

**ПРОМЫШЛЕННАЯ ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ:  
МНОГОАСПЕКТНЫЙ ПОДХОД И КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

*Г. В. Рыбкина, И. А. Зайцева, С. А. Логинова, А. В. Симагин*

**Рыбкина Галина Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и инженерных систем, Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Российская Федерация, тел.: + 7 (902) 316-15-26; e-mail: 022103galina@mail.ru;

**Зайцева Ирина Александровна**, кандидат экономических наук, доцент, магистрант, Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 835-50-02; e-mail: 75zss@rambler.ru;

**Логинова Светлана Андреевна**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства зданий и сооружений, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

**Симагин Александр Владимирович**, инженер по эксплуатации теплотехнического оборудования 1 категории, Ивановское линейно-производственное управление магистральных газопроводов – филиал ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», тел.: + 7 (964) 497-03-06; e-mail: sanya\_sema1580@mail.ru

В статье рассматривается процесс цифровизации в строительной индустрии, включающий внедрение современных информационных технологий и цифровых вычислительных систем для повышения эффективности строительных процессов. Мотивацией исследования является необходимость интеграции цифровых решений для оптимизации проектирования, управления и эксплуатации строительных объектов. Метод исследования включает анализ существующих цифровых технологий, таких как BIM, IoT, искусственный интеллект и автоматизированное проектирование, с их последующим применением в строительстве. В результате исследования выявлены основные направления и преимущества цифровизации: повышение эффективности и качества проектов, улучшение безопасности, содействие инновациям и устойчивому развитию, укрепление конкурентоспособности компаний. Выводы подчеркивают значимость комплексного подхода к цифровизации, включающего технологические инновации, организационные изменения и развитие навыков сотрудников для успешной реализации цифровой трансформации в строительной отрасли.

**Ключевые слова:** модель, оптимизация, трансформация, цифровизация строительного производства, информационное моделирование зданий (BIM), цифровой двойник, интернет вещей (IoT), автоматизация и робототехника, большие данные и аналитика, мобильные технологии, облачные вычисления, кибербезопасность, экологическая устойчивость.

**INDUSTRIAL DIGITALIZATION IN CONSTRUCTION:  
MULTI-PRONGED APPROACH AND KEY TECHNOLOGIES**

*G. V. Rybkina, I. A. Zaytseva, S. A. Loginova, A. V. Simagin*

**Rybkina Galina Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Construction and Engineering Systems, Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation, phone: + 7 (902) 316-15-26; e-mail: 022103galina@mail.ru;

**Zaytseva Irina Aleksandrovna**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, undergraduate student, Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo, Russian Federation; phone: + 7 (915) 835-50-02; e-mail: 75zss@rambler.ru;

**Loginova Svetlana Andreyevna**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Construction of Buildings and Structures, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

**Simagin Aleksandr Vladimirovich**, Engineer for Operation of Heating Equipment of the 1st category, Ivanovo Linear Production Directorate of Main Lines – branch of Gazprom Transgaz Nizhny Novgorod LLC, phone: + 7 (964) 497-03-06; e-mail: sanya\_sema1580@mail.ru

The article discusses the process of digitalization in the construction industry, including the introduction of modern information technologies and digital computing systems to improve the efficiency of construction processes. The motivation for the study is the need to integrate digital solutions to optimize the design, management and operation of construction projects. The research method includes the analysis of existing digital technologies such as BIM, IoT, artificial intelligence and computer-aided design, with their subsequent application in construction. As a result of the study, the main directions and advantages of digitalization were identified: increasing the efficiency and quality of projects, improving safety, promoting innovation and sustainable development, strengthening the competitiveness of companies. The findings highlight the importance of an integrated approach to digitalization, including technological innovation, organizational change and employee skills development to successfully implement digital transformation in the construction industry.

**Keywords:** model, optimization, transformation, digitalization of construction production, building information modeling (BIM), digital twin, Internet of Things (IoT), automation and robotics, big data and analytics, mobile technologies, cloud computing, cybersecurity, environmental sustainability.

**Введение**

В настоящее время для жизнеобеспечения строений необходим процесс освоения информационных технологий в стройиндустрии, внедрения достижений цифровой вычислительной техники для обработки широких функциональных возможностей объектных решений. Введение информационных технологий, таких как BIM, IoT и искусственный интеллект, изменяет традици-

онные методы проектирования, строительства и управления объектами.

Цифровизация и цифровая трансформация в строительной индустрии являются важнейшими процессами, способствующими модернизации и повышению эффективности отрасли. Актуальность исследования обусловлена необходимостью интеграции цифровых технологий для повышения точности, безопасности и экономической эффективности строительных проектов. В мировой литературе отмечается недостаток

комплексных решений по внедрению цифровизации в строительстве, что обуславливает необходимость данного исследования [1–2].

