

Научная статья

УДК 69.009.1

EDN: NYFJWU

DOI: 10.21285/2227-2917-2025-4-675-687



Коллизии в цифровой информационной модели строительного объекта на этапах проектирования и строительства и методика их выявления

А.К. Геворкян¹, С.А. Сербин², Н.И. Фомин³✉

^{1,2,3}Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты анализа термина «коллизия» в различных нормативных документах. Установлено отсутствие однозначного определения тех коллизий в цифровых информационных моделях объектов капитального строительства, которые оказывают негативное влияние на этап строительства при использовании таких моделей в качестве рабочей документации. Предложено определение коллизии в цифровой информационной модели – проектно-строительное пространственное пересечение элементов, негативно проявляющее себя на этапе строительства. В результате экспертного исследования определены критерии применимости цифровых информационных моделей объектов капитального строительства в качестве рабочей документации на этапе строительства, связанные с коллизиями – проектно-строительными пересечениями. Предложена авторская модель анализа дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна. Определено, что результативным инструментом для идентификации проектно-строительных пространственных пересечений элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства является матрица пересечений. Предложен алгоритм формирования матрицы пересечений для выявления коллизий в виде проектно-строительных пересечений элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства.

Ключевые слова: коллизия, цифровая информационная модель объекта капитального строительства, проектно-строительное пространственное пересечение элементов ЦИМ ОКС, дефект проектирования, дефект на этапе строительства, алгоритм формирования матрицы пересечений

Для цитирования: Геворкян А.К., Сербин С.А., Фомин Н.И. Коллизии в цифровой информационной модели строительного объекта на этапах проектирования и строительства и методика их выявления // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 4. С. 675–687. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-675-687>. EDN: NYFJWU.

Original article

Collisions in the digital information model of a construction object at the stages of design and construction and the methodology for their identification

Armen K. Gevorkyan¹, Sergey A. Serbin², Nikita I. Fomin³✉

^{1,2,3}Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The article presents the results of the analysis of the term "conflict" in various regulatory documents. It has been established that there is no unambiguous definition of those collisions in digital information models of capital construction facilities that have a negative impact on the construction stage when using such models as working documentation. The definition of a collision in a digital information model is proposed – a design and construction spatial intersection of elements that negatively manifests itself at the construction stage. As a result of the expert study, the criteria for the applicability of digital information models of capital construction facilities as working documentation at the construction stage related to design and construction collisions were determined. The author's model for analyzing defects

© Геворкян А.К., Сербин С.А., Фомин Н.И., 2025

Том 15 № 4 2025
с. 675–687
Vol. 15 No. 4 2025
pp. 675–687

Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость
Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate

ISSN 2227-2917
(print)
ISSN 2500-154X
(online)

675

that occur at the design and construction stages is proposed in the form of an Euler-Venn diagram. It is determined that the intersection matrix is an effective tool for identifying design and construction spatial intersections of elements of the digital information model of a capital construction facility. An algorithm for forming an intersection matrix is proposed to identify collisions in the form of design and construction intersections of elements of a digital information model of a capital construction facility.

Keywords: collision, building information model of a construction project, design and construction spatial intersection of building information model elements, design defect, construction defect, intersection matrix formation algorithm

For citation: Gevorkyan A.K., Serbin S.A., Fomin N.I. Collisions in the digital information model of a construction object at the stages of design and construction and the methodology for their identification. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2025;15(4):675-687. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-4-675-687>. EDN: NYFJWU.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день достаточное большое количество исследований посвящено проблеме анализа коллизий в строительстве [1, 2]. Многие авторы указывают на то, что своевременное устранение коллизий на этапе проектирования позволяет уменьшить сроки и стоимость строительства [3–5]. На рынке представлен ряд программных комплексов, таких как Tangl Control, Autodesk Navisworks, Pilot-BIM, Rubius, Larix, BIMIT [6, 7], которые позволяют не только обнаруживать коллизии, но также обеспечить автоматический контроль их исправления при использовании технологий информационного моделирования.

Вместе с этим, отдельные авторы в своих исследованиях задаются вопросом: все ли коллизии необходимо устранять? Так, например, в [8] освещается вопрос: насколько строгой должна быть ошибка, чтобы считать ее коллизией.

В [9] автор выявляет проблему существования лишних, то есть незначительных и отвлекающих внимание специалиста, выполняющего контроль качества цифровой информационной модели объекта капитального строительства (ЦИМ ОКС), коллизий.

Таким образом, существует объективная проблема идентификации наиболее значимых коллизий для их первоочередного устранения перед реализацией следующих этапов жизненного цикла строительного объекта.

Рассмотрим термин «коллизия», сложившийся в строительной практике. В действующем законодательстве представлено два определения:

– согласно п. 3.4 СП 301.1325800.2017 Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами: «Коллизия – это противоречие между двумя и более элементами цифровой информационной модели».

В примечании указано, что «...коллизии возникают в результате геометрических пересечений, нарушений допустимых расстояний между элементами, логических связей между элементами, нормируемых параметров и др.»;

– согласно п. 3.1.8 СП 333.1325800.2020 Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла «Коллизия – дефект, содержащийся в цифровой информационной модели и заключающийся в пространственном или ином пересечении двух или более элементов цифровой информационной модели». Далее в тексте используется понятие «коллизия» и «пространственная коллизия».

Столт отметить, что существует определенная содержательная несогласованность определений, которая заключается в том, что в одном определении под коллизией понимается дефект, а в другом – противоречие. Согласно нормативному определению ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения (с Изменением № 1) дефект – это каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям. При этом установлена градация дефектов. Они разделены на явный, скрытый, критический, значительный, малозначительный, устранимый и неустранимый дефект, что дает некоторую методическую основу для возможной классификации коллизий. Определение понятия «противоречие» в законодательных актах и специализированных стандартах отсутствует. Если рассмотреть данное понятие, данное в Толковом словаре современного русского языка Д.Н. Ушакова, то противоречие – это мысль или положение, несовместимое с другим, опровергающее другое, несогласованность в мыслях, высказываниях и поступках, нарушение логики или правды.

