt made from aluminium alloy : Application EP20100847997 : Application filed by Nissan Motor Co Ltd : Publication of 2013-01-23 : Anticipated expiration 2030-12-14 / Fumihiko Gejima ; Current Assignee Nissan Motor Co Ltd.

УДК 517.958:530.145:512 **DOI: 10.54950/26585340_2025_2_175**

Управление качеством строительства с использованием цифровых двойников

Construction Quality Control with Digital Twins

Шахраманьян Андрей Михайлович
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Испытание сооружений»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26; генеральный директор ООО «СОДИС Лаб», Россия, 143026, Москва, Инновационный центр «Сколково», Большой бульвар, 42, строение 1, andreyshakhramanyan@gmail.com

Shakhramanyan Andrey Mikhailovich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Testing of Structures, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26; General Director of SODIS Lab LLC, Russia, 143026, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy bulvar, 42, stroyenie 1, andreyshakhramanyan@gmail.com

Ярёменко Андрей Валерьевич
Директор по инновациям ООО «СОДИС Лаб», Россия,
143026, Москва, Инновационный центр «Сколково», Большой бульвар, 42, строение 1, ay@sodislab.com

Yaremenko Andrey Valerievich
Director of Innovations, SODIS Lab LLC,Russia, 143026, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy bulvar, 42, stroyenie 1, Skolkovo Innovation Center, Moscow, ay@sodislab.com

Мозжухин Дмитрий Александрович
Технический директор ООО «СОДИС Лаб»,
Россия, 143026, Москва, Инновационный центр «Сколково», Большой бульвар, 42, строение 1, dmoz@sodislab.com

Mozzhukhin Dmitry Alexandrovich
Technical Director of SODIS Lab LLC,
Russia, 143026, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy bulvar, 42, stroyenie 1, dmoz@sodislab.com

Трофимов Иван Дмитриевич
Руководитель отдела внедрения ООО «СОДИС Лаб», Россия, 143026, Москва, Инновационный центр «Сколково», Большой бульвар, 42, строение 1, itrofimov@sodislab.com

Trofimov Ivan Dmitrievich
Head of the Implementation Department of SODIS Lab LLC,
Russia, 143026, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy bulvar, 42, stroyenie 1, itrofimov@sodislab.com

Шмук Николай Александрович
Руководитель группы цифровизации управления территориального развития и строительства, ООО «Гиперглобус», Россия, 125493, Москва, улица Смольная, 14, 1 этаж, n.shmuk@globus.ru

Shmuk Nikolay Alexandrovich
Head of the Digitalization Group of the Territorial Development and Construction Department,
Globus Hypermarket Chain, 125493, Moscow, Smolnaya ulitsa, 14, 1 ehtazh, n.shmuk@globus.ru

Юрин Алексей Александрович
Руководитель управления территориального развития и строительства, ООО «Гиперглобус», Россия, 125493, Москва, улица Смольная, 14, 1 этаж, a.yurin@globus.ru

Yurin Alexey Alexandrovich
Head of the Department of Territorial Development and Construction, Globus Hypermarket Chain,
125493, Moscow, Smolnaya ulitsa, 14, 1 ehtazh , a.yurin@globus.ru

© Шахраманьян А. М., Ярёменко А. В., Мозжухин Д. А., Трофимов И. Д., Шмук Н. А., Юрин А. А., 2025,
Строительное производство № 2'2025

Аннотация.

В статье рассматриваются возможности применения цифровых двойников зданий для контроля качества строительства. Дано определение понятия «цифровой двойник здания», описаны ключевые характеристики систем управления строительством и эксплуатацией, которые служат основой для создания и актуализации цифровых моделей. Особое внимание уделено процессному подходу к организации контроля качества, включая стандартизацию данных, автоматизацию документооборота и интеграцию BIM-технологий. В качестве примера приведена реализация подсистемы контроля качества на базе цифрового двойника с использованием QR-кодов для этикетирования помещений в рамках строительства гипермаркетов «Глобус».

Актуальность исследования обусловлена растущей сложностью строительных проектов, увеличением объёмов данных и неэффективностью традиционных методов управления. Показано, что цифровые двойники позволяют решать проблемы фрагментированности информации, ошибок в документации и отсутствия единой информационной среды. Описаны ключевые функциональные блоки систем управления строительством, включая работу с BIM-моделями, KPI, задачами и интеграцию с IoT. Приведены примеры интерфейсов и метрик для оценки эффективности процессов. Результаты демонстрируют, что внедрение цифровых двойников повышает прозрачность, скорость и качество контроля на всех этапах жизненного цикла здания.

Ключевые слова: цифровой двойник; контроль качества строительства; BIM-технологии; информационная модель; процессный подход; автоматизация документооборота; управление жизненным циклом здания.

Abstract.

The article explores the application of building digital twins for construction quality control. It provides a definition of the "building digital twin" concept and describes the key characteristics of construction and facility management systems that serve as the foundation for creating and updating digital models. Special attention is given to the process-based approach to quality control, including data standardization, document flow automation, and BIM technology integration. As a case study, the implementation of a quality control subsystem based on a digital twin using QR codes for room labeling in the construction of "Globus" hypermarkets is presented.

The relevance of the study stems from the increasing complexity of construction projects, growing data volumes, and the inefficiency of traditional management methods. It is demonstrated that digital twins help address issues such as information fragmentation, documentation errors, and the lack of a unified information environment. The article outlines key functional modules of construction management systems, including BIM model integration, KPIs, task management, and IoT connectivity. Examples of interfaces and performance metrics are provided. The results show that implementing digital twins enhances transparency, speed, and quality control across all stages of a building's lifecycle.

Keywords: digital twin; construction quality control; BIM technologies; information model; process-based approach; document flow automation; building lifecycle management.

Введение

Современные строительные проекты характеризуются высокой сложностью: от реализации инновационных архитектурных решений до интеграции многочисленных инженерных систем. Это приводит к экспоненциальному росту объёмов данных, с которыми традиционные методы управления качеством строительства зачастую не справляются. В результате возникают такие проблемы, как фрагментированность информации, ошибки в документации, дублирование процессов и отсутствие единого источника достоверных данных. Всё это снижает прозрачность контроля качества, увеличивает сроки строительства и повышает риски дорогостоящих ошибок.

Актуальность проблемы обусловлена необходимостью перехода от устаревших бумажных и разрозненных цифровых систем к интегрированным платформам, обеспечивающим сквозной контроль качества на всех этапах жизненного цикла здания. Цифровые двойники, построенные на основе BIM-технологий, предлагают принципиально новый подход к управлению строительными проектами. Они позволяют не только визуализировать объект, но и в реальном времени отслеживать его состояние, автоматизировать документооборот, стандартизировать процессы и минимизировать человеческий фактор.

Целью данной работы является анализ потенциала использования цифровых двойников для повышения эффективности контроля качества в строительстве.

В рамках исследования были решены следующие задачи:

- выявлены текущие проблемы и узкие места в существующих процессах;
- построена процессная модель компании «Глобус» в части реализации строительства гипермаркетов;
- проведена автоматизация строительных процессов с интеграцией в информационную модель объекта;
- внедрено QR-кодирование элементов модели с их физическим размещением на строительной площадке для обеспечения оперативного доступа участников строительства к информации и цифровому двойнику объекта.

1. Актуальные проблемы контроля качества строительства

Возросшая в последние десятилетия сложность строительных объектов как в плане реализации сложных конструктивных решений, так и в развитии и увеличении объёма инженерных систем привела к увеличению потоков данных, что усугубляет проблему управления проектами в такой консервативной отрасли, как строительство.

