



BIM как средство сквозного проектирования, технологии возведения и эксплуатации

Т.Л. Дмитриева¹, В.П. Яценко^{2✉}, И.А. Курышов³

^{1,2,3}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Технологии настоящего развиваются с колоссальной скоростью. Рост вычислительной мощности современных процессоров, развитие техники, технологий – все это без сомнения требует новых инструментов для обработки и систематизации информации. Технологии BIM-моделирования – необходимый инструмент в среде проектирования, строительства и даже эксплуатации зданий и сооружений. Они позволяют проектировать в «сквозном формате», а также систематизировать информацию об элементах объекта в одной информационной модели. Целью данной работы является исследование эффективности применения BIM-технологий в процессах проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, а также развитие технологий информационного моделирования. В статье рассмотрены и проанализированы примеры использования BIM-технологий на примере двух больничных комплексов (*HUS Bridge* в Хельсинки и Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева), что еще раз подчеркивает преимущества использования методов информационного моделирования при строительстве общественно значимых и ответственных конструкций. По итогам рассмотрения объектов была доказана эффективность применения современных BIM-решений, особенно в части сокращения сроков строительства, определения единого информационного и коммуникационного пространства, устранения коллизий и автоматизированного расчета важнейших проектных, строительных и эксплуатационных параметров. Разработка стратегии реализации строительного проекта, интегрированное управление графическими данными, возможность реализации конструктивно и архитектурно сложных зданий – все эти факторы свидетельствуют о неоспоримом преимуществе использования BIM, по сравнению с распространенными методами проектирования зданий и сооружений.

Ключевые слова: BIM-технологии, BIM-моделирование, информационное пространство, эффективность применения BIM-технологий, проектирование, здания и сооружения

Для цитирования: Дмитриева Т.Л., Яценко В.П., Курышов И.А. BIM как средство сквозного проектирования, технологии возведения и эксплуатации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 252–261. <https://elibrary.ru/jvyjyq>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-252-261>.

Original article

BIM as a means of end-to-end design, construction, and operation

Tatyana L. Dmitrieva¹, Vladimir P. Yashchenko^{2✉}, Ivan A. Kuryshov³

^{1,2,3}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. Contemporary technologies are developing at a tremendous speed. The growing computing power of modern processors and rapid technological development – all of this undoubtedly requires new information processing and systematization tools. BIM modeling technology is an essential tool in the design, construction, and even operation of buildings and structures. This technology allows the end-to-end design of various objects, as well as systematization of information in a single information model. This work investigates the effectiveness of BIM technologies in the processes of design, construction, and operation of buildings and structures, as well as the development of information modeling technologies. The research is carried out using the examples of two hospital complexes, i.e., the HUS

Bridge in Helsinki and the National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology named after Dmitry Rogachev). Advantages of applying information modeling methods in the construction of socially significant and critical facilities are demonstrated. The conducted study proved the efficiency of modern BIM solutions, particularly in terms of reducing the construction period, determining the unified information and communication space, eliminating conflicts, and automated calculation of the most important design, construction, and operational parameters. BIM outperforms conventional design methods in terms of the possibility of developing a strategy for the implementation of the construction project, integrated management of graphic data, and creating structurally and architecturally complex facilities.

Keywords: BIM technologies, BIM modeling, information space, efficiency of application of BIM technologies, design, buildings and structures

For citation: Dmitrieva T.L., Yashchenko V.P., Kuryshov I.A. BIM as a means of end-to-end design, construction, and operation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):252-261. (In Russ.). <https://elibrary.ru/jvyjyq>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-252-261>.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация эксплуатируемого оборудования, постоянное усовершенствование высокотехнологичных строительных материалов, рост количества конструктивных элементов зданий и сооружений, потребность в создании комплексных типовых технических решений для сокращения сроков и стоимости реализации проектов – все это факторы, определяющие развитие современного строительства. Именно данные факторы привели к идее создания единой информационной модели строительных объектов, отражающей их актуальное состояние на всех этапах жизненного цикла [1–4]. Данная модель предполагает определенную иерархию и систематизацию данных об объекте, различные уровни доступа к ней. Так, на стадии проектирования одновременный доступ к проекту имеют несколько специалистов по разным разделам рабочей документации (АР, АС, КЖ, КМ, ЭМ и другие). Кроме того, возможна параллельная работа экспертов смежных направлений: дизайнеров, архитекторов, IT-специалистов, сметчиков [5–9]. На стадии строительства за счет использования такой модели автоматически выполняется синхронизация календарных графиков подачи и расхода материалов, оптимизация работы транспортных систем и т.п. Данный подход к проектированию называется «сквозным».

