

Информатика и вычислительная техника

Informatics and computer engineering

Научная статья

УДК 658.51

DOI: 10.14529/ctcr260101

ИННОВАЦИОННЫЕ ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЦИФРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.А. Баркалов, sbarkalov@nm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6183-3004>

Т.А. Аверина, ta_averina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9150-9018>

А.С. Пелихова, anastasiapelihova004@gmail.com

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. В статье обозначена роль инновационного менеджмента в развитии строительных организаций сегодня. Отмечена его интеграционная функция и стратегическая значимость. Проведен анализ современных цифровых технологий, применяемых в строительных проектах: BIM, роботизация, 3D-печать, модульное строительство, цифровые двойники и IoT. На основе метода анализа иерархий определено наиболее предпочтительное цифровое решение (цифровая платформа) для российских строительных компаний. **Материалы и методы.** Проведён анализ научной литературы и практических кейсов по использованию цифровых технологий в строительстве. Систематизированы ключевые инновации в строительстве по процессам жизненного цикла проекта. С помощью метода анализа иерархий (МАИ) выбран лучший вариант цифровой платформы среди шести альтернатив с учётом критериев эффективности, интеграции и нормативного соответствия. **Целью** исследования является комплексный анализ современного состояния инновационного развития строительной отрасли, выявление ключевых проблем и перспективных направлений их решения, а также обоснование целесообразности внедрения инновационных управленческих практик. Особое внимание уделяется выбору наиболее эффективного варианта организационных инноваций – цифровой платформы управления жизненным циклом строительного проекта. **Результаты.** Выявлены основные факторы снижения эффективности строительных проектов – несогласованность документации и ошибки коммуникации, составляющие до 70–80 % всех потерь. Установлено, что цифровизация и внедрение единой среды данных позволяют существенно снизить количество ошибок и ускорить проектирование. По результатам МАИ лучшей признана связка Renga + Pilot-BIM, обеспечивающая соответствие российским требованиям и повышение производительности. **Заключение.** Цифровые технологии доказали высокую результативность в повышении качества проектирования и снижении рисков строительства. При этом важно грамотное управление системой инновационных решений. Применение отечественных платформ Renga и Pilot-BIM является наиболее эффективным и экономически оправданным решением для российских компаний, обеспечивая технологическую независимость и повышение уровня управляемости проектов.

Ключевые слова: инновация, цифровизация, строительный проект, цифровая платформа, жизненный цикл проекта

Для цитирования: Баркалов С.А., Аверина Т.А., Пелихова А.С. Инновационные цифровые решения в строительстве: обоснование выбора цифровой платформы // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2026. Т. 26, № 1. С. 5–20. DOI: 10.14529/ctcr260101

INNOVATIVE DIGITAL SOLUTIONS IN CONSTRUCTION: RATIONALE FOR CHOOSING A DIGITAL PLATFORM

S.A. Barkalov, sbarkalov@nm.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6183-3004>
T.A. Averina, ta_averina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9150-9018>
A.S. Pelikhova, anastasiapelikhova004@gmail.com
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. The study is devoted to the analysis of modern digital technologies used in construction projects and the selection of the optimal platform for managing the life cycle of the facility. BIM, robotization, 3D printing, modular construction, digital twins and IoT are considered. **Materials and methods.** An analysis of scientific literature and practical cases on the use of digital technologies in construction was carried out. Key innovations were systematized: BIM, robotics, 3D printing, UAV monitoring, digital twins, IoT. The hierarchy analysis method (MAI) was applied to select the optimal digital platform among six alternatives, taking into account the criteria of efficiency, integration and regulatory compliance. **The research objective** is a comprehensive analysis of the current state of innovative development of the construction industry, the identification of key problems and promising areas for their solution, as well as the justification of the feasibility of introducing innovative management practices. Particular attention is paid to the choice of the most effective option for organizational innovations – a digital platform for managing the life cycle of a construction project. **Results.** The main factors for reducing the efficiency of construction projects are identified – inconsistency of documentation and communication errors, which account for up to 70–80 % of all losses. It has been established that digitalization and the introduction of a unified data environment can significantly reduce the number of errors and speed up design. **Conclusion.** Digital technologies have proven to be highly effective in improving the quality of design and reducing construction risks. The use of domestic Renga and Pilot-BIM platforms is the most effective and cost-effective solution for Russian companies, ensuring technological independence and improving project manageability.

Keywords: innovation, digitalization, construction projects, digital platform, project life cycle

For citation: Barkalov S.A., Averina T.A., Pelikhova A.S. Innovative digital solutions in construction: Rationale for choosing a digital platform. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2026;26(1):5–20. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr260101

Введение

В современных экономических условиях инновационный менеджмент становится одним из ключевых факторов устойчивого развития строительных предприятий. Рост числа технологических новшеств, цифровизация проектных и производственных процессов, переход к энергоэффективному и «умному» строительству формируют принципиально новые требования к организации управления.

Если ещё десять лет назад инновации рассматривались преимущественно как вариативная часть стратегии строительной компании, то сегодня они становятся ядром конкурентоспособности. В условиях высокой конкуренции, дефицита квалифицированных кадров и необходимости повышения производительности труда именно способность эффективно управлять инновациями обеспечивает предприятию устойчивое положение на рынке.

Инновационный менеджмент можно определить как систему методов и инструментов, направленных на формирование, внедрение и коммерциализацию нововведений, обеспечивающих долгосрочное повышение эффективности организации.

В строительной сфере это включает не только технологические инновации – BIM-технологии, префабрикации или «умных» материалы, – но и управленческие и организационные новшества: новые формы проектного управления, цифровой документооборот, гибридные формы взаимодействия участников проекта, цифровые платформы.

Роль инновационного менеджмента в строительной компании заключается прежде всего в систематизации инновационной деятельности, превращении её из набора разрозненных инициа-

тив в управляемый процесс. Это особенно важно в российских условиях, где многие предприятия испытывают трудности с планированием инвестиций в инновации, нехваткой кадров и нормативными барьерами.

Как подчёркивается в исследовании ДОМ.РФ [1], доля строительных организаций, использующих цифровые технологии на уровне производственных процессов, остаётся сравнительно небольшой – не более 20 %, а применение BIM в проектировании достигает лишь 8–10 % предприятий. Это говорит о том, что потенциал инновационного менеджмента в строительстве реализован далеко не полностью.

Отметим, что инновационный менеджмент в строительной отрасли России выполняет роль системообразующего механизма, обеспечивающего технологическое и организационное обновление предприятий. Он объединяет стратегическое планирование, проектное управление, кадровое развитие и финансовую устойчивость. Успех в этой области зависит не только от готовности компании внедрять новые технологии, но и от способности выстраивать эффективные связи между инновационной стратегией и общей бизнес-моделью.

