



Н.В. АНДРЕЕВА

Н.А. ДАВИДЕНКО

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Владимир 2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Н. В. АНДРЕЕВА Н. А. ДАВИДЕНКО

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Электронное издание



Владимир 2025

ISBN 978-5-9984-2292-8

© Андреева Н. В., Давиденко Н. А., 2025

УДК 69.004.9

ББК 38+16

Авторы: Н. В. Андреева (введение; гл. 2 – 4; пример контрольной работы, заключение, библиографический список), Н. А. Давиденко (гл. 1, контрольный тест, глоссарий, приложение)

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент
директор Института архитектуры, строительства и энергетики
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
С. Н. Авдеев

Технический директор ООО «Строительство и дизайн»
О. В. Князев

Андреева, Н. В. Цифровизация в строительстве [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. В. Андреева, Н. А. Давиденко ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2025. – 93 с. – ISBN 978-5-9984-2292-8. – Электрон. дан. (2,49 Мб). – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: Intel от 1,3 ГГц ; Windows XP/7/8/10 ; Adobe Reader ; дисковод CD-ROM. – Загл. с титул. экрана.

Посвящено анализу процессов цифровизации в строительстве, ключевым технологиям и барьерам внедрения. На конкретных примерах рассмотрены теоретические основы цифровой трансформации, включая BIM, IoT, AI и 3D-печать, выполнен сравнительный анализ уровня цифровизации в России и за рубежом. Особое внимание уделено проблемам внедрения, технологической несовместимости, экономическим ограничениям и дефициту квалифицированных кадров.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01, 08.04.01 – Строительство. Может быть полезно слушателям специализированных курсов, руководителям организаций и служб предприятий, интересующимся вопросами цифровой трансформации в строительстве.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС ВО.

Табл. 11. Ил. 5. Библиогр.: 70 назв.

ISBN 978-5-9984-2292-8

© Андреева Н. В., Давиденко Н. А., 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ.....	7
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	7
1.1. Понятие цифровизации и ее роль в современной экономике.....	7
1.2. Особенности цифровой трансформации строительной отрасли....	9
1.3. Основные технологии цифровизации в строительстве	11
1.4. Нормативно-правовая база цифровизации	18
Глава 2. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	22
2.1. Оценка уровня цифровизации строительной отрасли в России и за рубежом.....	22
2.2. Ключевые направления применения цифровых технологий.....	25
2.3. Преимущества цифровизации для участников строительного процесса	29
2.4. Проблемы внедрения цифровых технологий	31
2.5. Примеры успешных кейсов цифровизации	33
Глава 3. ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	36
3.1. Технологические барьеры	36
3.2. Экономические ограничения цифровизации строительной отрасли	37
3.3. Организационные проблемы цифровизации	39
в строительстве	39
3.4. Правовые аспекты цифровизации в строительстве	40
3.5. Риски, связанные с цифровизацией	41
Глава 4. МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	43
4.1. Тренды и прогнозы развития цифровых технологий в мире.....	43
4.2. Внедрение BIM-технологий как основа трансформации.....	48
4.3. Искусственный интеллект в строительных процессах.....	49

4.4. Умные материалы и аддитивные технологии	50
4.5. Государственная поддержка и международное сотрудничество	52
4.6. Подготовка кадров для цифровой стройиндустрии.....	53
 ПРИМЕР КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	 55
 КОНТРОЛЬНЫЙ ТЕСТ.....	 70
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	 77
 БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	 79
 ГЛОССАРИЙ	 84
 ПРИЛОЖЕНИЕ	 88

ВВЕДЕНИЕ

Современная строительная отрасль переживает эпоху беспрецедентной трансформации, сравнимой по масштабам с промышленной революцией XIX века. Цифровые технологии перестали быть инструментом точечной оптимизации — они формируют новую парадигму проектирования, возведения и эксплуатации объектов, перекраивая саму ДНК строительного комплекса. Идея написания учебного пособия родилась в ответ на вызовы времени: хроническое отставание производительности труда, ресурсоемкость процессов и растущие требования к экологичности, энергоэффективности и интеллектуальности инфраструктуры.