«Сквозное» сопровождение модели особенно важно для процесса эксплуатации. Именно на этом этапе проект получает наибольшую экономическую выгоду, так как

дает полноценную информацию о состоянии инженерных сетей и материалов, позволяет рассчитать возможные сроки капитального ремонта, а также любую информацию, которая будет способствовать повышению эффективности эксплуатации объекта [10–11].

Таким образом, информационное моделирование дает возможность в режиме виртуальной реальности контролировать состояние объекта на протяжении всего жизненного цикла [12–19].

В настоящее время практикуется множество программных комплексов, позволяющих создавать информационные модели объектов капитального строительства и управлять ими¹. Это, прежде всего, продукты таких мировых лидеров, как *Autodesk*, *ArchiCAD*, *Tekla Structures*, *Digital Project*, *AllPlan*. В общей системе «сквозного» проектирования немаловажную роль играют также расчетные комплексы, такие как *SCAD Office*, семейство ЛИРА-САПР, *Лира-10*, *Micro-Fe* и др. Важно понимать, что при выборе того или иного программного обеспечения, создающего проект на основе BIM, необходимо наладить корректный обмен данными между программами, входящими в цепочку многомерного моделирования [20–23].

МЕТОДЫ

Для написания статьи были рассмотрены и изучены статьи и иные ресурсы, в том числе материалы всероссийской научно-практической конференции, проходившей в конце марта 2018 г., публикации научного журнала «Colloquim-journal» 2020 г.

В исследовательской работе применялись

¹Программы для BIM-проектирования – список зарубежных и российских САПР, использующих разработки БИМ-технологии // ZWsoft. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zwsoft.ru/stati/programmy-dlya-BIMproektirovaniya-spisok-zarubezhnyh-i-rossiyskihsapr-ispolzuyushchih--razrabotki-BIM-tehnologii> (02.04.2023).

следующие методы: наблюдение, сравнение, а также теоретические методы исследования, такие как анализ и синтез.

Определить степень эффективности применения BIM-технологий возможно при детальном анализе информации по реализованным и реализуемым объектам. Рассмотрим следующие примеры.

Больница HUS Bridge в Хельсинки

Один из самых шумевших проектов, реализуемых при помощи BIM-технологий. Проектируемое здание (рис. 1) представляет собой интеграцию двух основных корпусов больницы: Башни Мейлахти и Мейлахти Треугольника (рис. 2), а также больницы Тёёлё и части онкологического отделения в массивное высокотехнологичное сооружение².

Главной и далеко не последней особенностью проекта является параллельное проектирование и строительство сооружения. Бо-

лее того, строительство ведется блочным методом, имя которому «Большая комната», что подразумевает регулярные встречи проектировщиков, инвесторов, заказчиков, руководителей эксплуатации и других специалистов за одним столом. Часть оборудования будет устанавливаться в еще не законченный объект строительства. Конструктивные особенности возводимого сооружения следующие: этажность – 9 этажей; каркас состоит из стальных и железобетонных композитных колонн, треугольных балок и установленных сверху плит тонкостенного каркаса; фасады выполнены из термопрофилей, облицованных листовым металлом и стеклом с шелкографией. С точки зрения структурной инженерии, особенности здания включают большие стеклянные стены и крыши, блоки стволов с постнапряжением и сложную геометрию тихой комнаты со стальным каркасом.

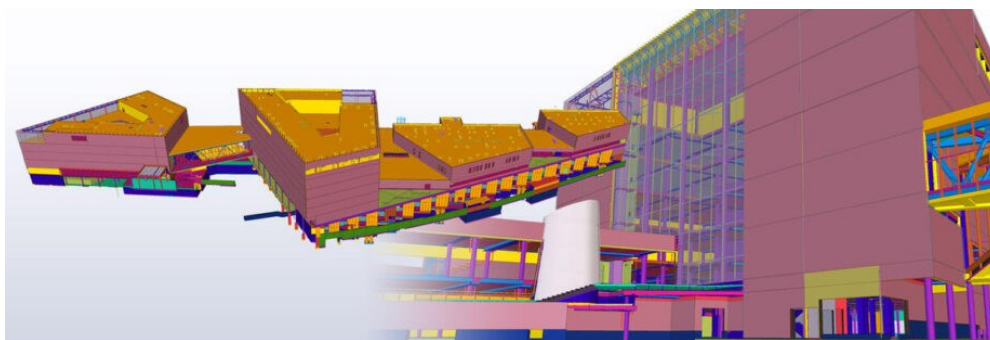


Рис. 1. Трехмерная модель проектируемого здания больницы
Fig. 1. 3D model of the designed hospital building



Рис. 2. Размещение корпусов Хельсинкской университетской больницы
Fig. 2. Location of the wings of Helsinki University Hospital

²Журнал «Автоматизация в промышленности». // Avtprom.ru [Электронный ресурс]. URL: <https://avtprom.ru/news/2020/10/16/proekt-iz-rossii-voshel-> (13.04.2023).