Таким образом, основное содержательное

отличие определений заключается в причине появления коллизии, рассматриваемой в соответствующем определении. Причина возникновения дефекта – допущение неточности, совершение ошибки человеком, т. е. причина носит субъективный характер, в то время как противоречие, напротив, имеет признаки объективного явления. Исходя из вышеизложенного следует отметить, что до настоящего времени не сложилось единого (унифицированного) термина «коллизия», а существующие определения и классификации описывают лишь часть явления. В связи с этим, исследователи в своих работах интерпретируют коллизию достаточно индивидуально, часто пользуясь собственной (авторской) классификацией.

Например, в работе [10] используется термин «интеллектуальная коллизия», при этом предлагаемый термин не раскрывается, автор статьи [11] использует понятие «строительная коллизия», также не давая пояснение, что он под ней понимает.

Следует отметить, что во многих исследованиях, например, в [12, 13], анализ коллизий сводится к тому, что их выявление и устранение в цифровой информационной модели объекта капитального строительства на этапе проектирования осуществляется с единственной целью обеспечения возможности применения такой модели на этапе строительства.

В связи с этим, в данной работе коллизия рассмотрена как связующий элемент между этапами жизненного цикла объекта капитального строительства (проектирования и строительства), влияющий на их успешную реализацию.

Из-за отсутствия однозначного определения отсутствуют четкие критерии нахождения коллизий для технологической возможности последующего устранения. Это приводит к неоднозначности процесса сортировки после их выявления, а процесс устранения (исправления) в результате становится неэффективным. Следовательно, термин «коллизия» имеет достаточно сложную структуру, рассмотреть которую в полном объеме в рамках одной статьи не представляется возможным.

В связи с этим, авторы настоящего исследования, основываясь на значительном количестве работ [14–17], в которых коллизиями называются пространственные пересечения элементов ЦИМ ОКС, приняли решение рассматривать коллизии как геометрические пересечения, и задались целью предложить алгоритм отбора коллизий в виде пространственных пересечений элементов ЦИМ ОКС, наличие которых может привести к появлению негативных последствий на этапе строительства,

выраженных в проявлении дефектов проектирования или неточностей расчета объемов работ.

Для достижения цели был сформулирован ряд последовательных задач:

1. Предложить авторское определение «проектно-строительное пространственное пересечение элементов ЦИМ ОКС».

2. Методом экспертной оценки установить критерии применимости ЦИМ ОКС стадии рабочей документации на этапе строительства.

3. Описать модель дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна.

4. Предложить алгоритм отбора коллизий в виде пространственных пересечений элементов ЦИМ ОКС, наличие которых оказывает влияние на этап строительства, основываясь на критериях возможности применения ЦИМ ОКС в качестве рабочей документации.

МЕТОДЫ

В работе предлагается авторское определение коллизии, которое не обусловлено природой ее появления, но связано только с наличием пространственного пересечения элементов ЦИМ ОКС и его негативным влиянием на этапе строительства.

Проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС – это дефект или противоречие, содержащееся в ЦИМ ОКС, возникшее в результате пространственного пересечения геометрии двух или более элементов ЦИМ ОКС, в том числе из-за нарушений допустимых расстояний между элементами на этапе проектирования, которое приводит на этапе строительства к проявлению дефектов проектирования или неточностям расчета объемов работ.

Авторами был выполнен опрос 50 высококвалифицированных специалистов строительной отрасли Свердловской области: 27 – ведущие специалисты организаций технического заказчика, 10 – сотрудники организаций государственной экспертизы (аттестованные эксперты и руководители отделов), 13 – ведущие специалисты (в том числе главные конструкторы и архитекторы) крупных проектных организаций. В экспертном исследовании также приняли участие специалисты отделов технологий информационного моделирования.

По итогам проведения экспериментального исследования и обработки его результатов, были выделены два основных критерия применимости ЦИМ ОКС в качестве рабочей документации на этапе строительства:

1. Отсутствие дефектов, появляющихся и проявляющихся на этапах проектирования и строительства, вследствие наличия проектных ошибок в ЦИМ ОКС. Пример такого дефекта:

реализуемое в ЦИМ, но недопустимое на практике пересечение труб отопительной системы, расположенных в толще стяжки перекрытия. На этапе строительства такое пересечение приведет к необходимости увеличения толщины стяжки для возможности корректного монтажа сетей, а значит к изменению решений в рабочей документации.

2. Возможность получения корректных объемов работ и материалов из ЦИМ ОКС. При использовании в качестве рабочей документации ЦИМ ОКС, модель объекта является базой для автоматического формирования объемов работ и материалов, которые необходимы для составления ведомости договорной цены. Эта ведомость используется для разработки детализированных графиков производства работ, графиков потребности строительства в материалах и иных ресурсах.

Следовательно, некорректные величины объемов, полученных из ЦИМ ОКС, оказывают негативное влияние на успешность реализации этапа строительства. Рассмотрим ситуацию, описанную выше, увеличение толщины выравнивающей стяжки, приведет к увеличению продолжительности работ, к изменению графиков потребности в ресурсах, а значит создаст необходимость корректировки строительных процессов. Для анализа причин появления дефектов на этапе строительства авторами был рассмотрен «Классификатор основных видов дефектов строительстве и промышленности строительных материалов» [18]. Это позволило выявить дефекты, которые зависят от наличия проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС и могут быть устранены на этапе проектирования для разделов [19], соответствующих различным видам несущих конструкций: устройство монолитных конструкций, монтаж сборных конструкций, монтаж стальных конструкций, каменная кладка и устройство стеновых ограждающих конструкций.

Всего было выделено три группы дефектов в зависимости от причины их появления:

1. Дефекты, не вызванные ЦИМ ОКС. Причиной такого дефекта не может быть ЦИМ ОКС, используемая в качестве рабочей документации. Как правило, такой дефект появляется вследствие нарушения технологии выполнения строительных работ. Например, п. 46 [19]: нарушение правил зимнего бетонирования. 2. Дефекты, вызванные ЦИМ ОКС (проектно-строительное пересечение элементов).