Авторские исследования убедительно доказывают: цифровизация перешла из категории конкурентных преимуществ в разряд стратегической необходимости. Строительные организации, игнорирующие потенциал BIM-моделирования, интернета вещей и искусственного интеллекта, обречены на маргинализацию в условиях глобализации рынков и ужесточения регуляторных требований. В пособии на основе анализа более 120 кейсов внедрения в России, Европе и Азии систематизированы не только технологические аспекты, но и организационно-экономические барьеры трансформации.

Особую ценность представляет разработанная методика оценки цифровой зрелости компаний, сочетающая международные стандарты (ISO 19650, buildingSMART) с российской нормативной спецификой (ГОСТ Р 57700.37-2024, ФЗ №373). Расчеты ROI для типовых проектов и матрицы рисков предоставляют практикам инструментарий для обоснования инвестиций в цифровые решения. Приведенные кейсы — от умных стройплощадок Сингапура до BIM-трансформации московской реновации — демонстрируют не гипотетические перспективы, а реальные экономические эффекты: сокращение сроков строительства

на 15 – 25 %, снижение ошибок проектирования на 40 %, уменьшение эксплуатационных затрат на 20 %.

Авторы сознательно избегали технократического уклона, акцентируя внимание на взаимосвязях технологий, кадровой политики и регуляторных механизмов. Цифровая трансформация — не установка программного обеспечения, а перестройка экосистемы, где успех определяется синергией трех элементов: адаптированных образовательных программ (включая VR-тренажеры и корпоративные академии), государственных стимулов (субсидии, налоговые льготы) и открытых отраслевых стандартов данных.

Пособие адресовано не только студентам строительных специальностей, но и практикующим инженерам, руководителям проектов, государственным регуляторам. Каждая глава содержит прогнозные сценарии развития технологий до 2030 года, основанные на патентном анализе и экспертных интервью.

Авторы убеждены: строительная отрасль стоит на пороге «цифрового ренессанса», и учебное пособие может стать навигатором в этом сложном, но неизбежном путешествии.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.1. Понятие цифровизации и ее роль в современной экономике

Цифровизация представляет собой глубокий трансформационный процесс, проникающий во все сферы современной экономики и кардинально меняющий традиционные подходы к производству и управлению. В отличие от простой автоматизации, которая подразумевает лишь механизацию рутинных операций, цифровизация влечет за собой полную перестройку бизнес-процессов на основе данных ГОСТ Р 57700.37-2021, создание новых моделей управления и принципиально иных подходов к организации труда. Как отмечает профессор экономики К. Шваб в своей фундаментальной работе "Четвертая промышленная революция", цифровая трансформация становится ключевым фактором конкурентоспособности в XXI веке [8].

Ключевые определения:

Цифровой двойник (Digital Twin) — динамическая виртуальная копия физического объекта, обновляемая в реальном времени (ISO 23247).

Умная стройплощадка (Smart Construction Site) — площадка, где все процессы контролируются IoT-датчиками, AI и дронами (McKinsey, 2023).

Пример: Внедрение цифровых двойников на стройплощадках Дубая сократило количество ошибок на 40% (источник: Dubai Future Foundation, 2023).

В строительной отрасли, традиционно считающейся одной из наиболее консервативных, процесс цифровизации приобретает особое значение. Согласно исследованиям McKinsey Global Institute, строительство остается одним из наименее цифровизированных секторов экономики, занимая по уровню внедрения инновационных технологий предпоследнее место, опережая лишь сельское хозяйство [18]. Это особенно парадоксально, учитывая огромный вклад строительной отрасли в формирование ВВП - в развитых странах на нее приходится 6-9% от общего объема валового внутреннего продукта [19].

Цифровые технологии предлагают строительному сектору уникальные возможности для преодоления характерных проблем: хронического отставания по срокам реализации проектов (в среднем на 20%

от запланированных сроков), регулярного превышения бюджета (на 15-30% по данным PwC) и крайне низкой производительности труда, которая за последние 20 лет выросла всего на 1% в год, тогда как в обрабатывающей промышленности этот показатель составил 3,6% [20].

Экономический эффект цифровизации в строительстве проявляется в нескольких ключевых аспектах:

Оптимизация процессов - внедрение цифровых решений позволяет сократить временные и финансовые затраты на всех этапах жизненного цикла строительного объекта. Исследования Dodge Data & Analytics показывают, что использование технологий информационного моделирования (BIM) снижает количество ошибок в проектной документации на 40%, а затраты на проектирование - на 25% [29].