Также сложность проектирования данного сооружения обусловлена необходимостью объединения в одной модели помещений с особым оборудованием (отделение интенсивной терапии, рентгенологии, операционные и др.).

Каков же вклад BIM-технологий?

Во-первых, уменьшение сроков. Дата запуска проекта – 2020 г. Уже к окончанию второго квартала с начала строительства было вовлечено 562 субподрядчика и около 3400 специалистов.

Изначально плановое время окончания строительства – конец 2024 г. Однако благодаря использованию технологий информационного моделирования, в том числе создания 4D-модели, в которой дополнительное измерение составляет время, что позволяет отойти от диаграммы Ганта и составить график производства работ на протяжении всего жизненного цикла, срок строительства сокращен на год, и оценивается как конец 2023 г.³

Во-вторых, уменьшение коллизий и повышение качества работ. Проект объединяет по меньшей мере 194 модели, что требует тщательной координации, которой невозможно было бы достичь, работая в разных информационных пространствах.

Таким образом, эффективность использования BIM была усилена координацией в работе проектировщиков, подрядчиков, поставщиков оборудования.

В-третьих, экономия инвестиционных средств, вытекающая из первых двух положительных эффектов. Сокращение времени реализации проекта сокращает операционные расходы, а уменьшение коллизий – внесение дополнительных изменений в конструктив здания, а также инженерные сети и состав оборудования⁴.

В качестве следующего примера рассмотрим опыт отечественных компаний по строительству нового корпуса Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии (НМИЦ ДГОИ) им. Дмитрия Рогачёва.

Корпус НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачёва

В отличие от ранее приведенного приме-

ра, внедрение BIM-технологий в данный проект произошло на этапе строительства, однако даже в этом случае можно говорить о наличии положительного эффекта.

Генеральным проектировщиком и генеральным подрядчиком реализации проекта является АО «ГСПИ».

Техническим заказчиком и представителем строительного контроля выступает ОЦКС Росатома.

Благодаря проекту «Внедрение сквозных технологий информационного моделирования (BIM)», специалисты ОЦКС Росатома разработали и внедрили инновационную сквозную методологию применения технологий информационного моделирования, которая заключается в создании трех блоков информационных моделей: концептуальной (разрабатывалась в среде *Autodesk Revit*), проектная (стадия «П») и проектная (стадия «РД») – в едином информационном пространстве (техническое решение реализовано на свободно распространяемом программном комплексе *IMan*).

Концептуальная информационная модель опирается на метод объемного моделирования (рис. 3 и 4).

Данный тип моделирования необходим для определения пространственных границ объекта при условии пересечения его другими объемными моделями (в том числе моделями, характеризующими опасные зоны).

Приведем примеры 3-D моделирования, по результатам которого сформирована геометрически сложная пространственная модель (рис. 4).

Для подтверждения адекватности сформированной информационной модели проведено тестирование на соответствие требованиям к проектной модели «as designed» (стадия «РД») проекта.⁵

Созданная BIM-модель (рис. 5) подтвердила свою эффективность при составлении и согласовании проектно-сметной документации.

Также кратно улучшилось качество работы проектировщиков, что сказалось на успешной и досрочной реализации проекта в июне 2022 г.⁶

³Официальный сайт компании *Tekla* // *Tekla.com* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tekla.com/bim-awards/hus-bridge-hospital> (15.04.2023).

⁴Цифровое строительство // *Digital-build.ru* [Электронный ресурс]. URL: <https://digital-build.ru/bim-kak-eto-rabotaet-na-zapade/> (16.04.2023).

⁵Научный портал «Атомная энергия 2.0». // *Atomic-energy.ru* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atomic-energy.ru/articles/2022/03/03/122478> (18.04.2023).

⁶Официальный сайт АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина» // *Khlopin.ru* [Электронный ресурс]. URL: <https://khlopin.ru/?p=30013> (19.04.2023).

