

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 41–55.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 41–55.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 721

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55

EDN: BPKGPA

НОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИРТУАЛЬНОГО ПАСПОРТА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Дмитрий Сергеевич Кулаков, Дмитрий Викторович Карелин

Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Представлены результаты анализа необходимости нормирования информационных параметров, получаемых из цифровой модели здания, на примере газовой котельной. В ходе работы выявлялись основные связующие параметры, проводилось сопоставление с действующими нормативными документами для определения необходимости паспортизации данных. Полученные результаты обобщались в единую информационную структуру для формулировки предложения по созданию виртуального паспорта здания.

Материалы и методы. Использование технологии информационного моделирования зданий предполагает паспортизацию объектов, созданных с помощью BIM.

В связи с этим определялись ключевые термины, методом терминологического анализа рассматривалась в первую очередь нормативно-правовая база действующих норм и правил в области информационного моделирования для выявления среди них общих позиционных заключений, которые точно могут быть использованы в рамках реализации идеи применения виртуального паспорта объекта.

Результаты. Анализируются этапы наполнения цифровой информационной модели данными, связанными с графиком выполнения проектных работ, и их взаимосвязь.

Выводы. В результате анализа можно заключить, что виртуальный паспорт объекта способен не только увязать технологию информационного моделирования с координацией проектных решений и выдачей заданий смежным специальностям, но и организовать правильное использование этих информационных моделей на всех этапах жизненного цикла объекта.

Ключевые слова: виртуальный паспорт здания, информационное моделирование зданий, паспортизация, среда общих данных, единое информационное пространство, архитектура зданий, искусственный интеллект

Для цитирования: Кулаков Д.С., Карелин Д.В. Нормирование информационных параметров виртуального паспорта для цифровой модели здания // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 41–55. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55. EDN: BPKGPA

ORIGINAL ARTICLE

NORMALIZATION OF INFORMATION PARAMETERS
OF VIRTUAL BIM PASSPORT

Dmitry S. Kulakov, Dmitry V. Karelin

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Novosibirsk, Russia

Abstract. The paper presents the analysis of normalization of information parameters obtained from the building information model (BIM) of a gas boiler room. The main connecting parameters are determined herein. The obtained results are generalized into a single information structure for further creation of the BIM virtual passport.

Methodology: Building information modeling technology involving certification of BIM objects. Key terms are defined by the terminological analysis. The legal framework of existing standards and rules in the field of information modeling is considered to identify general conclusions of implementing the virtual passport.

Research findings: The analysis of stages of filling the digital information model with the data, which are connected with the design work implementation.

Value: The analysis of the material shows that the virtual passport of the object links the information modeling technology, which provides a tool primarily for coordinating design decisions and issuing tasks to related specialties and also enable a correct use of these models throughout the life cycle of the object.

Keywords: virtual passport, building information modeling, certification, general data environment, single information space, gas boiler house, attributive information

For citation: Kulakov D.S., Karelin D.V. Normalization of information parameters of virtual passport for digital building model. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 41–55. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55. EDN: BPKGPA

Введение

Виртуализация, цифровизация и информационная составляющая современной строительной отрасли тесно связаны с внутренними процессами, которые могут включать в себя не только аналитический компонент, но и фактические данные – чертежи, сметную, проектную, исполнительную документацию и т. д. Все это уже неотъемлемая часть рынка, без которой трудно представить общую координацию, взаимодействие и квалифицированный обмен актуальной информацией.

Несомненно, развитие технологий всегда способствует прогрессу в отрасли [1], однако остается вопрос: каким образом все полученные данные будут группироваться между собой, что будет выходить среди них на первый план, а что будет использоваться на протяжении всего жизненного цикла объекта? Известно также, что под жизненным циклом должно пониматься взаимодействие данных не только на эскизной, проектной, рабочей стадиях, но и во время строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации. Все эти этапы накладывают свои требования, версияльность и вариативность на полученные и выводимые данные – параметры, которые можно обобщить и сгруппировать в виртуальном пространстве информационной модели здания и назвать виртуальным паспортом объекта.

Для проработки вопросов, связанных с виртуальным паспортом на примере реализации проекта создания цифровой информационной модели газовой котельной стадии П:

- 1) выделим основные связующие параметры;
- 2) проведем связь с действующей нормативной литературой;
- 3) обобщим полученные данные;
- 4) сформулируем предложение по внесению данных для разработки виртуального паспорта.

Результаты данной работы будут полезны для объектов, которые активно эксплуатируются не только в административных границах города, но и за его пределами. Особого внимания требуют вопросы реконструкции объектов, ведь именно с ней связано множество проблемных ситуаций.

Проводя параллели с градостроительными объектами и технологией информационного моделирования (ИМ) зданий, можно выявить закономерности цифрового присутствия [2] и наличия определенных алгоритмов, т. е. информационной параметризации, где параметры – это информация, а алгоритмы действия – это определенные команды, которые необходимо совершать для достижения требуемых результатов. Связующим звеном между информационным миром и физическим на данный момент является человек.

