

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 721.021.23

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.569-583

Методика аудита информационной модели здания для оценки реализации сценариев использования

Вероника Сергеевна Широкова, Марина Вячеславовна Петроченко,
Егор Маркович Мелехин

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ);
г. Санкт-Петербург, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные BIM-модели включают в себя обширный объем данных, охватывающих не только геометрические характеристики, но и наполненность атрибутивной информацией. Эти аспекты зачастую недоступны для многих участников процесса, и неопределенность в их понимании делает данные, собранные в ТИМ-моделях, малоэффективными. В таких случаях визуализация сведений ТИМ-модели становится ключевым стимулом для более осознанного моделирования, способствуя эффективному принятию решений и улучшению операционных процессов в строительных проектах.

Материалы и методы. Материалом исследования являются подготовленные цифровые информационные модели (ЦИМ) здания, база данных с информацией о корпусах и ссылками на фотофиксацию помещений кампуса университета. Для определения возможности реализации различных сценариев применения цифрового актива используется метод математического анализа. Этот метод позволяет рассчитать показатель информационной насыщенности данных, который необходим для принятия решения о возможности реализации того или иного сценария. Контролируемые параметры, представленные в математической модели, могут обладать различной степенью важности при формировании окончательной оценки. Для определения влияния вспомогательных параметров на итоговую оценку применяется метод экспертных оценок. Метод заключается в приписывании баллов по шкале от 1 до 10 в зависимости от значимости параметра.

Результаты. Разработана методика аудита наполнения модели атрибутивной информацией для актуальных сценариев использования ЦИМ на этапе эксплуатации. Выполнен сравнительный анализ проверки данных предлагаемой математической моделью и средствами BI. Результат анализа показал преимущества визуальной проверки в возможности комплексного анализа цифрового актива, включающего сведения различных типов.

Выводы. Методика проверки ЦИМ в целях реализации сценариев использования позволяет оценить, возможна ли реализация сценария применения для конкретной модели. При необходимости расширения набора информации о проекте, получения возможности для аналитики и решения задач в строительной отрасли используются отчеты Power BI. Тандем BIM-моделирования и системы BI способствует повышению эффективности в сокращении затрат и соблюдении сроков, а также открывает возможности внедрения машинного обучения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТИМ-модель, визуализация данных, управленческие решения, информационные модели, Autodesk Revit, Power BI

Благодарности. Авторский коллектив выражает благодарность анонимным рецензентам научно-технического журнала по строительству и архитектуре «Вестник МГСУ».

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Широкова В.С., Петроченко М.В., Мелехин Е.М. Методика аудита информационной модели здания для оценки реализации сценариев использования // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 4. С. 569–583. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.569-583

Автор, ответственный за переписку: Вероника Сергеевна Широкова, shirokova.vs@edu.spbstu.ru.

Methodology for auditing the building information model to assess the realization of use scenarios

Veronika S. Shirokova, Marina V. Petrochenko, Egor M. Melekhin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU); St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Modern BIM models include a vast amount of data, covering not only geometric characteristics, but also full attribute information. These aspects are often inaccessible to many participants in the process, and the uncertainty in their understanding makes the data collected in TIM models ineffective. In such cases, visualization of TIM model data becomes a key stimulus for more informed modelling, contributing to better decision making and improved operational processes in construction projects.

Materials and methods. The research material is prepared digital information models of the building, a database with information about the buildings and links to photographic recordings of the university campus premises. To determine the possibility of implementing various scenarios for using a digital asset, a mathematical analysis method is used. This method allows you to calculate the information richness of data, which is necessary to make a decision about the possibility of implementing a particular scenario. The controlled parameters presented in the mathematical model may have varying degrees of importance when forming the final assessment. To determine the influence of auxiliary parameters on the final assessment, the method of expert assessments is used. The method consists of assigning points to each parameter by each expert on a scale from 1 to 10 depending on its importance.

Results. A methodology of auditing the filling of the model with attribute information for current scenarios for using DIM at the operational stage is developed. A comparative analysis of data verification using the proposed mathematical model and BI tools was performed. The result of the analysis showed the advantages of visual inspection in the possibility of a comprehensive analysis of a digital asset, including data of various types.

Conclusions. The methodology for checking an information model in order to implement use scenarios allows you to assess whether it is possible to implement a use scenario for a specific model. When it is necessary to expand the set of information about a project, gain the ability to analyze and solve problems in the construction industry, Power BI reports are used. The tandem of BIM modelling and BI systems increases efficiency in reducing costs and meeting deadlines, and also opens up the possibility of introducing machine learning.

KEYWORDS: TIM model, data visualization, management decisions, information models, Autodesk Revit, Power BI

Acknowledgements. The team of authors expresses gratitude to the anonymous reviewers of the scientific and technical journal of construction and architecture Vestnik MGSU.

FOR CITATION: Shirokova V.S., Petrochenko M.V., Melekhin E.M. Methodology for auditing the building information model to assess the realization of use scenarios. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(4):569-583. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.4.569-583 (rus.).

Corresponding author: Veronika S. Shirokova, shirokova.vs@edu.spbstu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Информационное моделирование зданий (BIM) стало мощным инструментом для управления сложными строительными проектами, способствуя улучшению коммуникации, расширению сотрудничества и повышению качества результатов проектов.

Разрабатываемые проектные цифровые информационные модели (ЦИМ) нацелены на создание эффективных и действенных сквозных информационных моделей (ИМ), объединяющих ключевые этапы жизненного цикла (ЖЦ) объектов, такие как изыскательские работы, проектирование, строительство и эксплуатация. Для реализации эффективных ИМ на начальном этапе разработки необходимо определить сценарии использования модели и установить основные требования к содержанию ЦИМ с точки зрения данных.

Одной из областей, где внедрение технологий информационного моделирования (ТИМ) по-прежнему требует совершенствования, является анализ данных. Качество информации, предоставляемой программным обеспечением (ПО) ТИМ, имеет решающее значение для принятия обоснованных решений, оптимизации рабочих процессов и улучшения результатов проекта.

Настоящее исследование проводится с целью оценки качества наполнения ИМ по различным сценариям использования с помощью метода математического анализа и оценки потенциала визуализации данных из моделей ТИМ для оптимизации управ-

ленческих решений на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий.