Возможной причиной появления таких дефектов могут быть не только пересечения элементов, но и нарушение допустимых расстояний между элементами. Например, п. 43. [19]: стыковые соединения стержней, сеток и каркасов выполняются с нарушением нормативных требований.

При появлении смещений элементов и недопустимых пересечений, соединения могут быть представлены в нереализуемом виде (один стержень внутри другого), что приведет к проявлению дефекта на этапе строительства.

3. Дефекты, вызванные ЦИМ ОКС (негеометрические характеристики элементов). Например, п. 41 [19]: несоответствие параметров прочности, морозостойкости, плотности, водонепроницаемости, деформативности и других показателей бетона проекту и нормам. Данный дефект может появится вследствие неверно заполненного параметра ЦИМ ОКС (неверного заполнения атрибутов элемента), при этом наличие пересечений и геометрическое положение элементов ЦИМ ОКС не влияют на его появление.

Для каждого из анализируемых разделов было рассчитано количество и процентное содержание дефектов, принадлежащих к каждой группе, по формуле (1),

$$P = \frac{A}{B} \cdot 100 \% \quad (1),$$

где A – количество дефектов в данном разделе строительно-монтажных работ по [19], B – общее количество дефектов в данном разделе строительно-монтажных работ по [19]. Результаты представлено в таблице.

Исходя из данных таблицы, можно отметить, что общее количество дефектов, которые вызваны ЦИМ ОКС, формируемой на этапе проектирования, составляет более 50 %. Отсюда следует, что половина дефектов, проявляющихся на этапе строительства, формируется в ЦИМ ОКС и может быть устранена на этапе проектирования.

При анализе несущих конструкций наблюдается прямая зависимость объема дефектов, возникающих при монтажных работах (для стальных конструкций – 71 %, для сборных конструкций – 54 %), от наличия проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС.

В качестве гипотезы для последующего анализа и разработки методики было положено следующее утверждение: каждый дефект, появляющийся на этапе проектирования, может быть обнаружен, если будет опреде-

лена методика поиска и отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС. ЦИМ ОКС, созданная на этапе разработки проектной документации, влияет на распределение ресурсов в процессе строительства, поскольку на основании объемов работ и материалов, полученных из нее, осуществляется формирование ведомости договорной цены (для

коммерческих ОКС) или локальных смет (для ОКС, финансируемых из государственного бюджета), которые являются основой для разработки графика производства работ, планирования распределения ресурсов и материалов. Верное распределение ресурсов на этапе строительства влияет на срок и стоимость реализации строительного проекта.

Распределение дефектов по разделам строительно-монтажных работ
Distribution of defects by sections of construction and installation works

Наименования разделов строительно-монтажных работ по классификатору строительных дефектов	Количество / процентное содержание (шт. / %) дефектов, относящихся к разделу классификатора строительных дефектов			
	Дефекты, не вызванные ЦИМ ОКС	Дефекты, вызванные ЦИМ ОКС		
		Проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ	Негеометрические характеристики элементов ЦИМ	Общее количество
Устройство монолитных конструкций	6 / 40 %	6 / 40 %	3 / 20 %	9 / 60 %
Монтаж сборных конструкций	8 / 31 %	14 / 54 %	4 / 15 %	18 / 69 %
Монтаж ограждающих стеновых конструкций	8 / 47 %	4 / 24 %	5 / 29 %	9 / 53 %
Монтаж стальных конструкций	6 / 29 %	15 / 71 %	0 / 0	15 / 71 %
Каменная кладка	8 / 42 %	5 / 26 %	6 / 32 %	11 / 58 %

Наличие проектно-строительного пересечения элементов ЦИМ ОКС может говорить о том, что в одной области пространства ЦИМ ОКС размещено два элемента, каждый из которых занимает позицию в ведомости договорной цены или локальной смете [20].

Таким образом, область пересечения двух или более элементов ЦИМ ОКС учитывает свой объем минимум дважды, а значит каждое пересечение элементов ЦИМ ОКС приводит к увеличению погрешности расчета объемов, получаемых из ЦИМ ОКС.

Основным методом контроля такой погрешности является допуск, указанный в матрице пересечений, которая формируется в задании на разработку ЦИМ ОКС.

Таким образом, наличие проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС может быть как причиной проявления дефектов

на этапе строительства, так и являться причиной получения неправильной ведомости договорной цены. Следовательно, разработка корректной методики отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС может производиться на основании обоих критериев применимости. В качестве инструмента такого отбора авторы рассматривают матрицу пересечений, содержащую корректные допуски, на основании которых можно выявлять наличие проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Руководствуясь полученными промежуточными результатами, а также исследованиями [21–29], авторами была сформирована модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, которая представлена в виде диаграммы Эйлера-

Венна (рис. 1). Множество A – множество дефектов, появляющихся на этапе проектирования, дефекты включают в себя пересечения элементов ЦИМ ОКС, которые могут быть отфильтрованы по требованиям матрицы пересечений (область 2 и 5), а также дефекты, не имеющие отношения к пересечениям элементов ЦИМ ОКС (область 1 и 4). Множество B – множество пересечений элементов ЦИМ ОКС, область 3 включает в себя пересечения, кото-

рые не являются проектно-строительными пересечениями элементов ЦИМ ОКС по требованиям матрицы пересечений, они не приводят к появлению дефектов на этапе проектирования и строительства. Множество C – множество дефектов, которые проявились на этапе строительства. Областью 7 обозначены дефекты, возникновение которых не связано с этапом проектирования, эту область можно отнести к столбцу 2 таблицы.