Наиболее успешными примерами применения инновационного менеджмента можно считать деятельность компаний, которые интегрировали инновации во все уровни управления. Так, корпорация ПИК внедрила комплексную систему BIM-моделирования и CDE-платформу для управления данными на всех стадиях жизненного цикла, что позволило сократить срок выхода проекта на стадию строительства, а также существенно уменьшить потери материалов [2]. Группа Apis Cor, напротив, демонстрирует инновационный подход в технологическом плане – разработку и коммерциализацию 3D-печати домов [3], что открывает перспективы для малоэтажного домостроения и реконструкции в удалённых регионах. Эти примеры показывают, что инновационный менеджмент может принимать разные формы, но в каждом случае требует стратегического видения, организационной поддержки и готовности к эксперименту.

Цель работы заключается в анализе текущей ситуации в области инновационного развития в строительной отрасли, выявлении проблем и перспективных решений, обосновании необходимости внедрения инновационных управленческих практик и выборе лучшего варианта организационных инноваций – цифровой платформы управления жизненным циклом строительного проекта.

Материалы и методы

В последние годы строительная отрасль претерпевает масштабные изменения под влиянием цифровых технологий, автоматизации и индустриализации процессов. Исследования демонстрируют, что ключевыми драйверами трансформации стали Building Information Modeling (BIM), роботизация, 3D-печать строительных материалов, модульное домостроение, цифровые двойники и технологии Интернета вещей (IoT). Современные тенденции характеризуются стремлением к повышению точности проектирования, снижению себестоимости и сокращению сроков строительства за счёт интеграции данных и автоматизации процессов.

Согласно исследованиям применение BIM-технологий позволяет системно оптимизировать управление проектной информацией, что снижает количество проектных коллизий и повышает качество координации между участниками строительства.

Особое внимание в научной литературе уделяется автоматизации и роботизации строительных процессов. В работе Т. Вокс представлены направления развития строительной робототехники, включая автоматизированную кладку, роботизированную сварку, автономные машины и цифровые технологии контроля качества. Автор подчёркивает, что роботизация способна не только повысить точность операций, но и снизить трудозатраты на ключевых этапах строительства [4]. Кроме того, согласно выводам исследования *Robotics in the Construction Industry: A Bibliometric Review of Recent Trends and Technological Evolution* [5] внедрение роботизированных технологий рассматривается как важнейший путь повышения производительности, борьбы с дефицитом квалифицированных кадров и повышения безопасности на стройплощадках; отмечен устойчивый рост исследований в этой области, что свидетельствует об усилении интереса и потенциальной практической значимости роботизации.

Отдельный блок исследований посвящён технологиям 3D-печати бетона. В систематических обзорах G.H. Ahmed и F. Vos рассматриваются материалы, формирование конструктивных эле-

ментов, а также ограничения и перспективы внедрения. Авторы подчёркивают, что 3D-печать позволяет уменьшить отходы, ускорить строительство и снизить стоимость малых архитектурных форм и отдельных конструктивных элементов [6, 7].

Не менее значимый вклад в трансформацию отрасли вносит модульное и индустриальное строительство. В исследовании М. Zohourian и А. Pamidimukkala показано, что фабричная подготовка модулей обеспечивает сокращение сроков строительства на 30–50 %, повышает точность изготовления и снижает риски, связанные с человеческим фактором [8]. При этом авторы отмечают, что мировая практика показывает устойчивый рост спроса на off-site технологии, особенно в коммерческом и жилищном строительстве.

Важным направлением развития стала интеграция беспилотных летательных аппаратов (UAV) и технологий мониторинга. А.А. Molina, Y. Huang, Y. Jiang демонстрируют, что использование дронов позволяет значительно улучшить качество контроля строительных площадок, повысить точность геодезической съёмки и уменьшить время, необходимое для инспекций объектов [9]. Подобные подходы особенно важны для крупных строек, где пространственный контроль и своевременная оценка рисков являются критическими.

Цифровые двойники и IoT формируют основу следующего этапа цифровизации строительства. Е. Ороку и W. Liu отмечают, что цифровые двойники позволяют создавать динамические модели зданий для мониторинга, прогнозирования и оптимизации эксплуатационных характеристик на протяжении всего жизненного цикла объекта [10]. Исследования М. Jia, посвящённые IoT и смарт-зданиям, подтверждают, что интеграция сенсоров, систем аналитики и средств автоматизации повышает энергоэффективность зданий и улучшает управление инженерными системами [11].

Таким образом, современная строительная отрасль движется в направлении индустриализации, цифровой интеграции и автоматизации процессов. Исследования показывают, что внедрение BIM, роботизации, 3D-печати, модульного строительства, UAV, цифровых двойников и IoT приводит к заметному росту эффективности, снижению рисков и сокращению затрат. Однако, несмотря на значительный прогресс, сохраняются барьеры – недостаточная квалификация персонала, фрагментация нормативной базы и ограниченный уровень внедрения инноваций в ряде регионов. Это подтверждает необходимость дальнейшего развития цифровых компетенций и создания адаптивных моделей управления в строительной отрасли.

Проблемы и перспективы развития технологических инноваций в строительной отрасли России

Рассмотрим динамику роста доли инновационно-активных предприятий в строительной отрасли России (рис. 1).

Современный этап развития строительной отрасли России характеризуется форсированным переходом от «аналоговых» процессов к цифровым экосистемам. Согласно данным федерального статистического наблюдения и мониторинга НИУ ВШЭ «Индикаторы инновационной деятельности» [12], доля предприятий строительной отрасли, осуществляющих технологические инновации, демонстрирует стабильный восходящий тренд.

Если в 2020–2021 гг. активность сдерживалась неопределённостью пандемийного периода и составляла около 7,5–9 %, то к началу 2025 г., на фоне реализации нацпроекта «Жильё и городская среда» и обязательного внедрения ТИМ (технологий информационного моделирования), показатель вовлечённости в инновации достиг 18,4 %.