Пользователь способен выявить закономерности и назначить в любой момент времени категориям моделей информацию, которая будет взаимодействовать со связанными моделями как в своей системе, так и со сторонними моделями, образуя разветвленную систему связей – цифровую сеть.

Благодаря данной системе можно получать информацию о любом элементе модели, сравнивая и анализируя данные именно в цифровой среде, уходя от классического документооборота к цифровому архиву данных, в который будут входить:

- 1) предпроектные изыскания, исходные данные;
- 2) цифровая информационная модель с графической и аналитической информацией;
- 3) паспорта на оборудование, привязанные непосредственно к цифровым двойникам физического оборудования, расположенного на строительной площадке или на территории эксплуатируемого объекта;
- 4) фото- и видеоматериалы, демонстрирующие процесс возведения систем;
- 5) инструкции и регламентирующие документы.

Для обеспечения взаимосвязи между физическим и цифровым двойником необходим оператор, выполняющий функцию соединителя и проводника. Файл общих параметров строго регламентирует и распределяет параметры по различным категориям, объединяя их по схожим характеристикам в группы.

Проводя параллель, мы получаем взаимосвязь:

- элемент – модель;
- модель – категория;
- характеристика – параметр;
- параметр – общий параметр.

С точки зрения процесса синхронный обмен моделями и данными на основе документов приводит к тому, что фазы жизненного цикла проекта сильно перекрываются, образуя бесфазовый процесс.

Логическим продолжением вышеупомянутой модели становится гипотеза «параллельного строительства» в результате сетевой интеграции. Термин «параллельное строительство» используется, когда «все мероприятия проекта интегрированы и все аспекты проектирования, строительства и эксплуатации планируются одновременно, чтобы максимизировать ценность целевых функций при оптимизации конструктивности и работоспособности». На данном этапе уже возникает необходимость паспортизации виртуальных процессов для общей координатной всех участников процесса проектирования – эксплуатации объекта.

Общий параметр является формообразующим [3], т. к. может использоваться и характеризоваться на объектах, схожих по признакам. Пользователь в конечном итоге сам определяет, какой набор параметров будет применять, выполняя тот или иной проект. Для автоматизации выбора существует «Стандарт и регламент информационного моделирования». Именно в данном документе строго описан процесс создания, группировки и назначения общих параметров, в том числе хранение и добавление новых параметров, которые ранее нигде не использовались.

Материалы и методы

Цифровизация строительной отрасли стремительно развивается. Внедряются современные методы обследования для получения качественных исходных данных, проводятся пилотные проекты с целью повышения качества выпускаемых продуктов с использованием программного обеспечения, работающего на технологии информационного моделирования зданий.

При переходе на новые методы обработки, анализа и хранения цифровых данных возникает необходимость в упорядочивании подходов и пересмотре нормативно-технической базы документооборота. Применение технологии информационного моделирования зданий предполагает и паспортизацию объектов, созданных с помощью технологии BIM [4].

В связи с этим перед исследователем встает задача в определении ключевых терминов, с которыми предстоит работа. Для этого воспользуемся методом терминологического анализа, и прежде всего рассмотрим нормативно-правовую базу действующих норм и правил в области информационного моделирования, и выявим среди них общие позиционные заключения, которые точно могут быть использованы в рамках реализации идеи применения виртуального паспорта объекта.

Рассмотрим следующие документы:

«Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах»¹. В основу данного свода правил вошли базовые требования к созданию и эксплуатации информационных систем, взаимодействующих между собой в течение всего жизненного цикла здания или сооружения и реализующих технологию информационного моделирования объекта строительства. Свод правил определяет требования именно во взаимосвязи

¹ СП 331.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах. URL: <http://www.minstroyrf.ru/docs/16403> (дата обращения: 03.12.22).

с передачей информации и обменом ею между информационными моделями и внутри них.

Ключевым моментом является передача и обмен информацией, т. к. именно в этом контексте следует упомянуть про интероперабельность, которая, в свою очередь, должна содержать как минимум три связанных между собой уровня: организационный, семантический и технический. Здесь под обменом информацией вводится переменная, как программная часть, работающая по технологии информационного моделирования зданий, состоящая из компонентов, связанных с цифровой моделью. Данный свод правил учитывает не только техническую реализацию обмена, но и затрагивает семантический и организационный уровень².

С точки зрения обмена информацией данный свод правил предполагает проведение первичного анализа бизнес-процессов среди участников – организаций. Анализ осуществляется путем обследования и наблюдения за процессами передачи и обработки информации.

Опираясь на эту информацию, можно выдвинуть гипотезу, что использование информационной модели может быть разным с точки зрения обработки и получения данных не только на различных жизненных этапах конкретного производства, но и на разных по технологическому смыслу объектах, а вариативные параметры, полученные в ходе работы, требуют классификации и группирования по информационным классификаторам с занесением данных в виртуальный паспорт объекта.