Ввиду этого к одной из основных проблем контроля качества строительства можно отнести сложность управления большими потоками данных, причинами которой являются:

- множество различных систем и инструментов ведения документации, что приводит к неструктурированности, к временным затратам на поиск информации и актуальных документов;
- ошибки при заполнении бумажных и электронных, не связанных между собой, форм и журналов работ;
- отсутствие единой базы данных для хранения информации, что усложняет доступ к актуальным документам для всех участников проектирования и строительства;
- неструктурированность или отсутствие глубоко формализованных процессов проектирования и строительства;
- отсутствие единой информационной среды взаимодействия всех участников строительного проекта.

2. Цифровые двойники зданий. Системы управления строительством и эксплуатацией

В настоящее время в действующей нормативной базе отсутствует понятие «цифровой двойник объекта (здания)». В то же время присутствует понятие «информационная модель объекта». В соответствии с Градостроительным кодексом РФ [1], информационная модель объекта – это совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства.

В соответствии с ГОСТ Р 57563-2017 «Моделирование информационное в строительстве» [2], информационная модель – это объектно-ориентированная параметрическая 3D-модель, представляющая в цифровом виде физические, функциональные и прочие характеристики объекта (или его отдельных частей) в виде совокупности информационно насыщенных элементов.

Также отметим, что ГОСТ Р 57700.37-2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения» [3] устанавливает единое определение понятия «цифровой двойник изделия»: цифровой двойник изделия – это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

Принимая во внимание указанные выше определения, введём понятие «цифровой двойник объекта (здания, сооружения)».

Цифровой двойник объекта (здания, сооружения) – это цифровое представление физического объекта, которое в реальном времени синхронизируется с оригиналом через данные, поступающие от датчиков, устройств или других источников информации. Цифровой двойник позволяет моделировать, анализировать и оптимизировать процессы или характеристики объекта на протяжении его жизненного цикла.

Упрощая, можно проследить следующую эволюцию цифрового двойника объекта:

1. Переход от двумерных электронных чертежей к 3D-моделям;
2. Переход от 3D-моделей к информационным моделям (BIM-моделям), которые дополняются разнородной информацией;
3. Эволюционирование моделей до цифровых двойников путём интеграции BIM-моделей с процессами и данными, в том числе от IoT-устройств [4].

Основным отличием цифрового двойника от BIM-модели является связь с оригиналом через получение информации из различных источников и возможность измерения и анализа различных параметров функционирования физического объекта.

Поэтому цифровой двойник здания можно представить в виде следующих компонентов:

- система управления информацией, обеспечивающая процессный подход к сбору, накоплению, обработке, изменению (актуализации) и представлению всей информации об объекте и его составных частях (включая инженерные системы и их компоненты) в систематизированном виде на протяжении всего жизненного цикла объекта, в том числе на базе информационных моделей здания (BIM- моделей). Фактически такая информационная система формирует цифровую модель и обеспечивает двусторонние информационные связи с объектом (зданием);
- информационные модели объекта (BIM-модели), включающие трёхмерные модели, содержащие связи с согласованной технической, сметной, технологической и эксплуатационной документацией по объекту в соответствии со стадиями его жизненного цикла.

С учётом тренда цифровизации строительной отрасли, информационные системы, обеспечивающие процессный подход к управлению потоками данных, становятся основным инструментом для построения цифровых двойников зданий, в том числе для системного решения задач контроля и управления качеством строительства.

Далее, для простоты изложения, будем называть системы, обеспечивающие процессный подход к управлению потоками данных в строительстве и эксплуатации зданий, системами управления строительством и эксплуатацией.

Отметим важные технические требования, или признаки, современных и перспективных систем управления строительством и эксплуатацией для построения цифровой модели здания в условиях наличия больших потоков данных и неструктурированности входящей информации [5].

Признаки современных и перспективных систем управления строительством и эксплуатацией для построения цифровой модели здания с поддержкой BIM-технологии:

1. *Датацентричность системы*. При работе система опирается на актуальный и достоверный источник данных (объект системы), при этом, в зависимости от задач пользователя (групп или ролей пользователей), представляет эти данные в различных требуемых разрезах (представлениях).
2. *Объектно-ориентированность системы*. Возможность формирования любого количества сущностей и связей между ними (конструктивный элемент здания, элемент инженерной системы, документ, замечание, задача, проект, цель, актив и пр.).
3. *Масштабируемость системы*. Обеспечение расширения функциональности системы – как за счёт визуальной настройки (low-code подход), так и за счёт разработки дополнительных программных модулей – на более низком уровне (hard-code подход), например, на языках Python, C# и пр.
4. *Современный стек технологий* с опорой на микросервисную архитектуру системы. Обеспечивает возможность гибкой масштабируемости системы с точки зрения потребных аппаратных мощностей, сокращает время разработки новой функциональности, повышает скорость, качество и гибкость разработки новых, а также доработки имеющихся функциональных блоков.
5. *Поддержка BIM-технологии*. Возможность импорта информации о компонентах информационных моделей, обеспечение связей между компонентами

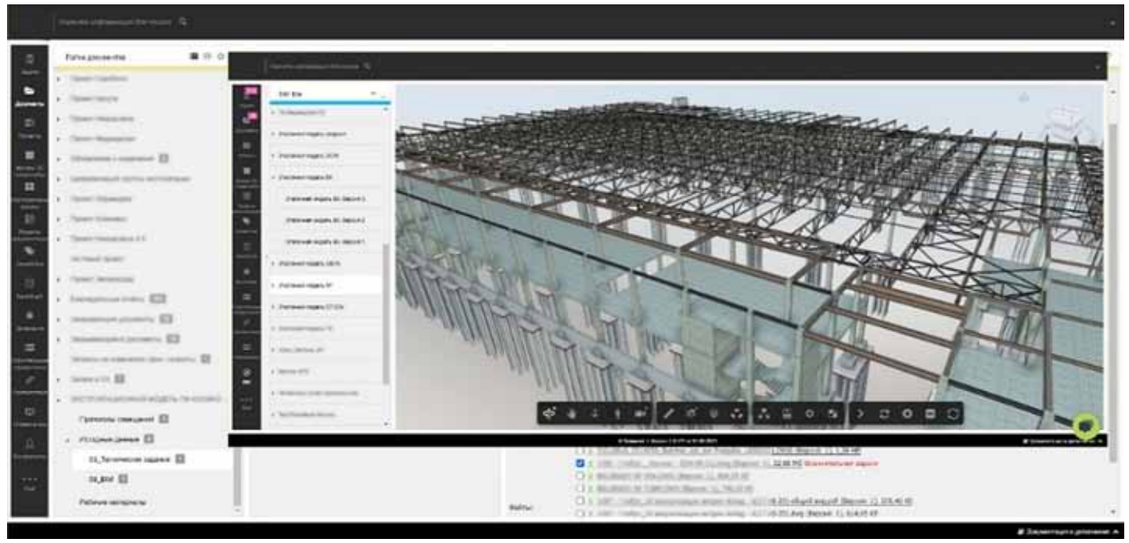


Рис. 1. Пример интерфейса системы управления строительством и эксплуатацией. Рабочее место руководителя
Fig. 1. An example of an interface for a construction and maintenance management system. Supervisor's workplace

информационных моделей и системы, обеспечение возможности отображения информационных моделей в системе в различных представлениях.

6. *Наличие развитого инструментария разработки и интеграции* с внешними системами, в частности, наличие REST API и пакета SDK.

В перечень основных функциональных блоков систем управления строительством и эксплуатации, необходимых для построения цифровой модели и реализации концепции цифрового двойника здания с поддержкой BIM-технологии, входят блоки для работы: с задачами, с проектами, с ключевыми показателями (KPI), графиками проектов, со справочниками, с бизнес-процессами (маршрутами), с документами и технической документацией с поддержкой BIM-технологии (контроль, согласование, формирование замечаний, запросов на изменения, версий и редакций), для контроля качества и приёмки строительно-монтажных работ и др.

На рисунках 1–4 приведены примеры интерфейсов системы управления строительством и эксплуатацией.

