

Управление процессом строительства с помощью цифрового проекта организации строительства

*В.В. Шарманов, М.А. Романович, Т.Л. Симанкина, Н.В. Брайла,
О.Ю. Цветков*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Аннотация: В данной работе проведен анализ недостатков существующей организационно-технологической документации, а именно - проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР). Сделан вывод, что главная задача организационно-технологической документации заключается в минимизации строительных рисков на наиболее раннем этапе, повышении знания о проекте и переносе процесса разработки и принятия решений на более раннюю стадию строительства. В качестве решения данных задач предлагается рассмотреть применение технологии информационного моделирования (ТИМ) в строительстве, и перейти на разработку цифрового ПОС (4D-модель строительного процесса), который представляет собой цифровую информационную модель объекта капитального строительства (3D-модель), элементы которой взаимосвязаны с работами по строительному производству. Рассмотрены два проекта, где была применена технология информационного моделирования и разработан цифровой ПОС: строительство подземно-надземного тоннеля и реконструкция энергоблока ТЭЦ. Доказаны преимущества применения цифрового ПОС, позволяющего спрогнозировать плановую продолжительность работ, а также продолжительность работ, учитывающую наступление рискованных событий, необходимые ресурсы и оборудование.

Ключевые слова: цифровой проект организации строительства, 4D-модель, технологии информационного моделирования, проект организации строительства, объект капитального строительства.

В настоящее время строительная отрасль переживает этап цифровой трансформации, начавшийся в 2018 году с поручения Президента Российской Федерации Правительству Российской Федерации № Пр-1235 от 19 июля 2018 года. За прошедший с этой даты период была создана нормативная база применения технологий информационного моделирования (ТИМ, Building Information Modeling – BIM) в проектировании, строительстве, эксплуатации, сносе и утилизации объектов капитального строительства.

Глобальная задача перехода на качественно новый уровень управления строительством за счёт внедрения и развития ТИМ на всём жизненном цикле объектов капитального строительства (ОКС) многогранна, затрагивает

большое количество факторов и показателей, формирует большое количество подцелей и подзадач.

Строительная отрасль является именно той отраслью экономики, которая нуждается в цифровизации не только в целях автоматизации процессов проектирования, но и для снижения риска при реализации строительно-инвестиционных проектов на этапе строительства.

Вводимые изменения в нормативно-правовые акты в части нормативного регулирования строительства, выход нового ГОСТ Р 57363-2023 «Управление проектом в строительстве. Деятельность управляющего проектом (технического заказчика)» свидетельствуют о переходе на новый уровень зрелости применения ТИМ для этапа строительства.

В 2008 году сотрудники компании BIM Task Group Мервин Ричардс и Марк Бью предложили диаграмму уровней зрелости ТИМ (PAS 1192-2:2013 Содержит поправки No.1 Спецификация по управлению информацией для фазы капитального строительства/поставки строительных проектов с использованием информационного моделирования). Согласно данной диаграмме, степень развития ТИМ можно разделить на 4 уровня:

- «Уровень 0» – данный уровень подразумевает традиционный САД в 2D-формате;
 - «Уровень 1» – применяются 2D и 3D форматы. Для обмена информацией используются электронные файлы, а взаимодействие между участниками, как правило, происходит с использованием среды общих данных;
 - «Уровень 2» – проект этого уровня представляет собой «федеративную» или комплексную модель, над которой параллельно работают специалисты различных направлений в различных программах. Сборка общей модели, анализ и выявление коллизий осуществляются в
-

специальных программных приложениях. Данный уровень предполагает добавление следующих измерений: 4D (время) и 5D (стоимость);

- «Уровень 3» – строительный проект опирается на единую интегрированную модель, которая создается и используется всеми участниками процесса – заказчиком проекта, архитектором, проектировщиком, инженерными службами, подрядчиками и субподрядчиками, собственниками здания.

Цель работы, результаты которой представлены в данной статье, – исследование применения ТИМ на этапе строительства. Объектом исследования являются организационно-технологические процессы, отражаемые в проекте организации строительства (ПОС) и проекте производства работ (ППР). Предметом исследования является 4D-моделирование, как инструмент повышения организационно-технологической надежности строительства и разработки цифрового ПОС.