Цель исследования – разработка и анализ методов цифровизации строительного производства для оптимизации процессов, улучшения качества и повышения эффективности проектов. Основные задачи включают: изучение существующих цифровых технологий, разработку алгоритмов их внедрения, анализ эффективности и разработку

рекомендаций для интеграции цифровых решений в строительные процессы.

**Метод**

Методология исследования цифровизации строительного производства представлена в таблице 1 и включает несколько ключевых этапов, где представлено детальное описание используемых инструментов и методов, что позволяет воспроизвести экспериментальные условия и подтвердить результаты теоретических исследований [3].

Таблицы 1

**Методология исследования цифровизации строительного производства**

Этапы	Описание метода	Инструменты
Этап 1. Анализ существующих цифровых технологий (BIM, IoT, искусственный интеллект)	На данном этапе проводится детальный анализ существующих цифровых технологий, применяемых в строительстве. Основное внимание уделяется следующим технологиям: <ul style="list-style-type: none"> <li>• BIM (Building Information Modeling) – анализируются программные комплексы для информационного моделирования зданий, такие как AutodeskRevit, ArchiCAD и BentleySystems;</li> <li>• IoT (Internet of Things) – изучаются устройства и системы для сбора данных в реальном времени, включая датчики и сетевые технологии;</li> <li>• искусственный интеллект – рассматриваются алгоритмы машинного обучения и их применение в прогнозировании и оптимизации строительных процессов</li> </ul>	Литературный обзор научных публикаций и технической документации. Сравнительный анализ программного обеспечения (BIM, IoT платформ). Интервью с экспертами отрасли и пользователями технологий
Этап 2. Разработка алгоритмов интеграции этих технологий в строительные процессы	Разрабатываются алгоритмы интеграции технологий BIM, IoT и искусственного интеллекта в строительные процессы. Включает определение этапов внедрения, необходимого оборудования и программного обеспечения, а также методик сбора и обработки данных	Разработка методических рекомендаций. Программирование и моделирование процессов с использованием MATLAB, Python. Тестирование и верификация алгоритмов на пилотных проектах
Этап 3. Моделирование и симуляция строительных проектов с использованием цифровых двойников	Создаются цифровые двойники реальных строительных объектов для моделирования различных сценариев и оптимизации процессов. Включает создание 3D-моделей, проведение симуляций, анализ и корректировка моделей на основе собранных данных	Программные комплексы для создания цифровых двойников (AutodeskRevit, BentleySystems). Платформы для симуляции и анализа данных (Simulink, Ansys)
Этап 4. Внедрение сенсорных технологий для мониторинга состояния объектов в реальном времени	Разрабатывается и внедряется система мониторинга состояния строительных объектов с использованием сенсорных технологий. Система включает установку датчиков для измерения различных параметров (температура, влажность, давление) и разработку интерфейсов для сбора и анализа данных	IoT-платформы (AWS IoT, Microsoft Azure IoT). Датчики и устройства для мониторинга (сборочные датчики, сетевые модули). Программное обеспечение для анализа данных (Tableau, Power BI)
Этап 5. Разработка и тестирование цифровых платформ для управления проектами	Создаются и тестируются цифровые платформы для управления строительными проектами. Платформы включают инструменты для планирования, контроля ресурсов, отслеживания прогресса и взаимодействия между участниками проекта	Платформы для управления проектами (OraclePrimavera, MicrosoftProject, Asana). Разработка пользовательских интерфейсов (UI/UX дизайн). Тестирование на пилотных проектах с обратной связью от пользователей
Этап 6. Оценка эффективности внедренных технологий на основе ключевых показателей производительности	Оценивается эффективность внедренных технологий на основе ключевых показателей производительности (KPI). Анализируются данные по производительности, качеству, затратам и безопасности строительных проектов до и после внедрения цифровых технологий	Сбор и анализ данных с использованием аналитических инструментов (R, Python). Сравнительный анализ показателей производительности. Разработка отчетов и визуализация результатов (Power BI, Tableau)

Данная методология позволяет комплексно и последовательно внедрять цифровые технологии в строительное производство, обеспечивая повышение эффективности, качества и безопасности строительных проектов.

**Результаты и обсуждения**

В ряде направлений строительной индустрии достигнуты важные результаты, связанные с коррекцией и распознаванием изображений,

техническим зрением роботов, цифровой голографией, статистическим многофункциональным анализом различных объектов и элементов, тепловизионным анализом, позволяющим определить теплофизические и термодинамические характеристики процессов, происходящих в строительном объекте и т. д. [4–6].

Цифровизация и цифровая трансформация в контексте строительного производства часто

используются как взаимозаменяемые термины, но между ними существует важное различие, отражающее глубину и масштаб применения цифровых технологий в отрасли.

Цифровизация строительного производства в основном относится к процессу преобразования аналоговой информации в цифровой формат и внедрению отдельных цифровых технологий для выполнения конкретных задач или улучшения определенных аспектов производственного процесса. Это может включать:

- использование программного обеспечения для проектирования (например, CAD и BIM),
- автоматизацию сбора данных с помощью IoT-устройств,
- применение программ для управления проектами.