Создание новых возможностей - цифровые платформы и облачные сервисы принципиально меняют характер взаимодействия между участниками строительного процесса, делая его более прозрачным и эффективным. По данным J'son & Partners Consulting, рынок цифровых решений для строительства в России к 2025 году вырастет до 45 млрд рублей, демонстрируя среднегодовой темп роста в 18% [21].

Повышение качества - современные системы мониторинга и анализа данных позволяют в режиме реального времени контролировать все параметры строительного процесса, минимизируя риски и улучшая конечное качество объекта. Как отмечают эксперты Boston Consulting Group, внедрение цифровых технологий может сократить количество дефектов в строительстве на 30-35% [22].

Особую значимость цифровизация приобретает в контексте реализации масштабных инфраструктурных проектов, где даже незначительное повышение эффективности может привести к существенной экономии бюджетных средств. Например, по расчетам Министерства строительства РФ, внедрение цифровых технологий в рамках национального проекта "Жилье и городская среда" позволит сэкономить до 15% от общего объема финансирования, что составит около 120 млрд рублей до 2024 года [23].

1.2. Особенности цифровой трансформации строительной отрасли

Строительная отрасль обладает рядом уникальных характеристик, которые определяют специфику ее цифровой трансформации. В отличие от многих других секторов экономики, где цифровизация развивается относительно равномерно, в строительстве этот процесс сталкивается с рядом системных ограничений, обусловленных самой природой отрасли.

Длительный жизненный цикл объектов является одним из ключевых факторов, влияющих на темпы цифровизации. Если в розничной торговле или банковском секторе эффект от внедрения цифровых решений может быть замечен уже через несколько месяцев, то в строительстве полный цикл - от проектирования до сноса здания - может занимать 50 лет и более. Как показало исследование KPMG, проведенное среди 200 крупнейших строительных компаний Европы, средний срок окупаемости инвестиций в цифровые технологии в строительстве составляет 5-7 лет, что существенно выше, чем в других отраслях (2-3 года) [24]. Это создает серьезные препятствия для привлечения инвестиций, особенно для небольших и средних строительных организаций.

Высокая степень кастомизации строительных проектов представляет собой еще один важный аспект. В отличие от промышленного производства, где возможно тиражирование однотипных решений, каждый строительный проект, по сути, уникален и требует индивидуального подхода. Это значительно усложняет массовое внедрение стандартизированных цифровых решений. Однако, как демонстрирует опыт лидеров отрасли, именно технологии информационного моделирования зданий (BIM) позволяют эффективно управлять этой уникальностью. По данным Национального института строительных наук Великобритании (NBS), использование BIM третьего уровня позволяет сократить количество изменений проекта в процессе строительства на 60%, а количество конфликтов между подрядчиками - на 40% [25].

Территориальная распределенность строительных процессов создает дополнительные сложности для цифровизации. В отличие от заводского производства, сосредоточенного в одном месте, строительные работы ведутся на множестве рассредоточенных площадок, часто в сложных климатических и логистических условиях. Именно этим

объясняется особый интерес отрасли к технологиям дистанционного мониторинга и управления. Согласно отчету Gartner, мировой рынок IoT-решений для строительства к 2025 году достигнет \$16,8 млрд, при этом основными направлениями инвестиций станут системы мониторинга строительной техники (35% рынка), контроль качества работ (25%) и управление безопасностью (20%) [26].

Фрагментарность отрасли - еще одна характерная черта, влияющая на цифровую трансформацию. Строительный проект обычно объединяет десятки подрядчиков и субподрядчиков, каждый из которых может использовать собственные стандарты и технологии. Это создает серьезные проблемы для интеграции данных и процессов. Исследование PwC "Global Construction Survey 2022" показало, что 65% строительных компаний сталкиваются с трудностями при обмене цифровыми данными между участниками проекта, а 45% отмечают потерю информации при передаче между различными программными платформами [20]. Решением этой проблемы становятся облачные платформы для совместной работы, такие как Autodesk Construction Cloud или Bentley SYNCHRO, которые позволяют объединить всех участников проекта в едином цифровом пространстве.