Для обобщения, связи и группировки данных информационной модели, показанной на рис. 1, может служить виртуальный паспорт, в который будет заноситься вся необходимая информация на определенном жизненном цикле проекта. Для формирования массива данных авторами исследования была рассмотрена газовая котельная, которая проходила экспертизу по стадии П в области информационного моделирования зданий.

Прежде всего перед началом работы необходимо было определить степень детализации геометрии³, чтобы избежать в дальнейшем переработки моделей по входящим в них разделам проектной документации. Для этого на данном этапе авторами была введена параметризация модели, а также различные теги (такие параметры, по которым в будущем можно отсортировать и быстро найти тот или иной компонент модели). Уже на данном этапе (рис. 2) проявилась необходимость в классификации параметров к жизненному циклу объекта – в данном случае стадия П.

Согласно нормативным документам, информационное моделирование объектов требует объединения различных наборов информации в информационную среду. В качестве этой среды авторы исследования и предлагают ввести понятие «виртуальный паспорт».

² ГОСТ Р 55062–2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2014. 12 с.

³ ГОСТ Р 10.0.03–2019. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Информационное моделирование в строительстве. Справочник по обмену информацией. Ч. 1. Методология и формат. Москва: Стандартинформ.

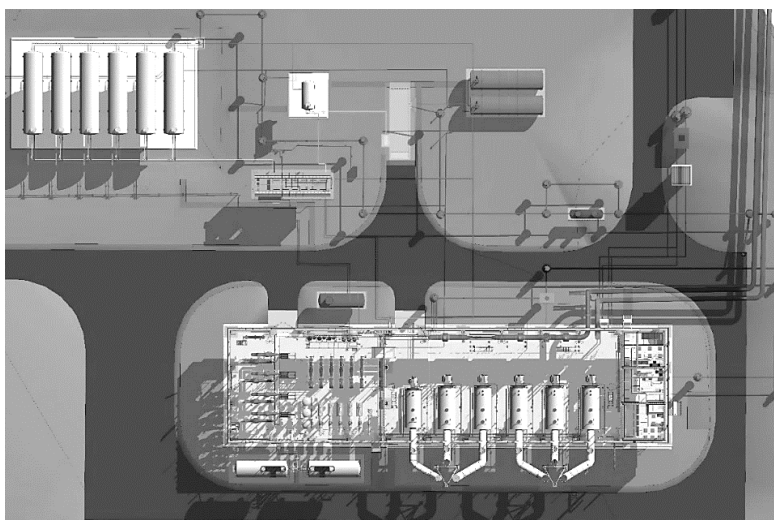


Рис. 1. Информационная модель котельного хозяйства
Fig. 1. Information model of the boiler system

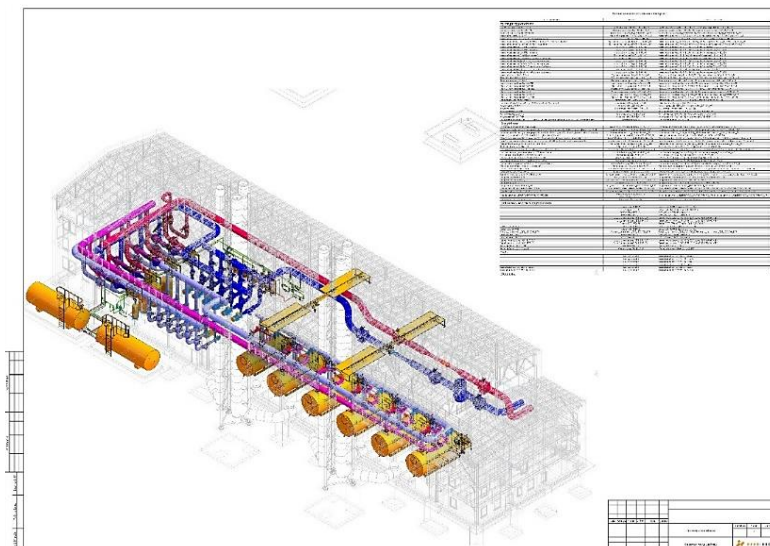


Рис. 2. Наполнение параметрами тепломеханического раздела газовой котельной
Fig. 2. Filling with parameters the thermal mechanical section of gas boiler house

Виртуальный паспорт – паспорт, объединяющий все данные об объекте, включая информационные модели, документы и структурированные сведения из них, а также уникальный идентификатор объекта.

Поскольку на разных жизненных стадиях объекта сама информационная модель может и не использоваться, к примеру на стадии П (некоторые разделы не могут быть промоделированы, например экология), необходимо определить, каким образом внедрить и какие параметры использовать в информационном поле для отображения нужной информации.