Цифровизация нацелена на повышение эффективности отдельных процессов и задач в рамках существующих бизнес-моделей и операционных процедур. Цифровизация, в основе, которой лежит комплексная автоматизация и роботизация строительного производства в условиях современных

компьютерных систем, представляет собой создание гибких производственно-вспомогательных систем в различных масштабах – от машин, цехов, складских помещений, территорий и до предприятий [4]. Это первый шаг на пути к более широкой цифровой трансформации, фокусирующийся на конкретных технологических улучшениях.

В настоящее время в литературных источниках [5–9] встречается многообразие определений понятия «Цифровизация». Многочисленные формулировки и сложные фразы не дают конкретной ясности процесса. В наиболее обобщенном случае, под цифровизацией понимают численное описание методов решения в формате, подходящем для обработки компьютером [7]. В широком смысле цифровизацией принято называть внедрение цифровых решений вплоть до нейросетей [7, 8].

Определение понятия «цифровизация» и, в частности, «цифровизация строительного производства» может варьироваться в зависимости от контекста, целей и подходов к применению цифровых технологий. Некоторые из подходов к их определению представлены в таблице 2.

Таблицы 2

**Подходы к определению понятий «цифровизация» и «цифровизация строительного производства»**

<b>Цифровизация</b>	<b>Цифровизация строительного производства</b>
<i>Технологический подход.</i> Цифровизация рассматривается как процесс перехода от физических данных к их цифровому аналогу. Это включает в себя преобразование текстовой, графической, аудио и видео информации в цифровой формат, который можно обрабатывать, хранить и передавать с использованием информационных технологий	<i>Технический подход.</i> Определение акцентируется на внедрении конкретных цифровых технологий в строительство, таких как BIM (информационное моделирование зданий), IoT (интернет вещей), искусственный интеллект, автоматизированное проектирование и робототехника. Эти технологии используются для повышения точности проектов, оптимизации рабочих процессов и улучшения управления строительными объектами
<i>Процессный подход.</i> Под цифровизацией понимают применение цифровых технологий для оптимизации бизнес-процессов. Это включает автоматизацию рутинных задач, улучшение взаимодействия между отделами и с клиентами, а также повышение эффективности работы благодаря аналитике больших данных	<i>Организационный подход.</i> Сосредотачивается на изменении организационной структуры и процессов управления в строительных компаниях в ответ на возможности, предоставляемые цифровизацией. Это включает в себя изменение подходов к управлению проектами, повышение гибкости организации и улучшение сотрудничества между участниками строительного процесса
<i>Стратегический подход.</i> Здесь цифровизация рассматривается как стратегия организационных изменений, направленных на полную интеграцию цифровых технологий во все аспекты деятельности организации, что ведет к созданию новых бизнес-моделей и источников дохода	<i>Культурный подход.</i> Подчеркивает важность изменения корпоративной культуры и менталитета сотрудников для успешной цифровой трансформации в строительстве. Сюда входит обучение и развитие навыков работы с новыми технологиями, принятие инноваций и готовность к изменениям
	<i>Интегративный подход.</i> Рассматривает цифровизацию строительного производства как комплексный процесс, сочетающий технологические инновации, организационные изменения и культурную адаптацию. Целью является создание эффективной, гибкой и инновационной среды, способной наиболее полно реализовать потенциал цифровых технологий для улучшения качества, безопасности и экономической эффективности строительных проектов. Этот подход подчеркивает важность интеграции данных и информационных потоков на всех этапах строительного проекта, от планирования до эксплуатации, обеспечивая тем самым прозрачность и доступность информации для всех участников проекта. Интегративный подход также предполагает использование цифровых платформ и инструментов для управления проектами, автоматизации процессов и поддержки принятия решений на основе анализа больших объемов данных. Он учитывает не только внедрение технологий, но и развитие навыков и компетенций сотрудников, а также формирование экосистемы сотрудничества с партнерами и подрядчиками

Цифровая трансформация в строительстве не является просто модной тенденцией; это неотъемлемая необходимость, которая определяется рядом

ключевых факторов и преимуществ (табл. 3), отражающих современные требования к индустрии. Цифровая трансформация строительного производ-

ства представляет собой более комплексный и глубокий процесс, который охватывает не только применение технологий, но и переосмысление и пере-строение всего бизнес-процесса, корпоративной культуры и взаимодействия со всеми участниками строительного проекта. Это включает [9–11]:

- интеграцию цифровых технологий во все аспекты строительного производства;

- разработку новых бизнес-моделей, основанных на данных и цифровых сервисах;
- создание цифровой экосистемы для совместной работы над проектами;
- повышение гибкости и способности к инновациям в ответ на изменения рынка и потребностей клиентов.