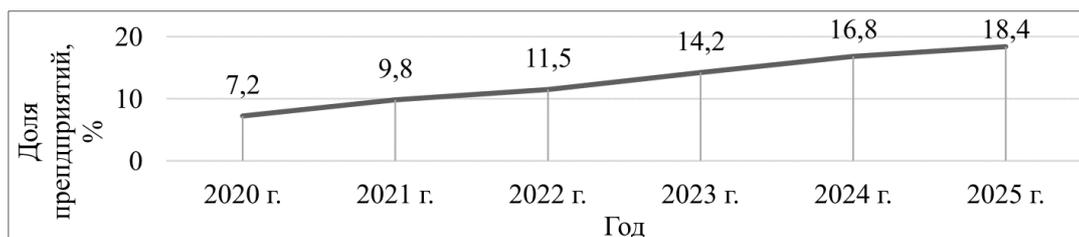


Рис. 1. Рост доли инновационно-активных предприятий строительной отрасли России, %
Fig. 1. Growth in the share of innovation-active enterprises of the construction industry in Russia, %

Среднегодовой темп прироста инновационной активности в строительстве за последние 5 лет составил порядка 15,2 %. Это значительно выше среднерыночных показателей по сектору услуг и ряду отраслей добывающей промышленности. Столь высокая динамика объясняется «эффектом низкой базы» прошлых лет и жестким регуляторным давлением со стороны Минстроя России в части цифровизации проектной документации. Рост инновационной активности напрямую связан с несколькими факторами:

- государственная политика стимулирования инноваций – реализация национальных проектов «Цифровая экономика РФ» и «Жильё и городская среда», а также введение обязательных требований по применению BIM/ТИМ-технологий в государственных контрактах с 2022 г.;
- развитие цифровой инфраструктуры – переход на использование облачных решений, систем управления строительными процессами и цифровых паспортов зданий;
- расширение рынка отечественного ПО и импортозамещение – рост доли российских BIM-платформ и IoT-систем после 2022 г.;
- сдвиг в корпоративной культуре – повышение внимания к инновационным компетенциям персонала, созданию R&D-отделов и центров цифровой трансформации в крупных строительных холдингах.

Таким образом, наблюдается устойчивая положительная динамика инновационной активности строительных предприятий России. При сохранении текущих темпов роста к 2025 г. доля инновационно-активных компаний может превысить 17 %, что позволит отрасли перейти на новый уровень технологической зрелости.

Несмотря на положительную динамику, внедрение технологических инноваций в российских строительных предприятиях сталкивается с рядом системных ограничений (барьеров), которые отражены на рис. 2.

Рассмотрим данные группы барьеров:

- финансовый барьер: капитальные затраты на внедрение BIM, IoT, роботизации и префабрикация остаются высокими. Для большинства компаний среднего размера окупаемость таких проектов превышает 5–7 лет, что делает инновации экономически рискованными без внешней поддержки;

- организационный и кадровый дефицит: отсутствует достаточное число BIM-координаторов, инженеров по цифровым двойникам, специалистов по обработке данных и управлению жизненным циклом. Это приводит к несогласованности процессов и снижает эффективность внедрения;

- технологические и нормативные барьеры: несовместимость программных решений (разные форматы IFC, DWG, RVT), отсутствие единого хранилища данных (CDE), а также пробелы в стандартах по 3D-печати и модульному строительству;

- внешние факторы – санкции и импортозависимость программного обеспечения и оборудования – создают риски для технологической независимости и тормозят адаптацию инноваций;

- институциональный разрыв между крупными корпорациями и малым бизнесом: крупные девелоперы активно внедряют BIM и цифровые платформы, тогда как малые предприятия часто остаются вне инновационного контура. Это усиливает отраслевую поляризацию и препятствует масштабной цифровизации сектора.

Перспективы развития технологических инноваций в строительстве России остаются высокими и многопрофильными. Согласно отчётам IMARC Group, ожидается, что до 2030 г. доля проектов с применением BIM-технологий вырастет более чем в 2,5 раза, а доля цифровых инструментов управления строительством – до 60 %.



Рис. 2. Системные ограничения, влияющие на внедрение технологических инноваций
Fig. 2. System constraints affecting the implementation of technological innovations

К числу приоритетных векторов технологического развития относятся следующие направления:

- комплексное внедрение технологий информационного моделирования зданий (BIM) на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства – от стадии концептуального проектирования до эксплуатации и вывода из использования;
- расширение практики префабрикации и модульного строительства, обеспечивающей существенное сокращение сроков возведения объектов (в среднем на 30–40 %) и оптимизацию трудовых ресурсов;
- активное развитие и адаптация аддитивных технологий (3D-печати), применяемых при строительстве малоэтажных жилых зданий, а также отдельных элементов инженерной и транспортной инфраструктуры;
- внедрение цифровых двойников в сочетании с системами мониторинга на основе интернета вещей (IoT) с целью повышения эксплуатационной надежности, энергоэффективности и управляемости зданий;
- применение экологически безопасных строительных материалов и интеллектуальных инженерных решений, включая фасадные системы с интегрированными солнечными панелями и высокоэффективные композитные материалы.

По прогнозам экспертов, внедрение таких решений к 2030 г. позволит отрасли сократить издержки на проектирование и строительство до 20–25 %, а эксплуатационные затраты – на 10–15 %.

Отметим, что современные строительные проекты используют широкий спектр цифровых технологий, однако каждая из них работает на определённых стадиях жизненного цикла и решает строго локальные задачи.

В соответствии с методологией PMBOK управление строительным проектом проходит через пять ключевых групп процессов: инициация, планирование, реализация, мониторинг и контроль, завершение. Каждая группа процессов включает разные типы активности и формирует собственный набор требований к данным, коммуникациям и управленческим решениям.

Систематизируем рассмотренные выше технологии для наглядного отображения того, какие инновационные инструменты наиболее эффективно поддерживают каждую стадию жизненного цикла строительного проекта. Такое представление данных позволяет не только структурировать инновационный контур проекта, но и выявить разрывы между этапами, которые неизбежно возникают при использовании несвязанных инструментов, даёт возможность увидеть, где уровень цифровизации уже достаточно высок, а где сохраняются информационные разрывы, создающие необходимость внедрения комплексных решений, таких как цифровые платформы.

Структурирование инновационных технологий по этапам жизненного цикла строительного проекта подтверждает ключевую проблему: цифровые решения активно развиваются, но действуют разрозненно, будучи привязанными к отдельным группам процессов. В частности:

- UAV и IoT – сильнее всего влияют на процессы исполнения и контроля;
- BIM – поддерживает почти все группы процессов, но особенно проектирование и планирование;
- цифровые двойники – особо важны на стадиях контроля и передачи проекта;
- CDE – единственный компонент, который теоретически может связать процессы в единый контур, но только при комплексном внедрении.

Несмотря на наличие современных технологий, реализация стадий жизненного цикла строительного проекта часто происходит с большими потерями. Это приводит:

- к дублированию информации;
- ошибкам из-за отсутствия актуальной версии данных;
- неэффективному взаимодействию участников;
- ограниченной прозрачности реализации проекта.

Таким образом, табл. 1 наглядно демонстрирует необходимость внедрения комплексных организационных инноваций, таких как единые цифровые платформы (BIM/CDE), способные объединить процессы всех стадий жизненного цикла строительного проекта. Только в этом случае инновации переходят от точечных технологических улучшений к системному повышению качества управления строительными проектами.