3. Процессный подход к организации контроля качества строительства

Как отмечалось выше, основой формирования цифровой модели и цифрового двойника здания является

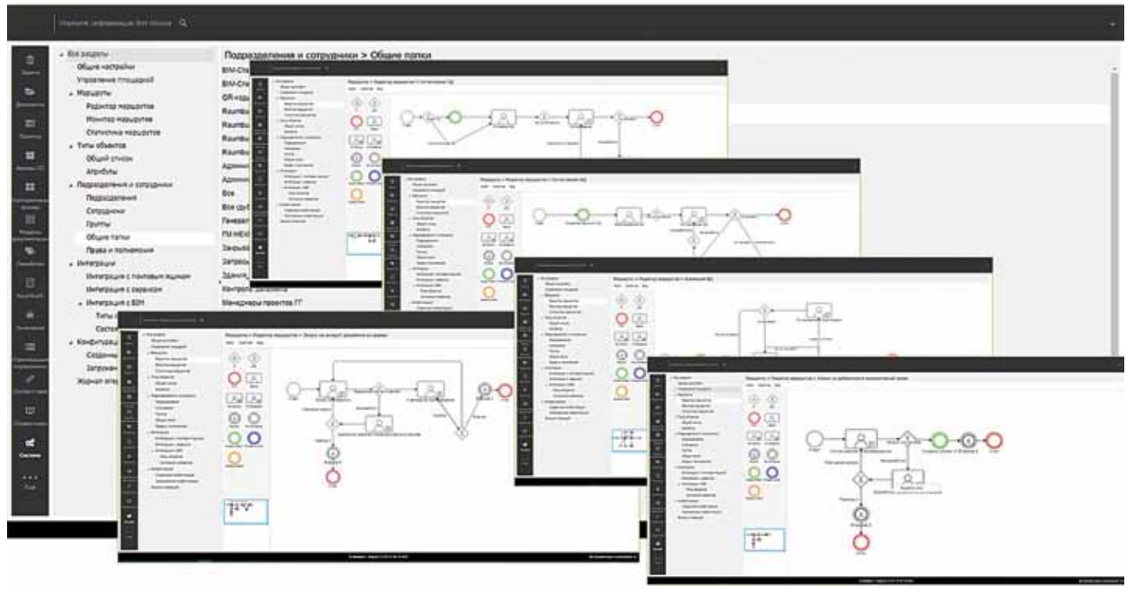


Рис. 2. Пример интерфейса системы управления строительством и эксплуатацией. Настройки системы. Редактор бизнес-процессов
Fig. 2. An example of an interface for a construction and maintenance management system. System settings. Business Process Editor

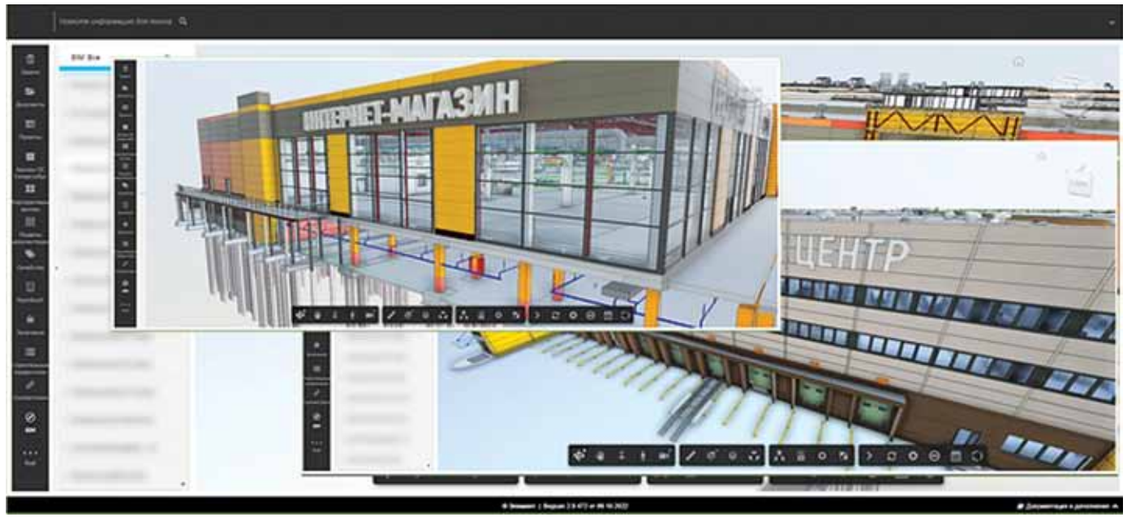


Рис. 3. Пример интерфейса системы управления строительством и эксплуатацией. Настройки системы. Динамические реестры BIM-моделей
Fig. 3. An example of an interface for a construction and maintenance management system. System settings. Dynamic registers of BIM models

систематизация информационных потоков и структурирование данных.

Процессный подход в рамках данной концепции дополнительно повышает ценность от автоматизации управления информацией – как за счёт обеспечения возможности глубокой стандартизации процессов управления, так и за счёт обеспечения получения качественных и количественных метрик для поддержки принятия управленческих решений при строительстве и эксплуатации зданий.

Так, в стандарте ГОСТ Р ИСО 9001 «Системы менеджмента качества. Требования» [6], процессный подход – это один из ключевых принципов системы менеджмента качества, который акцентирует внимание на управлении организацией через понимание, контроль и улучшение взаимосвязанных процессов. Этот подход помогает организации повышать качество и эффективность своих процессов и продукции.

Процессный подход предполагает, что любая деятельность или набор действий в организации можно рассматривать как процесс. Процессы в организации взаимосвязаны и взаимодействуют между собой, образуя единую систему. Цель процессного подхода – обеспечить контроль за всеми процессами, их оптимизацию и постоянное улучшение.

Для реализации процессного подхода в системах управления строительством и эксплуатацией должна быть обеспечена возможность создания и настройки основных элементов процессов, формирования связей между элементами процессов, а также подсчёта, как минимум, указанных выше ключевых метрик скорости и качества выполнения процессов. На рисунке 4 приведён

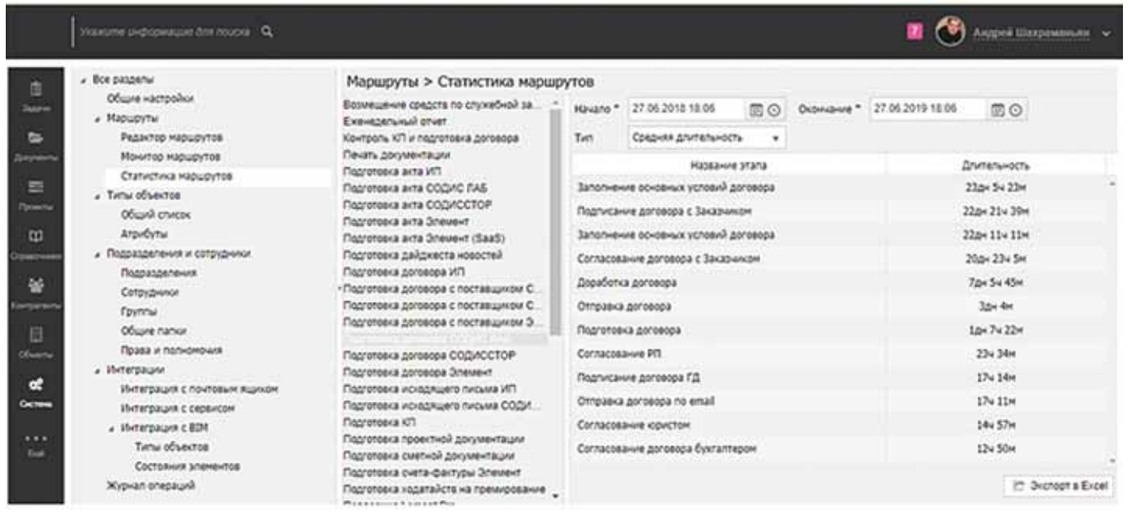


Рис. 4. Метрики процесса в системе управления строительством и эксплуатацией
Fig. 4. Process metrics in the construction and operation management system