Данный свод правил использовался в текущем проекте с точки зрения нормирующего звена, который определял правила работы и обмен информацией внутри модели при взаимодействии с другими участниками проекта.

Чтобы подтвердить справедливость и возможность гипотезы о том, что есть вариативность параметров, которые могут быть сгруппированы на разных жизненных циклах объекта, рассмотрим свод правил «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»⁴.

Свод правил содержит требования к информационным моделям объектов массового строительства и их разработке на различных стадиях жизненного цикла. Именно этот подход был взят за базисное направление при разработке данного проекта стадии П, ведь именно информационная модель объекта строительства сопровождает все стадии жизненного цикла объекта. Модель котельной, разработанной посредством информационного моделирования в контексте жизненного цикла, предполагает постепенную эволюцию ИМ от концепции до соответствия модели объекту завершённого строительства, последующее ее использование и модификацию в ходе эксплуатации.

Информационная составляющая параметров должна иметь строгий набор атрибутов, который диктуется именно той стадией жизненного цикла, на которой обслуживается и создается цифровая информационная модель, т. е. атрибуты должны совпадать с их представлением в документации. Цифровизация современной жизни невозможна без пересмотра подходов и методов производственной деятельности человека. С каждым днем физический мир все больше соединяется с цифровым, предоставляя тем самым широкий спектр возможностей для контроля и мониторинга всех происходящих в нем изменений.

Минимизация затрат, сокращение времени строительства и улучшение технологий – это основной вектор, к которому необходимо стремиться. Виртуализация технологических процессов в информационном моделировании зданий совмещает в себе множество факторов, которые необходимо учитывать на всех этапах жизненного цикла строительного объекта. Стадийность производства включает в себя определенную параметризацию данных, использование которых может обеспечить контроль и надзор за качеством. Это еще раз подтверждает гипотезу авторов о «параллельном строительстве» и введении определённой параметризации, которая будет включать в себя набор данных – атрибутов, развивающихся параллельно с физическим представлением объекта, на каждой стадии жизненного цикла.

Сегодня мы принимаем непосредственное участие в четвертой промышленной революции, которая по своему развитию и охвату не идет в сравнение с предыдущими этапами развития человеческих взаимоотношений [5].

Основным концептом Индустрии 4.0 является цифровой двойник предприятия, т. е. цифровая копия физического объекта с протекающими на нем процессами, помогающая виртуализировать все проходящие на объекте технологические ситуации с целью оптимизации производства. Цифровой двойник

⁴ СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. URL: <http://www.minstroyrf.ru/docs/16405> (дата обращения: 03.12.22).

помогает предприятиям понимать и моделировать в реальном времени различного рода ситуации, влияющие на продуктивность. Основная идея введения данного подхода – предсказывать результаты производства и производить более качественные продукты. Широкое его внедрение, повышение квалификации специалистов и становление новых профессий будут благоприятно влиять на общий фон индустрии в целом. Примером может служить опыт коллег из Франции, где процент использования технологии информационного моделирования среди инженеров опережает количество специалистов архитектурных специальностей. Это обусловлено тем, что архитектурный сегмент здесь в основном представлен мелкими предприятиями, в то время как инженерия – более крупными, а инерционность производства не рассматривается. При интеграции данных процессов ввели допущение, выбрав необязательный подход при использовании технологии, не вводя требования BIM в закон о государственных закупках, дав тем самым мелким и средним предприятиям доступ к государственным заказам [6, 7]. Совокупность факторов внедрения и интеграции позволяет рассматривать сегмент строительного рынка как единую структуру, которая может подчиняться правилам и стандартам.

Здесь уместно провести параллель между цифровым двойником и идеей «параллельности строительства», что еще раз подтверждает выдвинутые гипотезы о необходимости сбора и классификации аналитических параметров в единое целое – виртуальный паспорт.

В будущем именно благодаря ей и интеграции с виртуальным паспортом будет возможен экономический анализ объекта на различных жизненных стадиях, что минимизирует затраты на эксплуатацию и реконструкцию.

Переход к четвертой промышленной революции полностью меняет образ жизни современного человека. Человечество столкнется с изменениями, которые будут внедряться во все сферы деятельности современного общества, и данные изменения уже прослеживаются. Базовым отличием этой революции от всех предыдущих является синтез и взаимодействие всех перечисленных выше технологий. Их развитие и внедрение связано с неопределенностью, поэтому сегодня достаточно сложно просчитать все последствия использования технологических инноваций в жизни человека и общества. Требуется комплексный подход к исследованию данной проблемы [8]. Проводя анализ ситуации в целом, можно выявить взаимосвязь между специалистами отрасли и потребителями конечного продукта – самой технологии и тех данных, которые получают благодаря ей [9].

Пользователь способен проследить закономерности и в любой момент назначить категориям моделей информацию, которая будет взаимодействовать со связанными моделями в своей системе и со сторонними моделями, образуя разветвленную систему связей – цифровую сеть.