Сегодня ТИМ затрагивает все этапы жизненного цикла ОКС: от проектирования до строительства и эксплуатации объекта. При этом уровень зрелости применения ТИМ у строительных компаний может быть разным: на этапе проектирования ТИМ могут быть внедрены на 85%, на этапе строительства – на 50%, а на этапе эксплуатации – лишь на 25% [1]. При этом в работе [2] отмечается увеличение применения ТИМ на различных этапах реализации строительного проекта. Например, на этапе строительства популярность применения ТИМ со стороны застройщика увеличилась на 19%, а у генподрядчиков на 50%. В работе [3] отмечается, что именно применение ТИМ позволяет использовать инновационные организационно-технологические решения.

Вопросу же применения именно 4D-ТИМ посвящено достаточно большое количество научных работ как российских, так и зарубежных авторов. В работе [4] описывается современное состояние и перспективы

применения 4D моделирования на российских строительных площадках, ряд работ [5, 6] посвящен применению 4D-моделирования в календарном планировании. Также в ряде работ применение 4D-моделирования обосновывается эффективностью данной технологии в вопросах управления логистикой строительства [7], рисками и безопасностью на строительной площадке [8, 9]. При этом для создания 4D-моделей могут быть использованы различные программные комплексы, обзор которых приведен в работе [10].

Однако определение цифрового ПОС несколько шире, чем просто 4D-модель.

Цифровой ПОС – это сводная цифровая информационная модель (3D-модель), связанная с работами и процессами цифрового строительного производства, это связь технологических цепочек информационного моделирования – сбора, формирования, анализа, обмена и реализация объекта на основании принятых решений. Цифровой ПОС моделирует, как выбранная сумма проектных решений по ОКС будет воплощаться в процессе строительного производства. Цифровой ПОС - это цифровая информационная модель ОКС, элементы которой взаимоувязаны с работами по строительному производству.

Основным документом, определяющим организационно-технологические решения по осуществлению строительства, его продолжительность, потребность в материалах и ресурсах, является ПОС.

Однако сегодня применяемые в ПОС и часто даже в ППР организационно-технологические решения, как правило, не соответствуют реальным производственным условиям.

Основные причины, приведшие к подобным недостаткам ПОС:

– большая трудоёмкость разработки раздела по организации строительства;

- низкая стоимость раздела ПОС;
- отсутствие необходимого программного обеспечения, обеспечивающего комплексное моделирование ПОС;
- отсутствие баз и сервисов нормативных данных, необходимых для принятия решений в области организации строительства;
- отсутствие у проектной организации технологов-строителей должного уровня компетенций в необходимом объёме.

В результате решения основных вопросов организации строительства переносятся на строительную площадку (на производственно-технический отдел, прорабов и бригадиров).

В это же время на строительной площадке идёт подготовка строительства параллельно с самим строительством и рабочим проектированием, приёмками, проверками, формированием исполнительной документации.

Ресурсов для детальной доработки и переработки ПОС нет, общего детального, качественного, согласованного, полного и технологически обоснованного графика производства работ на весь период строительства также нет, что приводит к ошибкам планирования, несогласованной работе, последующим задержкам.

Таким образом, должный уровень проработки ПОС практически вытесняется из практики и вместо планового осуществляется стихийно-ситуационное управление. Без достоверных оценок и построения прогнозов приемлемого диапазона точности, описывающих реальное положение дел, невозможно удержание проекта в целевых показателях.

Становится однозначно понятно, что первоочередная задача организационно-технологической системы снизить риски строительства до минимально доступного уровня на наиболее раннем этапе, то есть

максимально возможно повысить знания о проекте и перенести процесс разработки и принятия решений на более раннюю стадию строительства.

Ключевые возможности цифрового ПОС:

- 1) высокий класс точности оценки стоимости строительства;
- 2) обоснованный выбор наиболее рационального, из возможных, комплекса организационно-технологических решений строительного производства, с точки зрения организационно-технологической надёжности и экономической целесообразности;
- 3) своевременный учёт всех возникающих и прогнозируемых отклонений;
- 4) принятие эффективных решений, позволяющих удержать проект в заданных границах;
- 5) эффективная координация работ с учётом принимаемых регулирующих воздействий.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что именно переход к цифровому ПОС даст возможность моделирования различных вариантов проектных решений, благодаря цифровому ПОС появится возможность выявлять, учитывать и разрабатывать стратегии реагирования на риски на ранних стадиях.