Рис. 5. Общий вид эталонной модели гипермаркета «Глобус»
Fig. 5. General view of the reference model of the Globus hypermarket

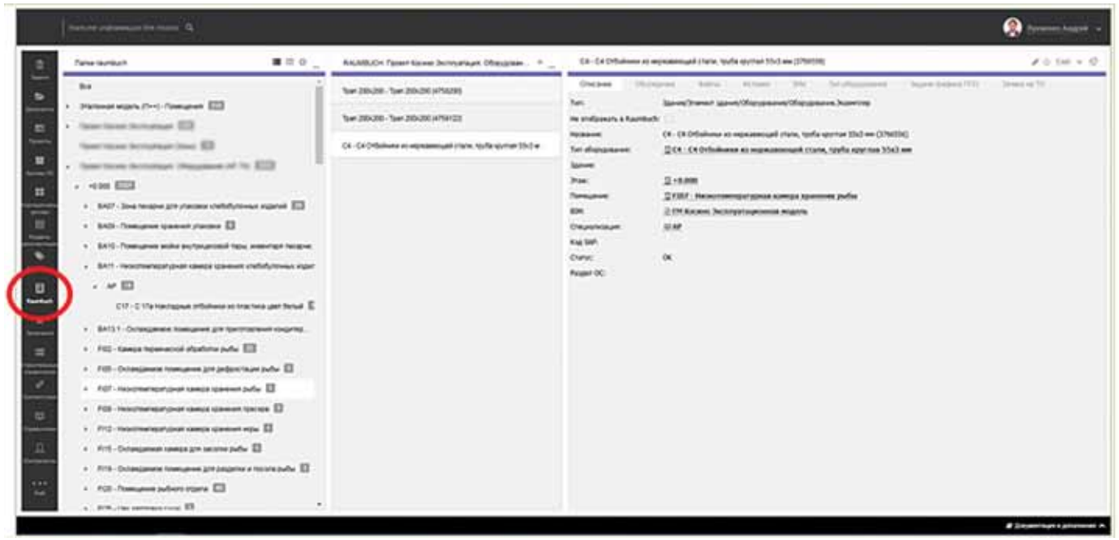


Рис. 6. Общий вид интерфейса категории «Raumbuch»
Fig. 6. General view of the "Raumbuch" category interface

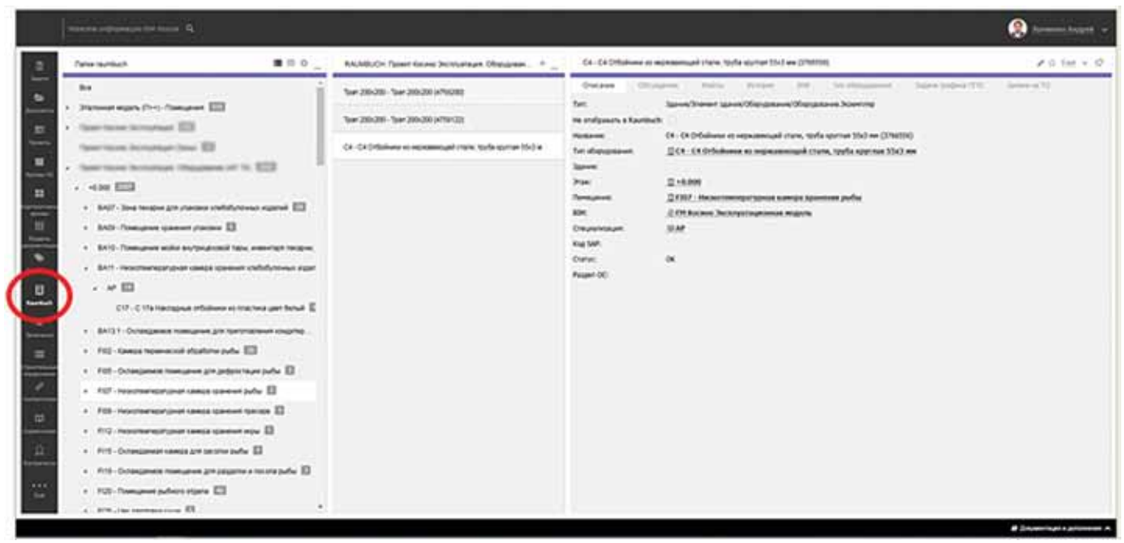


Рис. 7. Вид карточки помещения в категории «Raumbuch»
Fig. 7. Type of room card in the "Raumbuch" category