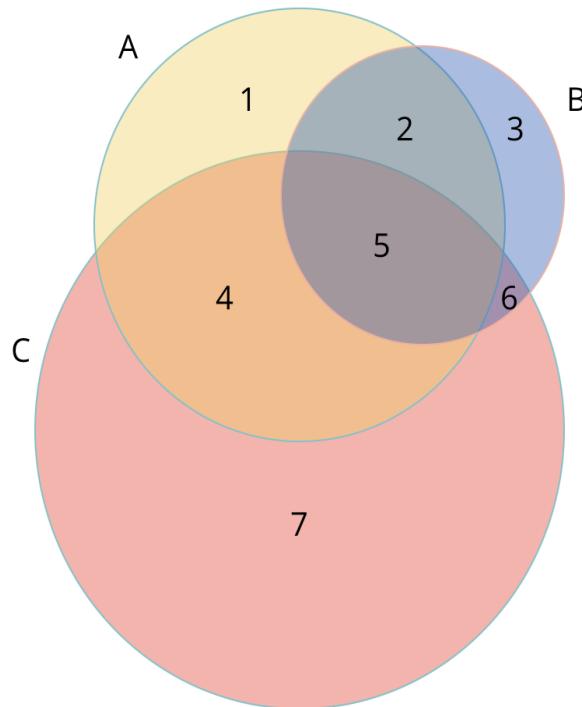


Рис. 1. Модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна

Fig. 1. Model of sets of defects arising at the design and construction stages in the form of an Euler-Venn diagram

Областями 4 и 5 обозначены множества дефектов, появляющихся на этапе проектирования и проявляющихся на этапе строительства, при этом области 4 соответствует столбец 4 таблицы. Область 5 обозначает множество проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС, что соответствует столбцу 3. Область 2 обозначает геометрические пересечения, которые отфильтрованы по требованиям матрицы пересечений, но не приводят к дефектам на этапе строительства. Область 6 обозначает множество пересечений элементов ЦИМ ОКС, в результате которых возможно возникновение строительных дефектов, при этом в процессе проектирования такие коллизии не являлись дефектом в соответствии с требованиями матрицы пересечений.

Возникновение таких ситуаций возможно

при применении проектной организацией неверной матрицы пересечений. Поскольку на сегодняшний день в законодательстве отсутствуют единые требования к матрице пересечений, организации устанавливают ее самостоятельно.

Следует отметить, что заказчик выступает основным бенефициаром возможностей ЦИМ ОКС, а значит формирует структуру и содержание требований к ЦИМ ОКС, включающие матрицу пересечений.

В настоящем исследования авторы основывались на суждении, что требования, содержащиеся в матрице пересечений, позволяют однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства.

Следовательно, матрица сформирована таким образом, что любое пересечение, упомянутое в ней, является дефектом проектирования и будет приводить к проявлению дефекта на этапе строительства, а любое пересечение, не упомянутое в ней, не приведет к проявлению дефекта на этапе строительства. При таком подходе области 2 и 6 из дальнейшего анализа можно исключить. Уточненная модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, представлена на рис. 2. По итоговой модели дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-

Венна, можно заключить, что область 5 – исключаемая область, которая обозначает множество проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС. Формирование алгоритма отбора коллизий в виде пространственных пересечений элементов ЦИМ ОКС, наличие которых оказывает влияние на этап строительства, основывается на выполнении следующего условия – все пересечения, отфильтрованные с помощью матрицы пересечений, могут привести к проявлению дефекта на этапе строительства или к некорректному значению объемов работ, полученных из ЦИМ ОКС (причина исключения множеств 2 и 6).

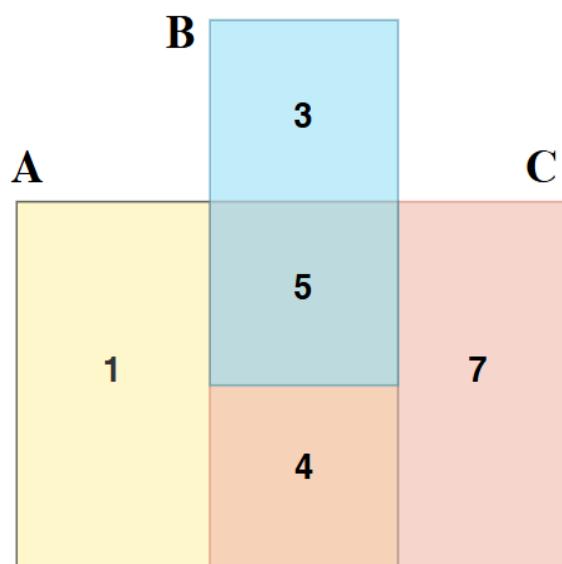


Рис. 2. Модель дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна после корректировки (исключение областей 2 и 6)

Fig. 2. Model of defects arising at the design and construction stages, in the form of an Euler-Venn diagram after adjustment (excluding areas 2 and 6)

Основываясь на введенном определении проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС и критериях применимости ЦИМ ОКС в качестве рабочей документации на этапе строительства, а также на сформированной и откорректированной модели множества дефектов, было установлено следующее:

- проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС приводит к проявлению дефекта на этапе строительства (исключаются области 1 и 3);

- проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС появляется и может быть выявлено на этапе проектирования (исключается область 7);

- проектно-строительное пересечение элементов ЦИМ ОКС является расположением части геометрических тел двух и более элементов в одной точке пространства (исключается

область 4).

Таким образом, сформулировано три необходимых и достаточных критерия отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС.

Следует отметить, что основным инструментом отбора является матрица пересечений, которая является условием выявления пересечений, которые либо приводят к проявлению дефекта на этапе строительства, либо некорректному значению объемов работ, получаемых из ЦИМ ОКС.

На основании представленного анализа, авторами был разработан алгоритм формирования матрицы пересечений, позволяющий однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства (рис. 3).