Таблица 1
Инновационные технологии по стадиям жизненного цикла строительного проекта

Table 1

Innovative technologies by stages of the life cycle of a construction project

Стадия жизненного цикла строительного проекта	Технологии	Функциональная роль
Инициация	<ul style="list-style-type: none"> • Big Data; • ГИС-системы; • Предварительное BIM-моделирование 	Анализ участка и ограничений, прогноз рисков, первичный расчёт стоимости и сроков, оценка технической и экономической целесообразности проекта, моделирование сценариев реализации
Планирование	<ul style="list-style-type: none"> • BIM 3D/4D/5D; • CDE; • Big Data; • Модульное проектирование 	Формирование календарно-сетевой графика, моделирование зависимости «срок – стоимость», ресурсоёмкость, подготовка технического задания, создание структуры проекта, планирование модульных решений и логистики
Реализация	<ul style="list-style-type: none"> • BIM 4D; • Модульное строительство; • Роботизация; • UAV; • 3D-печать; • IoT стройплощадки 	Реализация проектных решений, выполнение СМР, контроль фактических объёмов, автоматизация операций, снижение трудоёмкости, получение полевых данных в реальном времени
Мониторинг и контроль	<ul style="list-style-type: none"> • UAV-мониторинг; • IoT; • Машинное зрение; • Цифровые двойники; • Аналитика (AI/ML) 	Контроль отклонений по срокам и стоимости, оперативное выявление коллизий и дефектов, оценка качества, мониторинг состояния конструкций, сравнение BIM-модели и фактических данных
Завершение	<ul style="list-style-type: none"> • CDE; • Лазерное сканирование; • Цифровой паспорт проекта; • BIM 7D 	Формирование исполнительной документации, проверка соответствия проекту, окончательная передача BIM-модели заказчику/эксплуатирующей организации, закрытие контрактов и подведение итогов

В современных условиях инновационный менеджмент становится центральным управленческим инструментом, обеспечивающим баланс между технологическими инновациями, экономической целесообразностью и стратегией развития предприятия.

Во-первых, инновационный менеджмент позволяет систематизировать инновационную деятельность – от анализа трендов до оценки рисков и возврата инвестиций. Он обеспечивает портфельное управление инновационными проектами, где каждое направление (BIM, IoT, 3D-печать) оценивается с точки зрения стратегической значимости и окупаемости.

Во-вторых, инновационный менеджмент способствует созданию корпоративной культуры инноваций, включая обучение персонала, обмен знаниями и мотивацию сотрудников к использованию новых инструментов.

В-третьих, в контексте строительной отрасли инновационный менеджмент обеспечивает:

- оптимизацию процессов проектирования и строительства;
- сокращение ошибок и переделок;
- улучшение взаимодействия между участниками проекта (заказчик – проектировщик – подрядчик – эксплуатирующая организация);
- повышение прозрачности управления затратами и сроками.

Компании, которые внедряют инновационные практики под управлением компетентных инновационных менеджеров, демонстрируют устойчивое повышение эффективности. Согласно

оценке PwC Russia [13], такие компании сокращают сроки реализации проектов в среднем на 25 % и уменьшают совокупные затраты на 15–20 %.

Таким образом, инновационный менеджмент формирует интеллектуальный контур развития предприятия, объединяя технологические, организационные и экономические инновации в единую стратегию роста.

Разработка предложения по цифровизации жизненного цикла строительного проекта

Современная строительная отрасль переживает масштабную цифровую трансформацию. Одним из ключевых направлений этого процесса является переход к цифровым платформам управления жизненным циклом строительного проекта (Building Lifecycle Platforms, BIM/CDE-системы), обеспечивающим интеграцию данных и участников на всех стадиях реализации проекта – от проектирования до эксплуатации.

В большинстве российских строительных компаний цифровизация процессов ограничивается использованием отдельных инструментов – AutoCAD, Excel, локальных ERP-систем. Отсутствие единой цифровой среды (Common Data Environment, CDE) приводит к потере информации между стадиями проектирования, строительства и эксплуатации, а также к увеличению сроков и затрат. По данным McKinsey & Company (2023) [14], до 80 % задержек на строительных объектах вызвано несогласованностью данных и слабой интеграцией участников проекта. При этом внедрение BIM-платформ и систем цифрового управления жизненным циклом позволяет сокращать сроки реализации проектов на 25–30 % и снижать стоимость на 15–20 %.

Современные исследования подтверждают, что комплексная цифровизация жизненного цикла объекта (от проектирования до эксплуатации) предоставляет строительным компаниям значительные конкурентные преимущества. Так, в исследовании [15] отмечено, что применение BIM на всех этапах жизненного цикла позволяет улучшить сотрудничество, принятие решений на основе данных и экономию времени и средств. Кроме того, интеграция BIM с методами оценки жизненного цикла (LCA) приводит к снижению выбросов CO₂ на 53–75 % и снижению энергопотребления более чем на 30 % на примере кейса в Китае [16].

Цифровая платформа – это программно-информационный комплекс, объединяющий участников проекта (заказчика, проектировщика, подрядчика, поставщиков и эксплуатирующую организацию) в едином цифровом пространстве.

Её ключевая цель – обеспечить прозрачность, синхронность и управляемость всех процессов в рамках единой информационной модели здания (BIM-модели).

Основные функции цифровой платформы:

- создание и хранение информационной модели объекта (3D–7D BIM);
- автоматизация документооборота и согласований;
- контроль сроков, стоимости и качества работ;
- интеграция с ERP и финансовыми системами (например, 1С);
- использование цифровых паспортов зданий и IoT-датчиков для мониторинга в эксплуатации;
- обеспечение соответствия государственным требованиям и стандартам проектирования.

Таким образом, платформа выступает «цифровым ядром» предприятия, объединяющим производственные, инженерные, финансовые и аналитические процессы в единую систему управления активом.

Платформа реализует принципы BIM и CDE (Common Data Environment), обеспечивая единую цифровую модель объекта, доступную всем участникам проекта в реальном времени.

Так, типовая архитектура платформы включает несколько функциональных модулей, отраженных в табл. 2 [17].

Технически такие платформы работают на основе облачной архитектуры, обеспечивая доступ через веб-интерфейс, контроль версий и безопасность данных с помощью ролевого доступа, шифрования и цифровой подписи.

CDE, который был упомянут ранее, – ключевой элемент платформы, обеспечивающий совместную работу всех участников строительного проекта. Все данные, чертежи и модели хранятся централизованно, а изменения фиксируются с указанием времени и автора. Таким образом, проектировщик, инженер, сметчик и заказчик работают с одной актуальной версией данных, что резко снижает количество ошибок и ускоряет согласование решений.

Например, архитектор обновляет модель здания – система автоматически уведомляет инженеров и сметчиков о внесённых изменениях. Это исключает конфликт версий и повышает точность проектной документации.