Рассмотрим несколько примеров применения цифрового ПОС.

1. Строительство подземно-надземного тоннеля

Осуществляется строительство подземно-надземного тоннеля по разработанной организационно-технологической документации. При этом на самой ранней стадии строительства было выявлено, что строящийся подземно-надземный комплекс пересекает существующие железнодорожные пути. Строительные работы приостанавливаются, в связи с невозможностью принять оперативное решение, которое бы позволило завершить проект с

целевыми показателями в соответствующий срок, в рамках запланированного бюджета и с должным уровнем качества.

Заказчик принимает решение о разработке цифрового ПОС для выбора наилучшего варианта организации строительных работ, и цифрового ППР для минимизации рисков, связанных с осуществлением работ на участке строительства, пересекающем существующие железнодорожные пути.

В качестве исходных данных для создания 4D-модели строящегося сооружения были предоставлены планы в формате 2D, информация об объемах земляных работ, календарные графики строительства.

На основе 2D-документации были разработаны 3D-модели подземно-надземного тоннеля по разделам проектной документации; разработаны 3D-модели работ нулевого цикла (земляные работы, шпунт, распорки и т.д.), разработаны 3 календарных графика строительства объекта с учетом поставленной задачи (оптимистический, пессимистический, наиболее вероятный).

Для оптимизации и ускорения процесса разработки 3D-моделей были созданы соответствующие скрипты в Дайнамо (Dynamo интерфейс графического программирования, позволяющий адаптировать рабочий процесс касательно информации о проектируемом здании):

- для автоматического моделирования распорной системы на одновременно на нескольких участках строительства;
- для моделирования процесса земляных работ;
- для моделирования 3D-траектории тоннеля.

После завершения разработки всех необходимых 3D-моделей была разработана 4D-модель сооружения, которая позволила визуализировать все технологические и организационные процессы на всех участках строительства, общей протяженностью более 1,5 км.

На основе разработанного цифрового ПОС заказчик получил несколько вариантов разбивки сооружения на строительные захватки (участки строительства на протяжении 1,5 км) и несколько 4D-моделей строительства сооружения с разными календарными графиками выполнения работ (оптимистический, пессимистический, наиболее вероятный).

На рисунке 1.а) показано начало строительства тоннеля. Началась разработка котлована на нескольких захватках одновременно, после чего был установлен шпунт с распорками. Синим цветом показан участок железной дороги, пересекающий участок строящегося подземно-надземного тоннеля. В начале строительных работ строительство ведется на участках, не пересекающих существующую железную дорогу. На рисунке 1.б) показано завершение монолитных работ на некоторых участках строительства, установка шпунта и распорок на следующих участках строительства.

На рисунке 2.а) красным цветом показано строительство участка временной объездной железной дороги, с последующей разборкой участка, пересекающего строящийся тоннель. После этого были проведены строительные работы по строительству подземной части тоннеля на последнем, наиболее важном участке строительства (рис. 2.б)).

После завершения всех работ участок железной дороги, показанный синим цветом, был восстановлен в прежних границах, участок временной объездной железной дороги, показанный красным цветом, был демонтирован. Все представленные виды сверху были получены из разработанного цифрового ПОС сооружения.

Информация об инфраструктуре города, в котором проводились строительные работы: о расположенных рядом кварталах, жилых домах, дорогах, зеленых насаждениях, были получены в 3D-формате из программы Автодекс Инфраворкс (Autodesk Infracore – программа, позволяющая создавать эскизы и визуализации для таких комплексных объектов, как

дороги, транспортные развязки разных уровней, площадки для застройки и множество специфических для данной темы объектов).



Рис. 1. Стадии строительства подземно-надземного тоннеля
а) Начало строительства б) Завершение монолитных работ на нескольких участках строительства



Рис. 2. Стадии строительства подземно-надземного тоннеля
а) Начало строительства б) Завершение монолитных работ на нескольких участках строительства

На рисунке 3 показан процесс строительства тоннеля с учетом геологических особенностей местности, где разным цветом обозначены различные технологические процессы строительства: желтым цветом показан демонтаж распорной системы, зеленым – процесс монолитных работ, красным – процесс выемки гранта на этапе земляных работ, синим – участок существующей железной дороги.