Таблица 3

**Факторы и преимущества цифровой трансформации в строительстве**

Факторы	Преимущества
1. Повышение эффективности и производительности	<i>Автоматизация рутинных задач.</i> Применение цифровых технологий позволяет автоматизировать множество времязатратных процессов, таких как ведение документации, планирование, учет ресурсов, что в свою очередь уменьшает объемы ручной работы и ускоряет выполнение проектов. <i>Оптимизация ресурсов.</i> Цифровые инструменты предоставляют возможность более точного планирования использования материалов и рабочей силы, что способствует снижению издержек и минимизации отходов
2. Улучшение качества проектов	<i>Точное моделирование и визуализация.</i> Информационное моделирование зданий (BIM) и другие 3D-моделирования позволяют с высокой точностью спроектировать объекты, заранее учитывая возможные сложности и проблемы, что существенно улучшает качество итогового продукта. <i>Повышение безопасности.</i> Анализ данных с помощью AI и машинного обучения способствует предотвращению несчастных случаев на строительной площадке за счет раннего выявления потенциальных рисков
3. Содействие инновациям и устойчивому развитию	<i>Внедрение новых технологий.</i> Цифровизация стимулирует разработку и применение новаторских решений в строительстве, например, использование дронов для осмотра и мониторинга стройплощадок, что способствует постоянному технологическому прогрессу в отрасли. <i>Экологичность.</i> Точное планирование и управление ресурсами благодаря цифровым технологиям способствует снижению вредного воздействия на окружающую среду, что делает строительство более устойчивым и экологически безопасным
4. Укрепление конкурентоспособности	<i>Выход на новые рынки.</i> Компании, активно внедряющие цифровые инновации, могут предложить заказчикам уникальные услуги и решения, что увеличивает их конкурентоспособность и открывает доступ к новым рынкам. <i>Репутация и доверие.</i> Прозрачность всех этапов работы, обеспечиваемая цифровыми технологиями, укрепляет доверие между всеми участниками проекта и повышает репутацию компании в глазах заказчиков и партнеров

Цифровая трансформация в строительстве открывает новые горизонты для улучшения всех аспектов строительного процесса, от планирования и проектирования до реализации и эксплуатации объектов. Это не только необходимость, диктуемая современными реалиями и ожиданиями рынка, но и огромная возможность для строительных компаний улучшить свою работу, снизить издержки и предложить рынку качественный и инновационный продукт.

Наиболее рациональными цифровыми структурами являются информационные системы, в которых отдельные параметры технологического процесса стабилизируются автономными регуляторами, а микропроцессорная система управления (далее – МПСУ) обеспечивает решение поставленной задачи, отображает необходимую информацию на экране монитора, сигнализирует об аварийном состоянии, обеспечивает реализацию алгоритма управления и рассчитывает управляющее воздействие автоматического регулятора – контроллера [12].

Цифровая компьютерная система позволяет проводить оценку элемента с помощью датчиков с определённой логикой исчисления, где количественный анализ состояния служит основой для характеристик его качества. Современные вычислительные системы позволяют определить соответствующие характеристики объекта [13]. В этом случае программные и аппаратные средства являются основными составляющими проводимого анализа.

Цифровая трансформация в строительной отрасли – это многоаспектный процесс, охватывающий внедрение цифровых технологий и платформ для усовершенствования всех стадий строительства, от планирования и проектирования до выполнения работ и их последующей эксплуатации (рис. 1).

Это преобразование направлено на повышение эффективности, производительности и качества строительных проектов, а также на улучшение безопасности на строительных площадках и сокращение воздействия на окружающую среду.

Цифровизация является важным шагом, который подготавливает почву для более широкой и глубокой цифровой трансформации. Переход от цифровизации к цифровой трансформации в строительном производстве означает переход от использования отдельных цифровых инструментов и процессов к полной интеграции цифровых технологий во все аспекты деятельности компании, создавая основу для более инновационного, устойчивого и конкурентоспособного будущего строительной отрасли [14–17].

Алгоритм технологии цифровизации строительного производства становится ключом к оптимизации процессов, улучшению качества и повышению эффективности в отрасли. В целом последовательность цифровизации в строительном производстве структурно представлена на рисунке 2.

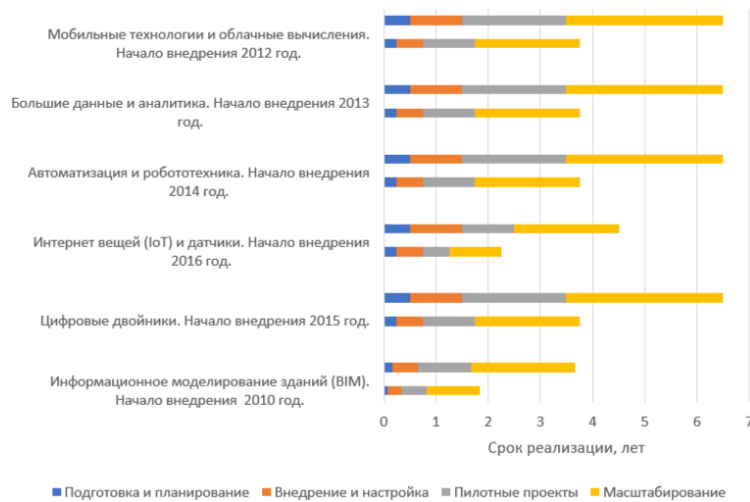


Рис. 1. Временные периоды (минимальные и максимальные значения) и стартовые годы внедрения ключевых компонентов цифровой трансформации в строительстве