Архитектура цифровой платформы

Таблица 2

Digital platform architecture

Table 2

Модуль	Назначение	Примеры
ВМ-моделирование (3D–7D)	Создание и анализ цифровой модели объекта, включая стоимость, график, эксплуатационные параметры	Renga, Revit, ArchiCAD
CDE (общее пространство данных)	Централизованное хранение, версия и согласование проектной документации	Pilot-BIM, Autodesk Docs
Управление проектами	Контроль задач, сроков, ресурсов, ответственности	Pilot-BIM Project, PlanRadar
Аналитика и визуализация	Формирование отчетов, мониторинг KPI, оценка рисков	Power BI, Pilot-Analytics
Интеграция с ERP/CRM	Синхронизация финансов, снабжения и заказов	1C, SAP, Oracle Primavera
IoT и эксплуатация	Подключение датчиков, предиктивный анализ и обслуживание объектов	Siemens MindSphere, EcoStruxure

На сегодняшний день как в России, так и в мире используется ряд ЦП, различающихся по степени интеграции и специализации, отразим их в табл. 3.

ЦП управления жизненным циклом строительного проекта

Таблица 3

Construction Project Lifecycle Management CPU

Table 3

Платформа	Разработчик	Тип	Особенности
Autodesk Construction Cloud (ACC)	Autodesk (США)	Облачная	Полный цикл: проектирование, строительство, эксплуатация
Trimble Connect	Trimble (США)	CDE	Коллаборация в 3D, совместная работа в облаке
BIM 360	Autodesk (США)	Облачная	Поддержка IFC, управление моделями и проектами
Renga + Pilot-BIM	АСКОН и Pilot-Инжиниринг (Россия)	Облачная/локальная	Отечественное решение, интеграция с 1C, поддержка ГОСТ
BIM Cloud (СберТех)	Сбербанк (Россия)	Облачная	Национальная CDE-платформа для госзаказов
PlanRadar	Австрия	Мобильная	Управление дефектами, отчётность с площадки

По прогнозу IMARC Group (2025), доля строительных проектов в России, реализуемых с применением BIM и цифровых платформ, вырастет к 2030 г. более чем в 2,5 раза, а уровень цифровизации предприятий достигнет 60 % [18]. Ведущие компании (ГК ПИК, А101, Самолёт, Aris Coг) уже демонстрируют интеграцию BIM, IoT и аналитики в единую экосистему управления проектами.

Таким образом, цифровые платформы становятся стратегическим инструментом управления и обеспечивают переход отрасли от бумажного документооборота к интеллектуальной модели управления активами.

Выбор оптимального варианта ЦП управления жизненным циклом строительного проекта

Определим наиболее предпочтительный вариант ЦП управления жизненным циклом строительного проекта, который будет удовлетворять следующим критериям:

- K_1 – соответствие российским стандартам и нормативной базе;
- K_2 – отечественная разработка и независимость от зарубежного ПО;
- K_3 – технологическая совместимость;
- K_4 – экономическая эффективность;
- K_5 – простота обучения и локализация интерфейсов;
- K_6 – интеграция с ERP и аналитикой.

Далее перейдем к непосредственному выбору наиболее предпочтительной ЦП управления жизненным циклом строительного проекта, который будет осуществлен при помощи метода анализа иерархий (МАИ) в среде MS Excel [19].

В данном случае имеются шесть альтернатив (шесть вариантов ЦП управления жизненным циклом строительного проекта), которые обозначим $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$, где A_1 – Autodesk Construction Cloud (ACC), A_2 – Trimble Connect, A_3 – BIM 360, A_4 – Renga + Pilot-BIM, A_5 – BIM Cloud (СберТех), A_6 – PlanRadar. Кроме того, имеются шесть критериев выбора альтернатив, обозначенные $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ (сущность данных критериев была описана ранее).

На начальном этапе исследования осуществляется последовательное попарное сопоставление четырёх рассматриваемых альтернатив по первому критерию K_1 . Результатом данной процедуры является формирование матрицы предпочтений $V^{(1)} = [u_{ij}]$, элементы которой определяются в зависимости от сравнительной оценки альтернатив. В случае если альтернатива A_i по степени предпочтительности не уступает альтернативе A_j , элемент матрицы принимает значение $u_{ij} = h$, где параметр h отражает интенсивность предпочтения. Если же альтернатива A_i оценивается ниже альтернативы A_j по данному критерию, соответствующий элемент матрицы определяется как обратная величина $u_{ij} = 1/h$.

По аналогичному алгоритму формируются матрицы попарных сравнений для остальных критериев оценки, обозначаемые $V_{ij}^{(k)}$, где $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

Совокупность полученных матриц имеет вид: $V_{ij}^{(1)}, V_{ij}^{(2)}, V_{ij}^{(3)}, V_{ij}^{(4)}, V_{ij}^{(5)}, V_{ij}^{(6)}$.

Следует отметить, что процедура сопоставления альтернатив основывается на шкале сравнительной значимости, приведённой в табл. 4. При этом исходные данные табл. 3 использовались в качестве базиса для определения величины коэффициента предпочтения h .

Таблица 4
Шкала относительной важности альтернатив
Table 4
Relative Importance Scale of Alternatives

Уровень важности	Степень предпочтительности h
Равная важность	1
Умеренное превосходство	3
Существенное превосходство	5
Значительно большее превосходство	7
Абсолютное превосходство	9

На следующем этапе проводится попарное сравнение самих критериев, по результатам которого формируется матрица сравнений. Данная матрица служит исходной основой для последующего определения весовых коэффициентов критериев.

Дальнейший анализ предполагает вычисление собственных векторов альтернатив для каждого критерия. Для альтернативы i по критерию k определяется компонент вектора $U_i^{(k)}$, который рассчитывается как среднегеометрическое произведение элементов соответствующей строки матрицы попарных сравнений:

$$U_i^{(k)} = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n V_{ij}^{(k)}} = \sqrt[n]{V_{i1}^{(k)} \times V_{i2}^{(k)} \times \dots \times V_{in}^{(k)}}. \quad (1)$$

Следующий шаг включает процедуру нормализации вычисленных собственных векторов, в результате которой определяются относительные веса альтернатив по каждому критерию и веса самих критериев. Вес альтернативы i по критерию k , обозначаемый $W_i^{(k)}$, вычисляется как отношение соответствующей компоненты собственного вектора к сумме всех компонент по данному критерию:

$$W_i^{(k)} = \frac{U_i^{(k)}}{\sum_{i=1}^m U_i^{(k)}} = \frac{U_i^{(k)}}{U_1^{(k)} + U_2^{(k)} + \dots + U_n^{(k)}}. \quad (2)$$

Аналогичная процедура применяется для определения весовых коэффициентов критериев $W_{\text{крит}}^{(k)}$, где $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

После получения весов альтернатив и критериев становится возможным расчёт интегральной функции полезности для каждой альтернативы. Итоговая оценка определяется как взвешенная сумма значений полезности по всем критериям:

$$F_i = \sum_{k=1}^m W_i^{(k)} \times W_{\text{крит}}^{(k)} = W_i^{(1)} \times W_{\text{крит}}^{(1)} + W_i^{(2)} \times W_{\text{крит}}^{(2)} + \dots + W_i^{(m)} \times W_{\text{крит}}^{(m)}. \quad (3)$$

Сравнение значений агрегированной функции полезности позволяет выявить оптимальную альтернативу, характеризующуюся её максимальным значением.