Задачи исследования:

1. Сформулировать структуру данных ТИМ-модели.
2. Разработать математическую модель для определения показателя качества ТИМ-модели.
3. Оценить значимость параметров ТИМ-модели для реализации конкретных сценариев применения методом экспертной оценки.
4. Установить граничные значения показателя качества для установления степени достаточности данных ТИМ-модели в целях реализации определенного сценария использования.
5. Разработать методику контроля качества ТИМ-модели с точки зрения полноты насыщения атрибутивной информацией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эффективное применение методов визуализации сведений в анализе ТИМ-моделей может расширить объем информации о проекте за счет различных источников данных [1, 2]. Тема данных модели тесно связана с методологией и процессами ТИМ. Для полного понимания материалов исследования следует иметь предварительное понимание сущности данных и их роли в ТИМ-моделях. На рис. 1 представлен график данных в течение ЖЦ проекта, содержащийся в стандарте ISO 19650 и руководстве UK BIM Framework, который представ-

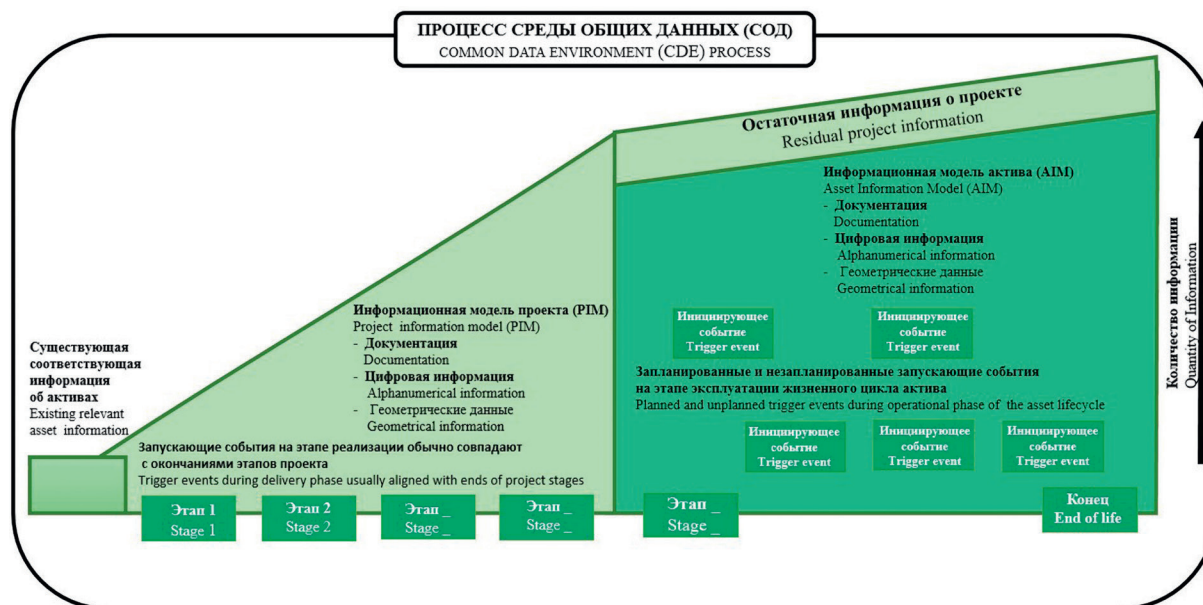


Рис. 1. График данных в течение жизненного цикла проекта

Fig. 1. Data graph over the project life cycle

ляет собой краткое изложение того, какие сведения собираются в строительных проектах¹ [3].

Развитие ТИМ-моделей неразрывно связано с постоянным накоплением и систематизацией данных на всех этапах ЖЦ проекта. Этот процесс позволяет создать цифровой актив объекта, который включает различные типы данных:

1. Структурированные данные внутри ТИМ-модели (свойства):

- 3D-модели: ЦИМ, содержащая геометрию, атрибутивную информацию, пространственные отношения и другую необходимую информацию;
- спецификации: информация о строительных материалах, системах и оборудовании.

2. Структурированные данные вне ТИМ-модели и связанные с ней (графики, некоторые требования и данные о продукции):

- данные о затратах: информация о затратах на проект, включая материалы, рабочую силу и оборудование;
- сведения планирования: календарные графики и отслеживания прогресса с течением времени;
- проектные данные: информация о проектных решениях, таких как выбор материалов и спецификаций компонентов.

3. Множество структурированных и неструктурированных данных, вне и не связанных с ТИМ-моделью (электронные письма, электронные таблицы, контракты, документы):

- проектная документация: хранение проектной документации, включая контракты, заказы на изменения и запросы информации;

- исполнительная информация: сбор исполнительных данных, включая изменения, внесенные во время строительства и после строительства;

- документы:

- 1) технический паспорт здания;
- 2) выписки из ЕГРН и др.

При динамике развития проекта наблюдается увеличение объема данных, что сопровождается расширением использования рабочей силы в процессе обработки, представляя собой существенный ресурс проекта [4, 5].

Работа с большим объемом информации предполагает сложный и неотъемлемый процесс обработки, который играет ключевую роль в продуктивном использовании информационных ресурсов. Этот процесс (рис. 2) включает анализ, структурирование, очистку данных, оптимизацию с целью извлечения значимой информации.

Первым шагом в анализе и визуализации данных ТИМ является очистка и предварительная обработка данных. Процесс включает в себя удаление нерелевантных или дублирующихся сведений, исправление ошибок и преобразование данных в формат, пригодный для анализа [6, 7].

Одна из основных задач практически любой информационной системы — обработка собираемых, формируемых или хранимых данных. Для выполнения анализа с применением аналитического ПО достаточно статической модели IFC [8, 9].

В формате IFC хранятся данные о геометрии проекта и о ее информационной составляющей. В описание геометрии включается большое количество атрибутов и дополнительных свойств. Каждый атрибут несет в себе информацию об определенном объекте (IfcWall — стена, IfcBeam — балка, всего 25 структурированных элементов). Помимо инфор-

¹ ISO 19650-2:2018. Organization of information about construction works. Information management using building information modelling. Part 2: Delivery phase of the assets, NEQ.



Рис. 2. Технологическая схема работы с данными
Fig. 2. Technological scheme of work with data

мации о самом объекте, может храниться информация и о его свойствах (Ifcmaterial — строительный материал), слоях (IfcPresentationLayerAssignment) и других характеристиках, которые не могут быть подвергнуты редактированию [10].

Понимание структуры файла IFC, описанной в стандарте, требуется для эффективной визуализации, анализа и проверки данных объекта на различных этапах ЖЦ. Это обеспечивает необходимую основу для использования ЦИМ в соответствии с заданными сценариями применения² [11, 12].

Сценарии использования играют ключевую роль в процессе ТИМ-моделирования, поскольку определение требований на ранних этапах проекта позволяет эффективно управлять ресурсами. Понимание целей и потребностей пользователей помогает сформировать модель, отвечающую конкретным требованиям, что, в свою очередь, способствует экономии трудовых ресурсов [13, 14].

Требования, необходимые для реализации сценариев использования, следует назначать в зависимости от уровней проработки ЦИМ, которые описаны в СП 333.1325800.2020. Опираясь на п. 5, каждому типу ЦИМ на каждом этапе ЖЦ соответствует определенный уровень проработки ЦИМ. Уровень проработки ЦИМ представляет собой совокупность требований к геометрической детализации и атрибутивному составу [14–16].

Рассмотрим наиболее часто используемые сценарии для моделей ЦИМ на разных этапах ЖЦ (табл. 1).

Для выполнения этих сценариев следует осуществлять проверку наполнения модели атрибутивной информацией.