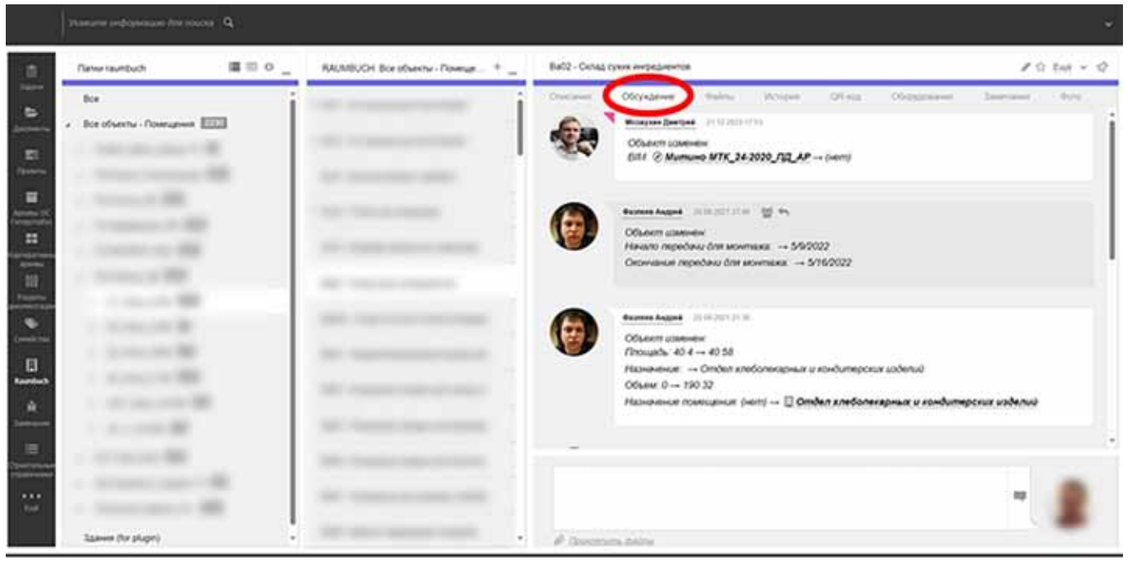


Рис. 8. Вкладка «Обсуждение»
Fig. 8. The "Discussion" tab

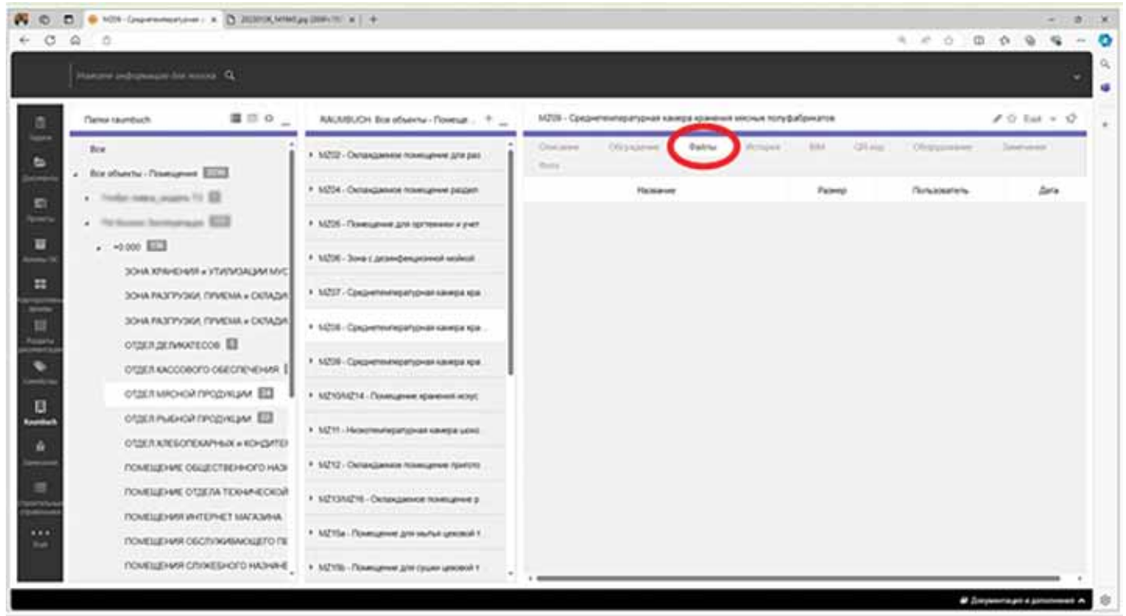


Рис. 9. Вкладка «Файлы»
Fig. 9. The "Files" tab

пример настройки подсчёта ключевых метрик выполнения процесса в системе управления строительством и эксплуатацией.

4. Пример контроля качества с использованием цифровых двойников

Для повышения качества строительства объектов ООО «Гиперглобус» на базе системы управления строительством и эксплуатацией SODIS Building и low-code платформы Lement Pro (далее – Система) был настроен инструмент контроля качества строительно-монтажных работ по готовым к приёмке помещениям объекта с использованием BIM-модели и этикетированием элементов здания на основе QR-кодов.

BIM-модель строящегося объекта создаётся в соответствии с корпоративным BIM-стандартом ООО «Гиперглобус» и типовой процедурой проектирования, ядром которой служит наличие «эталонной модели объекта», являющейся преднастроенным шаблоном для работы проектировщиков и генподрядчика с корректно смоделированными, запараметризированными и заклассифицированными элементами всех компонентов и систем строящегося здания (рисунок 5).

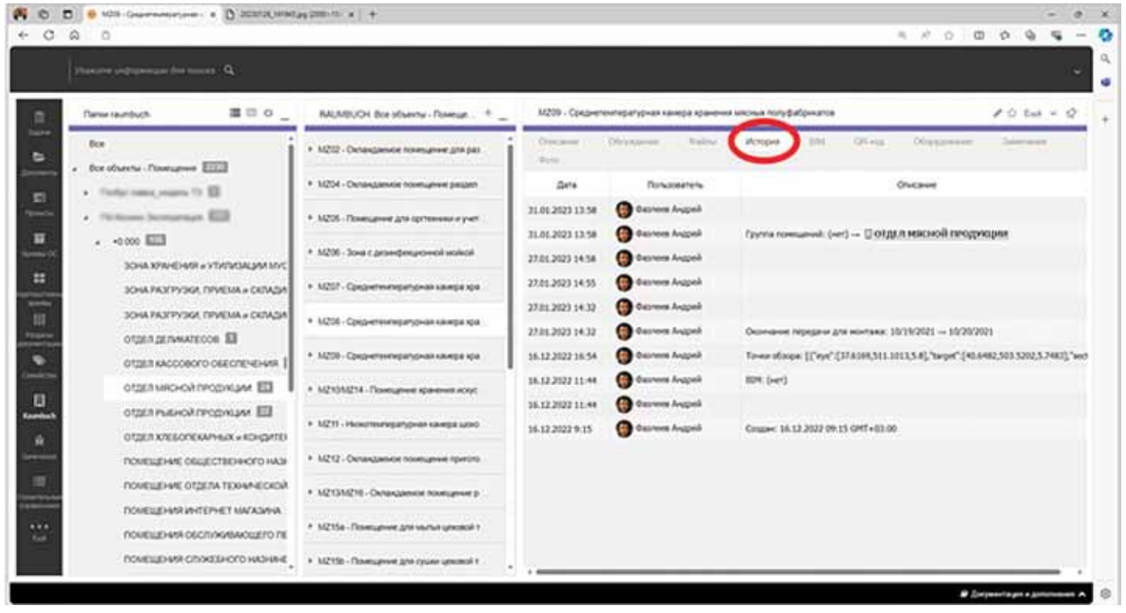


Рис. 10. Вкладка «История»
Fig. 10. The History tab

Ниже рассмотрим порядок действий и описание инструмента контроля качества строительно-монтажных работ по помещениям.

1. При помощи специального инструмента из BIM-модели в Систему выгружается и собирается в отдельной категории динамическая ведомость помещений, именуемая в системе ГИПЕРГЛОБУС, по-немецки «Raumbuch» (или «Книга помещений», «Ведомость помещений»), рисунок 6.

2. По каждому выгруженному из BIM-модели помещению в Системе автоматически создаётся карточка, где во вкладке «Описание» из модели собирается требуемая информация по помещению (рисунок 7), в нашем случае это:

- площадь;
- объём;
- материалы отделки полов, потолков и стен (если эти данные внесены в модель);
- дата начала передачи помещения генподрядчиком для монтажа торгового и производственно-технологического оборудования;

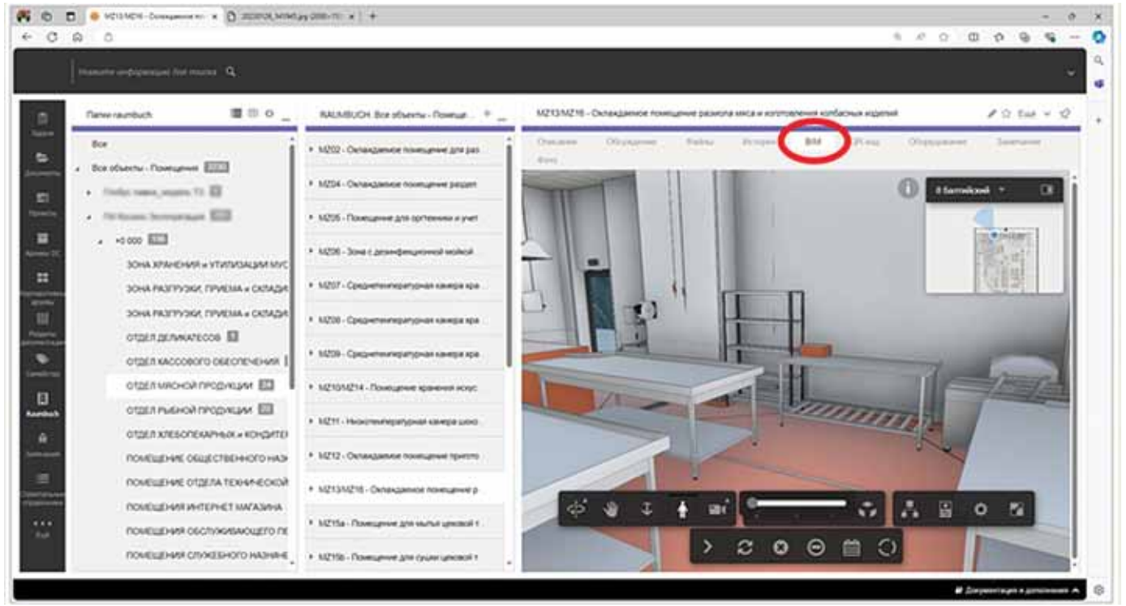


Рис. 11. Вкладка «BIM»
Fig. 11. The "BIM" tab

- дата окончания передачи помещения генподрядчиком для монтажа торгового и производственно-технологического оборудования.

3. Во вкладке «Обсуждение» пользователи Системы могут вести диалог по вопросам, касающимся данного помещения (рисунок 8).

4. Во вкладке «Файлы» пользователи, при необходимости, могут размещать файлы любого типа (рисунок 9).