Благодаря такой системе можно получать данные о любом элементе модели, сравнивая и анализируя данные именно в цифровой среде, уходя от классического документооборота и переходя к цифровому архиву данных.

Формирование новых подходов к работе, появление инновационных инструментов, несомненно, приводят к образованию новых профессий, условий труда в организациях и меняют саму суть регулирования и стандартизации, что влечет за собой смену давно устоявшихся подходов и принципов [10].

Жизненный цикл объекта строительства представляет собой огромный массив данных, постоянно трансформирующихся, видоизменяющихся и переходящих из одной стадии в другую. Переход информации при этом происходит стадийно, дополняясь и меняясь со временем. Все данные могут представлять собой единую структуру, которая может объединяться посредством алгоритмов, инструментов и подходов, установленных и стандартизированных каждый для своего направления. Определяющим фактором должно быть единообразие методов и технологии в целом [11].

Результаты исследования

В рамках выполнения настоящего исследования, этап наблюдения и анализа которого проходил с 15.04.2022 по 24.06.2022, можно сформулировать определенные выводы, базирующиеся не только на визуальной составляющей, а именно трехмерной модели, но и на аналитической составляющей нормативных документов.

Как видно из анализа данных, представленных на рис. 3, развитие и наполнение цифровой информационной модели происходит этапами, которые взаимосвязаны с графиком выполнения проектных работ.

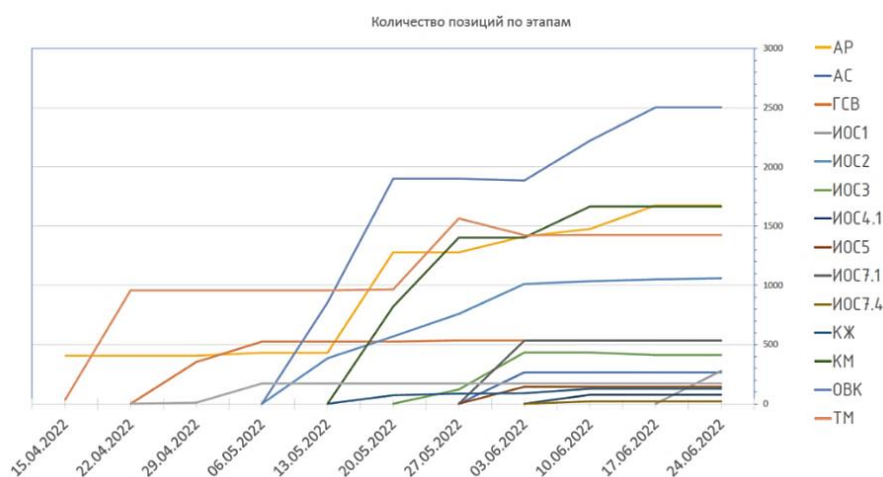


Рис. 3. График, демонстрирующий количество разделов во временном промежутке
Fig. 3. The number of stages in time

На рис. 4 отражено общее количество элементов, привязанных к этапам выдачи проектных данных.

Отчетливо наблюдается скачок параметрических данных, который обусловлен резким появлением новых данных (графическая информация, изменения проектных данных, внесение корректировок и т. д.). Эта закономерность также подтверждает гипотезу о сетевой интеграции, которая вызывает «параллельное строительство». Без внесения изменений в информационную модель существует вероятность потери данных. Соответственно, можно сделать вывод, что уже на стадии разработки проектной документации возникает необходимость паспортизации виртуальных процессов для общей координации всех

участников проектирования – эксплуатации объекта, что еще раз подтверждает актуальность исследования процессов BIM [12].

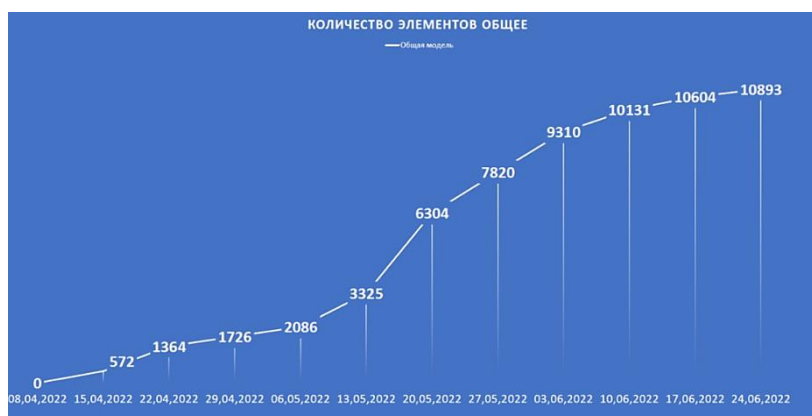


Рис. 4. График, демонстрирующий количество параметров во временном промежутке
Fig. 4. The number of parameters in time

Опираясь на полученные данные о вариативности процессов (рис. 5), проходящих на разных жизненных стадиях проекта, в данном случае – этап выполнения стадии П, авторы подтверждают выдвинутую гипотезу об обязательной классификации и группировке данных по информационным классификаторам при выполнении проекта с применением цифровой информационной модели, в которой моделируются процессы и объекты, связанные с разными технологическими циклами с занесением всех полученных результатов в виртуальный паспорт объекта.