Элементам определенного типа соответствует конкретный набор атрибутов. Для удобства использования атрибуты собраны в группы, причем одному типу элемента может соответствовать набор групп атрибутов (по приложению Д в СП 333.1325800.2020³). При верификации ТИМ-модели с точки зрения атрибутивной информации необходимо основываться на количестве заполненных параметров (атрибутов) каждого элемента.

Одним из главных вопросов информационного менеджмента является процесс определения и описания потребности в информации таким образом, чтобы не было переизбытка или недостатка данных, что служит причиной снижения эффективности применения технологии информационного производства [17].

Уровень потребности в информации должен быть определен и описан для каждого информационного контейнера на каждом этапе ЖЦ актива, что означает необходимость описания информационных требований:

- минимальный объем геометрической информации, необходимый в составе графических моделей;
- минимальный объем атрибутивной информации, необходимой в составе данных об активе;
- минимальный объем информации, необходимый в составе документации.

При выявлении уровня потребности в информации выделяют две основные категории: минимально необходимую информацию и вспомогательную.

Атрибуты, отсутствие заполнения которых означает полную непригодность ЦИМ к использова-

² ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema, IDT.

³ СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. М., 2020. 225 с.

Табл. 1. Сценарии использования информационной модели

Table 1. Scenarios for using the information model

Обозначение сценария использования Use case designation	Наименование сценария использования Use case name	Описание сценария использования Description of the use case
B	Проектирование / Design	
B1	Анализ объемно-планировочных решений здания Analysis of the building's spatial planning solutions	Анализ распределения площадей по различным уровням и функциональному назначению относительно общей площади здания Analysis of the distribution of areas by different levels and functional purpose relative to the total area of the building
B2	Визуализация 3D-модели Visualization of a 3D-model	Интерактивная 3D-модель здания позволяет получить графическое отображение объемной модели здания с видимостью всех ее элементов An interactive 3D-model of a building allows you to get a graphical representation of a three-dimensional model of a building with visibility of all its elements
B3	Проверка проектных решений Verification of design solutions	Проверка соответствия планировок здания техническим нормам / Checking the compliance of building layouts with technical standards
C	Строительство / Construction	
C1	Оценка стоимости Cost estimation	Определение объемов и затрат на каждый материал, используемый в строительстве. Выявление и анализ материалов, вносящих значительный вклад в общую стоимость проекта / Determination of volumes and costs for each material used in construction. Identification and analysis of materials that make a significant contribution to the total cost of the project
C2	Контроль качества строительства / Construction quality control	Возможность просмотра календарного графика с анализом выполнения работ в запланированные сроки / The ability to view a calendar schedule with an analysis of the work performed on schedule
D	Эксплуатация / Exploitation	
D1	Управление и контроль площадных ресурсов здания Management and control of building area resources	Мониторинг использования пространств с отслеживанием статусов занятости каждого помещения / Monitoring the use of spaces with tracking the occupancy status of each premises
D2	Управление материально-техническим имуществом Material and technical property management	Определение материальных точек с привязкой к помещениям / Determination of material points with reference to premises
D3	Оценка энергоэффективности Energy efficiency assessment	Отслеживание общего энергопотребления здания за счет датчиков. Анализ данных с целью снижения потребления энергии и повышения эффективности / Track the total energy consumption of the building through sensors. Data analysis to reduce energy consumption and improve efficiency
D4	Оценка освещенности помещений / Assessment of indoor lighting	Определение зон, в которых требуется дополнительная регулировка освещения / Identify areas where additional lighting adjustment is required

нию в рамках конкретных сценариев, назовем критическими. Параметры, несущие информативное значение, но не обязательные при использовании модели, — вспомогательными [18].

Для математического описания связи атрибутов модели, необходимых для реализации сценариев использования с оценкой качества наполнения модели, вводятся следующие входные параметры, описывающие исходные данные:

n — количество типов элементов в модели;

$j = 1, 2, \dots, n$ — индекс типа элемента;
 z_j — количество элементов типа j ;
 $k = 1, 2, \dots, z_j$ — индекс элемента типа j ;
 b — количество сценариев использования;
 $\sigma = 1, 2, \dots, b$ — индекс сценария использования;

$R_{jk\sigma}^{crit}$ — количество критических атрибутов для элемента k типа j сценария использования σ ;

$R_{jk\sigma}^{exp}$ — количество вспомогательных атрибутов для элемента k типа j сценария использования σ ;

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 20. Выпуск 4, 2025
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 20. Issue 4, 2025

$r_{jk\sigma}^{crit}$ — количество заполненных критических атрибутов для элемента k типа j сценария использования σ ;

$r_{jk\sigma}^{exp}$ — количество заполненных вспомогательных атрибутов для элемента k типа j сценария использования σ ;

$m = 1, 2, \dots, r_{jk\sigma}^{exp}$ — индекс вспомогательного атрибута для элемента k типа j сценария использования σ .

Оценка происходит от частного к общему и включает следующие шаги:

1. Проверка заполнения критических атрибутов отдельных элементов.

2. Оценка качества по полноте заполнения вспомогательных атрибутов отдельных элементов.

3. Оценка качества насыщения вспомогательных атрибутов по элементам одного типа (окна, двери и т.д.).

4. Оценка качества заполненности атрибутов всей модели.

Описание проверки заполнения критических атрибутов и оценки насыщения элемента вспомогательными атрибутами происходит по следующей математической зависимости:

$$\theta_{jk\sigma} = \left[\frac{r_{jk\sigma}^{crit}}{R_{jk\sigma}^{crit}} \right] \cdot \sum_{m=1}^{R_{jk\sigma}^{exp}} (r_m^{exp} \cdot v_m), \quad (1)$$

где $\theta_{jk\sigma}$ — относительный показатель качества по полноте заполнения атрибутов элемента k типа элемента j сценария использования σ ; ($\theta_{jk\sigma} \in [0; 1]$); v_m — весовой коэффициент, складывающийся из экспертной оценки значимости параметра p в итоговой модели.

Следует отметить, что при незаполненности хотя бы одного параметра из категории «критические» оценка элемента k аннулируется ($\theta_{jk\sigma} = 0$), так как невозможно реализовать сценарий использования.

Контролируемые параметры, представленные в математической модели, могут обладать различной степенью важности при формировании окончательной оценки. Частным примером такого параметра является оценка важности атрибута m для конкретного сценария использования. Значимость конкретного атрибута можно установить с помощью весовых коэффициентов. Весовой коэффициент устанавливает предпочтение критерия i над другими критериями в количественном измерении.

Распространенный и удобный способ определения весовых коэффициентов — это метод экспертных оценок. Он имеет несколько вариаций, из которых чаще всего выделяют метод приписывания баллов, как оптимальный при работе с большим количеством параметров. Метод заключается в приписывании баллов каждому параметру каждым экспертом по определенной шкале (как правило, от 1

до 10). Параметры могут оцениваться как целыми, так и дробными значениями в выбранной шкале.