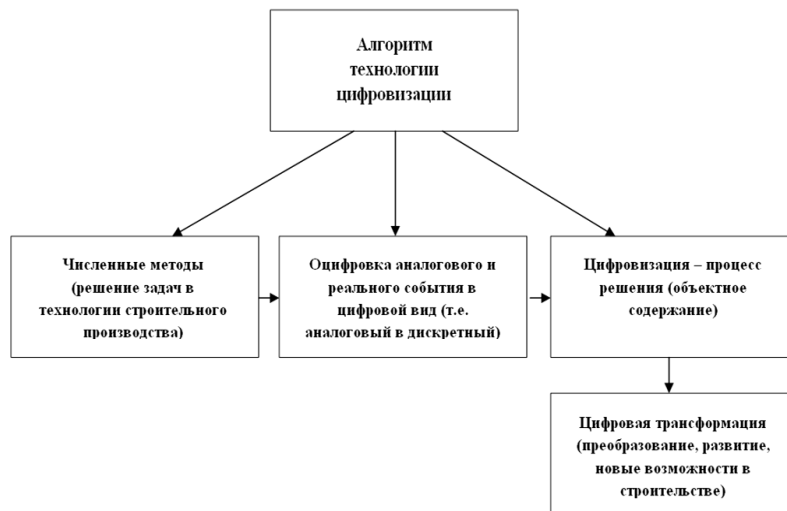


Рис. 2. Структурная схема алгоритма технологии цифровизации в строительном производстве

Шаг 1 – переход к цифровому проектированию (BIM). Начиная с момента создания проекта, использование цифровых технологий становится фундаментом для инноваций. Методика BIM (Building Information Modeling) предоставляет возможность создавать трехмерные модели зданий с учетом всех аспектов: от архитектурных и конструктивных решений до инженерных коммуникаций. Это позволяет всем участникам процесса видеть полную картину и предотвращать конфликты еще на этапе проектирования.

Шаг 2 – применение цифровых технологий в строительстве. Переход к цифровому строительству включает в себя использование различных инструментов и технологий. Это включает в себя использование дронов для мониторинга строительных площадок, автоматизированные системы строительства, такие как 3D-печать зданий, и даже роботизированные конструкции. Эти методы не только сокращают время строительства, но и улучшают безопасность и точность.

Шаг 3 – управление проектами с помощью цифровых платформ. Цифровые платформы управления проектами предоставляют возможность эффективного контроля над всеми аспектами строительства. Они позволяют планировать задачи,

распределять ресурсы, отслеживать прогресс и реагировать на изменения в реальном времени. Это уменьшает риски задержек и перерасхода бюджета.

Шаг 4 – внедрение сенсорных технологий для мониторинга и обслуживания. Сенсорные технологии играют ключевую роль в обеспечении долгосрочной устойчивости зданий. Они позволяют контролировать различные параметры, такие как температура, влажность, давление и прочее. Анализ этих данных помогает предсказывать потенциальные проблемы и проводить профилактическое обслуживание.

Шаг 5 – обучение и развитие кадров. Наконец, ключевым элементом успешной цифровизации строительного производства является обучение и развитие кадров. Внедрение новых технологий требует специалистов с соответствующими навыками, способных использовать их на практике. Постоянное обновление знаний и навыков становится необходимостью для эффективного функционирования в современной индустрии.

Процесс цифровизации включает несколько этапов. Первый этап – «оцифровка». Вначале исходные данные (или параметры) снимают с физических носителей и переводят в так называемый цифровой формат (0 и 1). Завершив его, приступают к процессу «цифровизации», то есть к этапу

использования и оптимизации процессов решений. Далее следует этап «цифровой трансформации», т.е. различных преобразований, прогнозирование и т.д. Численные методы, в совокупности с возможностью их автоматизации при использовании современных развивающихся персональных компьютерных систем, позволяют решать сложные задачи научного, технического и экономического характера. Динамика постоянного развития и совершенствование алгоритмов и программных средств, их повсеместная реализация обосновывает актуальность обучения навыкам использования численных методов для решения прикладных и научно-исследовательских задач.