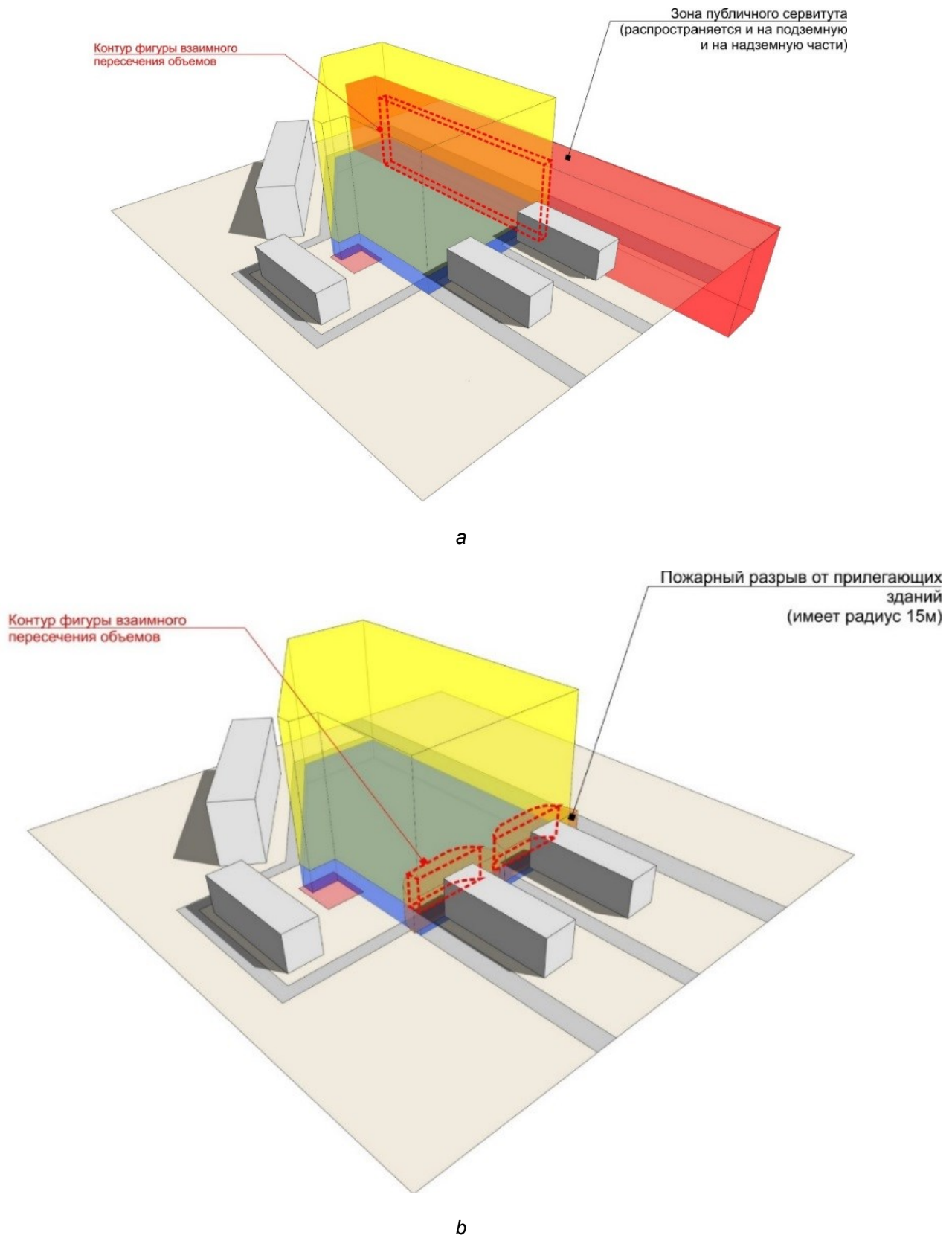


Рис. 3. Пересечение пространственной модели сооружения с зоной ограничений:
a – зона публичного сервитута; *b* – пожарный разрыв от прилегающих зданий

Fig. 3. Intersection of the spatial model of the construction with a constraint zone:
a – public easement zone; *b* – fire gap from adjacent buildings