5. Во вкладке «История» администраторам проекта доступны для анализа и контроля все действия пользователей в Системе, относящиеся к данному помещению (рисунок 10).

6. Во вкладке «BIM» доступен просмотр и интерактивное взаимодействие с BIM-моделью помещения как частью BIM-модели всего объекта, включая создание замечаний (заявок) по отдельным объектам модели – элементам здания или единицам инженерного или производственно-технологического оборудования (рисунок 11).

7. Во вкладке «QR-код» доступен уникальный QR-код данного помещения, автоматически генерируемый

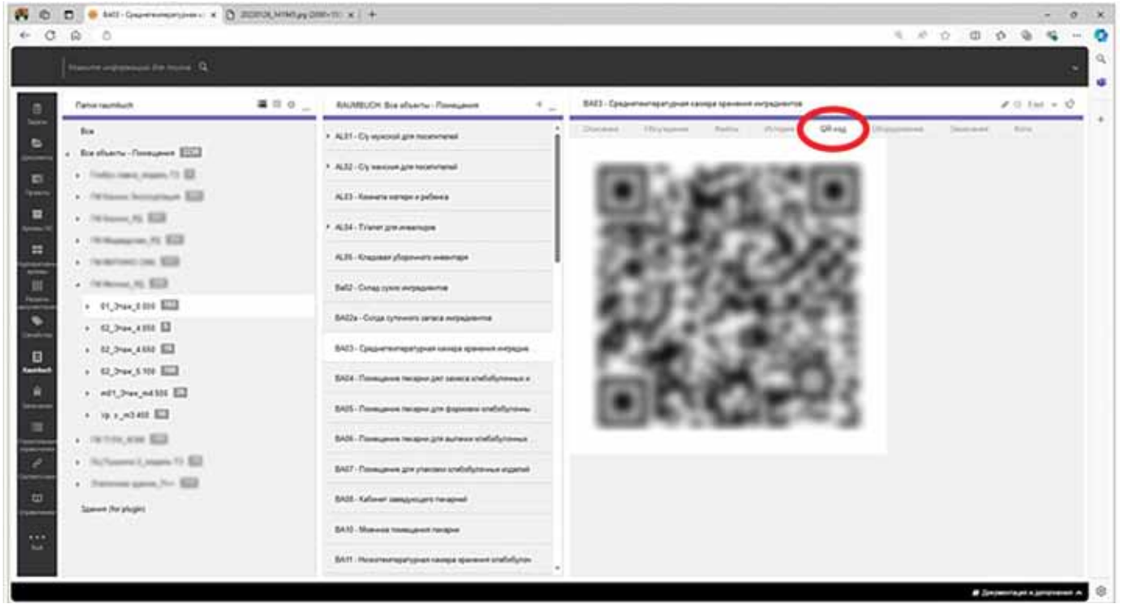


Рис. 12. Вкладка «QR-код»
Fig. 2. The "QR code" tab

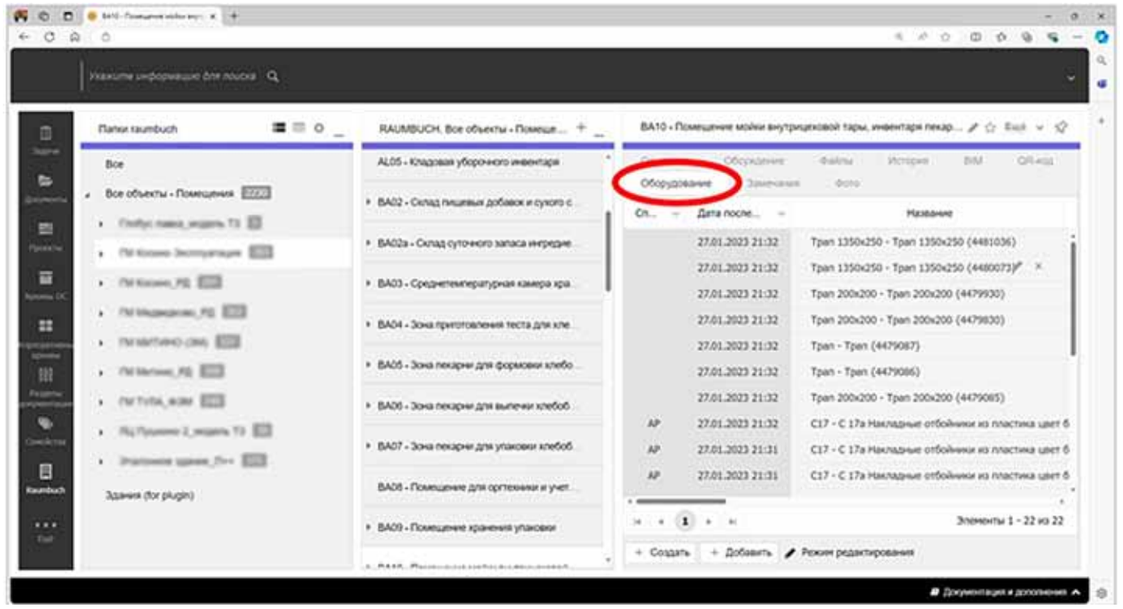


Рис. 13. Вкладка «Оборудование»
Fig. 13. The "Equipment" tab

Системой и служащий мостом между единой цифровой платформой и реальным физическим миром строительного процесса (рисунок 12).

8. Во вкладку «Оборудование» автоматически выгружается перечень имеющегося в данном помещении BIM-модели инженерного, торгового и производственно-технологического оборудования (рисунок 13).

9. Во вкладке «Замечания» доступны замечания или заявки, формирующиеся с привязкой к помещению и элементу модели, в которых при создании может назначаться ответственный исполнитель. Эта функциональность также может широко использоваться на этапе эксплуатации объекта (рисунок 14).

10. Вкладка «Фото». В ней во время строительства размещаются референсные фото данных помещений по другим объектам как образцы того, как должно данное помещение выглядеть в готовом виде. Этот инструмент был очень востребован в процессе строительства объектов ГМ «Косино» и ГМ «Митино», поскольку позволял опе-

