

УДК 658.5:624.05

© С. В. Бовтеев, канд. техн. наук, доцент  
(Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет,  
Санкт-Петербург, Россия)  
E-mail: sergeibovtееv@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74

© S. V. Bovtееv, PhD in Sci. Tech., Associate Professor  
(Saint Petersburg State University  
of Architecture and Civil Engineering,  
St. Petersburg, Russia)  
E-mail: sergeibovtееv@gmail.com

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ 4D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ПРАКТИКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

### CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR THE USAGE OF 4D MODELING IN THE SPHERE OF CONSTRUCTION IN THE RUSSIAN FEDERATION

Рассмотрена история появления и развития 4D-моделирования в проектировании и строительстве. Проанализированы современные возможности 4D-моделирования и направления применения 4D-моделей в международной строительной практике. Рассмотрены российские нормативные требования к 4D-моделированию. Приведен анализ программного обеспечения 4D-моделирования. Дана оценка возможностей применения 4D-моделей в отечественном строительстве в текущих условиях необходимости импортозамещения зарубежного программного обеспечения. Рассмотрены функциональные требования к программному обеспечению 4D-моделирования, необходимые для эффективного применения в практике строительства.

*Ключевые слова:* строительство, 4D-моделирование, визуализация процессов строительства, информационное моделирование, ТИМ.

The article considers the history of emergence and development of the 4D modeling in the practice of design and construction. The possibilities of 4D modeling and areas of application of 4D models in international construction practice at present are analyzed. Regulatory requirements for 4D modeling in the Russian Federation are scrutinized. An analysis of 4D modeling software is provided. An assessment is made of the possibilities of using 4D modeling in domestic construction in the current conditions characterized with sanctions pressure and the need for import substitution of foreign software. The functional requirements for 4D modeling software necessary for effective application in construction practice are considered.

*Keywords:* construction, 4D modeling, visualization of construction processes, information modeling, BIM.

В последнее время очень много говорится о предстоящей цифровой трансформации строительной отрасли. Некоторая степень инерционности, присущая строительству, создает потенциал для прорывного роста в самом ближайшем будущем [1–3]. Одним из инструментов, без применения которого невозможна успешная цифровая трансформация, является информационное моделирование строительства, известное под аббревиатурами BIM (Building Information Modeling) или ТИМ (технологии информационного моделирования).

Очень часто под ТИМ понимают исключительно трехмерное моделирование зда-

ний, необходимое проектировщикам для разработки проектной и рабочей документации на строительство или реконструкцию зданий и сооружений. Информационные модели зданий называют трехмерными, или 3D-моделями. Однако наряду с ответом на вопрос «что построить?» строителям нужно получить и ответ на вопрос «как построить?», то есть понять оптимальную очередность возведения строительных элементов, таких как сваи, стеновые панели, панели перекрытия, сантехническое оборудование и т. д. Чем сложнее и масштабнее объект капитального строительства, тем большую



значимость приобретает моделирование процесса его возведения, которое позволяет сократить сроки работ, снизить риски ошибок планирования, повысить безопасность производства работ и тем самым уменьшить затраты на строительство и увеличить значения параметров эффективности проекта. Принцип экономии времени и затрат за счет предварительного детального моделирования хода строительства лег в основу концепции Virtual Design and Construction (VDC), появившейся в начале XXI века [4].

Информационные модели, в которых к трем измерениям пространства добавляется измерение времени (так как строительство всегда растянуто во времени), называются четырехмерными, или 4D-моделями.

Принципиальная схема 4D-моделирования строительства показана на рис. 1.

Первые примеры применения 4D-моделей для планирования и контроля строительства датируются началом 2000-х годов. Однако для эффективного 4D-моделирования нужны соответствующие технические средства и программное обеспечение. За последние 20 лет 4D-моделирование строительства прошло серьезный путь своего развития и стало применяться при возведении многих объектов и комплексов, в том числе и благо-

даря доступности компьютерной техники с современными процессорами и с необходимыми объемами оперативной памяти, мониторов больших размеров и с высоким разрешением, средств хранения данных нужных объемов (в том числе облачных хранилищ) и соответствующего программного обеспечения (прежде всего Bentley Systems и Autodesk).

Однако в 2022 году многие зарубежные компании в рамках наложенных на Российскую Федерацию санкций приостановили деятельность в нашей стране. Таким образом, недоступным для российских пользователей стало уже внедренное в работу проектировщиков и строителей программное обеспечение.