Весовой коэффициент рассчитывается по формуле:

$$f_{dm} = \frac{c_{dm}}{R_{jk\sigma}^{exp}}, \quad (2)$$

$$\sum_{m=1} c_{dm}$$

где f_{dm} — вес атрибута m , определенный экспертом d ; $d = 1, 2, \dots, h$ — индекс эксперта; h — количество экспертов; c_{dm} — балл эксперта d по атрибуту m .

Итоговые весовые коэффициенты модулей определяются по формуле:

$$v_m = \frac{\sum_{d=1}^h f_{dm}}{R_{jk\sigma}^{exp} \sum_{m=1}^h \sum_{d=1}^h f_{dm}}. \quad (3)$$

Причем сумма весовых коэффициентов должна быть равна единице:

$$\sum_{m=1}^{R_{jk\sigma}^{exp}} v_m = 1. \quad (4)$$

Следующий этап оценки по типу элементов описывается формулой:

$$\theta_{j\sigma} = \frac{\sum_{k=1}^{z_j} \theta_{jk\sigma}}{z_j}, \quad (5)$$

где $\theta_{j\sigma}$ — относительный показатель качества насыщения вспомогательными атрибутами типа элементов j ($\theta_{j\sigma} \in [0; 1]$); $\theta_{j\sigma}$ — относительный показатель качества насыщенности модели эксплуатационными атрибутами для реализации сценария использования происходит по зависимости ($\theta_{j\sigma} \in [0; 1]$).

$$\theta_{\sigma} = \sum_{j=1}^{n_i} \theta_{j\sigma} \cdot \omega_j, \quad (6)$$

где ω_j — весовой коэффициент типа элементов j относительно общего числа элементов модели:

$$\omega_j = \frac{z_j}{\sum_{j=1}^n z_j}. \quad (7)$$

Причем:

$$\sum_{j=1}^{n_i} \omega_j = 1. \quad (8)$$

После определения итогового показателя качества θ_{σ} ТИМ-модели необходимо проанализировать его значение относительно заданных граничных условий.

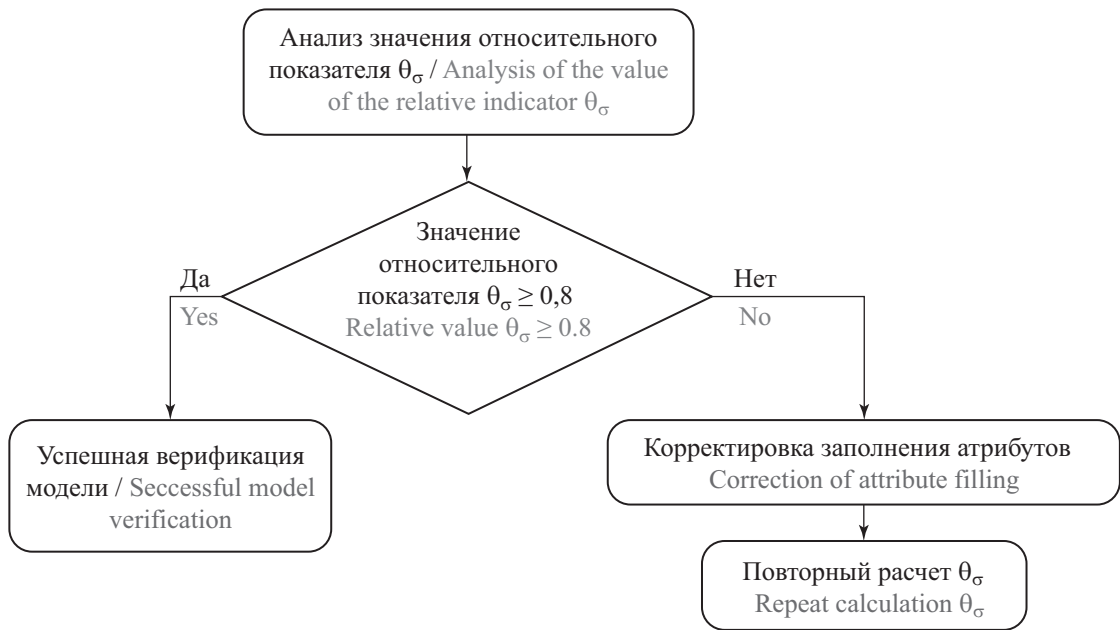


Рис. 3. Анализ значения показателя наполненности ТИМ-модели для конкретного сценария использования

Fig. 3. Analysis of the TIM model fullness indicator value for a specific use case

По методике устанавливаются следующий порядок анализа итогового значения θ_σ и его граничные значения:

- при значениях $\theta_\sigma \geq 0,8$ модели присваивается статус «обеспечивающей необходимый уровень наполненности модели информацией для реализации сценария использования σ »;
- при значениях $\theta_\sigma < 0,8$ модель получает статус «не обеспечивающей необходимый уровень наполненности модели информацией для реализации сценария использования σ » и отправляется на полную корректировку отраженной атрибутивной ин-

формации с последующим повторным расчетом относительного показателя качества типа элементов.

Алгоритм анализа значения итогового показателя качества ВИМ-модели представлен на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования для проведения аудита выбран учебный корпус Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Модель корпуса (рис. 4) содержит 5080 элементов, 11 220 м² общей площади.

Рассмотрим применение разработанной методики оценки достаточности данных в рамках вы-

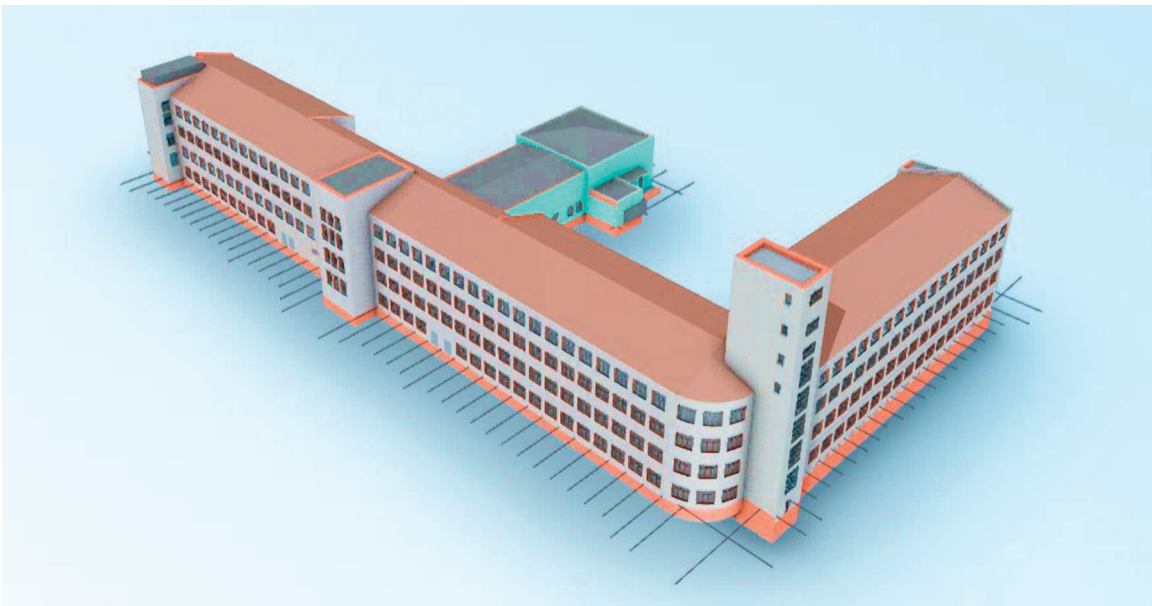


Рис. 4. Цифровая информационная модель корпуса

Fig. 4. Digital information model of the case

Табл. 2. Требуемые параметры для сценария «Управление материально-техническим имуществом»
Table 2. Required parameters for the Inventory Management use case