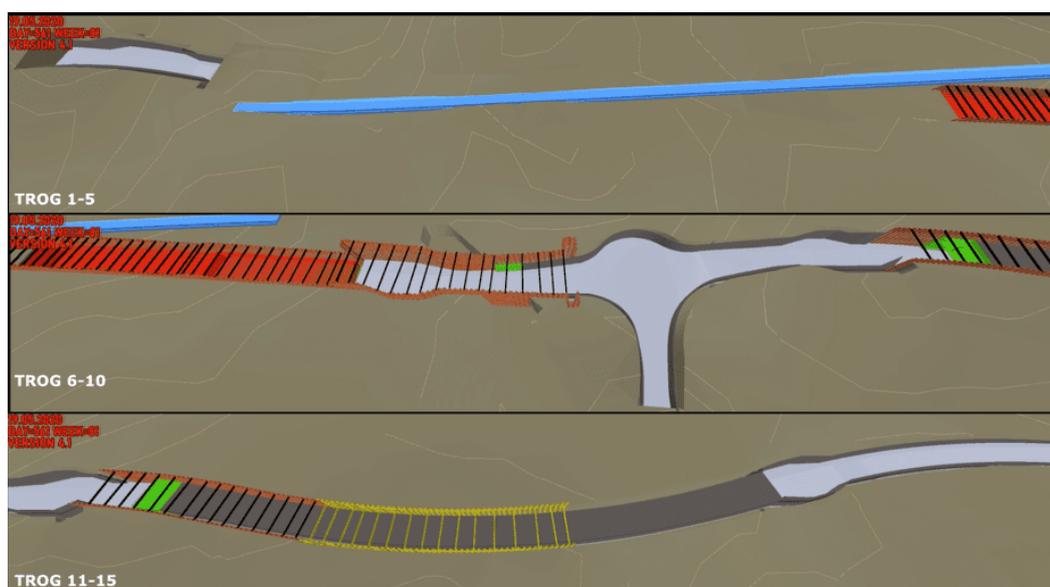


Рис. 3. Стадии строительства подземно-надземного тоннеля

2. Реконструкция энергоблока теплоэлектростанции

При проведении работ по комплексной реконструкции и переоборудованию теплоэлектростанции заказчик столкнулся с задачей оценки оптимального размещения грузоподъемной техники и механизмов для проведения работ по реконструкции и установки нового оборудования. Было очевидно, что 2D-плоскостных чертежей и «классических» ПОС и ППР недостаточно для комплексной оценки всех рисков при проведении организационно-технологических работ. Поэтому заказчиком было принято решение разработать 4D-ППР на каждый объект теплоэлектростанции. В данном примере рассмотрим, какие проблемы позволил решить 4D-ППР, разработанный для энергоблока теплоэлектростанции.

В качестве исходных данных для разработки 4D-ППР использованы 3D-модели энергоблока по разделам проекта, рабочая документация (далее – РД), организационно-технологическая документация, календарные графики строительства.

При проведении комплексного анализа исходных данных были выявлены несоответствия между РД и календарным графиком; несоответствие между РД и 3D-моделями объекта; дублирование работ в календарном графике; отсутствие в календарном графике работ при наличии соответствующих 3D-элементов в модели; отсутствие 3D-элементов в модели при наличии соответствующих работ в календарном графике; недостающие 3D-элементы, которые не были запроектированы; ошибки при моделировании 3D-элементов; ошибки в календарном графике в части несоблюдения технологии выполнения строительных работ.

Как правило, большое количество ошибок в РД, календарном графике, 3D-моделях можно выявляется именно на этапе создания 4D-моделей.

Поэтому качество и время разработки 4D-модели (цифрового ПОС или цифрового ППР) зависит от качества и полноты исходных данных.