На момент подготовки настоящей статьи полноценной замены зарубежным программным продуктам 4D-моделирования в России нет, что является, с одной стороны, проблемой для пользователей, но, с другой стороны, вызовом для отечественных ИТ-компаний. Вместе с тем актуальной задачей является формирование необходимых функциональных требований для отечественного программного обеспечения, разрабатываемого в рамках импортозамещения в целях достаточно эффективного для

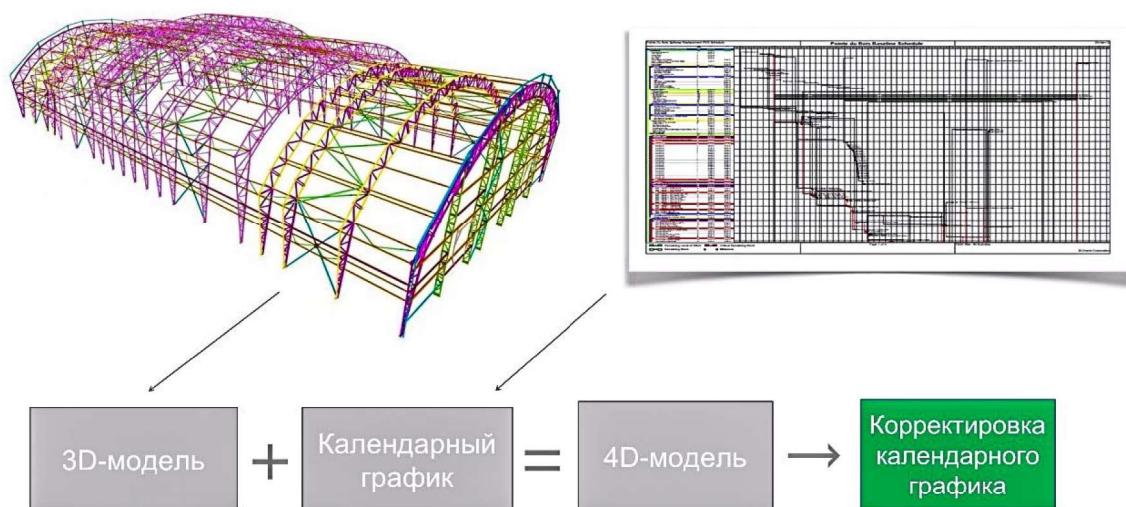


Рис. 1. Принципиальная схема 4D-моделирования



решения реальных производственных задач 4D-моделирования строительства объектов и их комплексов.

Анализ современной российской нормативно-законодательной базы показал отсутствие жестких нормативных требований не только к процессу 4D-моделирования, но и к самой его необходимости. В п. 9.2 «Требований к формированию цифровой модели процесса строительства» СП 333.1325800.2017 говорилось об использовании специализированных программных приложений для «интеграции сводной цифровой модели и календарно-сетевых графиков строительства»<sup>1</sup> для привязки элементов информационной модели к видам работ в целях визуализации последовательности «строительно-монтажных работ во времени и пространстве»<sup>2</sup>. В новой редакции СП 333, которая вступила в силу в 2021 г. взамен СП 333.1325800.2017, в приложении Ж есть понятие «визуализация процесса строительства», рассматриваемое как применение «специализированных программных инструментов информационного моделирования для интеграции данных информационной модели и календарно-сетевых графиков строительства»<sup>3</sup>. Такая интеграция нужна для анализа и оптимизации последовательности производства строительно-монтажных работ, поиска «пространственно-временных пересечений»<sup>4</sup>, потенциально возможных в процессе строительства, анализа реализуемости принятых организационно-технологических решений и для других процессов управления строительством.

Таким образом, 4D-моделирование считается одной из задач информационного моделирования, применяемого для рационального

управления строительством за счет многовариантного анализа и принятия эффективных организационно-управленческих решений.

Первый опыт применения 4D-моделей в России датируется концом 2000-х – началом 2010-х годов. В работе [5] рассматривается применение программного продукта Autodesk Navisworks и утверждается, что использование средств визуализации повышает технологичность планирования проекта на основе 4D-моделей, снижает проблемы, связанные с ошибками планирования, и обеспечивает ресурсосбережение строительства. В [6] говорится о возможности применения визуализации календарного планирования для выявления «организационно-технологических коллизий» при комплексной застройке территории. Авторы называют 4D-модели «визуальной имитацией календарного планирования» и считают, что наиболее полно она осуществляется «в программе Autodesk Navisworks Manage» [6, с. 180], однако далее в настоящей статье будет показана спорность этого утверждения. Вместе с тем авторы [6] справедливо полагают, что использование дополнительных программ (например, Autodesk Navisworks) при управлении строительными проектами вызовет удорожание проекта, и поэтому предлагают методику четырехмерного моделирования непосредственно в среде программы Autodesk Revit 2018 путем применения такого инструмента, как стадии.