Тип атрибутов Attributes type	Критические атрибуты Critical attributes	Вспомогательные атрибуты Auxiliary attributes	Параметр вспомогательного атрибута Parameter of auxiliary attribute
Атрибуты помещений Premises attributes	ID помещения Premises ID	Высота потолка / Ceiling height	r_1^{exp}
	Название / Name	Функциональное назначение Functional purpose	r_2^{exp}
	Фактический номер Actual number	Целевое использование Intended use	r_3^{exp}
	Фактическая площадь Actual area	—	—
Атрибуты из базы данных Attributes from the database	Номер группы помещений по техническому паспорту Premises group number according to the Technical passport	Код подразделения Department code	r_4^{exp}
	Номер помещений по техническому паспорту Premises number according to the Technical Passport	Фотобанк помещения Photo bank of the premises	r_5^{exp}
	Площадь помещений по техническому паспорту The area of the premises according to the Technical Passport	Техническое состояние Technical condition	r_6^{exp}
	Подразделение / Department	Статус / Status	r_7^{exp}
	—	Материальные точки Material points	r_8^{exp}

Табл. 3. Экспертные оценки вспомогательных параметров
Table 3. Expert assessments of auxiliary parameters

Эксперты Experts	Баллы по модулям / Points by module								Сумма Sum
	r_1^{exp}	r_2^{exp}	r_3^{exp}	r_4^{exp}	r_5^{exp}	r_6^{exp}	r_7^{exp}	r_8^{exp}	
1	1	6	4	8	7	7	8	7	48
2	3	4	4	5	5	8	5	8	42
3	3	4	2	8	4	7	7	6	41
4	4	5	3	9	6	9	7	8	51
5	5	2	3	8	5	9	7	9	48
6	4	6	6	9	5	9	6	9	54
7	3	4	4	7	5	8	7	8	46
8	3	4	2	7	4	8	7	7	42
9	4	3	5	8	6	7	7	8	48
10	2	3	5	8	6	9	8	8	49
Сумма / Sum	32	41	38	77	53	81	69	78	—

полнения сценария использования «Управление материально-техническим имуществом».

Критические и вспомогательные атрибуты, необходимые для выполнения сценария использования, представлены в табл. 2.

Незаполненность хотя бы одного критического параметра аннулирует значение относительного показателя качества по полноте наполнения атрибутов элемента по причине невозможности реализации сценария использования.

Влияние вспомогательных параметров на итоговую оценку рассчитывается с помощью весовых

коэффициентов по методу экспертных оценок. В комиссию по оценке входили 10 экспертов строительных компаний с опытом работы в сфере информационного моделирования 1–3 года — 5 человек, 3–7 лет — 3 человека, 7 и более лет — 2 человека. Таким образом, 10 экспертов произвели независимую оценку по 8 критериям по 10-балльной шкале.

Результаты опроса по необходимости применения вспомогательных атрибутов при реализации конкретного сценария использования представлены в табл. 3.

Табл. 4. Весовые коэффициенты атрибутов категории «Помещения»

Table 4. Weighting coefficients of attributes of the category “Premises”

Эксперты Experts	Вес по модулям / Weight by module								Сумма Sum
	r_1^{exp}	r_2^{exp}	r_3^{exp}	r_4^{exp}	r_5^{exp}	r_6^{exp}	r_7^{exp}	r_8^{exp}	
1	0,021	0,125	0,083	0,167	0,146	0,146	0,167	0,146	1
2	0,071	0,095	0,095	0,119	0,119	0,190	0,119	0,190	1
3	0,073	0,098	0,049	0,195	0,098	0,171	0,171	0,146	1
4	0,078	0,098	0,059	0,176	0,118	0,176	0,137	0,157	1
5	0,104	0,042	0,063	0,167	0,104	0,188	0,146	0,188	1
6	0,074	0,111	0,111	0,167	0,093	0,167	0,111	0,167	1
7	0,065	0,087	0,087	0,152	0,109	0,174	0,152	0,174	1
8	0,071	0,095	0,048	0,167	0,095	0,190	0,167	0,167	1
9	0,083	0,063	0,104	0,167	0,125	0,146	0,146	0,167	1
10	0,041	0,061	0,102	0,163	0,122	0,184	0,163	0,163	1
Сумма / Sum	0,68	0,87	0,81	1,64	1,13	1,73	1,47	1,66	10
Весовой коэффициент v_m Weighting coefficient v_m	0,068	0,087	0,081	0,164	0,113	0,173	0,147	0,166	1

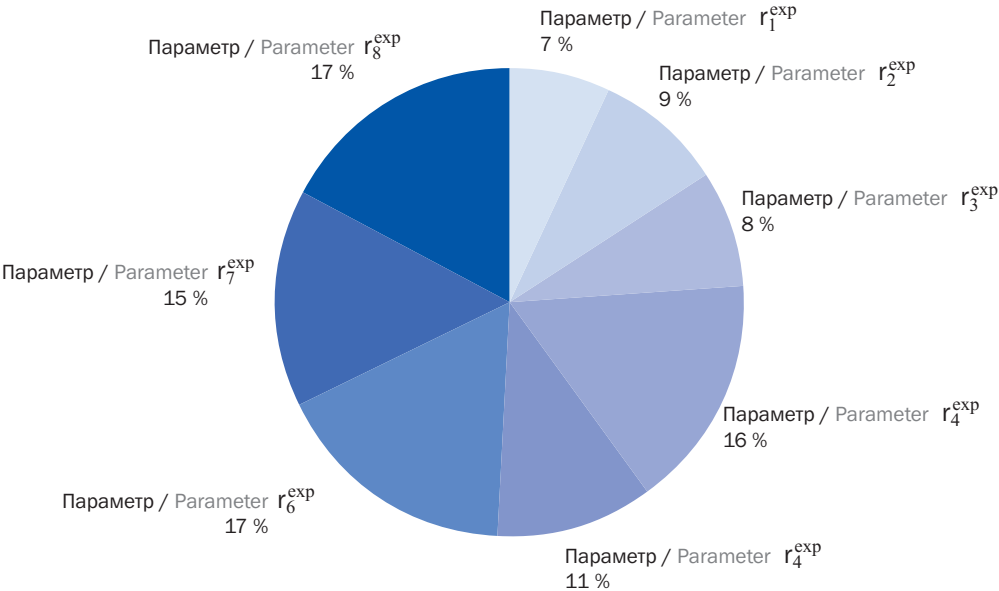


Рис. 5. Весовые коэффициенты вспомогательных параметров

Fig. 5. Weighting coefficients of auxiliary parameters

В результате вычислений по формулам (2), (3) происходит формирование нормированных значений оценок вспомогательных параметров, соответствующих интервалу $[0; 1]$, в которых минимальное значение соответствует наименее предпочтительному результату верификации параметра, а максимальное — наиболее предпочтительному. Результаты представлены в табл. 4 и на рис. 5.