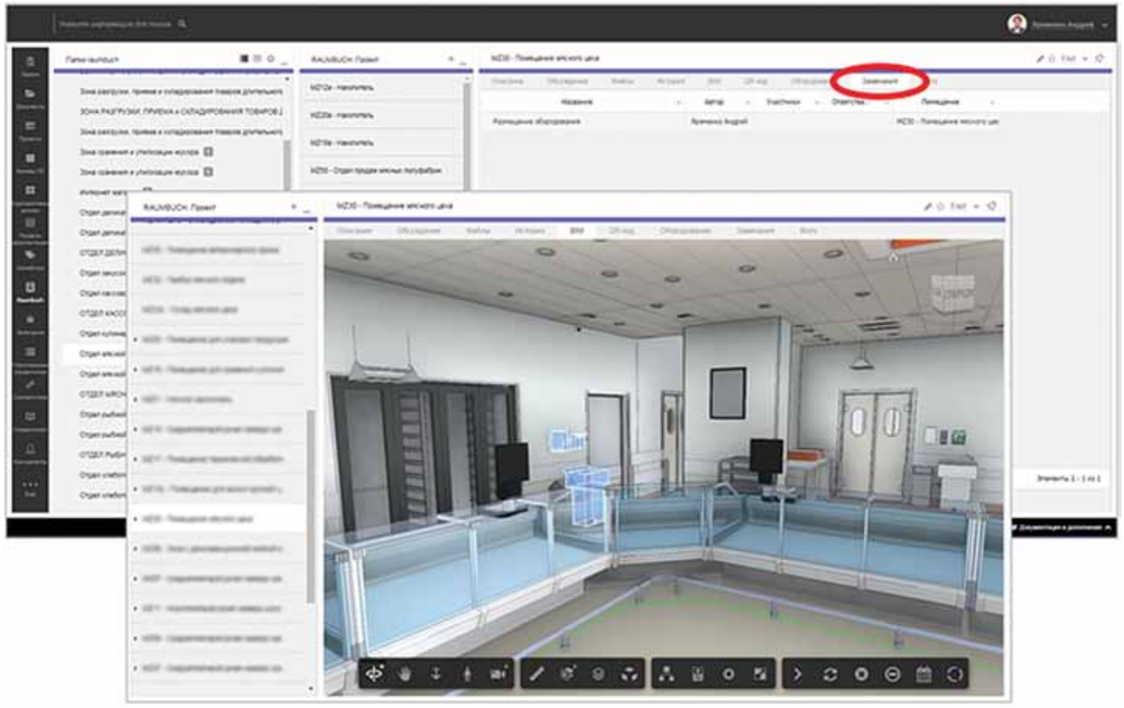


Рис. 14. Вкладка «Замечания»
Fig. 14. The "Remarks" tab

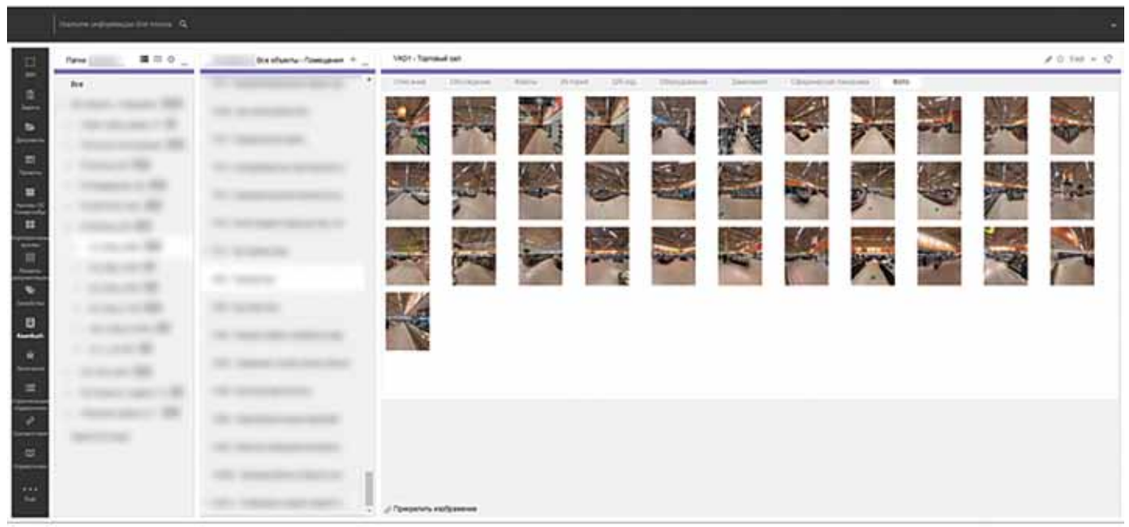


Рис. 15. Вкладка «Фото»
Fig. 15. The "Photos" tab



Рис. 16. Этикетки с QR-кодом на объекте
Fig. 16. QR code labels on the object

ративно визуализировать спорные вопросы по инженерии и отделке (рисунок 15).

Отметим, что на данный момент также добавлена возможность размещения и отображения сферических панорам помещений.

5. «Этикетирование» помещений

В Системе настроена автоматизированная выгрузка выборочной информации из карточек помещений категории «Raumbuch» для формирования «этикеток помещений». Этикетки автоматизированно выгружаются по этажам в преднастроенный шаблон формата Excel и могут быть распечатаны на листы формата А4.

После распечатки этикетки наклеиваются на доступные поверхности помещений строящегося объекта (рисунок 16):

Далее на стройплощадке с использованием смартфона или планшета обеспечивается переход к соответствующему помещению в Системе для получения информации, оперативного взаимодействия с участниками проекта или размещения замечаний.

Результаты

Несмотря на отсутствие чёткой нормативной базы, регулирующей применение цифровых двойников в строительстве, их использование демонстрирует значительный экономический эффект. Как показывают глобальные тренды, рынок цифровых двойников стремительно растёт: по итогам 2023 года его объём достиг $12,81 млрд, а согласно прогнозам Verified Market Research (март 2024 года), в ближайшие годы отрасль ожидает ускоренное развитие [7; 8].

В рамках данного исследования была разработана методология оценки эффективности цифровых двойников на основе анализа реального кейса внедрения системы управления строительством и эксплуатацией объектов сети гипермаркетов «Глобус». Ключевые критерии оценки включали:

- снижение трудозатрат за счёт автоматизации процессов;
- оптимизацию документооборота (технического и административного);
- ускорение проектирования, строительства и эксплуатационного контроля.

Основные выводы:

1. Сокращение трудозатрат на 25 % за счёт:
   - устранения дублирования данных;
   - автоматизации отчётности и контроля качества;
   - снижения времени на поиск и согласование документации.
2. Срок окупаемости проекта составил менее 2 лет, что подтверждает его высокую экономическую целесообразность даже в условиях отсутствия стандартизированных методик расчёта.
3. Косвенный эффект выразился:
   - в повышении прозрачности процессов для всех участников проекта;
   - в снижении количества ошибок и переделок на этапах строительства;
   - в формировании единой цифровой базы данных для последующей эксплуатации объекта.

Хотя российская нормативная база пока не закрепляет понятие «цифрового двойника здания», практические результаты внедрения, как в случае с «Глобусом», доказывают его рентабельность и потенциал для масштабирования. Данный опыт может стать основой для разработки отраслевых стандартов оценки эффективности цифровых двойников в строительстве.

Заключение

В данной статье авторы рассмотрели аспекты применения цифровых двойников в контексте единой информационной системы управления строительством и эксплуатации зданий с применением BIM-технологии, рассмотрена общая концепция процессного подхода к управлению строительством, приведён пример реализации процесса контроля качества строительства в рамках цифровой модели и цифрового двойника здания, описан подход к оценке экономической эффективности.

Резюмируя, отметим, что, с учётом роста сложности и информационной насыщенности современных строительных проектов, увеличения неструктурированных информационных потоков и общего тренда цифровизации строительной отрасли, глубокая систематизация информации об объекте капитального строительства и процессные подходы в контексте применения цифровых двойников зданий становятся особенно актуальными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190 ФЗ : ред. от 01.05.2024 : принят Государственной Думой 22 декабря 2004 года : одобрен Советом Федерации 24 декабря 2004 года. – Москва, 2004. – 256 с. – Издание официальное.
2. Моделирование информационное в строительстве. Основные положения по разработке стандартов информационного моделирования зданий и сооружений : ГОСТ Р 57563-2017 : Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28.07.2017 № 763-ст и введён в действие с 01 декабря 2017 г. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 15 с.
3. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения : ГОСТ Р 57700.37-2021 : Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. № 979-ст и введён в действие впервые. – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – 18 с.
4. The Gemini Principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework / A. Bolton, M. Enzer, J. Schooling et al. – DOI https://doi.org/10.17863/CAM.32260 // Centre for Digital Built Britain. – UK, 2018 (дата обращения: 23.05.2025).
5. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling : ISO 19650-1:2018 : Part 1: Concepts and principles / International Organization for Standardization. – 2018. – 34 p.
6. Системы менеджмента качества. Требования : ГОСТ Р ИСО 9001-2015 Национальный стандарт Российской Федерации : утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 сентября 2015 г. № 1391-ст : переиздание в феврале 2020 г. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 32 с.
7. Цифровой двойник Digital Twin of Organization, DTO // Tadviser.ru. Государство. Бизнес.Технологии : [интернет-ресурс]. – 25.04.2024. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровой_двойник_(Digital_Twin_of_Organization,_DTO) (дата обращения: 23.05.2025).
8. Digital Twin Market Size, Share & Industry Trends Growth Analysis Report by Application (Predictive Maintenance, Business Optimization, Performance Monitoring, Inventory Management), Industry (Automotive & Transportation, Healthcare, Energy & Utilities), Enterprise and Geography - Global Growth Driver and Industry Forecast to 2028 // MarketsandMarkets : [интернет-ресурс] . – URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html (дата обращения: 23.05.2025).