В [7] показаны ключевые недостатки формирования организационно-технологической документации традиционными (и соответствующими требованиям российского законодательства) методами, что оказывает «негативное влияние на эффективность принятия решений», которое выражается такими факторами, как:

- сложность восприятия и применения для управления календарно-сетевых графиков;
- трудность проверки и редактирования проектной и рабочей документации;

<sup>1</sup> СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

<sup>2</sup> Там же.

<sup>3</sup> СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла.

<sup>4</sup> Там же.



- наличие человеческого фактора при принятии организационно-технологических решений.

Отмечаются недостатки, выявленные при информационном моделировании строительства. Так, применение формата IFC при обмене данными может вызывать частичную потерю информации из-за несовместимости не только различных программ, но и разных версий одной и той же программы.

Достаточно системно о 4D-моделировании говорится в работе [8]. Здесь представлены три способа формирования 4D-моделей:

1. Ручной способ: календарно-сетевой график передается третьей стороне для формирования обособленной визуализированной анимации.

2. На основе 3D-модели с высоким уровнем детализации и календарно- сетевого графика в среде специализированного программного обеспечения формируется 4D-модель путем связывания 3D-элементов с работами графика.

3. Сформированная 3D-модель импортируется в среду программного обеспечения 4D-моделирования, где формируется календарно-сетевой график и затем связывается с 3D-моделью. Альтернативным решением, особенно пригодным для небольших объектов, является одновременное создание календарно- сетевого графика и 4D-модели из загруженной 3D-модели.

Исследователи и практики разрабатывали методы применения 4D-моделирования для решения различных производственных задач.

В работах [9, 10] представлены методики формирования 4D-модели строительного генерального плана в составе ПОС и ППР в целях оптимизации размещения объектов строительного хозяйства на площадке. В [11] рассмотрены как преимущества, так и потенциальные риски управления строительством на основе 4D-модели, а также настоящие и будущие сложности 4D-моделирования строительства.

В [12] показаны две категории нахождения пространственно-временных конфликтов: применяемые статистические методы управления загруженностью строительной площадки, алгоритмические подходы и методы визуального контроля. В [13] представлена методика применения 4D-моделей для анализа корректности выбора башенного крана, которая автоматически выявляет пространственно-временные конфликты.

В работе [14] представлен способ улучшения календарных графиков путем использования шаблонов процессов. Данная методика способна автоматически выявлять повторяющиеся шаблоны для обеспечения возможности их повторного применения на других строительных проектах. Наиболее выгодные точки начала и направления заливки бетона могут быть определены с помощью методики [15], которая обрабатывает данные 3D- и 4D-моделей в электронных таблицах MS Excel. В [16] показаны решения по автоматизированному формированию процесса планирования движения транспортных средств на строительной площадке в среде Dynamo. В работе [17] представлена методика вероятностного моделирования рабочих пространств и поиска коллизий на 4D-моделях.

Практический опыт применения 4D-моделей в реальной отечественной строительной практике, включая оптимизацию решений календарного плана в условиях ограниченной строительной площадки и обеспечение безопасности строительных работ, представлен в [18, 19].

В настоящее время в международной практике для формирования 4D-моделей строительства используется прежде всего программное обеспечение SYNCHRO Pro (разработчик — компания Bentley Systems), а также, значительно реже, Autodesk Navisworks. Встречаются примеры применения PowerProject BIM (дополнительного мо-



для Powerproject), разработчиком которого является компания Elecosoft.

Функционал SYNCHRO Pro позволяет формировать профессиональные 4D-модели строительства, дающие много возможностей для эффективного управления проектами. Кроме того, SYNCHRO Pro включает в себя мощный инструмент календарно-сетевого планирования SYNCHRO Scheduler. Наряду с непосредственным формированием 4D-моделей линейка продуктов SYNCHRO позволяет создавать среду общих данных (SYNCHRO Control) и организовывать работу непосредственно со строительной площадкой (SYNCHRO Field) [20].