Вычисление весового коэффициента необходимо для расчетов относительного показателя качества по полноте заполнения атрибутов элементов категории «Помещения» сценария использования «Управление материально-техническим имуществом», по формуле (1). Итоговое значение относительного показателя качества модели сведено в табл. 5.

В соответствии с данными табл. 5 значительное количество помещений не прошли проверку по причине незаполнения критических параметров, что существенно сказывается на итоговом значении относительного показателя $\theta_{j\sigma} = 0,013$.

Для определения общей оценки наполненности ЦИМ модели необходим расчет весовых коэффициентов, отражающих долю количества элементов выбранного типа относительно количества элементов в пределах модели. В рамках выбранного сценария использования проверка осуществляется для элементов категории «Помещения».

Коэффициенты ω_j вычисляются по формуле (7) с проверкой по условию (8). Расчет весовых коэффициентов по всем типам элементов представлен в табл. 6.

Табл. 5. Относительный показатель качества типа элементов «Помещения»

Table 5. Relative quality indicator of the “Premises” element type

$\theta_{j\sigma}$	z_j	$\theta_{jk\sigma}$	$r_{jk\sigma}^{crit}$	$R_{jk\sigma}^{crit}$	$\sum_{m=1}^{R_{jk\sigma}^{exp}} (r_m^{exp} \cdot v_m)$	$R_{jk\sigma}^{exp}$	Уровень Level
0,013	21	0,686	8	8	0,686	8	Подвал Basement
	2	0	7	8	0,522	8	Подвал Basement
	1	0,454	8	8	0,454	8	Подвал Basement
	77	0,686	8	8	0,686	8	Этаж 1 Floor 1
	17	0	7	8	0,522	8	Этаж 1 Floor 1
	76	0,686	8	8	0,686	8	Этаж 2 Floor 2
	12	0	7	8	0,522	8	Этаж 2 Floor 2
	36	0,686	8	8	0,686	8	Этаж 3 Floor 3
	11	0	7	8	0,522	8	Этаж 3 Floor 3
	46	0,686	8	8	0,686	8	Этаж 4 Floor 4
	11	0	7	8	0,522	8	Этаж 4 Floor 4

Табл. 6. Коэффициенты по количеству элементов в модели

Table 6. Coefficients by the number of elements in the model

Коэффициент по количеству элементов в модуле ω_j Coefficient by the number of elements in a module ω_j	Тип элементов Element type	Количество элементов, необходимых для сценария использования $z_{j\sigma}$ Number of elements required for the use case $z_{j\sigma}$	Количество элементов в типе z_j Number of elements in type z_j
0	Корпус Building	0	1
0	Этаж Floor	0	5
1	Помещение Room	310	310
0	Крыша / Roof	0	1
0	Стена / Wall	0	245
0	Плита / Slab	0	6
0	Лестничная площадка Staircase	0	6
0	Окно Window	0	120
0	Дверь Door	0	203
0	Балка Beam	0	0
1	Сумма весовых коэффициентов Sum of weighting coefficients		

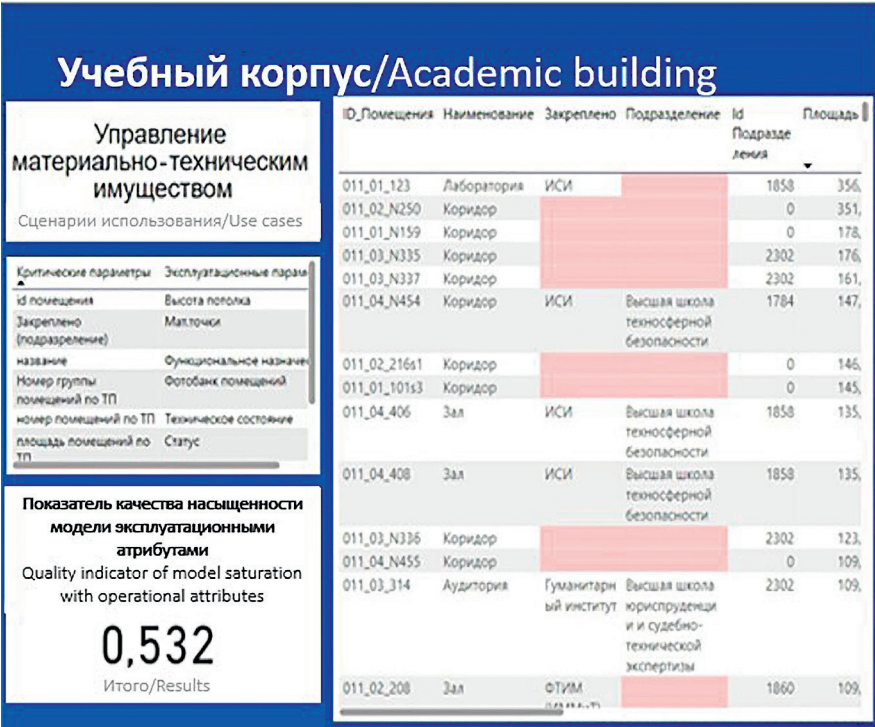


Рис. 6. Аналитический отчет о заполнении параметров и расчете итогового показателя достаточности данных в рамках выполнения сценария использования

Fig. 6. Analytical report on filling in the parameters and calculating the final indicator of data sufficiency within the framework of the use case scenario

Результатом расчетов является определение итогового показателя достаточности данных в рамках выполнения сценария использования «Управление материально-техническим имуществом» по формуле (6):

$$\theta_1 = 0,013.$$

Итогом поэтапного анализа значений показателей качества служит статус ТИМ-модели корпуса как «требующей корректировки и повторного контроля наполненности».

Визуализация данных

Обработку численных результатов математических моделей часто дополняют визуализацией данных с помощью таких инструментов, как Power BI, Tableau, QlikView, Google Data Studio, Plotly. Это позволяет пользователям лучше воспринимать информацию и принимать обоснованные решения на основе анализа данных.