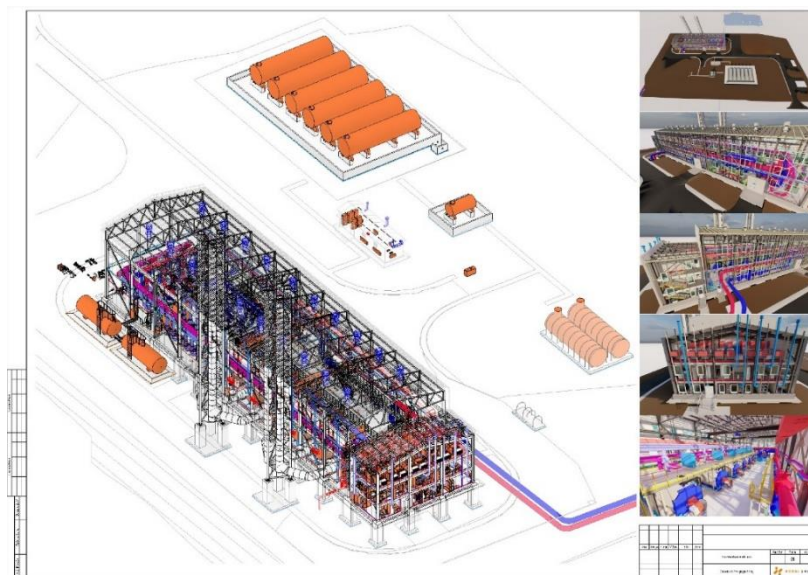


Рис. 5. Информационная модель газовой котельной после координации
Fig. 5. Information model of gas boiler house after coordination

Выводы

Виртуальный паспорт объекта помогает не только применять технологии информационного моделирования для координации проектных решений и выдачи заданий смежным специальностям, но и организовать правильное использование этих информационных моделей на всех этапах жизненного цикла объекта.

Часто правильные решения могут быть упущены в самом начале проекта, что неизбежно ведет к отклонению от проектных решений на этапе производства объекта. Необходимо минимизировать данную ошибку и не допустить ее появления на строительной площадке.

Авторами исследования был рассмотрен объект, выполненный по технологии информационного моделирования зданий, для обобщения данных, полученных в результате анализа проектных работ на зафиксированном временном промежутке. Полученные результаты позволили выдвинуть две гипотезы.

1. Сетевая интеграция вызывает «параллельное строительство» – термин, используемый, когда «все мероприятия проекта интегрированы и все аспекты проектирования, строительства и эксплуатации планируются одновременно, чтобы максимизировать ценность целевых функций при оптимизации конструктивности и работоспособности».

2. Использование информационной модели может быть разным с точки зрения обработки и получения данных не только на различных жизненных этапах конкретного производства, но и на разных по технологическому смыслу объектах, а вариативные параметры, полученные в ходе работы, требуют классификации и группирования по информационным классификаторам с занесением данных в виртуальный паспорт объекта.

Обобщенная информация и данные исследования позволяют сделать вывод, что существующие нормативные документы в области информационного моделирования не затрагивают область нормирования данных, влияющих на эксплуатацию цифровых информационных моделей, хотя определенные тенденции в развитии все же существуют.⁵

ВМ по-прежнему остается относительно новой областью знаний [13]. На сегодняшний день для конкретной организации имеется два пути формирования специалистов в области информационного моделирования: подготовка новых специалистов и переподготовка уже практикующих. При этом необходимо решать вопросы не только содержания и методов обучения, но и способов оценивания уровня квалификации сотрудников, определения эффективности проводимых тренингов, выявления непосредственного влияния на развитие ВМ-технологий в организации [14]. Широкий круг вопросов подтверждает новизну технологии для рынка и доказывает необходимость детальной проработки вопросов нормирования параметров.

Кроме того, существует уязвимость передачи данных внутри самих участников процесса. Это так называемая группа риска модели информацион-

⁵ Решения по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. Об инновационном развитии в сфере строительства // Правительство России: официальный сайт. URL: <http://government.ru/orders/selection/401/11022> (дата обращения: 03.12.22).