Autodesk Navisworks применяется главным образом проектировщиками для сборки различных 3D-моделей одного и того же объекта в единый файл. Собранный модель можно проверить на пространственные коллизии. Модуль Timeliner дает возможность создавать 4D-модели, но его функционал значительно уступает функционалу SYNCHRO Pro; кроме того, в Timeliner невозможно осуществлять календарно-сетевое планирование строительства, поэтому при работе в среде Navisworks невозможно обойтись без синхронизации с соответствующим программным обеспечением.

В случае необходимости высокой степени визуализации строительной площадки как в статичном, так и в динамичном (синхронизировано с 4D-моделями) режимах предлагается применять такой программный продукт, как Bentley LumenRT [21]. В практике отечественного строительства этот продукт применялся очень редко ввиду своей дороговизны, но был полезен в учебном процессе за счет возможности максимально полной визуализации строительства. Однако в ближайшее время разработка отечественных программ, замещающих Bentley LumenRT, не планируется.

Как отмечалось выше, из-за санкционного давления на Российскую Федерацию ком-

пании Autodesk, Bentley Systems и Elecosoft приостановили работу в нашей стране. Актуальной задачей для дальнейшего использования 4D-моделирования в практике отечественного строительства является импортозамещение специальных программных средств. Есть несколько отечественных решений, уже несколько лет присутствующих на рынке, но они недостаточно функциональны для возможностей конкурировать с профессиональными продуктами, такими как SYNCHRO Pro. Тем не менее деятельность по полноценному импортозамещению в настоящее время осуществляется, в ноябре 2022 года вышел первый релиз 7D Modeler (развитие которого продолжается), также известно о планах разработки модуля 4D-моделирования в среде отечественной системы календарно-сетевого планирования Plan-R.

Для возможности получения конкурентоспособного отечественного программного обеспечения не менее актуальной задачей является определение базового функционала программного обеспечения 4D-моделирования на основании как полученного практического опыта, так и методических решений. В частности, к такому базовому функционалу можно отнести следующие инструменты:

- создание пользовательских и редактирование встроенных визуальных профилей, т. е. способов отображения 3D-элемента в зависимости от статуса работы, на которую он назначен. Выделяют следующие статусы работ: планируется, выполняется, прервана, завершена. В зависимости от выбранного визуального профиля 3D-элемент может отображаться тем или иным цветом или не отображаться вовсе. Для профессионального моделирования недостаточно таких встроенных профилей, как монтаж, демонтаж и обслуживание, так как может потребоваться показать направление развития рабочего процесса (например, снизу вверх)



или показать изменение степени прозрачности (например, от 0 до 100 %) конкретного 3D-элемента в процессе выполнения работы. При помощи пользовательских визуальных профилей различными цветами и изменяющейся прозрачностью отображаются разные рабочие процессы по созданию 3D-элемента, например, из монолитного бетона (рис. 2);

- разделение 3D-элементов, что может быть необходимо в таких случаях, когда устройство элемента конструкции, на 3D-модели запроектированного единым 3D-элементом, осуществляется по захваткам, работы выполняются в разное время, и разработчик должен иметь возможность самостоятельно разделить 3D-элемент на несколько частей;

- создание примитивных 3D-элементов непосредственно на загруженной в программное обеспечение 3D-модели. Например, проектировщик не будет создавать котлован, необходимый для возведения подземной части здания. Однако в календарно-сетевой график включается работа «Устройство котлована», и ее нужно будет визуализировать на 4D-модели. Поэтому у разработчика 4D-модели должна быть возможность самостоятельно создать такой 3D-элемент, как котлован;

- группировка 3D-элементов в целях показа направления развития строительных процессов сразу для нескольких однородных 3D-элементов. Например, на объекте предусмотрено устройство свайного поля из нескольких десятков свай. Можно создать для каждой отдельной сваи соответствующую работу графика, но более оперативно визуализация устройства свайного поля решается объединением всех свай в одну группу, созданием одной работы графика для всей группы и выбором визуального профиля, показывающего направление развития рабочего процесса;

- отображение направления движения строительных машин и техники, что достигается формированием 3D-путей с их последующим назначением на работы календарно-сетевого графика и на 3D-элементы 3D-модели;