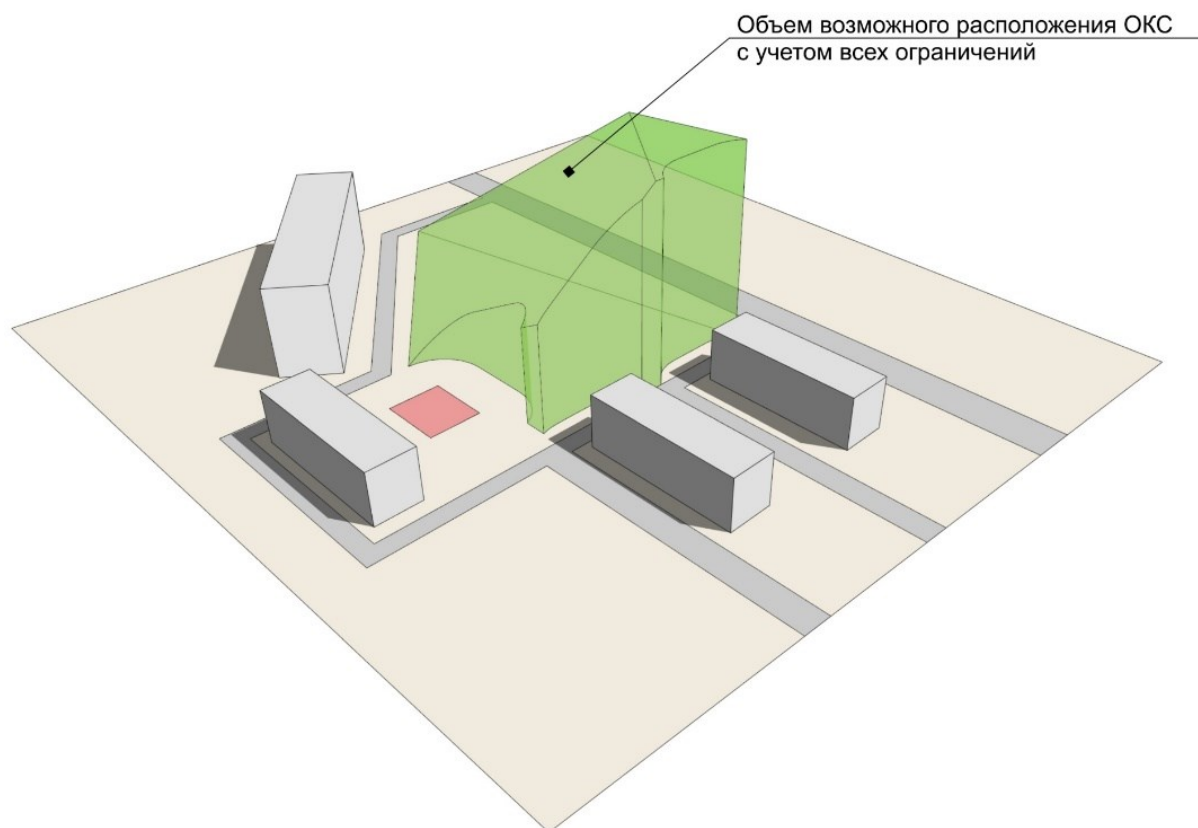


Рис. 4. Результирующий объем сооружения
Fig. 4. Resulting volume of the structure