Так, согласно данным, приведенным на рис. 3, наглядно видно, что функция полезности A_1 равна 3,86 (Autodesk Construction Cloud); функция полезности A_2 равна 2,602 (Trimble Connect); функция полезности A_3 равна 1,466 (BIM 360); функция полезности A_4 равна 14,377 (Renga + Pilot-BIM); функция полезности A_5 равна 4,376 (BIM Cloud), функция полезности A_6 равна 0,823 (PlanRadar).

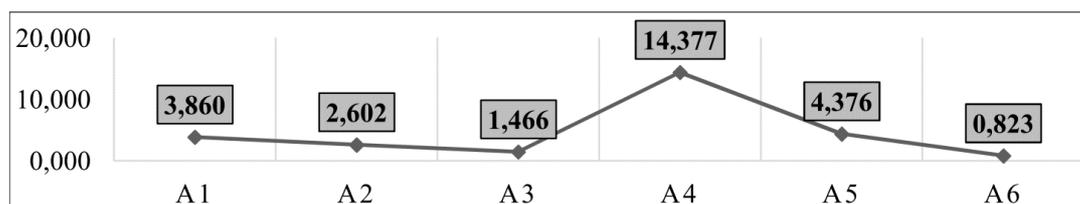


Рис. 3. Функции полезности альтернатив
Fig. 3. Utility functions of alternatives

Таким образом, в условиях отечественного рынка оптимальным решением для внедрения в строительную компанию является комплексное использование платформы Renga (проектирование и BIM) и Pilot-BIM (CDE и управление проектами).

Такой выбор обусловлен рядом факторов – технологических, организационных, экономических и нормативных, что отражено в табл. 5 [20].

Обоснование выбора платформы Renga + Pilot-BIM

Таблица 5

Rationale for choosing the Renga + Pilot-BIM platform

Table 5

№ п/п	Критерий выбора	Описание
1	Соответствие российским стандартам и нормативной базе	Renga и Pilot-BIM полностью соответствуют требованиям ГОСТ Р 21.1101–2020, СПДС и стандартам ТИМ, утверждённым Минстроем РФ. Это критически важно, поскольку с 2022 г. для государственных заказчиков обязательным стало использование технологий информационного моделирования при проектировании и строительстве (Постановление Правительства РФ № 1431 от 15.09.2020)

№ п/п	Критерий выбора	Описание
2	Отечественная разработка и независимость от зарубежного ПО	В отличие от иностранных решений (Autodesk Revit, Trimble Connect, Bentley Systems), связка Renga + Pilot-BIM создана российскими компаниями АСКОН и Pilot-Инжиниринг, что гарантирует: <ul style="list-style-type: none"> • устойчивость к санкционным ограничениям; • наличие локальной поддержки и обновлений; • интеграцию с отечественными ИТ-продуктами (1С, Минстрой CDE, ГИСОГД)
3	Технологическая совместимость	Renga обеспечивает проектирование в формате 3D/5D/7D, а Pilot-BIM – управление проектом, документооборотом и контроль версий. Обе системы поддерживают формат IFC, что позволяет обмениваться моделями с другими участниками без потери данных
4	Экономическая эффективность	Стоимость внедрения отечественного комплекса в среднем на 40–50 % ниже, чем зарубежных аналогов, а затраты на лицензии, обновления и обучение сотрудников – в 2 раза меньше. По данным CSD Analytics (2024), ROI от внедрения Renga + Pilot-BIM достигает 28–32 %, а срок окупаемости проекта – около 2 лет
5	Простота обучения и локализация интерфейсов	Renga имеет интуитивно понятный интерфейс, полностью локализованный на русском языке, что сокращает сроки обучения инженеров и проектировщиков. Pilot-BIM позволяет быстро адаптировать структуру проектов под нужды компании без сложного программирования
6	Интеграция с ERP и аналитикой	Платформа интегрируется с 1С, Microsoft Power BI, Excel и корпоративными базами данных, что обеспечивает полное цифровое управление затратами, сметами и ресурсами

Также в качестве подтверждения состоятельности исследования приведем реальный кейс, подтверждающий эффективность внедрения ЦП Renga + Pilot-BIM.

Так, компания Setl Group [21] успешно внедрила связку Renga + Pilot-BIM, отказавшись от зарубежных аналогов. По результатам внедрения отмечено:

- ускорение документооборота и согласований до 3 %;
- сокращение количества проектных ошибок и коллизий на 35–40 %;
- повышение прозрачности взаимодействия проектных подразделений.

Кроме того, LEGENDA также внедрила Pilot-BIM как базовую CDE для управления проектной документацией. Это позволило обеспечить соответствие новым требованиям к хранению и передаче BIM-моделей в рамках государственной экспертизы, а также ускорило процесс обновления проектных версий [22].

Таким образом, анализ реальных кейсов подтверждает, что связка Renga + Pilot-BIM обеспечивает комплексный эффект цифровизации строительных процессов. Опыт Setl Group и LEGENDA демонстрирует достижение экономических и организационных результатов.

Выбор отечественных платформ также соответствует политике технологического суверенитета и требованиям к импортозамещению в сфере цифрового проектирования, что дополнительно снижает риски зависимости от зарубежного ПО и ограничений по лицензиям.

Заключение

Проведённое исследование подтверждает, что цифровая трансформация является ключевым фактором повышения эффективности и устойчивого развития строительных предприятий России. Анализ научных публикаций и отраслевых отчетов показал, что внедрение BIM-технологий,

роботизации, 3D-печати, модульного строительства, цифровых двойников и IoT обеспечивает сокращение сроков реализации проектов, снижение затрат, рост производительности и повышение качества проектной документации. Несмотря на положительную динамику развития инновационной активности отрасли, сохраняется ряд системных барьеров: кадровый дефицит, нормативные ограничения, несовместимость цифровых инструментов и высокая стоимость внедрения новых технологий.

Оценка цифровых платформ управления жизненным циклом строительного объекта методом анализа иерархий (МАИ) позволила определить оптимальное решение для российских строительных организаций. На основе сопоставления шести альтернатив по критериям нормативного соответствия, технологической совместимости, экономической эффективности и степени интеграции было установлено, что наиболее предпочтительной является связка Renga + Pilot-BIM. Данное решение обеспечивает полное соответствие российским стандартам ТИМ, независимость от зарубежного ПО, интеграцию с ERP-системами, снижение стоимости внедрения и повышение прозрачности производственных процессов.