Основные виды ошибок в календарных графиках:

- дублирование работ или включение одной работы в другую (например, в одном комплексе работ есть «Монтаж лестниц и площадок» и просто «Монтаж лестниц»), что существенно может усложнить привязку 3D-элементов к работе графика;
 - отсутствие необходимых работ (например, 3D-элемент есть в модели и описан в РД, при этом о его возведении нет информации в календарном графике);
 - ошибки в датах начала и окончания работ, неверные связи между работами, что приводит к возникновению временных коллизий, ошибок в технологии выполнения работ;
-

- ошибки в идентификационных номерах работ (идентификатор операции), что также существенно может усложнить привязку 3D-элементов к работам графика, а в некоторых случаях делает невозможным синхронизацию 4D-проекта с обновленным календарным графиком.

Основные виды ошибок в 3D-моделях:

- неполнота элементов конфигурации (отсутствуют полностью или частично, к примеру, части плит перекрытий, кровлей, пандусов, стяжек, дверей, «белые» пятна в составе инженерных систем, либо они представлены только в 2D);
- дублирование, наложение элементов или наличие лишних элементов, прочие пространственные коллизии;
- наличие «висящих в воздухе» и в целом некорректно скоординированных элементов или неверно привязанных элементов (к помещениям, уровням, дверей к стенам и т.д.), что является признаком недостаточно уровня организации работ над моделью разных разделов / частей проектирования;
- низкий уровень детализации и проработки моделей (например, в модели отсутствуют защитные покрытия элементов, отделка помещений, при этом в календарном графике данные работы есть);
- множественные элементы моделей идут «как один» (часто для металлических лестниц и площадок, либо объединение фундаментов под оборудование вместе с перекрытиями, стяжек с перекрытиями и т. д.);
- неполнота или недостоверность атрибутивных данных.

Таким образом, при создании 4D-модели производится, как правило, существенная работа по повышению качества исходных 3D-информационных моделей и календарного графика, адаптация до должного уровня путем следующих действий:

- устранение критичных пространственных коллизий;
-

- «чистка» моделей от дублирующихся элементов и ненужного «мусора»;
- переклассификация и/или до-классификация и идентификация элементов;
- перевод из 2D-чертежей в 3D-модель отсутствующих объектов/элементов, в том числе найм дополнительных подрядчиков по 3D-моделированию;
- доработка календарного графика.

Помимо всех вышеперечисленных ошибок при разработке 4D-модели энергоблока (цифрового ППР на реконструкцию) были выявлены временные коллизии, т.е. нарушения в технологии и организации работ.

Например, в графике производства работ была нарушена технологическая последовательность выполнения работ – трубопроводы монтировались раньше, чем металлические опоры, на которых они должны были опираться (рис. 4). На рисунке 5 показана временная коллизия, заключающаяся в монтаже металлической стойки сразу после установки фундаментов стаканного типа и до заливки монолитной плиты.

Помимо выявления временных коллизий и устранения ошибок в исходных данных 4D-модели выполняют ряд других важных задач на этапе строительства объекта, а именно даёт возможность:

- 1) контролировать ход строительства на основе 4D-модели в режиме реального времени благодаря использованию облачных сервисов,
- 2) оптимизировать проектные и технические решения,
- 3) контролировать соответствия проектных решений и результатов строительства.