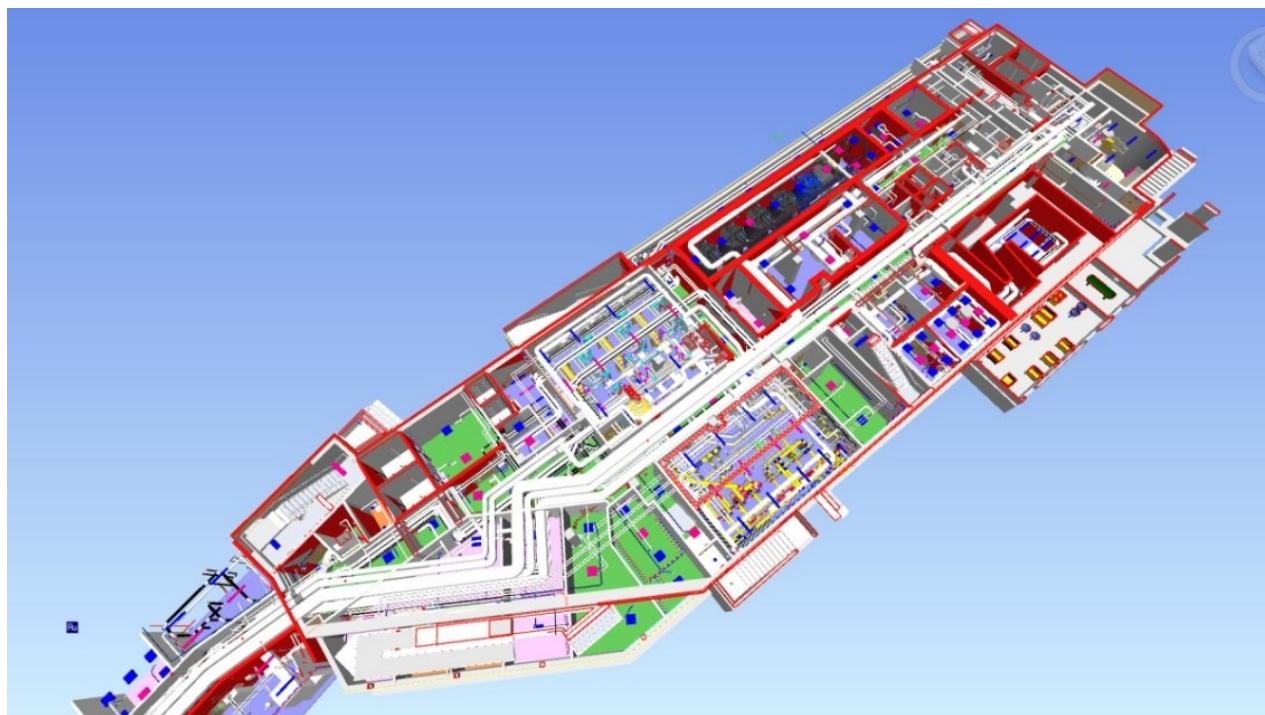


Рис. 5. Концептуальная информационная модель
Fig. 5. Conceptual information model

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное строительство и проектирование трудно представить без использования BIM-технологий. Основные преимущества использования которых заключаются в следующем:

- возможность управления ключевыми этапами жизненного цикла объекта с помощью компьютерного моделирования;
- интеграция и систематизация разноплановых потоков информации в единой среде общих данных;

– ускоренное устранение коллизий и автоматизированный расчет важнейших проектных, строительных и эксплуатационных параметров;

– возможность создания конструктивно и архитектурно сложных сооружений с учетом финансовых показателей объекта;

– комплексное рассмотрение объекта как единого целого, состоящего из множества элементов и связующих частей (оборудования, конструктивных элементов и т. д.).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Разов И.О., Березнев А.В., Коркишко О.А. Проблемы и перспективы внедрения BIM технологий при строительстве и проектировании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 29–30 марта 2018 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. С. 27–31. EDN: YUIQPT.
2. Грибова И.С., Хашпаханц Н.О. Эффективность BIM технологии проектирования // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КубГТУ". 2018. № 2. С. 235–242. EDN: XNRMVV.
3. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
4. Букунова О.В., Букунов А.С. Трудности внедрения информационного моделирования объектов строительства в России // Научный форум: Инновационная наука: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. М.: Международный центр науки и образования, 2017. № 5 (6). С. 15–21. EDN: ZEFFJL.
5. Panya D.S., Kim T., Choo S. An interactive design change methodology using a BIM-based Virtual Reality and Augmented Reality // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 68. P. 106030 <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106030>.
6. Lien L.C., Dolgorsuren U. BIM-based steel reinforcing bar detail construction design and picking optimization // Structures. 2023. Vol. 49. P. 520–536. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.004>.
7. Chuang T.Y., Yang M.J. Change component identification of BIM models for facility management based on time-variant BIMs or point clouds // Automation in Construction. 2023. Vol. 147. P. 104731. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
8. Condotta M., Scanagatta C. BIM-based method to inform operation and maintenance phases through a simplified procedure // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 65. P. 105730. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105730>.
9. Shi Y., Xu J. BIM-based information system for econo-enviro-friendly end-of-life disposal of construction and demolition waste // Automation in Construction. 2021. Vol. 125. P. 103611. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>.
10. Алексеева Н.С. Применение сквозных цифровых технологий при управлении проектированием и строительством // Фундаментальные и прикладные исследования в области управления, экономики и торговли: сб. тр. Всерос. науч.-практ. и учеб.-метод. конф. (г. Санкт-Петербург, 01–04 июня 2021 г.). СПб.: Политех-пресс, 2021. Ч. 1. С. 224–228. EDN: QBMTJW.
11. Баженов В.К., Червонцева М.А. К вопросу создания сводной информационной модели объекта капитального строительства // Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института. 2022. № 1. С. 19–22. https://doi.org/10.52470/2224669X_2022_1_19. EDN: RJWOWG.
12. Хан А.А. Анализ тенденций и возможные подходы к формированию контрактных требований в проектах, разрабатываемых на основе технологий информационного моделирования и информационной модели объекта моделирования (BIM) // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10. № 8. С. 102–112. EDN: ZSDIDG.
13. Ерофеев В.Т., Пиксайкина А.А., Булгаков А.Г., Ермолаев В.В. Цифровизация в строительстве, как эффективный инструмент современного развития отрасли // Эксперт: теория и практика. 2021. № 3 (12). С. 9–14. https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9. EDN: LJDPKJ.
14. Загидуллина Г.М., Иванова Р.М., Новширванов М.Л. Анализ текущих проблем развития BIM технологий на рынке капитального строительства // Московский экономический журнал. 2022. Т. 7. № 12. С. 483–500. EDN: AXEIKW. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_12_717.
15. Каракозова И.В., Малыха Г.Г., Куликова Е.Н., Павлов А.С., Панин А.С. Организационное сопровождение BIM-технологий // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 12 (135). С. 1628–1637. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637>.