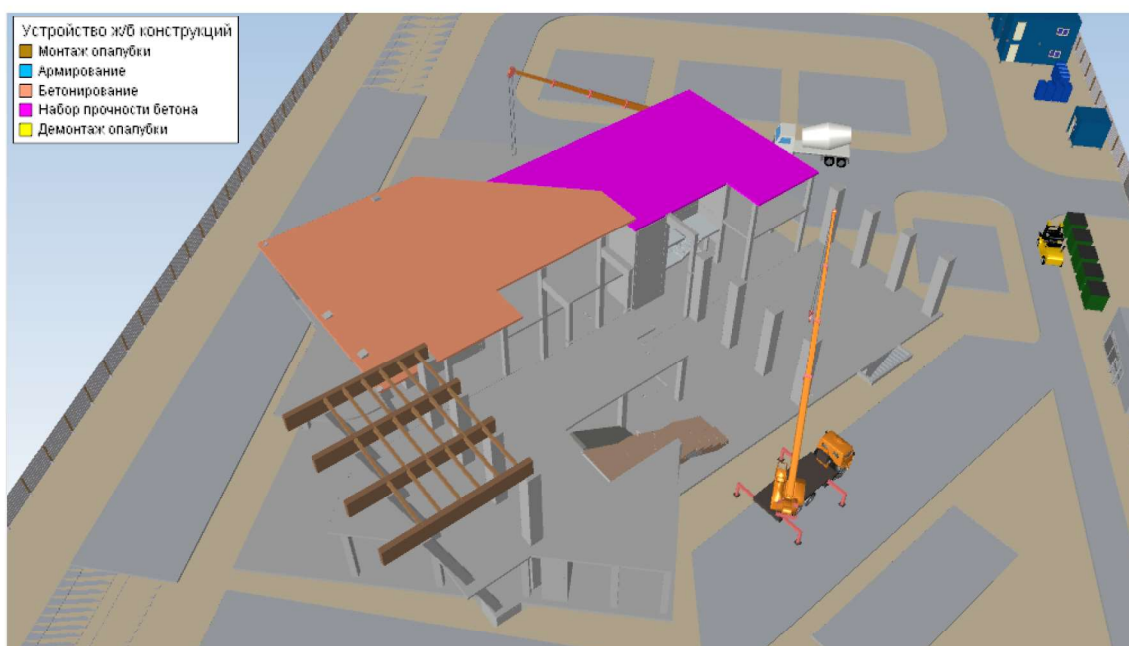


Рис. 2. 4D-модель строительства транспортно-пересадочного узла



- отображение разрезов объектов при 4D-анимации, что необходимо для возможности просмотра внутренних работ, когда обзор уже закрыт внешними конструкциями: стенами, окнами и перекрытиями. Похожего результата можно добиться временной прозрачностью внешних конструкций во время выполнения внутренних работ;

- применение различных фильтров по отношению к 3D-элементам.

Представленный функционал (включая, но не ограничиваясь данным списком) практически полностью реализован в SYNCHRO Pro. Autodesk Navisworks существенно уступает в сфере 4D-моделирования SYNCHRO Pro (хотя и имеет много достоинств в иных направлениях), прежде всего, за счет отсутствия таких функций, как разделение на части, создание новых и группировка 3D-элементов, а также возможность отображения сечений во время 4D-анимации.

Однако и SYNCHRO Pro, на взгляд автора, не лишен некоторых критических недостатков. Выделим следующие из них:

- очень большие размеры выгружаемых видеофайлов 4D-анимации. Видео продолжительностью не более 1 мин по размеру файла может занимать около 500 Мб. Применение встроенных видеокодеков, безусловно, улучшает результат, однако такой файл может открываться далеко не во всех программах и не на всех устройствах, а программы сжатия видео не только уменьшают размеры, но и снижают качество;

- отсутствие полноценной синхронизации с файлами 3D-моделей различных форматов и с файлами некоторых систем календарно-сетевое планирования. Например, в SYNCHRO Pro нельзя напрямую загрузить 3D-модель из Autodesk Revit (файл с расширением RVT). Сохранение файла 3D-модели в иных форматах может приводить к потере некоторых свойств и атрибутов элементов модели;

- невозможность автоматического нахождения пространственно-временных коллизий (под которыми понимаются не только пересечения элементов, но и их недопустимые сближения, например, край траншеи подходит слишком близко к временной дорожке). В настоящий момент все возможные коллизии отслеживаются вручную при просмотре 4D-модели, что уже дает существенное снижение риска ошибок и неэффективных решений при планировании работ. Однако автоматический поиск коллизий, несомненно, мог бы усилить эффект от применения 4D-моделирования.