Анализ практических кейсов (Setl Group, LEGENDA) подтвердил, что применение отечественных платформ приводит к сокращению количества ошибок проектирования, ускорению документооборота, повышению согласованности действий участников и снижению сроков подготовки проектной документации. Это доказывает высокую прикладную значимость разработанной методики выбора платформы и её соответствие задачам технологического суверенитета.

Таким образом, результаты исследования имеют как теоретическую, так и практическую ценность. Они обосновывают необходимость системного подхода к инновационному менеджменту, формируют методологию выбора цифровой платформы и демонстрируют, что внедрение отечественных решений типа Renga + Pilot-BIM является наиболее эффективной стратегией для российских строительных компаний в условиях перехода к цифровому управлению жизненным циклом объектов.

Список литературы

1. ДОМ.РФ: более 700 застройщиков используют технологии информационного моделирования // ДОМ.РФ: сайт. 2024. URL: <https://xn--80az8a.xn--d1aqf.xn--p1ai/медиа/новости/2024/03/дом.рф-более-700-застройщиков-используют-технологии-информационного-моделирования> (дата обращения: 27.11.2025).
2. ПИК: инструменты для анализа BIM-данных. PropTech.Media: сайт. URL: <https://www.proptech.media/articles/tpost/mo8yt9n951-pik-instrumenti-dlya-analiza-bim-dannih> (дата обращения: 27.11.2025).
3. Стройка 3D: Никита Чен-юн-тай первым в России напечатал дом // РБК. 2017. URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9> (дата обращения: 27.11.2025).
4. Bock T. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics // Automation in Construction. 2015. Vol. 59. P. 113–121. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.07.022. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051500165X?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 30.11.2025).
5. Robotics in the Construction Industry: A Bibliometric Review of Recent Trends and Technological Evolution / L. Xu, Y. Zhang, M. Liu et al. // Applied Sciences. 2025. Vol. 15, no. 11. P. 6277. DOI: 10.3390/app15116277. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6277> (дата обращения: 30.11.2025).
6. Ahmed G.H. A review of “3D concrete printing”: Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 66. P. 105863. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.105863. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223000426> (дата обращения: 30.11.2025).
7. Advancement in Sustainable 3D Concrete Printing: A Review on Materials, Challenges, and Current Progress in Australia / K. Gamage, S. Fawzia, T. Zahra et al. // Buildings. 2024. Vol. 14. P. 494. DOI: 10.3390/buildings14020494. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/2/494> (дата обращения: 30.11.2025).
8. Modular Construction: A Comprehensive Review / M. Zohourian, A. Pamidimukkala, S. Kermanshachi, D. Almaskati // Buildings. 2025. Vol. 15. P. 2020. DOI: 10.3390/buildings15122020. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/12/2020> (дата обращения: 30.11.2025).

9. Molina A.A., Huang Y., Jiang Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016–2021 // *Standards*. 2023. Vol. 3. P. 95–109. DOI: 10.3390/standards3020009. URL: <https://www.mdpi.com/2305-6703/3/2/9> (дата обращения: 30.11.2025).
10. Oropku D.-G.J., Perera S., Osei-Kyei R., Rashidi M. Digital twin application in the construction industry: a literature review // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 40. P. 102726. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102726. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221005842> (дата обращения: 30.11.2025).
11. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions / Н. Omrany, К.М. Al-Obaidi, А. Husain, А. Ghaffarianhoseini // *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 14. P. 10908. DOI: 10.3390/su151410908. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10908> (дата обращения: 30.11.2025).
12. Индикаторы инновационной деятельности: 2024: статистический сборник / В.В. Власова, Л.М. Гохберг, Г.А. Грачева и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. 260 с.
13. PwC. Innovate smarter: How AI is transforming Research and Development [Электронный ресурс]. PwC, 2025. 23 p. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/ai-services/ai-in-research-and-development.pdf> (дата обращения: 30.11.2025).
14. McKinsey & Company. The construction productivity imperative [Электронный ресурс]. McKinsey & Company, 2015. 48 с. Available at: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The%20construction%20productivity%20imperative/The%20construction%20productivity%20imperative.pdf> (дата обращения: 30.11.2025).
15. RICS. Digitalisation in Construction Report 2023 [Электронный ресурс]. RICS, 2023. 52 с. URL: https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/research/Digitalisation%20in%20construction%202023_final.pdf (дата обращения: 30.11.2025).
16. Digital Twins in Construction: Architecture, Applications, Trends and Challenges / Z. Yang, C. Tang, T. Zhang et al. // *Buildings*. 2024. Vol. 14 (9). P. 2616. DOI: 10.3390/buildings14092616
17. Жданова М.В., Лапидус А.А. Управление жизненным циклом объектов строительства посредством определения точек сокращения продолжительности этапов // *Строительство и архитектура*. 2025. Vol. 13, no. 3. P. C0005. DOI: 10.29039/2308-0191-2025-13-3-C0005
18. Russia Building Information Modeling (BIM) Market Report 2025–2033 // IMARC Group: сайт. 2025. URL: <https://www.imarcgroup.com/russia-building-information-modeling-market> (дата обращения: 22.10.2025).
19. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Насонова Т.В. Математические методы проведения экспертной оценки качественных показателей // *Управление строительством*. 2018. № 2 (11). С. 6–35.
20. АСКОН на BIMAC: новаторство Renga, Pilot-BIM у девелоперов и анонс Pilot-Cloud // АСКОН: сайт. 2023. URL: <https://ascon.ru/news/2023/04/27/askon-na-bimac-novatorstvo-renga-pilot-bim-u-developerov-i-anons-pilot-cloud/> (дата обращения: 30.11.2025).
21. Холдинг Setl Group выбирает Renga и Pilot-BIM для проектирования многоэтажного жилья // Renga: сайт. 2025. URL: https://rengabim.com/news-bim-renga/kholding-setl-group-vyбираet-renga-i-pilot-bim-dlya-proektirovaniya-mnogoetazhnogo-zhilya/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 30.11.2025).
22. Легендарный BIM: как девелопер LEGENDA перешел на СОД от АСКОН // АСКОН: сайт. 2025. URL: https://ascon.ru/news_and_events/news/3940/?utm_source=chatgpt.com (дата обращения: 30.11.2025).

References

1. *DOM.RF: boleye 700 zastroyshchikov ispol'zuyut tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya* [More than 700 developers use information modeling technologies]. 2024. *DOM.RF: website*. (In Russ.) Available at: <https://xn--80az8a.xn--d1aqf.xn--plai/медиа/новости/2024/03/дом.рф-более-700-застройщиков-используют-технологии-информационного-моделирования> (accessed 27.11.2025).
2. *PIK: instrumenty dlya analiza BIM-dannykh* [PIC: tools for BIM data analysis]. *PropTech.Media: website*. 2024. (In Russ.) Available at: <https://www.proptech.media/articles/tpost/mo8yt9n951-pik-instrumenti-dlya-analiza-bim-dannih> (accessed 27.11.2025).