16. Савина А.Г., Малявкина Л.И., Савин Д.А. Теоретико-методологические основы построения цифровой инфраструктуры управления объектами капитального строительства на базе BIM // Russian Journal of Economics and Law. 2023. Т. 17. № 1. С. 90–109.
<https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.1.90-109>.
17. Король Е.А., Дрепалов И.Ф. Реконструкция зданий с использованием BIM-технологий // Системные технологии. 2021. № 41. С. 47–51.
https://doi.org/10.55287/22275398_2021_4_47.
EDN: CSOOOU.
18. Leygonie R., Motamedi A., Iordanova I. Development of quality improvement procedures and tools for facility management BIM // Developments in the Built Environment. 2022. Vol. 11. P. 100075.
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100075>.
19. Fernández-Mora V., Navarro I.J., Yepes V. Integration of the structural project into the BIM paradigm: A literature review // Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 53. P. 104318.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104318>.
20. Orazi L., Reggiani B. A novel algorithm for a continuous and fast 3D projection of points on triangulated surfaces for CAM/CAD/CAE applications // Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences. 2022. Vol. 34. Iss. 4. P. 1240–1245.
<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.06.005>.
21. Khan M.T.H., Rezwana S. A review of CAD to CAE integration with a hierarchical data format (HDF)-based solution // Journal of King Saud University – Engineering Sciences. 2021. Vol. 33. Iss. 4. P. 248–258.
<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.009>.
22. Celik Yasin, Petri Ioan, Barati Masoud. Blockchain supported BIM data provenance for construction projects // Computers in Industry. 2023. Vol. 144. P. 103768.
<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.009>.
23. Shiraiwa S., Greenwald M., Stillerman J.A., Wallace G.M., London M.R., Thomas J. Tools to export published datasets together with metadata from IDL/Python/MATLAB and πScope // Fusion Engineering and Design. 2018. Vol. 130. P. 104–106.
<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.02.052>.

REFERENCES

1. Razov I.O., Bereznev A.V., Korkishko O.A. Problems and prospects of implementing BIM technologies in construction and design. In: *BIM-modelirovaniye v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = BIM Modeling in the tasks of construction and architecture: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. 29–30 March 2018, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Saint Petersburg state university of architecture and civil engineering; 2018. p. 27–31. (In Russ.). EDN: YUIQPT.
2. Gribkova I.S., Khashpakyants N.O. Efficiency of BIM technology design. *Elektronnyy setevoy politematicheskii zhurnal "Nauchnyye trudy KubGTU"*. 2018;2:235–242. (In Russ.). EDN: XNRMVV.
3. Talapov V.V. Fundamentals of BIM: an introduction to information modeling of buildings. Moscow: DMK Press; 2011. 392 p. (In Russ.).
4. Bukunova O.V., Bukunov A.S. Difficulties of implementing information modeling of construction objects in Russia. In: *Nauchnyi forum Innovatsionnaya nauka: materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Scientific Forum: Innovative Science: materials of the VI International Scientific and Practical Conference*. 28 August–04 September 2017, Moscow. Moscow: International Center for Science and Education; 2017. Vol. 5. p. 15–21. (In Russ.). EDN: ZEFFJL.
5. Panya D.S., Kim T., Choo S. An interactive design change methodology using a BIM-based Virtual Reality and Augmented Reality. *Journal of Building Engineering*. 2023;68:106030.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106030>.
6. Lien L.C., Dolgorsuren U. BIM-based steel reinforcing bar detail construction design and picking optimization. *Structures*. 2023;49:520–536.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.004>.
7. Chuang T.Y., Yang M.J. Change component identification of BIM models for facility management based on time-variant BIMs or point clouds. *Automation in Construction*. 2023;147:104731.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
8. Condotta M., Scanagatta C. BIM-based method to inform operation and maintenance phases through a simplified procedure. *Journal of Building Engineering*. 2023;65:105730.
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.
9. Shi Y., Xu J. BIM-based information system for econo-enviro-friendly end-of-life disposal of construction and demolition waste. *Automation in Construction*. 2021;125:103611.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>.
10. Alekseeva N.S. Application of end-to-end digital technologies in design and construction management. *Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya v oblasti upravleniya, ekonomiki i trgovli: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy i uchebno-metodicheskoy konferentsii = Fundamental and applied research in management, economics and trade: collection of all-Russian scientific and practical conference proceedings*. 01–04 Juny 2021, Saint-Petersburg. Saint-Petersburg: Polytech-press. 2021. Vol. 1. P. 224–228. (In Russ.). EDN: QBMTJW.
11. Bazhenov V.K., Chervontseva M.A.. On the creation of a consolidated information model for a capital construction structure. *Vestnik Mos-*

kovskogo informatsionno-tekhnologicheskogo universiteta – Moskovskogo arkhitekturno-stroitel'nogo instituta. 2022;1:19-22. (In Russ.). https://doi.org/10.52470/2224669X_2022_1_19. EDN: RJWOWG.