Также для 4D-моделирования очень важна организация среды общих данных, в том числе на облачных серверах, и формирование документа, определяющего план реализации информационного моделирования строительства, называемого BIM Execution Plan (BEP) [20].

В результате настоящего исследования на основе проведенного анализа зарубежного и российского опыта применения 4D-моделирования в практике строительства, а также при учете текущей ситуации, требующей разработки и развития российского программного обеспечения информационного моделирования в целях импортозамещения, были сформулированы основные функциональные требования к программным продуктам 4D-моделирования, реализация которых позволит рассчитывать на продолжение эффективного использования инновационными строительными компаниями 4D-моделей в управлении строительством объектов и комплексов, а также на разработку нормативной базы, которая необходима для широкого распространения практики применения 4D-моделирования в строительной отрасли нашей страны.

**Основные результаты настоящего исследования:**

- выполнен анализ накопленного в российских строительных организациях (в том



числе и самим автором статьи) практического опыта применения 4D-моделей в управлении строительством объектов, а также нормативных требований, предъявляемых к 4D-моделированию;

- исследованы несколько научных и практических подходов к 4D-моделированию для решения различных производственных задач, в том числе и за счет комплексного применения информационных систем и программного обеспечения;

- выявлены функциональные возможности наиболее распространенного в международной практике 4D-моделирования программного обеспечения (которое из-за санкционного давления прекратило работу в Российской Федерации);

- определен базовый функционал программного обеспечения 4D-моделирования, необходимый российским ИТ-компаниям для реализации импортозамещения, что является особо актуальной задачей на сегодня, так как 4D-моделирование невозможно без применения специализированных программных продуктов, а полноценной замены зарубежного программного обеспечения в нашей стране сейчас нет. Поэтому ИТ-специалистам крайне важно получить научно и методологически обоснованные первоочередные требования для разработки программного обеспечения в рамках импортозамещения.

Статья публикуется по результатам проведения научно-исследовательской работы, проводимой в рамках конкурса грантов на выполнение научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками СПбГАСУ (ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»).

#### Библиографический список

1. *Адамцевич Л. А., Сорокин И. В., Настычук А. В.* Перспективные в условиях цифровой трансформации строительной отрасли технологии индустрии 4.0 // *Строительство и архитектура*. 2022. Т. 10, № 4. С. 101–105.
2. *Пименов С. И.* Состояние и перспективы многоуровневой системы планирования строительных

проектов в условиях цифровой трансформации // *Construction and Geotechnics*. 2022. Т. 13, № 2. С. 55–66.

3. *Kuzhin M., Zhadanovsky B., Kudryashov M., Granilshchikova E.* The organizational process in construction using information modeling technologies // *E3S Web of Conferences. Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE 2018*. Moscow, 3–5 декабря 2018 г. М.: EDP Sciences, 2019. Vol. 91. 08032.

4. *Диско А. И.* Исследование истории развития BIM-технологий как инструмента комплексного управления инвестиционным проектом // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф.* Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 г. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 491–497.

5. *Болотин С. А., Дадар А. Х., Птухина И. С.* Имитация календарного планирования в программах информационного моделирования зданий и регрессионная детализация норм продолжительностей строительства // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 7 (25). С. 82–86.

6. *Болотин С. А., Биче-оол Х. В., Дадар А.-К. Х.* Методика визуализации календарного планирования в программе Autodesk Revit 2018 // *Вестник гражданских инженеров*. 2019. № 6 (77). С. 179–185.

7. *Мотылев Р. В., Абракова Ю. Л.* Технологии информационного моделирования в вопросах организации строительного производства // *Организация строительного производства: материалы III Всерос. науч.-практ. конф.* Санкт-Петербург, 10–11 февраля 2021 г. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 104–126.

8. *Нечипорчук Я., Башкова Р.* Краткий обзор 4D моделирования в строительстве // *Архитектура. Строительство. Образование*. 2020. № 1 (15). С. 35–41.

9. *Плетникова Т. Ю.* Методика формирования 4D-модели строительного генерального плана в процессе строительства // *BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы V Междунар. науч.-практ. конф.* Санкт-Петербург, 20–22 апреля 2022 г. СПб.: СПбГАСУ, 2022. С. 239–245.

10. *Соболев В. В.* Информационное моделирование при разработке проектов организации строительства и проектов организации работ // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки*. 2008. № S1. С. 31–35.

11. *Ahmedi P. F., Arashpour M.* An analysis of 4D-BIM Construction Planning: Advantages, Risks and Challenges // *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction / ISARC: From Demonstration to Practical Use – To New Stage of Construction Robot – 2020*. Pp. 163–170.