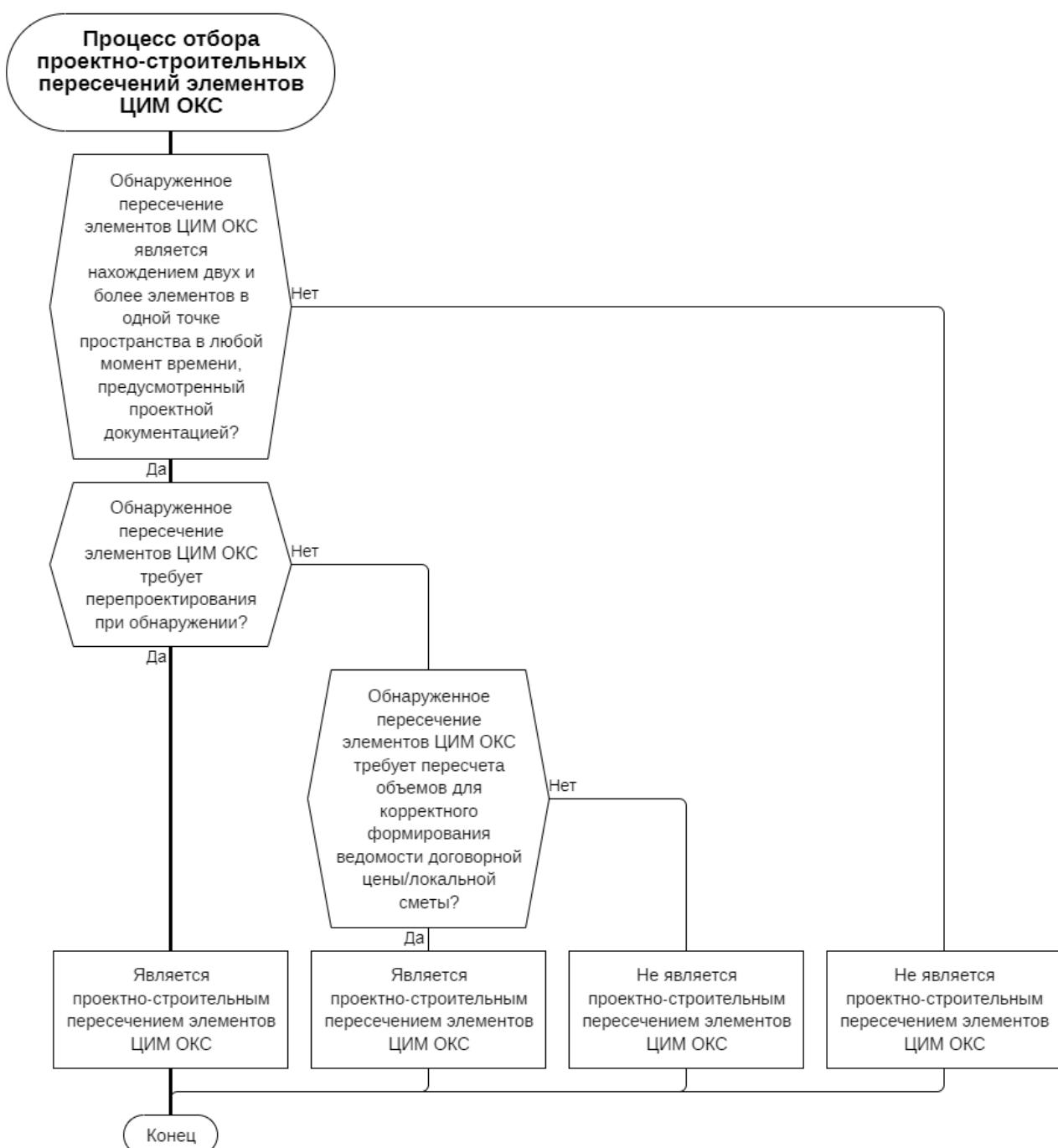


Рис. 3. Алгоритм формирования матрицы пересечений для выявления коллизий в виде проектно-строительных пересечений элементов цифровой информационной модели объекта капитального строительства

Fig. 3. Algorithm for forming an intersection matrix to identify collisions in the form of design and construction intersections of elements of a digital information model of a capital construction facility

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного авторами исследования термина «коллизия» в существующей нормативной базе было установлено, что на сегодняшний день существует содержательное различие в терминологии, а также отсутствует единый термин. Все это оказывает

влияние на этап строительства, вследствие чего не определены четкие критерии выявления коллизий для технологической возможности последующего устранения. Для устранения выявленной проблемы предложено авторское определение «проектно-строительное пространственное пересечение элементов ЦИМ

ОКС», необусловленное природой его появления, но имеющее практический критерий.

В результате проведенного исследования были выявлены критерии применимости ЦИМ ОКС на стадии рабочей документации на этапе строительства – отсутствие дефектов, появляющихся и проявляющихся на этапах проектирования и строительства, вследствие наличия проектных ошибок в ЦИМ ОКС, возможность получения корректных объемов работ и материалов из ЦИМ ОКС.

Применяя полученные критерии при анализе дефектов для различных разделов строительно-монтажных работ, включающих возведение несущих конструкций, авторы установили, что общее количество дефектов, которые вызваны ЦИМ ОКС, формируемой на этапе проектирования, составляет более 50 % дефектов, проявляющихся на этапе строительства.

Также авторами была описана модель множеств дефектов, возникающих на этапах проектирования и строительства, в виде диаграммы Эйлера-Венна. Было установлено, что основным инструментом для идентификации проектно-строительных пространственных пе-

ресечений элементов ЦИМ ОКС является матрица пересечений, позволяющая однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства.

Авторы описали алгоритм формирования матрицы пересечений, позволяющей однозначно выявлять пересечения, которые можно считать дефектами проектирования и которые приводят к проявлению дефектов на этапе строительства, который можно применять для дальнейших исследований пересечений элементов ЦИМ ОКС, негативно влияющих на этап строительства.