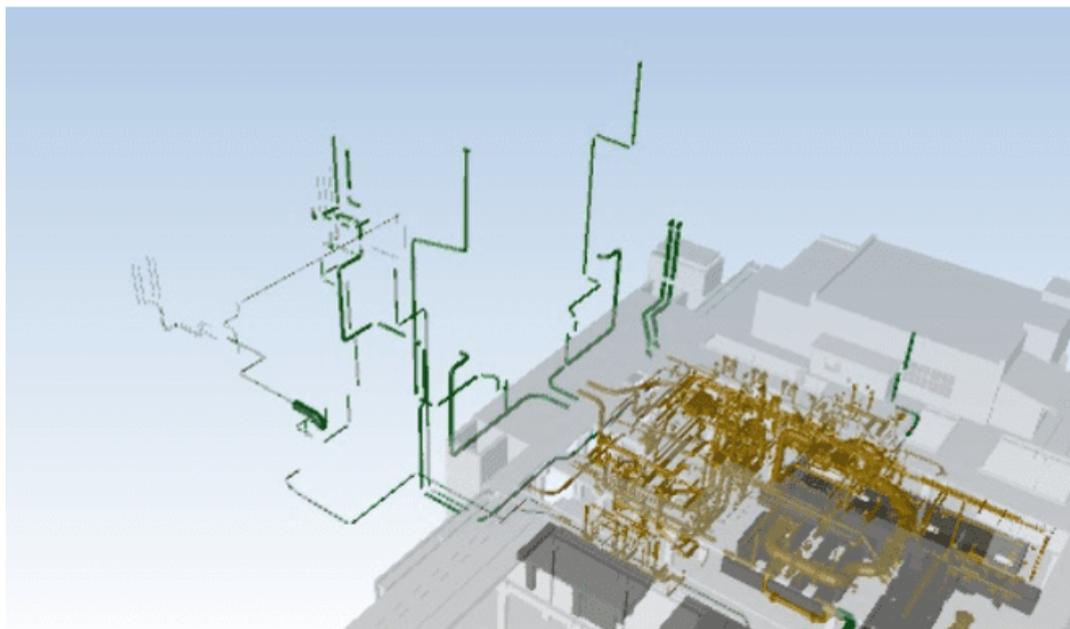


Рис. 4. Временная коллизия, выявленная при разработке 4D-модели

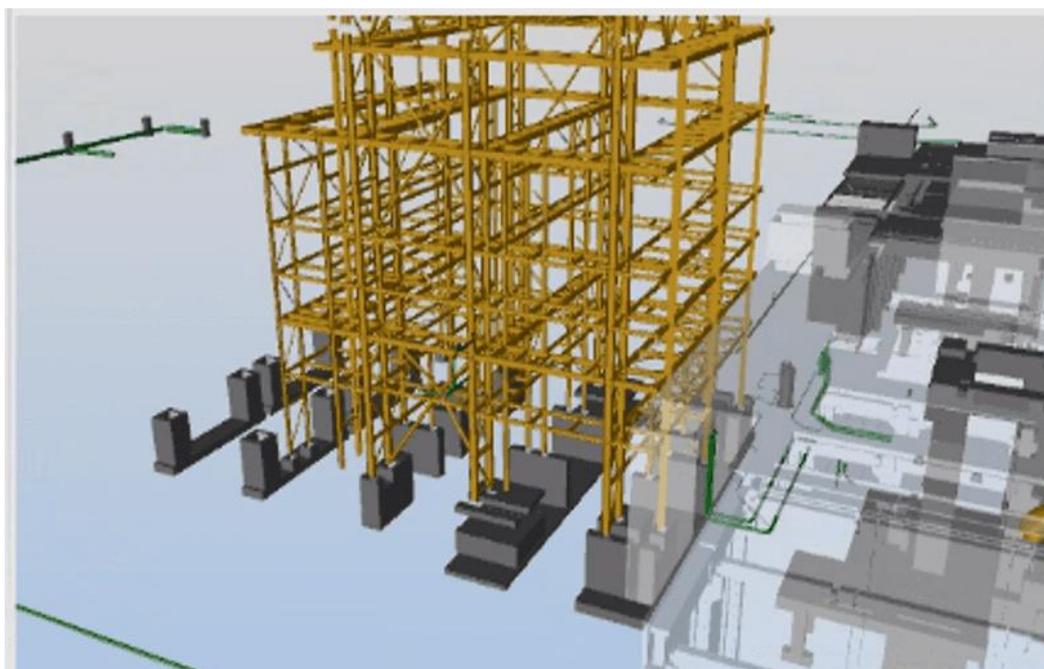


Рис. 5. Временная коллизия, выявленная при разработке 4D-модели

Таким образом, разрабатывая цифровой ПОС до начала строительства, можно визуализировать и оценить весь организационно-технологический процесс, выявить риски и оптимальные стратегии решения возникающих задач, а в процессе строительства можно контролировать план/факт

выполнения работ, фиксировать разницу между фактическими показателями и плановыми.

Применение технологий информационного моделирования при строительстве зданий и сооружений дает возможность своевременно моделировать строительные процессы и заранее оценивать риски для застройщика. На основе разработанных цифрового ПОС или цифрового ППР можно спрогнозировать плановую продолжительность работ, а также продолжительность работ, учитывающую наступление рискованных событий, необходимые ресурсы и оборудование.