REFERENCES

1. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federatsii ot 29.12.2004 № 190 FZ : red. ot 01.05.2024 [Urban Planning Code of the Russian Federation dated 29.12.2004 No. 190 FZ : ed. Dated 05/01/2024] : prinyat Gosudarstvennoj Dumoj 22 dekabrya 2004 goda : odobren Sovetom Federatsii 24 dekabrya 2004 goda [adopted by the State Duma on December 22, 2004 : approved by the Federation Council on December 24, 2004]. – Moscow, 2004. – 256 p. – Official publication.
2. Modelirovanie informatsionnoe v stroitel'stve. Osnovnye polozheniya po razrabotke standartov informatsionnogo modelirovaniya zdanij i sooruzhenij [Information modeling in construction. The main provisions on the development of standards for information modeling of buildings and structures] : GOST R 57563-2017 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [GOST R 57563-2017 : National Standard of the Russian Federation] : utverzhdyon Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 28.07.2017 № 763-st i vvedyon v dejstvie s 01 dekabrya 2017 g. [approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 28, 2017 No. 763-st and entered into force on December 01, 2017]. – Moscow : Standartinform, 2017. – 15 p.
3. Komp'yuternye modeli i modelirovanie. TSifrovye dvojniki izdelij. Obshhie polozheniya [Computer models and modeling. Digital counterparts of products. General provisions] : GOST R 57700.37-2021 : Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [GOST R 57700.37-2021 : National Standard of the Russian Federation] : utverzhdyon Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 16 sentyabrya 2021 g. № 979-st i vvedyon v dejstvie vpervye [approved by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 16, 2021 No. 979-st and put into effect for the first time]. – Moscow : Rossijskij institut standartizatsii [Russian Institute of Standardization], 2021. – 18 p.
4. The Gemini Principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework / A. Bolton, M. Enzer, J. Schooling et al. – DOI https://doi.org/10.17863/CAM.32260 // Centre for Digital Built Britain. – UK, 2018 (accessed: 23.05.2025).
5. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling : ISO 19650-1:2018 : Part 1: Concepts and principles / International Organization for Standardization. – 2018. – 34 p.
6. Sistemy menedzhmenta kachestva. Trebovaniya [Quality management systems. Requirements] : GOST R ISO 9001-2015 Natsional'nyj standart Rossijskoj Federatsii [GOST R ISO 9001-2015 : National Standard of the Russian Federation] : utverzhdyon i vvedyon v dejstvie Prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 28 sentyabrya 2015 g. № 1391-st : pereizdanie v fevrale 2020 g. [approved and put into effect by Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 28, 2015 No. 1391-st : republished in February 2020]. – Moscow : Standartinform, 2020. – 32 p.
7. Tsifrovoj dvojnik Digital Twin of Organization, DTO [The Digital Twin of the Organization, DTO] // Tadviser.ru. Gosudarstvo. Biznes.Tekhnologii [Tadviser.ru. State. Business. Technologies] : [online resource]. – 04/25/2024. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Цифровой_двойник_(Digital_Twin_of_Organization,_DTO) (accessed: 23.05.2025).
8. MarketsandMarkets. Digital Twin Market by Industry (Manufacturing, Energy & Utilities, Aerospace, Healthcare), Application (Product Design & Development, Predictive Maintenance), Technology, and Region – Global Forecast to 2030. URL: https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html (accessed: 23.05.2025).

УДК 69.059 **DOI: 10.54950/26585340_2025_2_187**

Политика и инновации в управлении строительными отходами и продуктами сноса в постконфликтной Сирии

Policy and Innovation for Managing Construction and Demolition Waste in Post-Conflict Syria

Перунов Александр Сергеевич
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Испытания сооружений»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, PerunovAS@mgsu.ru

Perunov Alexander Sergeevich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Testing of Structures,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU),
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, tonydayoub1995@hotmail.com

Даюб Тони
Аспирант кафедры «Технологии и организация строительства»,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ),
Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, tonydayoub1995@hotmail.com

Dayoub Tony
Postgraduate student of the Department of Technologies and Organization of Construction,
National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU),
Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye shosse, 26, tonydayoub1995@hotmail.com

Аннотация.

В этом исследовании основное внимание уделяется разработке устойчивой структуры управления строительными отходами в постконфликтной Сирии, интеграции передового мирового опыта с локализованными решениями. В исследовании подчёркивается острая необходимость перехода от утилизации отходов на полигонах, к принципам круговой экономики, с использованием таких технологий, как роботизированная автоматизация и многокритериальный анализ решений (AHP, PROMETHEE).

Особое внимание уделяется сирийской методологии IRMIDD, которая позволяет перерабатывать строительные отходы непосредственно на месте. Это снижает зависимость от импортных материалов на 70 % и превращает миллионы тонн бетонных отходов в повторно используемые ресурсы. Методология также способствует созданию локальных рабочих мест и минимизации экологического ущерба. Анализ показывает, что стратегические политические реформы в сочетании с цифровыми инструментами и локализованными центрами переработки отходов могут сэкономить миллиарды долларов на реконструкцию, одновременно минимизируя вред окружающей среде. В исследовании предлагаются действенные рекомендации для политиков и строительных компаний, выступающих за смену парадигмы, когда отходы становятся ресурсом, способствуя экономическому восстановлению и экологической устойчивости в Сирии.

Ключевые слова: современные строительные технологии; выбор строительной техники; BIM в строительстве; переработка строительных отходов и продуктов сноса; устойчивое строительство; роботизированная автоматизация; многокритериальный анализ решений; бережливое строительство; чувствительность анализа.

Abstract.

This study focuses on developing a sustainable framework for managing construction waste in post-conflict Syria, integrating global best practices with localized solutions. The research highlights the urgent need to transition from landfill-dependent waste disposal to circular economy principles, leveraging technologies such as robotic automation, and multi-criteria decision analysis (AHP, PROMETHEE).

A key emphasis is placed on Syria's IRMIDD methodology, which enables on-site recycling of debris, reducing reliance on imported materials by 70 % and transforming millions of tons of concrete waste into reusable resources. The analysis demonstrates that strategic policy reforms, combined with digital tools and localized waste-processing hubs, could save billions of dollars in reconstruction costs while minimizing environmental harm. The paper proposes actionable recommendations for policymakers and construction firms, advocating for a paradigm shift where waste becomes a resource, fostering economic recovery and ecological resilience in Syria.

Keywords: modern construction technologies; construction equipment selection; BIM in construction; construction and demolition waste recycling; sustainable construction; robotic automation; multi-criteria decision analysis; lean construction; sensitivity analysis.

Введение

Постконфликтное восстановление Сирии сталкивается с беспрецедентными вызовами, включая необходимость управления миллионами тонн строительного мусора и продуктов сноса [1]. Для решения этой проблемы требуется комплексный подход, объединяющий политико-нормативные механизмы, инновационные технологии и локальные решения. В исследовании анализируются мировые практики и адаптируемые к региональным условиям инновации, такие как сирийская методология IRMIDD. Настоящая работа направлена на разработку плана устойчивого управления строительными отходами в Сирии, сочетающего уроки мировой практики и адаптированные к региональным условиям инновации [1].

Акцент сделан на роли государственной политики в создании нормативной базы, стимулирующей переработку, внедрение цифровых инструментов (например, 3D-сканирование) для планирования демонтажа, а также развитие локальных перерабатывающих мощностей. Исследование опирается на анализ опыта стран с высоким уровнем переработки [2], данных по сирийским разрушениям [1] и научных работ, посвящённых многокритери-

© Перунов А. С., Даюб Т., 2025,