Основываясь на сформулированных авторами трех необходимых и достаточных критериях отбора проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС и на описанном алгоритме формирования матрицы пересечений для выявления коллизий в виде проектно-строительных пересечений элементов ЦИМ ОКС, можно детализировать алгоритм до отдельных строительно-монтажных работ и описать процесс формирования правил матрицы пересечений и допусков к ней.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Червова Н.А., Лепешкина Д.О. Инструменты поиска коллизий инженерных систем при работе в BIM-платформах // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2018. С. 22–29. EDN: XONKXJ.
2. Лоткин В.С. Анализ технологий проверки коллизий информационной модели в строительстве // Строительство – формирование среды жизнедеятельности. Сб. материалов семинара молодых ученых XXV Междунар. науч. конф. (г. Москва, 20–22 апреля 2022 г.). М., 2022. С. 109–114. EDN: XNISSV.
3. Захарова Е.К., Зверев Д.С. Анализ эффективности применения информационного моделирования в организации и управлении строительством // Управление проектами. Материалы Всеросс. молодежной конф. (г. Санкт-Петербург, 19 апреля 2018 г.). СПб., 2018. С. 40–44. EDN: UWYVKC.
4. Боков С.С., Баркин А.О., Илларионова Л.А. Использование ТИМ для обнаружения коллизий при проектировании фундаментов в существующей застройке // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. Межвузовский сборник научных трудов. М.: Изд-во Российского университета транспорта (МИИТ), 2023. С. 339–346. EDN: AGHEEH.
5. Мухаметзянова А.Г., Халилов А.Ф., Цепов Ю.А. Оценка стоимости строительства на основе технологии информационного моделирования // Вестник технического университета. 2025. Т. 28. № 9. С. 93–101. https://doi.org/10.55421/3034-4689_2025_28_9_93. EDN: FBBEGY.
6. Приходько А.В. Анализ практики применения ТИМ в жилищном строительстве в Москве // Наука, технологии, общество – НТО-II-2022. Сб. научных статей по материалам II Всеросс. науч. конф. (г. Красноярск, 28–30 июля 2022 г.). Красноярск, 2022. С. 183–187. <https://doi.org/10.47813/nto.2.2022.5.183-187>. EDN: SRUFNU.
7. Панькин М.И. Анализ методов и систем автоматизации проектирования в строительстве // Магистерские чтения. Сборник статей участников регионального научно-практического семинара. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно строительный университет, 2024. С. 114–125. EDN: FTAQVE.
8. Реммельг Я.А., Шиянов М.А., Кучеренко А.С. Автоматизированные проверки на коллизии в программе Pilot-BIM // Образование. Наука. Производство. Сб. докладов XIV Междунар. молодежного форума (г. Белгород, 13–14 октября 2022 г.). Белгород, 2022. С. 223–227. EDN: JEUFWA.
9. Захарова Ю., Шишкина М. Автоматические проверки на коллизии в Pilot-BIM // САПР и графика. 2021. № 6. С. 30–36. EDN: NQPPDK.
10. Алиева Д.Н. Разработка алгоритма поиска коллизий при построении BIM-модели // Строительство

- формирование среды жизнедеятельности. XXI Международная научная конференция: сборник материалов семинара «Молодежные инновации» (г. Москва, 25–27 апреля 2018 г.). М., 2018. С. 8–10. EDN: USLUBL.
11. Мошка И.Н. Инжиниринг – инструмент повышения рентабельности // Жилищное строительство. 2017. № 3. С. 68–70. EDN: YHZFET.
12. Bitaraf I., Salimpour A., Elmi P., Shirzadi Javid A.A. Improved Building Information Modeling Based Method for Prioritizing Clash Detection in the Building Construction Design Phase // Buildings. 2024. Vol. 14. Iss. 11. P. 1–19. <https://doi.org/10.3390/buildings14113611>.
13. Фомин Н.И., Серёгина Н.Ю., Сербин Н.А. Разработка структуры требований к цифровым информационным моделям объектов капитального строительства на основе показателей качества // Строительное производство. 2024. № 1. С. 36–45. https://doi.org/10.54950/26585340_2024_1_36. EDN: BAWJCB.
14. Ершов И.С. Исследование эффективности поиска коллизий в геометрических моделях при разных способах представления объектов // Межвузовская науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых специалистов имени Е.В. Арменского (г. Москва, 09–16 апреля 2024 г.). М., 2024. С. 68–71. EDN: ISAQRM.
15. Махутова В.Э., Ященко В.П. Реконструкция объектов культурного наследия с использованием BIM-технологий // Молодежный вестник ИрГТУ. 2023. Т. 13. № 4. С. 613–618. EDN: TMKPWT.
16. Червова Н. А., Лепешкина Д.О. Инструменты поиска коллизий инженерных систем при работе в BIM-платформах // Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки. Электронный сборник статей по материалам LXIV студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: Ассоциация научных сотрудников «Сибирская академическая книга», 2018. С. 22–29. EDN: XONKXJ.
17. Казанов А.Н. Современный контроль качества строительства при реконструкции // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2023. № 1. С. 477–483. EDN: HSRFOQ.
18. Варламов И.П. Автоматизация поиска и устранения коллизий между инженерными системами и архитектурными элементами при информационном моделировании строительных объектов // Дни студенческой науки. Сб. докладов науч.-техн. конф. по итогам науч.-исследов. работ студентов института цифровых технологий и моделирования в строительстве НИУ МГСУ (г. Москва, 27 февраля – 03 марта 2023 г.). М., 2023. С. 244–247. EDN: DJGYQT.
19. Ерофеев В.Т., Пикскойна А.А., Булгаков А.Г., Ермолаев В.В. Цифровизация в строительстве, как эффективный инструмент современного развития отрасли // Эксперт: теория и практика. 2021. № 3. С. 9–14. https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9. EDN: LJDPKJ.
20. Козленко Т.А., Придвижкин С.В. BIM и VR: разработка программного модуля для интеграции информационного моделирования зданий и виртуальной реальности // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2021. Т. 18. № 4. С. 440–449. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>. EDN: HBRRUH.
21. 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. С. 1682–1637. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637>. EDN: JPXXGN.
22. Asif M., Naeem G., Khalid M. Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential, and Challenges // Journal of Cleaner Production. 2024. Vol. 450. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141814>.
23. Musarat M.A., Alaloul W.S., Zainuddin S.M.B., Qureshi A.H., Maqsoom A. Digitalization in Malaysian Construction Industry: Awareness, Challenges and Opportunities // Results in Engineering. 2024. Vol. 21. P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102013>.
24. Степанов А.В., Матвеева М.В., Пешкова Е.С. Цифровизация строительной отрасли: перспективы и вызовы // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 2. С. 356–366. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHKT.
25. Дмитриева Т.Л., Ященко 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://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-252-261>. EDN: JVYJYQ.
26. Panya D.S., Taehoon Kim, Seungyeon Choo An Interactive Design Change Methodology Using a BIM-Based Virtual Reality and Augmented Reality // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 68. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106030>.
27. Tzu-Yi Chuang, Min-Jung Yang Change Component Identification of BIM Models for Facility Management Based On Time-Variant BIMs or Point Clouds // Automation in Construction. 2023. Vol. 147. P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
28. 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. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.