12. Mazars T., Francis A. Chorographical spatiotemporal dynamic 4D planning // Automation in construction. Montreal, 2020. Vol. 112. 103076. Pp. 1–11.

13. Ji Y., Leite F. Automated tower crane planning: leveraging 4-dimensional BIM and rule-based checking // Automation in construction. 2018. Vol. 93. Pp. 78–90.

14. Sigalov E., König M. Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules // Advanced engineering informatics. 2017. Vol. 33. Pp. 456–472.

15. Sheikhhoshar M., Rahimian F. P., Kaveh M. H., Hosseini M. R., Edwards D. J. Automated planning of concrete joint layouts with 4D-BIM // Automation in construction. 2019. Vol. 107. 102943. Pp. 1–13.

16. Singh A. R., Delhi V. S. K., Patil Y. D. Optimizing site layout planning utilizing building information modelling // 36<sup>th</sup> International Symposium on automation and robotics in construction. Banff, 2019. Pp. 376–383.

17. Hosny A. O., Nik-Bakht M., Moselhi O. Workspace planning in construction: non-deterministic factors // Automation in construction. Montreal, 2020. Vol. 116. 103222.

18. Бовтеев С. В., Колесников С. В., Шерстобитова П. А. Календарно-сетевое планирование строительства на основе 4D-моделей // Управление проектами и программами. 2020. № 4. С. 276–284.

19. Бовтеев С. В. Практика применения 4D-моделирования в строительстве // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 г. СПб.: СПбГАСУ, 2021. С. 77–84.

20. Дуско А. И. Применение продуктов SYNCHRO для комплексного управления строительством // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 20–22 апреля 2022 г. СПб.: СПбГАСУ, 2022. С. 226–232.

21. Веселова Н. И. Разработка методов визуализации организации строительной площадки // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Санкт-Петербург, 20–22 апреля 2022 г. СПб.: СПбГАСУ, 2022. С. 218–225.

## References

1. Adamtsevich L. A., Sorokin I. V., Nastychuk A. V. *Perspektivnye v usloviyakh tsifrovoy transformatsii stroitel'noy otrasli tekhnologii industrii 4.0* [Promising 4.0 technologies in conditions of digital transformation of the construction industry]. *Stroitel'stvo i arkhitektura – Construction and Architecture*, 2022, vol. 10, no. 4, pp. 101–105.

2. Pimenov S. I. *Sostoyanie i perspektivy mnogourovnevoy sistemy planirovaniya stroitel'nykh proektov v usloviyakh tsifrovoy transformatsii* [The state and prospects of multi-level system of construction project planning in conditions of digital transformation]. *Construction and Geotechnics – Construction and Geoengineering*, 2022, vol. 13, no. 2, pp. 55–66.

3. Kuzhin M., Zhadanovsky B., Kudryashov M., Granilshchikova E. The organizational process in construction using information modeling technologies. *E3S Web of Conferences. Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics, TPACEE*, Moscow, December 3–5, 2018. Moscow, EDP Sciences, 2019, vol. 91, 08032.

4. Disko A. I. *Issledovanie istorii razvitiya BIM-tekhnologiy kak instrumenta kompleksnogo upravleniya investitsionnym proektom* [Exploring the history of BIM-technology as a tool for integrated management of the investment project]. *Trudy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburg, 21–23 aprelya 2021 g. «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury»* [Proceedings of the 4-th. International scientific and practical conference St. Petersburg, April 21–23, 2021 “BIM-modeling in the tasks of construction and architecture”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2021, pp. 491–497.

5. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Ptukhina I. S. *Imitatsiya kalendarnogo planirovaniya v programmakh informatsionnogo modelirovaniya zdaniy i regressionnaya detalizatsiya norm prodolzhitel'nostey stroitel'stva* [Simulation of scheduling in the programs of information modeling of buildings and regressive detailing of norms of construction durations]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal – Engineering and Construction Journal*, 2011, no. 7 (25), pp. 82–86.

6. Bolotin S. A., Biche-ool Kh. V., Dadar A.-K. Kh. *Metodika vizualizatsii kalendarnogo planirovaniya v programme Autodesk Revit 2018* [Methodology of visualization of scheduling in Autodesk Revit 2018 program]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2019, no. 6 (77), pp. 179–185.