В целях управления данными, связи различных типов сведений и визуализации результатов анализа используем отчеты Power BI. Отчет позволяет получать информацию о здании из разных источников путем связи между данными книги Excel с ЦИМ и проанализировать полученные значения с помощью визуальных экранов, а также задать диапазон допустимых значений и вывести значения не соответствующие предельно допустимым. Визуальная

проверка дает возможность облегчить и ускорить процесс управления активами корпуса.

На рис. 6 приведен отчет по заполнению атрибутов, необходимых для реализации сценария «Управление материально-техническим имуществом».

При выборе определенного сценария использования отчет в Power BI реализует фильтрацию параметров, оставляя на экране лишь соответствующие. Кроме того, он выделяет красным цветом незаполненные ячейки, что обозначает необходимость заполнения. Результат аналитического анализа, проведенного в рамках выбранного сценария, представлен в виде показателя качества:

$$\theta_1 = 0,532.$$

Отчет такого вида может помочь детально проанализировать все помещения, находящиеся в ИМ, а также проверить качество заполнения атрибутов в модели, что является преимуществом по отношению к математической модели.

Процесс визуализации и анализа данных проведен на основе ИМ учебного корпуса, базы данных с информацией о корпусе, фотофиксации помещений. В этом контексте Speckle выступает важным инструментом для визуализации данных, значительно улучшая восприятие информации.

При отправке сведений из Revit коннектор преобразует данные в формат, оптимизированный для Speckle. На высоком уровне есть все основные свойства, которые определяют помещение, такие



Рис. 7. Аналитический отчет о распределении площадей по различным уровням с учетом функционального и целевого назначения помещений

Fig. 7. Analytical report on the distribution of space at various levels, taking into account the functional and purpose of the premises



Рис. 8. Отчет о помещениях корпуса с выводом данных и фотофиксацией

Fig. 8. Report on the premises of the building with data output and photographic recording

как название, площадь, номер, геометрия и т.д. Все остальные параметры Revit как тип, так и экземпляр вложены в свойство «parameters».

С помощью преднастроенных шаблонов в Power BI были получены аналитические отчеты, представленные на рис. 7, 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований сформирована методика оценки возможности реализации различных сценариев использования за счет проверки наполненности атрибутов ЦИМ данными. Получен численный анализ за счет сравнения показателя качества, выполненный с помощью математической модели ($\theta_1 = 0,013$) и с помощью визуализации данных ($\theta_1 = 0,532$).

Модель учебного корпуса была классифицирована как «требующая корректировки и повторного контроля наполненности», что свидетельствует о невозможности реализации сценария использования «Управление материально-техническим имуществом» на данной модели.

Качество модели Power BI определяется его способностью считывать данные из различных ис-

точников и отслеживать корректность сведений с помощью визуальных окон. Более сложные сценарии использования, затрагивающие не только атрибутивную наполненность модели, но и физическое расположение элементов в модели не рассматривались ввиду потенциально высокой алгоритмической сложности и отсутствия типизации проверки для различных моделей.

Таким образом, для успешной реализации сложных сценариев использования ИМ необходима разработка строгих требований информационного моделирования. Этот подход гарантирует создание качественных моделей, способных эффективно поддерживать разнообразные сценарии использования и обеспечивать высокий уровень аналитической достоверности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Dahake Prof.H., Hasan Sheikh S.H.A.* BIM Data Analysis and Visualization Workflow // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2023. Vol. 11. Issue 5. Pp. 2806–2810. DOI: 10.22214/ijraset.2023.52159
2. *Correa F.* Is BIM big enough to take advantage of big data analytics? // Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (IAARC). 2015. DOI: 10.22260/isarc2015/0019
3. *García V.V., Cos-Gayón F.L., Palmero L.I.* Optimization of facility management through the implementation of BIM in existing buildings // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2020. № 1 (37). С. 43–56. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.01.04. EDN UVMSHE.
4. *Salzano A., Parisi C.M., Acampa G., Nicoletta M.* Existing Assets Maintenance Management: Optimizing Maintenance Procedures and Costs through BIM Tools // Automation in Construction. 2023. Vol. 149. P. 104788. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104788
5. *Топорова С.Ю.* Основные принципы организации работы и управления данными с учетом использования BIM-технологий // Студенчество России: век XXI : мат. VIII Всеросс. мол. науч.-практ. конф. 2022. С. 303–312. EDN CUSUDC.
6. *Hu Y., Li J., Han X., Yuan J.* Development Based on Unity3D Virtual Campus Roaming System // E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 53. P. 03047. DOI: 10.1051/e3sconf/20185303047
7. *Su T., Li H., An Y.* A BIM and machine learning integration framework for automated property valuation // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 44. P. 102636. DOI: 10.1016/j.job.2021.102636
8. *Амелин П.Б., Амелина А.В.* Возможность использования BIM при проведении экспертизы // Неделя науки СПбПУ : мат. науч. конф. с междунар. участием. 2019. С. 175–177. EDN RVUDVR.
9. *Makisha E.* Classification of Types of Verification for Building Information Models // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). 2019. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934092
10. *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 : мат. VI Междунар. науч.-практ. конф. 2023. С. 187–195. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.026. EDN ZWDYOQ.
11. *Yin M., Tang L., Webster C., Xu S., Li X., Ying H.* An ontology-aided, natural language-based approach for multi-constraint BIM model querying // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 76. P. 107066. DOI: 10.1016/j.job.2023.107066
12. *Gomes A.M., Azevedo G., Sampaio A.Z., Lite A.S.* BIM in structural project: Interoperability analyses and data management // Applied Sciences. 2023. Vol. 12. Issue 17. P. 8814. DOI: 10.3390/app12178814
13. *Сулейманова Л.А., Рябчевский И.С.* Управление данными BIM-модели при оценке устойчивости жизненного цикла зданий // Университетская наука. 2023. № 1 (15). С. 117–119. EDN XMJYMV.
14. *Yang T., Xu J., Nie X.* Analysis of Data Exchange between BIM Design Software and Performance Analysis Software Based on Revit // Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2185. Issue 1. P. 012070. DOI: 10.1088/1742-6596/2185/1/012070
15. *Chen S., Zeng Y., Majdi A., Salameh A.A., Alkhalifah T., Alturise F. et al.* Potential features

of building information modelling for application of project management knowledge areas as advances modeling tools // *Advances in Engineering Software*. 2023. Vol. 176. P. 103372. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2022.103372

16. Акри Е.П., Буранова С.Е. Информационные системы моделирования и их применение на этапе эксплуатации зданий и сооружений // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре*. Строительство и строительные технологии : сб. ст. 79-й Всерос. науч.-техн. конф. 2022. С. 1156–1161. EDN EMOVDL.

17. Каллаур Г.Ю., Мякота Д.Г., Братченко С.О., Шарипов Р.А. Интеграция основных процессов управления строительными проектами в среде BIM // *Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании* : мат. XI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию юбилею кафедры и 114-летию РЭУ им. Г.В. Плеханова. 2021. С. 207–213. EDN SOJKTI.