ного контейнера – проблемы открытой передачи данных как между разными информационными системами участников проекта, так и между последовательными стадиями его жизненного цикла. Проблемы связаны со специфически большим и изменчивым числом участников строительного проекта и его специфически длительным полным жизненным циклом. Эти особенности определяют специальное требование к информационной модели объекта капитального строительства – необходимость адекватного отражения данных в процессе многократных трансформаций и в течение длительного времени [15]. Своевременное отображение данных и значений параметров может позволить сэкономить значительную часть финансирования не только на этапе проектирования, но и на этапе строительства [16]. Соответственно закрепление данных должно быть строго нормировано, упорядочено и консолидировано в едином документе. Нормирование параметров, используемых в виртуальной среде данных, способно вызвать множественные изменения в подходах и методологии работы с этой инновационной технологией, которая полноценно находится на рынке порядка 15 лет [17].

В связи с этим помимо нормирования должен быть регламентирован и вопрос проведения повсеместных пилотных проектов, обучения и повышения квалификации специалистов. Тем самым будет накапливаться объем данных и опыт успешного применения технологии [18, 19].

Стандарт предназначен для коллективного применения и обмена данными в программных ресурсах, используемых участниками проекта на различных стадиях его жизненного цикла, в том числе в ходе строительства и эксплуатации объектов капитального строительства [20]. Авторы в своем исследовании не только показывают важность создания и применения виртуального паспорта объекта, но и доказывают выдвинутые гипотезы о необходимости его внедрения на ранних этапах создания цифровой информационной модели здания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Figueiredo K., Hammad A.W., Haddad A.* Sustainable construction achieved through life cycle assessment: methodology, limitations and the way forward // *Encyclopedia of renewable and sustainable materials*. 2020. V. 4. P. 576–583. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11360-8
2. *Ефимов К.В., Беляков С.И.* Исследование актуальной проблематики национального проекта «Жилье и городская среда» // *Экономика и предпринимательство*. 2019. № 9 (110). С. 458–461.
3. *Хрипко Т.В.* Эффективность управления жизненным циклом объектов с использованием информационного моделирования // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 9. С. 24–29. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.24-29
4. *Antonopoulou K., Begkos C.* Strategizing for digital innovations: Value propositions for transcending market boundaries // *Technological forecasting and social change*. 2020. V. 156. P. 120042. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120042
5. *Кулаков Д.С., Мордвов А.А., Карелин Д.В.* Виртуальный паспорт объектов строительства – предвестник четвертой промышленной революции в строительстве // *Интеллектуальный потенциал Сибири : материалы конференции / под ред. Д.О. Соколовой*, 2021. С. 197–199.
6. *Lu W., Lai C.C., Tse T.* BIM implementation strategies, prospects, and challenges // *BIM and big data for construction cost management*. 2018. P. 34–52. DOI: 10.1201/9781351172325-3

7. Smith P. BIM implementation – global strategies // *Procedia engineering*. 2014. V. 85. P. 482–492. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.57
8. Шваб К.М. Четвертая промышленная революция = Die Vierte Industrielle Revolution. Москва : Эксмо, 2016. 208 с.
9. Jolanta Š., Pupeikis D. Review of BIM implementation in higher education // *Journal of sustainable architecture and civil engineering*. 2018. V. 22. I. 1. DOI: 10.5755/j01.sace.22.1.21116
10. Гусакова Е.А., Овчинников А.Н. Перспективы моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства информационными потоками // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. С. 1191–1200.
11. Гусакова Е.А., Волков А.А., Овчинников А.Н. Развитие среды программирования информационных потоков жизненного цикла строительного объекта // *Системотехника строительства*. Киберфизические строительные системы, Москва, 25 ноября 2019 г. : сб. мат. Всеросс. науч. конф. Москва : Изд-во МИСИ – МГСУ, 2019. С. 51–57.
12. Jasiński A. Impact of BIM implementation on architectural practice // *Architectural engineering and design management*. 2021. V. 17. I. 5–6. P. 447–457. DOI: 10.1080/17452007.2020.1854651
13. Oraee M., Hosseini M.R., Edwards D.J., Li H., Papadonikolaki E., Cao D. Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model // *International journal of project management*. 2019. V. 37. I. 6. P. 839–854. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004
14. Бачурина С.С., Голосова Т.С. Инвестиционная составляющая в проектах внедрения BIM-технологий // *Вестник МГСУ*. 2016. № 2. С. 126–134.
15. Тополян М.Р. Жизненный цикл территории: горизонтальная, вертикальная и диагональная динамика развития // *Теоретическая экономика*. 2018. № 4 (46). С. 171–177. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36544469>
16. Hasan A.N., Rasheed S.M. The benefits of and challenges to implement 5d bim in construction industry // *Civil engineering journal*. 2019. V. 5. I. 2. P. 412. DOI: 10.28991/cej-2019-03091255
17. Smith D., Tardif M. BIM implementation strategies // *Building information modeling*. 2009. P. 27–55. DOI: 10.1002/9780470432846.ch2
18. Dadmehr N., Coates S. Consultative approach to BIM implementation // 14th International Postgraduate Research Conference. 2020. URL: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1352574/consultative-approach-to-bim-implementation>
19. Sampaio A.Z. Project management in office: BIM implementation // *Procedia computer science*. 2022. V. 196. P. 840–847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083
20. Федорин М.Д. BIM-технологии как организационно-управленческая инновация в строительной сфере // *Актуальные вопросы современной экономики*. 2019. № 6-2. С. 143–148. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41763450>