3. *Stroyka 3D: Nikita Chen-yun-tay pervym v Rossii napechatal dom* [3D Construction: Nikita Chen-yun-tai became the first Russian to print a house]. *RBC: website*. 2017. (In Russ.) Available at: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9> (accessed 27.11.2025).

4. Bock T. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. *Automation in Construction*. 2015;59:113–121. DOI: 10.1016/j.autcon.2015.07.022. Available at: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092658051500165X?utm_source=chatgpt.com (accessed 30.11.2025).

5. Xu L., Zhang Y., Liu M. et al. Robotics in the Construction Industry: A Bibliometric Review of Recent Trends and Technological Evolution. *Applied Sciences*. 2025;15(11):6277. DOI: 10.3390/app15116277. Available at: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/6277> (accessed 30.11.2025)

6. Ahmed G.H. A Review of «3D concrete printing»: Materials and process characterization, economic considerations and environmental sustainability. *Journal of Building Engineering*. 2023;66:105863. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.105863. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710223000426> (accessed 30.11.2025).

7. Gamage K., Fawzia S., Zahra T., Teixeira M.B.F., Ramli Sulong N.H. Advancement in Sustainable 3D Concrete Printing: A Review on Materials, Challenges, and Current Progress in Australia. *Buildings*. 2024;14:494. DOI: 10.3390/buildings14020494. Available at: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/2/494> (accessed 30.11.2025).

8. Zohourian M., Pamidimukkala A., Kermanshachi S., Almaskati D. Modular Construction: A Comprehensive Review. *Buildings*. 2025;15:2020. DOI: 10.3390/buildings15122020. Available at: <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/12/2020> (accessed 30.11.2025).

9. Molina A.A., Huang Y., Jiang Y. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Applications in Construction Management: 2016–2021. *Standards*. 2023;3:95–109. DOI: 10.3390/standards3020009. Available at: <https://www.mdpi.com/2305-6703/3/2/9> (accessed 30.11.2025).

10. Opoku D.-G.J., Perera S., Osei-Kyei R., Rashidi M. Digital twin application in the construction industry: a literature review. *Journal of Building Engineering*. 2021;40:102726. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.102726. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221005842> (accessed 30.11.2025).

11. Omrany H., Al-Obaidi K.M., Husain A., Ghaffarianhoseini A. Digital Twins in the Construction Industry: A Comprehensive Review of Current Implementations, Enabling Technologies, and Future Directions. *Sustainability*. 2023;15(14):10908. DOI: 10.3390/su151410908. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/14/10908> (accessed 30.11.2025).

12. Vlasova V., Gokhberg L., Gracheva G. et al.; National Research University Higher School of Economics. *Indicators of Innovation in the Russian Federation: 2024: Data Book*. Moscow: ISSEK HSE, 2024. 260 p. (In Russ.)

13. PwC. *Innovate smarter: How AI is transforming Research and Development* [Electronic resource]. PwC, 2025. 23 p. Available at: <https://www.pwc.com/gx/en/ai-services/ai-in-research-and-development.pdf> (accessed 30.11.2025).

14. McKinsey & Company. *The construction productivity imperative* [Electronic resource]. McKinsey & Company, 2015. 48 p. Available at: https://www.mckinsey.com/~/_media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/The%20construction%20productivity%20imperative/The%20construction%20productivity%20imperative.pdf (accessed 30.11.2025).

15. RICS. *Digitalisation in construction report 2023* [Electronic resource]. RICS, 2023. 52 c. Available at: https://www.rics.org/content/dam/ricsglobal/documents/research/Digitalisation%20in%20construction%202023_final.pdf (accessed 30.11.2025).

16. Yang Z., Tang C., Zhang T., Zhang Z., Doan D.T. Digital Twins in Construction: Architecture, Applications, Trends and Challenges. *Buildings*. 2024;14(9):2616. DOI: 10.3390/buildings14092616

17. Zhdanova M.V., Lapidus A.A. Construction projects life cycle management by identifying points of shortening of phases. *Construction and Architecture*. 2025;13(3):C0005. (In Russ.) DOI: 10.29039/2308-0191-2025-13-3-C0005

18. Russia Building Information Modeling (BIM) Market Report 2025–2033. *IMARC Group: website*. 2025. Available at: <https://www.imarcgroup.com/russia-building-information-modeling-market> (accessed 22.10.2025).

19. Barkalov S.A., Moiseev S.I., Nasonova T.V. Expert evaluation mathematical methods of quality indicators. *Upravleniye stroitel'stvom*. 2018;2(11):6–35. (In Russ.)

20. *ASKON na BIMAC: novatorstvo Renga, Pilot-BIM u developerov i anons Pilot-Cloud* [ASKON on BIMAC: Renga's innovation, Pilot-BIM among developers and the announcement of Pilot-Cloud]. *ASKON: website*. 2023. (In Russ.) Available at: <https://ascon.ru/news/2023/04/27/askon-na-bimac-novatorstvo-renga-pilot-bim-u-developerov-i-anons-pilot-cloud/> (accessed 30.11.2025).

21. *Kholding Setl Group vybiraet Renga i Pilot-BIM dlya proektirovaniya mnogoetazhnogo zhilya* [Setl Group Holding Chooses Renga and PilotBIM for the Design of Multi-Storey Housing]. *Renga: website*. 2025. (In Russ.) Available at: https://rengabim.com/news-bim-renga/kholding-setl-group-vybiraet-renga-i-pilot-bim-dlya-proektirovaniya-mnogoetazhnogo-zhilya/?utm_source=chatgpt.com (accessed 30.11.2025).

22. *Legendarnyy BIM: kak developer LEGENDA pereshel na SOD ot ASKON* [Legendary BIM: how the developer LEGENDA switched to SOD from ASKON]. *ASKON: website*. 2025. Available at: https://ascon.ru/news_and_events/news/3940/?utm_source=chatgpt.com (accessed 30.11.2025).

Информация об авторах

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой управления, декан факультета экономики, менеджмента и инновационных технологий, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; sbarkalov@nm.ru.

Аверина Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; ta_averina@mail.ru.

Пелихова Анастасия Сергеевна, магистрант кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; anastasiapelihova004@gmail.com.

Information about the authors

Sergey A. Barkalov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Management, Dean of the Faculty of Economics, Management and Innovation Technologies, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; sbarkalov@nm.ru.

Tatiana A. Averina, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; ta_averina@mail.ru.

Anastasia S. Pelikhova, Master's student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; anastasiapelihova004@gmail.com.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.11.2025

The article was submitted 30.11.2025