Существуют многочисленные стандартные программы и объектно-ориентированные пакеты прикладных программ, использование которых существенно сокращает время и ресурсы по решению прикладных задач [9, 18]. Однако необходимо знать основные свойства и понимать сущность численных методов и алгоритмов, поскольку как применение многочисленных пакетов программ, так и интерпретации результатов расчетов бывает нетривиальной задачей. Особенности использования численных методов в современных условиях цифровизации для решений основных и прикладных вопросов при организации строительного производства вполне очевидны. В связи с этим на первое место выходит понимание необходимости создания цифрового двойника, а это не что иное, как виртуальная модель объекта и процесса в результате 100%-го описания исходного строительного объекта, его свойств в формате, подходящем для обработки компьютером. Цифровой двойник строения помогает спрогнозировать всякого рода сценарии различных процессов: предсказать текущий и капитальный ремонт; подсчитать, сколько именно сырья и в какой момент нужно иметь на складе и сколько необходимо пустить в производство материала. С помощью цифрового двойника

можно виртуально протестировать развитие ситуации в различных условиях и при этом не будет необходимости создавать физический прототип.

Полноценный «цифровой двойник» – это непрерывно обновляемая цифровая модель объекта, получающая данные от специальных датчиков [10–12]. Для создания полнофункционального «цифрового двойника» важно не только грамотно собирать базовую информацию, но и учитывать изменения, которые происходят в самом объекте (например, износ в процессе жизненного цикла и эксплуатации строения и т.д.). Основная цель и преимущества использования «цифровых двойников» в окружающей среде – это экономия ресурсов. Одно дело проводить испытания в реальных условиях, другое, когда объект поучает свою цифровую модель, обеспечивая реальный объём информации, что позволяет перейти к совершенно новому состоянию производства – промышленному интернету вещей, который сегодня активно осваивается во всем мире. Поэтому технологии, основанные на киберфизических решениях и полной автоматизации производства, являются основной очередной промышленной революцией – Индустрия 4.0 и далее 5.0 [8–10, 19–21]. Цифровой проект организации строительства (далее – цифровой ПОС) как связующее звено между процессами проектирования всего строительства, приобретает особую важность в процессе цифровизации полноценного строительства, так как в своем развитии должен обеспечивать работу команду проекта над цифровым двойником строительного объекта в единой среде данных. На основе ПОС разрабатываются календарно-сетевые графики, календарные планы, графики поставки материалов, изделий и конструкций, планируется движение трудовых ресурсов и финансовые потоки. Создание цифрового ПОС – первостепенная задача, стоящая в настоящее время перед разработчиками.

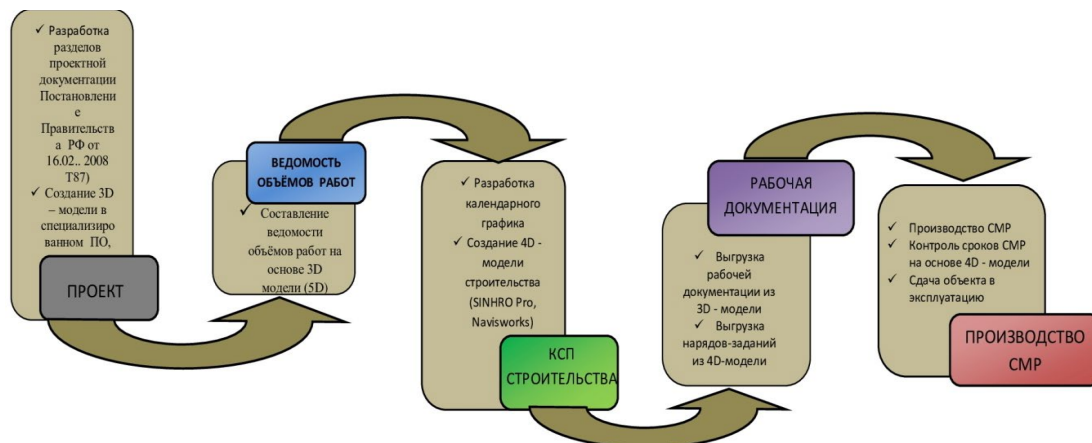


Рис. 3. Принципиальная схема организации процессов проектирования и строительства с применением технологий информационного моделирования

Данные расчетной системы сетевого графика, основанные на сетевых моделях планируемых процессов при использовании компьютерных машин, позволяют быстро определить различные варианты управляющих воздействий и выбрать рационально-оптимальные из них. Сетевое планирование и

управление даёт возможность руководителям предприятий своевременно получать достоверную информацию о состоянии дел, о возникших задержках и возможностях ускорения хода работ, продолжить строительного процесса в целом, заставляет совершенствовать технологию и организацию

работ, помогает составлять рациональные планы, обеспечивает согласованность действий исполнителей. Такие модели основаны на базовых математических и алгоритмических аспектах построения сетевых графиков с использованием аппарата формальной логики для поиска критических путей.

Схема организации процессов проектирования и строительства с применением технологий информационного моделирования представлена на рисунке 3.

### **Заключение**

Цифровизация представляет собой совершенно новую реальность, которая меняет не только технологии, но и обмен ресурсами, создает новые модели вокруг цифровых платформ. В перспективе большинство физических объектов будут иметь свои цифровые двойники. И если сегодня это Индустрия 4.0, то следующий этап - Индустрия 5.0 не за горами.