29. Yi Shi, Jiuping Xu BIM-Based Information System for Econo-Enviro-Friendly End-Of-Life Disposal of Construction and Demolition Waste // Automation in Construction. 2021. Vol. 125. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>.

REFERENCES

1. Chervova N.A., Lepeshkina D.O. Tools for Detecting Collisions of Engineering Systems When Working in BIM Platforms. In: *Scientific Community of Students of the XXI Century. Technical Sciences*. Novosibirsk: Association of Scientific Employees Siberian Academic Book, 2018. P. 22–29. (In Russ.). EDN: XONKXJ.
2. Lotkin V.S. Analysis of Information Model Collision Checking Technologies in Construction. In: *Stroitelstvo – formirovanie sredy zhiznedeyatelnosti. Sbornik materialov seminara molodykh uchenykh XXV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii = Construction – Shaping the Living Environment. Proceedings of the Young Scientists' Seminar at the XXV International Scientific Conference*. 20–22 April 2022, Moscow. Moscow; 2022. P. 109–114. (In Russ.). EDN: XNISS.
3. Zakharova E.K., Zverev D.S. Analysis of Effectiveness of Application of Information Modeling in the Organization and Management of Construction. In: *Upravlenie proektami. Materialy Vserossiiskoi molodezhnoi konferentsii = Project Management. Proceedings of the All-Russian Youth Conference*. 19 April 2018, Saint Petersburg. Saint Petersburg; 2018. P. 40–44. (In Russ.). EDN: UWYVKC.
4. Bokov S.S., Barkin A.O., Illarionova L.A. Using TIM to Detect Clashes in Foundation Design for Existing Buildings. In: *Modern Problems of Improving Railway Transport Operations. Interuniversity Collection of Scientific Papers*. Moscow: Publishing House of the Russian University of Transport (MIIT), 2023. P. 339–346. (In Russ.). EDN: AGHEEH.
5. Mukhametzyanova A.G., Khalilov A.F., Tsepov Yu.A. Estimation of Construction Costs Based on Building Information Model. *Herald of Technological University*. 2025;28(9):93–101. (In Russ.). https://doi.org/10.5542/3034-4689_2025_28_9_93. EDN: FBBEGY.
6. Prikhodko A.V. Analysis of the Practice of Using Tim in Housing Construction in Moscow. In: *Nauka, tekhnologii, obshchestvo – NTO-II-2022. Sbornik nauchnykh statei po materialam II Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii = Science, Technology, and Society – NTS-II-2022. Collection of Scientific Articles Based on the Materials of the II All-Russian Scientific Conference*. 28–30 July 2022, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk; 2022. P. 183–187. (In Russ.). <https://doi.org/10.47813/nto.2.2022.5.183-187>. EDN: SRUFNU.
7. Pankin M.I. Analysis of Methods and Systems for Design Automation in Construction. In: *Master's Readings. Collection of Articles by Participants of the Regional Scientific and Practical Seminar*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2024. P. 114–125. (In Russ.). EDN: FTAQVE.
8. Remmeli Ya.A., Shiyanov M.A., Kucherenko A.S. Automated Clash Checks in the Pilot-BIM Program. In: *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo. Sbornik dokladov XIV Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma = Education. Science. Production. Collection of Reports of the XIV International Youth Forum*. 13–14 October 2022, Belgorod. Belgorod; 2022. P. 223–227. (In Russ.). EDN: JEUFWA.
9. Zakharova Yu., Shishkina M. Automatic Clash Checks in Pilot-BIM. *SAPR i grafika*. 2021;6:30–36. (In Russ.). EDN: NQPPDK.
10. Alieva D.N. Development of an Algorithm for Detecting Clashes in Building a BIM Model. In: *Stroitelstvo – formirovanie sredy zhiznedeyatelnosti. XXI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya: sbornik materialov seminara «Molodezhnye innovatsii» = Construction – Formation of the Living Environment. XXI International Scientific Conference: Proceedings of the Seminar Youth Innovations*. 25–27 April 2018, Moscow. Moscow; 2018. P. 8–10. (In Russ.). EDN: USLUBL.
11. Moshka I.N. Engineering is an Instrument of Rise in Profitability. *Housing Construction*. 2017;3:68–70. (In Russ.). EDN: YHZFET.
12. Bitaraf I., Salimpour A., Elmi P., Shirzadi Javid A.A. Improved Building Information Modeling Based Method for Prioritizing Clash Detection in the Building Construction Design Phase. *Buildings*. 2024;14(11):1–19. <https://doi.org/10.3390/buildings14113611>.
13. Fomin N.I., Seregina N.Yu., Serbin S.A. Development of a Requirements Structure for Building Information Models of Capital Construction Assets Based on Quality Indicators. *Construction Production*. 2024;1:36–45. (In Russ.). https://doi.org/10.54950/26585340_2024_1_36. EDN: BAWJCB.
14. Ershov I.S. Study of the Efficiency of Collision Detection in Geometric Models with Different Methods of Representing Objects. In: *Mezhvuzovskaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh spetsialistov imeni E.V. Armenskogo = Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates and Young Specialists Named after E.V. Armensky*. 09–16 April 2024, Moscow. Moscow; 2024. P. 68–71. (In Russ.). EDN: ISAQRM.