7. Motylev R. V., Abrakova Yu. L. *Tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v voprosakh organizatsii stroitel'nogo proizvodstva* [Technologies of information modeling in the issues of construction production management]. *Trudy III Vseros. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburg, 10–11 fevralya 2021 g. «Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva»* [Proceedings of the All-Russia sci.-pract. conf. “Construction Production Management”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2021, pp. 104–126.

8. Nechiporchuk Ya., Bashkova R. *Kratkiy obzor 4D modelirovaniya v stroitel'stve* [Brief review of 4D modeling in construction]. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie –*



*Architecture. Construction. Education*, 2020, no. 1 (15), pp. 35–41.

9. Pletnikova T. Yu. *Metodika formirovaniya 4D-modeli stroitel'nogo general'nogo plana v protsesse stroitel'stva* [Methodology of forming a 4D-model of the construction master plan in the process of construction]. *Trudy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury» 20–22 aprelya 2022 g* [Proceedings of the 5-th. Int. sci.-pract. conf. “BIM modeling in the tasks of construction and architecture” April 20–22, 2022]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2022, pp. 239–245.

10. Sobolev V. V. *Informatsionnoe modelirovanie pri razrabotke projektov organizatsii stroitel'stva i projektov organizatsii robot* [Information modeling in development of projects of construction organization and projects of work management]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskii nauki – Bulletin of Higher Educational Institutions. North-Caucasus region. Technical Sciences*, 2008, no. 1, pp. 31–35.

11. Ahmadi P. F., Arashpour M. An analysis of 4D-BIM construction planning: advantages, risks and challenges. *Proceedings of the 37-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC: From Demonstration to Practical Use – to New Stage of Construction Robot*, 2020, pp. 163–170.

12. Mazars T., Francis A. Chorographical spatiotemporal dynamic 4D planning. *Automation in construction*, Montreal, 2020, vol. 112, 103076, pp. 1–11.

13. Ji Y., Leite F. Automated tower crane planning: leveraging 4-dimensional BIM and rule-based checking. *Automation in Constructio*, 2018, vol. 93, pp. 78–90.

14. Sigalov E., König M. Recognition of process patterns for BIM-based construction schedules. *Advanced engineering informatics*, 2017, vol. 33, pp. 456–472.

15. Sheikhhoshar M., Rahimian F. P., Kaveh M. H., Hosseini M. R., Edwards D. J. Automated planning of concrete joint layouts with 4D-BIM. *Automation in construction*, 2019, vol. 107, 102943, pp. 1–13.

16. Singh A. R., Delhi V. S. K., Patil Y. D. Optimizing site layout planning utilizing building information

modeling. *Proceedings of the 36<sup>th</sup> International Symposium on automation and robotics in construction*. Banff, 2019, pp. 376–383.

17. Hosny A. O., Nik-Bakht M., Moselhi O. Workspace planning in construction: non-deterministic factors. *Automation in construction*, Montreal, 2020, vol. 116, 103222.

18. Bovteev C. V., Kolesnikov S. V., Sherstobitova P. A. *Kalendar-no-setevoye planirovanie stroitel'stva na osnove 4D-modeley* [Calendar-network planning of construction on the basis of 4D-models]. *Upravlenie proektami i programmami – Project and program management*, 2020, no. 4, pp. 276–284.

19. Bovteev S. V. *Praktika primeneniya 4D-modelirovaniya v stroitel'stve* [Practice of 4D-modeling application in construction]. *Trudy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Sankt-Peterburg, 21–23 aprelya 2021 g. «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury»* [Proceedings of the 4-th. International scientific and practical conference St. Petersburg, April 21–23, 2021 “BIM-modeling in the tasks of construction and architecture”]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2021, pp. 77–84.

20. Disko A. I. *Primenenie produktov SYNCHRO dlya kompleksnogo upravleniya stroitel'stvom* [Application of SYNCHRO products for complex construction management]. *Trudy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury» 20–22 aprelya 2022 g* [Proceedings of the 5-th. Int. sci.-pract. conf. “BIM modeling in the tasks of construction and architecture” April 20–22, 2022]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2022, pp. 226–232.

21. Veselova N. I. *Razrabotka metodov vizualizatsii organizatsii stroitel'noy ploshchadki* [The development of visualization methods of organizing the construction site]. *Trudy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury» 20–22 aprelya 2022 g* [Proceedings of the 5-th. Int. sci.-pract. conf. “BIM modeling in the tasks of construction and architecture” April 20–22, 2022]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2022.