Рациональность и эффективность применения метода цифрового моделирования продемонстрирована на примере планирования процесса проектирования малоэтажных зданий с учетом качества внутреннего воздуха.

Эволюционное развитие технологий приводит к слиянию реального мира и цифровых двойников: технологии сбора, передачи, хранения, обработки анализа данных, а также растущая потребность в обеспечении защищенности и кибербезопасности продолжают трансформировать все сферы нашей жизни.

Однако в контексте цифровой трансформации остается ряд дискуссионных вопросов, которые актуальны для области строительства. Вот некоторые из них:

1. Отличие цифровизации от цифровой трансформации: каковы основные различия между этими двумя процессами, и как они взаимодействуют в контексте строительной отрасли?

2. Технологические вызовы: какие технологические препятствия могут возникнуть при внедрении информационных моделей и других цифровых технологий в строительстве?

3. Изменение роли человеческого фактора: как цифровизация влияет на роли и задачи сотрудников в строительной индустрии?

4. Безопасность данных и приватность: какие меры необходимо принимать для обеспечения безопасности данных, учитывая увеличение объемов и доступности информации?

5. Социально-экономические последствия: как цифровизация влияет на экономику строительной отрасли и на общество в целом?

6. Стандартизация и интеграция технологий: как обеспечить совместимость различных цифровых инструментов и систем в многоуровневых строительных проектах?

7. Этические аспекты: какие этические вопросы могут возникнуть в связи с автоматизацией и использованием роботизированных систем в строительстве?

8. Стратегическое планирование и управление изменениями: какие стратегии следует принимать компаниям для эффективного управления переходом к цифровым технологиям?

9. Развитие навыков и обучение: какие новые навыки требуются сотрудникам, и какие программы обучения следует разрабатывать для поддержки перехода к цифровизации?

10. Устойчивое развитие и экологичность: как цифровая трансформация может способствовать созданию более устойчивых и экологичных строительных процессов?

Эти вопросы способствуют более глубокому пониманию возможностей и сложностей, связанных с цифровой трансформацией в строительной индустрии, и могут служить основой для более широких профессиональных дискуссий и исследований в этой области.

В этой связи перспективы и направления развития цифровой трансформации в строительстве, а также возможности практического решения и применения полученных результатов исследования, следует рассматривать в следующих аспектах:

1) развитие и совершенствование технологий BIM. Более глубокая интеграция технологии информационного моделирования зданий (BIM) в строительные процессы может способствовать повышению точности проектов, оптимизации рабочих процессов и улучшению межотраслевого взаимодействия. Развитие стандартов BIM и обучение сотрудников использованию этих инструментов будут ключевыми для достижения этих целей;

2) использование цифровых двойников. Создание виртуальных копий строительных объектов позволяет проводить анализы и прогнозы, которые могут улучшить управление эксплуатационными процессами и повысить эффективность использования ресурсов. Применение этих технологий в реальных проектах может дать значительный экономический эффект и повысить конкурентоспособность компаний;

3) применение интернета вещей (IoT) и датчиков. Расширение использования IoT для мониторинга состояния строительных площадок, материалов и оборудования в реальном времени поможет оптимизировать рабочие процессы, улучшить безопасность и снизить риск несчастных случаев;

4) большие данные и аналитика. Анализ больших объемов данных, собранных на всех этапах строительства, позволит выявлять закономерности, оптимизировать рабочие процессы и принимать обоснованные управленческие решения. Развитие компетенций в области аналитики данных станет важным направлением для строительных компаний;

5) улучшение кибербезопасности. По мере того, как строительные компании становятся все более зависимыми от цифровых технологий, усиление мер кибербезопасности для защиты данных и инфраструктуры становится критически важным;

6) экологическая устойчивость. Цифровая трансформация может способствовать более устойчивому и экологически ответственному строительству через оптимизацию использования ресурсов и снижение отходов;

7) обучение и развитие персонала. Подготовка и обучение рабочей силы новым технологиям и

методам будет играть ключевую роль в успешном внедрении и использовании цифровых инноваций в строительстве;

8) развитие новых бизнес-моделей. Цифровая трансформация открывает возможности для создания новых бизнес-моделей в строительной отрасли,

включая предложение интегрированных услуг, базирующихся на данных и цифровых сервисах.

Применение этих направлений и перспектив позволит строительным компаниям не только оптимизировать текущие процессы, но и проложить путь к созданию инновационной, гибкой и конкурентоспособной отраслевой среды.