15. Makhutova V.E., Yashchenko V.P. Reconstruction of Cultural Heritage Sites Using BIM Technologies. *Young Researchers' Journal of ISTU.* 2023;13(4):613-618. (In Russ.). EDN: TMKPWT.
16. Chervova N. A., Lepeshkina D.O. Tools for Finding Collisions in Engineering Systems When Working in BIM Platforms. In: *Scientific Community of Students of the 21st Century. Technical Sciences. Electronic Collection of Articles Based on the Materials of the LXIV Student International Scientific and Practical Conference.* Novosibirsk: Association of Researchers Siberian Academic Book, 2018. P. 22–29. (In Russ.). EDN: XONKXJ.
17. Kazanov A.N. Modern Quality Control of Construction during Reconstruction. *Skif. Voprosy studencheskoi nauki.* 2023;1:477-483. (In Russ.). EDN: HSRFOQ.
18. Varlamov I.P. Automation of Searching and Eliminating Collisions between Engineering Systems and Architectural Elements in the Information Modeling of Construction Objects. In: *Dni studencheskoi nauki. Sbornik dokladov nauchno-tehnicheskoi konferentsii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot studentov instituta tsifrovых tekhnologii i modelirovaniya v stroitelstve NIU MGSU = Days of Student Science. Collection of Reports of the Scientific and Technical Conference on the Results of Research Work of Students of the Institute of Digital Technologies and Modeling in Construction of the NRU MGSU.* 27 February – 03 March 2023, Moscow. Moscow, 2023. P. 244–247. (In Russ.). EDN: DJGYQT.
19. Erofeev V.T., Piksaykina A.A., Bulgakov A.G., Ermolaev V.V. Digitalization in Construction as an Effective Tool for Modern Development of the Industry. *Expert: Theory and Practice.* 2021;3:9-14. (In Russ.). https://doi.org/10.51608/26867818_2021_3_9. EDN: LJDPKJ.
20. Kozlenko T.A., Pridvizhkin S.V. BIM and VR: Development of A Software Module for the Integration of Building Information Modelling and Virtual Reality. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal.* 2021;18(4):440-449. (In Russ.). <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-4-440-449>. EDN: HBRRUH.
21. Karakozova I.V., Malykha G.G., Kulikova E.N., Pavlov A.S., Panin A.S. Organizational Support of BIM-Technologies. *Monthly Journal on Construction and Architecture.* 2019;14(12):1682-1637. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2019.12.1628-1637>. EDN: JPXXGN.
22. Asif M., Naeem G., Khalid M. Digitalization for Sustainable Buildings: Technologies, Applications, Potential, and Challenges. *Journal of Cleaner Production.* 2024;450:1-19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141814>.
23. Musarat M.A., Alaloul W.S., Zainuddin S.M.B., Qureshi A.H., Maqsoom A. Digitalization in Malaysian Construction Industry: Awareness, Challenges and Opportunities. *Results in Engineering.* 2024;21:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102013>.
24. Stepanov A.V., Matveeva M.V., Peshkova E.S. Digitalization of the Construction Industry: Prospects and Challenges. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(2):356-366. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-2-356-366>. EDN: SJHHKT.
25. Dmitrieva T.L., Yashchenko V.P., Kuryshov I.A. BIM as A Means of End-To-End Design, Construction, and Operation. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(2):252-261. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-252-261>. EDN: JVYJYQ.
26. Panya D.S., Taehoon Kim, Seungyeon Choo An Interactive Design Change Methodology Using a BIM-Based Virtual Reality and Augmented Reality. *Journal of Building Engineering.* 2023;68:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106030>.
27. Tzu-Yi Chuang, Min-Jung Yang Change Component Identification of BIM Models for Facility Management Based On Time-Variant BIMs or Point Clouds. *Automation in Construction.* 2023;147:1-14. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104731>.
28. Condotta M., Scanagatta C. BIM-Based Method to Inform Operation and Maintenance Phases through a Simplified Procedure. *Journal of Building Engineering.* 2023;65:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105730>.
29. Yi Shi, Jiuping Xu BIM-Based Information System for Econo-Enviro-Friendly End-Of-Life Disposal of Construction and Demolition Waste. *Automation in Construction.* 2021;125:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103611>.

Информация об авторах

Геворкян Армен Карапетович,
магистр,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Институт строительства и архитектуры,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия,
e-mail: Armengevorkyan94@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-5559-0071>

Information about the authors

Armen K. Gevorkyan,
Master's Degree,
Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin, Institute
of Civil Engineering and Architecture,
17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia,
e-mail: Armengevorkyan94@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0002-5559-0071>

Сербин Сергей Андреевич,

к.т.н., доцент,

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт строительства и архитектуры, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия, e-mail: s.serbin@egov66.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7795-1205>

Author ID: 1274294

Sergey A. Serbin,Cand. Sci (Eng.), Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Institute of Civil Engineering and Architecture, 17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia, e-mail: s.serbin@egov66.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7795-1205>

Author ID: 1274294

Фомин Никита Игоревич,к.т.н., доцент, заведующий кафедрой промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, директор института строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, Россия,
✉e-mail: ni.fomin@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>

Author ID: 241981

Nikita I. Fomin,Cand. Sci (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Industrial and Civil Engineering and Estate Expertise, Head of the Institute of Civil Engineering and Architecture, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 17 Mira St., Ekaterinburg 620002, Russia,
✉e-mail: ni.fomin@urfu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7095-7161>

Author ID: 241981

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 04.08.2025.
Одобрена после рецензирования 10.09.2025.
Принята к публикации 25.09.2025.

Information about the article

The article was submitted 04.08.2025.
Approved after reviewing 10.09.2025.
Accepted for publication 25.09.2025.