Технология информационного моделирования, используемая в строительстве, позволяет быстро обновлять и добавлять новые данные в информационную модель ОКС. Расчет обновленной версии цифрового ПОС занимает немного времени, при этом позволяет сэкономить значительные ресурсы застройщика.

Литература

1. Шарманов В. В., Мамаев А. Е., Болейко А. С., Золотова Ю. С. Трудности поэтапного внедрения BIM // Инженерно-строительный журнал. 2015. №10 (37). С. 108-120.

2. Фахратов М. А., Хуссейн А. М. С. Аль-Джубури, Полосина К. В. Технологии информационного моделирования при формировании технологических процессов создания монолитных конструкций объектов капитального строительства // Инженерный вестник Дона, 2023, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8907/.

3. Зеленцов Л. Б., Цапко К. А., Беликова И. Ф., Пирко Д. В. Совершенствование процесса строительства с использованием BIM-технологий // Инженерный вестник Дона, 2020, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_65__1_Zelencov.pdf_16c57cadf4.pdf/.

4. Бовтеев С. В. Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в Российской практике строительства // Вестник гражданских инженеров. 2023. № 2 (97). С. 65-74.

5. Бовтеев С. В., Петелин М. Е. Требования к разработке 3D-модели и календарно-сетевого графика для оптимизации процесса 4D-моделирования // Инновации и инвестиции. 2023. № 10. С. 226-229.

6. Mayouf M., Jones J., Elghaish F., Emam H., Ekanayake E. M. A. S., Ashayeri I. Revolutionising the 4D BIM Process to support scheduling requirements in modular construction. 2024. Sustainability 16 (2): 476.

7. Whitlock K., Abanda F. H., Manjia M. B., Pettang C., Nkeng G. E. 4D BIM for construction logistics management. 2021. CivilEng 2 (2):325-348.

8. Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., & Dharmapalan, V. Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. 2019. Engineering Construction & Architectural Management. 26 (11):2637-2654.

9. Guevremont M., Hammad A. 4D simulation considering adjusted schedules for safety planning in hydroelectric projects. 2019. Proceeding of the 26th International Workshop – European Group on Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), Leuven, Belgium, volume 1-2394, paper 38.

10. Пименов С. И. Анализ современных программных комплексов для виртуального строительства (4D-моделирования) // Научный журнал строительства и архитектуры. 2022. № 3 (67). С. 92-104.

References

1. Sharmanov V. V, Mamaev A. E, Bolejko A. S, Zolotova Yu. S. Inzhenerno-stroitel'ny'j zhurnal. 2015. №10 (37). pp. 108-120.

2. Faxratov M. A., Xussejn A. M. S. Al`-Dzhuburi, Polosina K. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8907/.



3. Zelenczov L. B., Czapko K. A., Belikova I. F., Pirko D. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_65__1_Zelencov.pdf_16c57cadf4.pdf/.

4. Bovteev S. V. Vestnik grazhdanskix inzhenerov. 2023. № 2 (97). pp. 65-74.

5. Bovteev S. V., Petelin M. E. Innovacii i investicii. 2023. № 10. pp. 226-229.

6. Mayouf M., Jones J., Elghaish F., Emam H., Ekanayake E. M. A. C., Ashayeri I. Revolutionising the 4D BIM Process to support scheduling requirements in modular construction. 2024. Sustainability 16 (2): 476.

7. Whitlock K., Abanda F. H., Manjia M. B., Pettang C, Nkeng G. E. 4D BIM for construction logistics management. 2021. CivilEng 2 (2): 325-348.

8. Jin, Z., Gambatese, J., Liu, D., & Dharmapalan, V. Using 4D BIM to assess construction risks during the design phase. 2019. Engineering Construction & Architectural Management. 26 (11): 2637-2654.

9. Guevremont M., Hammad A. 4D simulation considering adjusted schedules for safety planning in hydroelectric projects. 2019. Proceeding of the 26th International Workshop – European Group on Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), Leuven, Belgium, volume 1-2394, paper 38.

10. Pimenov S. I. Nauchny`j zhurnal stroitel`stva i arxitektury`. 2022. № 3 (67). pp. 92-104.

Дата поступления: 26.02.2024

Дата публикации: 26.03.2024