REFERENCES

1. Figueiredo K., Hammad A.W., Haddad A. Sustainable construction achieved through life cycle assessment: methodology, limitations and the way forward. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. 2020; (4): 576–583. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11360-8
2. Efimov K.V., Belyakov S.I. Analysis of topical issues of the national project “Housing and Urban Environment”. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2019; 9 (110): 458–461. (In Russian)
3. Khripko T.V. Effectiveness of life cycle management of projects using information modeling. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 9: 24–29. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.24-29 (In Russian)
4. Antonopoulou K., Begkos C. Strategizing for digital innovations: Value propositions for transcending market boundaries. *Technological Forecasting and Social Change*. 2020; 156: 120042. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120042
5. Kulakov D.S., Mordvov A.A., Karelin D.V. Virtual passport of construction objects as harbinger of the fourth industrial revolution in construction. In: *Proc. Sci. Conf. 'Intellectual Potential of Siberia'*, D.O. Sokolova, Ed., 2021. Pp. 197–199. (In Russian)
6. Lu W., Lai C.C., Tse T. BIM implementation strategies, prospects, and challenges. BIM and big data for construction cost management. 2018. Pp. 34–52. DOI: 10.1201/9781351172325-3

7. Smith P. BIM Implementation – Global strategies. *Procedia Engineering*. 2014; 85: 482–492. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.57
8. Schwab K.M. Die Vierte Industrielle Revolution. Eksmo, 2016. 208 p. (Russian translation)
9. Jolanta Š., Pupeikis D. Review of BIM implementation in higher education. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. 2018; 22 (1). DOI: 10.5755/j01.sace.22.1.21116
10. Gusakova E.A., Ovchinnikov A.N. Prospects for the life cycle modeling of a capital construction facility using information flows. *Vestnik MGSU*. 2020; 15 (8): 1191–1200. (In Russian)
11. Gusakova E.A., Volkov A.A., Ovchinnikov A.N. Development of programming environment for information flows of building lifecycle. In: *Proc. All-Russ Sci. Conf. 'Construction System Engineering. Cyberphysical Building Systems'*. Moscow: MGSU, 2019. Pp. 51–57. (In Russian)
12. Jasiński A. Impact of BIM implementation on architectural practice. *Architectural Engineering and Design Management*. 2021; 17 (5–6): 447–457. DOI: 10.1080/17452007.2020.1854651
13. Oraee M., Hosseini M.R., Edwards D.J., Li H., Papadonikolaki E., Cao D. Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model. *International Journal of Project Management*. 2019; 37 (6): 839–854. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004
14. Bachurina S.S., Golosova T.S. Investment component in BIM implementation projects. *Vestnik MGSU*, 2016; (2): 126–134. (In Russian)
15. Topolyan M.R. Territory life: Horizontal, vertical and diagonal dynamics of development. *Teoreticheskaya ekonomika*. 2018; 4 (46): 171–177. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36544469> (In Russian)
16. Hasan A.N., Rasheed S.M. The benefits of and challenges to implement 5D BIM in construction industry. *Civil Engineering Journal*. 2019; 5 (2): 412. DOI: 10.28991/cej-2019-03091255
17. Smith D., Tardif M. BIM implementation strategies. *Building Information Modeling*. 2009. Pp. 27–55. DOI: 10.1002/9780470432846.ch2
18. Dadmehr N., Coates S. Consultative approach to BIM implementation. *14th International Postgraduate Research Conference*. 2020. Available: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1352574/consultative-approach-to-bim-implementation>
19. Sampaio A.Z. Project management in office: BIM implementation. *Procedia Computer Science*. 2022; 196: 840–847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083
20. Fedorin M.D. BIM-technologies as organizational and managerial innovation in the construction sector. *Aktual'nye voprosy sovremennoi ekonomiki*. 2019; (6-2): 143–148. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41763450> (In Russian)

Сведения об авторах

Кулаков Дмитрий Сергеевич, аспирант, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, kulakov@reegigroup.com

Карелин Дмитрий Викторович, канд. архитектуры, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, d.karelin@sibstrin.ru

Authors Details

Dmitry S. Kulakov, Research Assistant, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, kulakov@reegigroup.com

Dmitry V. Karelin, PhD; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, d.karelin@sibstrin.ru

Вклад авторов

Карелин Д.В. – научное руководство, концепция исследования, развитие методологии.
Кулаков Д.С. – автор исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Karelin D.V. supervision, conceptualization, methodology.

Kulakov D.S. wrote the manuscript, drew conclusions.

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 30.11.2023

Одобрена после рецензирования 26.12.2023

Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 30.11.2023

Approved after review 26.12.2023

Accepted for publication 16.01.2024