18. Зотов А., Смирнов Д. Популярный информационный менеджмент в строительстве (ИМС). Часть 1. Основные принципы и концепции. М., 2023.

Поступила в редакцию 15 марта 2024 г.

Принята в доработанном виде 8 апреля 2024 г.

Одобрена для публикации 1 марта 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Вероника Сергеевна Широкова** — студентка Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; SPIN-код: 7742-3677, ORCID: 0000-0003-2075-1074; shirokova.vs@edu.spbstu.ru;

Марина Вячеславовна Петроченко — кандидат технических наук, доцент, исполняющая обязанности директора Инженерно-строительного Института, доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; SPIN-код: 6869-0011, Scopus: 56233437400, ORCID: 0000-0002-4865-5319; petrochenko_mv@spbstu.ru;

Егор Маркович Мелехин — аспирант, инженер Высшей школы промышленно-гражданского строительства, инженер учебной лаборатории «Механика грунтов»; **Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)**; 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29; SPIN-код: 7565-1881, ORCID: 0000-0002-6637-3059; melehin_em@spbstu.ru.

Вклад авторов:

Широкова В.С. — развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы, концепция исследования.

Петроченко М.В. — научное руководство, концепция исследования, научное редактирование текста.

Мелехин Е.М. — доработка текста, концепция исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Dahake Prof.H., Hasan Sheikh S.H.A. BIM Data Analysis and Visualization Workflow. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023; 11(5):2806-2810. DOI: 10.22214/ijraset.2023.52159

2. Correa F. Is BIM big enough to take advantage of big data analytics? *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (IAARC)*. 2015. DOI: 10.22260/isarc2015/0019

3. García V.V., Cos-gayon F.L., Palmero L.I. Optimization of facility management throught the implementation of bim in existing buildings. *PNRPU Bulletin. Urban development*. 2020; 1(37):43-56. DOI: 10.15593/2409-5125/2020.01.04. EDN UVMSHE.

4. Salzano A., Parisi C.M., Acampa G., Nicoletta M. Existing Assets Maintenance Management: Opti-

mizing Maintenance Procedures and Costs through BIM Tools. *Automation in Construction*. 2023; 149:104788. DOI: 10.1016/j.autcon.2023.104788

5. Toporova S.Yu. Basic principles of work organization and data management taking into account the use of BIM technologies. *Students of Russia: the XXI century : materials of the VIII All-Russian Youth Scientific and Practical Conference*. 2022; 303-312. EDN CUSUDC. (rus.).

6. Hu Y., Li J., Han X., Yuan J. Development Based on Unity3D Virtual Campus Roaming System. *E3S Web of Conferences*. 2018; 53:03047. DOI: 10.1051/e3sconf/20185303047

7. Su T., Li H., An Y. A BIM and machine learning integration framework for automated property valua-

tion. *Journal of Building Engineering*. 2021; 44:102636. DOI: 10.1016/j.job.2021.102636

8. Amelin P.B., Amelina A.V. Possibility of using BIM when conducting examination. *SPbPU Science Week : materials of a scientific conference with international participation*. 2019; 175-177. EDN RVUDVR. (rus.).

9. Makisha E. Classification of Types of Verification for Building Information Models. *2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon)*. 2019. DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934092

10. Semenov V.A., Arishin S.V., Tarlapan O.A. Verification and validation of IFC-driven building information models in complex projects. *BIM modeling in construction and architecture problems : materials VI International Scientific and Practical Conference*. 2023; 187-195. DOI: 10.23968/BIMAC.2023.026. EDN ZWDYQO. (rus.).

11. Yin M., Tang L., Webster C., Xu S., Li X., Ying H. An ontology-aided, natural language-based approach for multi-constraint BIM model querying. *Journal of Building Engineering*. 2023; 76:107066. DOI: 10.1016/j.job.2023.107066

12. Gomes A.M., Azevedo G., Sampaio A.Z., Lite A.S. BIM in structural project: Interoperability analyses and data management. *Applied Sciences*. 2023; 12(17):8814. DOI: 10.3390/app12178814

13. Suleymanova L.A., Ryabchevskiy I.S. BIM model data management in assessing the sustainability of the life cycle of buildings. *University Science*. 2023; 1(15):117-119. EDN XMJYMV. (rus.).

14. Yang T., Xu J., Nie X. Analysis of Data Exchange between BIM Design Software and Performance Analysis Software Based on Revit. *Journal of Physics: Conference Series*. 2022; 2185(1):012070. DOI: 10.1088/1742-6596/2185/1/012070

15. Chen S., Zeng Y., Majdi A., Salameh A.A., Alkhalifah T., Alturise F. et al. Potential features of building information modelling for application of project management knowledge areas as advances modeling tools. *Advances in Engineering Software*. 2023; 176:103372. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2022.103372

16. Acri E.P., Buranova S.E. Information modeling systems and their application at the stage of operation of buildings and structures. *Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and construction technologies : collection of articles of the 79th All-Russian Scientific and Technical Conference*. 2022; 1156-1161. EDN EMOVDL. (rus.).

17. Kallaur G.Y., Myakota D.G., Bratchenko S.O., Sharipov R.A. Integration of basic management processes and building information modeling (BIM) in project management. *Modern problems of project management in the investment and construction sector and environmental management : materials XI International Scientific and Practical Conference dedicated to the 25th anniversary of the department and the 114th anniversary of REU G.V. Plekhanov*. 2021; 207-213. EDN SOJKTI. (rus.).

18. Zotov A., Smirnov D. *Popular Information Management in Construction (IMS). Part 1. Basic principles and concepts*. Moscow, 2023. (rus.).

Received March 15, 2024.

Adopted in revised form on April 8, 2024.

Approved for publication on March 1, 2025.

BIONOTES: **Veronica S. Shirokova** — student of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction; **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**; 29 Politekhnikeskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation; SPIN-code: 7742-3677, ORCID: 0000-0003-2075-1074; shirokova.vs@edu.spbstu.ru;

Marina V. Petrochenko — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Director of the Civil Engineering Institute, Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction; **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**; 29 Politekhnikeskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation; SPIN-code: 6869-0011, Scopus: 56233437400, ORCID: 0000-0002-4865-5319; petrochenko_mv@spbstu.ru;

Egor M. Melekhin — postgraduate student, engineer of the Higher School of Industrial and Civil Engineering, engineer of the educational laboratory “Soil Mechanics”; **Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)**; 29 Politekhnikeskaya st., St. Petersburg, 195251, Russian Federation; SPIN-code: 7565-1881, ORCID: 0000-0002-6637-3059; melehin_em@spbstu.ru.

Contribution of the authors:

Veronica S. Shirokova — development of methodology, writing the original text, final conclusions, research concept.

Marina V. Petrochenko — scientific supervision, research concept, scientific editing of the text.

Egor M. Melekhin — text refinement, research concept.

The authors declare that they have no conflicts of interest.