12. Khan A.A. Analysis of trends and possible approaches to the formation of contract requirements in projects developed on the basis of information modeling technologies and the information model of the modeling object (BIM). *International Journal of Open Information Technologies*. 2022;8:102-112. (In Russ.). EDN: ZSDIDG.

13. Erofeev V.T., Piksaikina A.A., Bulgakov A.G., Ermolaev V.V. Digitalization in the construction as an effective tool for the modern development of the industry. *Ekspert: teoriya i praktika = Expert: Theory and Practice*. 2021;3:9-14. (In Russ.). https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9. EDN: LJDPKJ.

14. Zagidullina G.M., Ivanova R.M., Novshirvanov M.L. Analysis of current problems of bim technologies development in the capital construction market. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal = Moscow Economic Journal*. 2022;7(12):483-500. (In Russ.). https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_12_71. EDN: AXEIWK.

15. Karakozova I.V., Malyha G.G., Kulikova E.N., Pavlov A.S., Panin A.S. Organizational support of BIM-technologies. *Vestnik MGSU*. 2019;14(12):1628-1637. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637>.

16. Savina A.G., Malyavkina L.I., Savin D.A. Theoretic-methodological bases of it maintenance of project management corporate system in the project-oriented organizations. *Russian Journal of Economics and Law*. 2023;17(1):90-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.1.90-109>.

17. Korol E.A., Drepalov I.F. Reconstruction of buildings using Bim technologies. *Sistemnyye*

tekhnologii = System Technologies. 2021;4:47-51. (In Russ.).

https://doi.org/10.55287/22275398_2021_4_47. EDN: CSOOOU.

18. Leygonie R., Motamedi A., Iordanova I. Development of quality improvement procedures and tools for facility management BIM // *Developments in the Built Environment*. 2022. Vol. 11. P. 100075. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100075>.

19. Fernández-Mora V., Navarro I.J., Yepes V. Integration of the structural project into the BIM paradigm: A literature review // *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 53. P. 104318. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104318>.

20. Orazi L., Reggiani B. A novel algorithm for a continuous and fast 3D projection of points on triangulated surfaces for CAM/CAD/CAE applications // *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2022. Vol. 34. Iss. 4. P. 1240-1245.

<https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.06.005>

21. Khan M.T.H., Rezwana S. A review of CAD to CAE integration with a hierarchical data format (HDF)-based solution // *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*. 2021. Vol. 33. Iss. 4. P. 248-258.

<https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.009>.

22. Celik Yasin, Petri Ioan, Barati Masoud. Blockchain supported BIM data provenance for construction projects // *Computers in Industry*. 2023. Vol. 144. P. 103768. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.04.009>.

23. Shiraiwa S., Greenwald M., Stillerman J.A., Wallace G.M., London M.R., Thomas J. Tools to export published datasets together with metadata from IDL/Python/MATLAB and πScope // *Fusion Engineering and Design*. 2018. Vol. 130. P. 104-106.

<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.02.052>.

Информация об авторах

Дмитриева Татьяна Львовна,

д.т.н., доцент,
заведующий кафедрой механики и
сопротивления материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: dmitrievat@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-4622-9025>

Яценко Владимир Петрович,

к.т.н., доцент,
доцент кафедры механики и сопротивления
материалов,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vp_yashenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3800-0570>

Information about the authors

Tatyana L. Dmitrieva,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Head of the Department of Mechanics
and Resistance of Materials,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: dmitrievat@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-4622-9025>

Vladimir P. Yashchenko,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Mechanics and Resistance of Materials,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: vp_yashenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3800-0570>

Курышов Иван Андреевич,
главный специалист отдела организации
и контроля строительно-монтажных работ
Проектного офиса (ООиК СМР ПО)
ООО «ГРК «Быстринское»,
672038, г. Чита, ул. Шилова, 99 Г, Россия
e-mail: vanyagri88@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-3028-6308>

Ivan A. Kuryshov,
Chief Specialist of the Department
of Organization and control of construction
and installation works of the Project Office,
"GRK "Bystrinskoe" LLC,
99G Shilova St., Chita 672038, Russia
e-mail: vanyagri88@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0001-3028-6308>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 16.02.2023.
Одобрена после рецензирования 15.03.2023.
Принята к публикации 17.03.2023.

Information about the article

The article was submitted 16.02.2023.
Approved after reviewing 15.03.2023.
Accepted for publication 17.03.2023.