### Список литературы

1. Феофанова А. В. Особенности цифровизации строительной отрасли в России / А. В. Феофанова, Е. В. Макаренко, Б. М. Федоров, Ю. В. Нефедов // *Colloquium-Journal*. – 2019. – № 15-9 (39). – С. 126–127.
2. Васильева Н. В. Проблемные аспекты цифровизации строительной отрасли / Н. В. Васильева, И. А. Бачуринская // *Вестник Алтайской академии экономики и права*. – 2018. – № 7. – С. 39–46.
3. Осипов А. С. Цифровизация строительной отрасли / А. С. Осипов // *Нормирование и оплата труда в строительстве*. – 2020. – № 3. – С. 57–61.
4. Татаринцов Т. Цифровизация строительной отрасли: место России в мировых тенденциях на примере контроля строительства / Т. Татаринцов // *САПР и графика*. – 2018. – № 2 (256). – С. 11–15.
5. Владимиров И. Л. Цифровизация как фактор повышения производительности труда в строительной отрасли / И. Л. Владимиров, Г. Ю. Каллаур, А. А. Цыганкова, Л. М. Папикян, П. А. Тензина // *Экономика строительства*. – 2020. – № 3 (63). – С. 13–23.
6. Крупнов Е. И. Эффективное управление жизненным циклом строительных объектов на основе инфографического моделирования / Е. И. Крупнов, И. С. Зайцев, И. А. Зайцева, С. А. Логинова // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2023. – № 2 (44). – С. 91–96.
7. Исаев М. М. Применение нейросети в проектировании и строительстве зданий / М. М. Исаев // *Университетская наука*. – 2023. – № 2 (16). – С. 71–73.
8. Макрусев В. В. Проектное управление на основе моделирования с применением средств искусственного интеллекта / В. В. Макрусев, Д. С. Гусев // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2024. – № 1 (23). – С. 40–58.
9. Ерофеев В. Т. Цифровизация в строительстве, как эффективный инструмент современного развития отрасли / В. Т. Ерофеев, А. А. Пиксайкина, А. Г. Булгаков, В. В. Ермолаев // *Эксперт: теория и практика*. – 2021. – № 3 (12). – С. 9–14.
10. Лысенко Д. А. Алгоритм применения метода автоматизированной адаптации цифрового двойника объекта строительства / Д. А. Лысенко // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. – 2019. – № 4 (30). – С. 124–127.
11. Михайлов Д. А. Проектирование и особенности технологии возведения энергоэффективных жилых зданий с регулируемым воздухообменом / Д. А. Михайлов, А. А. Петрова // *The Scientific Heritage*. – 2022. – № 103 (103). – С. 91–94.
12. Koshelkov A. Yu. Digitalization as a factor of increasing the efficiency of enterprises for the construction of fuel and energy facilities / A. Yu. Koshelkov // *Innovation & Investment*. – 2023. – № 5. – С. 448–451.
13. Khonchev M. Innovation and digitalization in construction: new opportunities and challenges for investors and businesses / M. Khonchev, T. Garbuzova, M. Kokhraidze, R. Osin // *E3S Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 515. – P. 03005. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451503005>.
14. Половникова Н. А. Цифровизация в строительстве в России / Н. А. Половникова // *Экономика и бизнес: теория и практика*. – 2022. – № 12-2 (94). – С. 102–105. – DOI: 10.24412/2411-0450-2022-12-2-102-105.
15. Копылов А. Д. Цифровизация процессов управления в строительстве / А. Д. Копылов, А. В. Королёв, А. В. Батищев // *Естественно-гуманитарные исследования*. – 2023. – № 2 (46). – С. 370–375.
16. Ким А. О. Цифровизация в строительстве: технологии будущего для современных проектов / А. О. Ким // *Тенденции развития науки и образования*. – 2023. – № 100-5. – С. 35–37.
17. Мышков Е. С. Сфера строительного контроля в период цифровизации отрасли строительства / Е. С. Мышков // *Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК)*. – 2022. – № 1. – С. 214–216.
18. Мищенко А. С. Ключевые барьеры и перспективная модель цифровизации строительства / А. С. Мищенко // *Белорусский экономический журнал*. – 2023. – № 1 (102). – С. 104–116. – DOI: 10.46782/1818-4510-2023-1-104-116.
19. Sinenko S. Digital transformation of the organization of construction production / S. Sinenko, T. Poznakhirko, A. Tomov // *E3S Web of Conferences*. – 2021. Vol. 258. – P. 09020. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809020>.
20. Чернявский И. А. Цифровизация процессов на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства / И. А. Чернявский, Н. С. Ларин // *Инженерный вестник Дона*. – 2023. – № 4 (100). – С. 773–785.
21. Проскурина З. Б. Цифровизация в секторе капитального строительства / З. Б. Проскурина, Т. А. Забелина, Е. А. Корчагина // *Russian Studies in Law and Politics*. – 2020. – Т. 4, № 2. – С. 80–88.

© Г. В. Рыбкина, И. А. Зайцева, С. А. Логинова, А. В. Симагин

### Ссылка для цитирования:

Рыбкина Г. В., Зайцева И. А., Логинова С. А., Симагин А. В. Промышленная цифровизация в строительстве: многоаспектный подход и ключевые технологии // *Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 2 (48). С. 77–84.*