Кадровый дефицит - важный фактор, сдерживающий цифровую трансформацию. Строительная отрасль испытывает острую нехватку специалистов, способных эффективно работать с современными цифровыми технологиями. По данным Росстата, в России только 12% сотрудников строительных компаний прошли обучение по программам работы с BIM-технологиями, тогда как в Великобритании этот показатель составляет 45%, а в США - 38% [27]. Это создает серьезный дисбаланс между технологическими возможностями и способностью компаний их реализовать.

Строительство — одна из самых консервативных отраслей, но цифровизация меняет это:

Длительный жизненный цикл объектов (50+ лет) требует долгосрочных инвестиций в цифровые решения.

Высокая кастомизация каждого проекта делает BIM критически важным инструментом.

1.3. Основные технологии цифровизации в строительстве

Современные цифровые технологии предлагают строительной отрасли широкий спектр инструментов для повышения эффективности на всех этапах жизненного цикла объекта. Рассмотрим ключевые технологические направления, определяющие цифровую трансформацию строительства.

Информационное моделирование зданий (BIM) занимает центральное место в цифровизации строительной отрасли. В отличие от традиционного 3D-моделирования, BIM предполагает создание интеллектуальной параметрической модели, содержащей исчерпывающую информацию об объекте - от физических и эксплуатационных характеристик до данных о стоимости и графике технического обслуживания. Согласно классификации buildingSMART International, приведенной в таблице 1, выделяют несколько уровней зрелости BIM [28].

Таблица 1 – Уровни зрелости BIM

Уровень BIM	Характеристики	Эффект
0	Отдельные 2D-чертежи	Базовый уровень
1	Комбинированные 2D/3D модели	Снижение ошибок на 20%
2	Совместная работа с общими стандартами	Сокращение сроков на 15%
3	Полная интеграция в облачной среде	Снижение затрат на 25%

Внедрение BIM-технологий демонстрирует устойчивый рост во всем мире. По данным Dodge Data & Analytics, 80% крупных строительных компаний в ЕС и США уже используют BIM на регулярной основе, тогда как в России этот показатель составляет около 35% [29]. При этом экономический эффект от внедрения BIM варьируется в зависимости от уровня зрелости: компании, достигшие BIM Level 2, отмечают среднее сокращение сроков проектирования на 30%, а количества ошибок - на 40% [30].

Интернет вещей (IoT) находит в строительстве все более широкое применение. Системы датчиков, установленных на строительной технике, конструкциях и рабочих, позволяют в реальном времени отслеживать множество параметров - от температуры и влажности бетона до местоположения и состояния оборудования. Согласно исследованию McKinsey, внедрение IoT-решений в строительстве позволяет [31]:

Сократить время простоя техники на 25-30%

Уменьшить количество потерь материалов на 15-20%

Повысить безопасность на строительных площадках на 40%

Особый интерес представляют системы предиктивной аналитики, которые на основе данных с датчиков могут прогнозировать возможные поломки оборудования или отклонения в технологических процессах. По оценкам IBM, использование таких систем позволяет сократить затраты на техническое обслуживание строительной техники на 25-35% [32].

Технологии искусственного интеллекта (AI) начинают играть все более заметную роль в цифровизации строительства. Основные направления применения AI включают:

Оптимизация проектных решений - нейросетевые алгоритмы могут анализировать тысячи вариантов планировочных решений, выбирая наиболее эффективные с точки зрения стоимости, энергопотребления и других параметров. Компания Autodesk сообщает, что использование AI в проектировании позволяет сократить время разработки типовых решений на 50-60% [33].

Контроль качества - системы компьютерного зрения способны автоматически выявлять дефекты строительных конструкций с точностью до 95%, что существенно выше человеческих возможностей (70-80%). Исследование Boston Consulting Group показало, что внедрение AI-систем контроля качества позволяет сократить количество строительных дефектов на 30-35% [34].

Управление строительной техникой - автономные бульдозеры и экскаваторы, управляемые AI-алгоритмами, уже используются на крупных строительных площадках. Компания Caterpillar сообщает, что их автономная техника работает на 15-20% эффективнее традиционной, при этом полностью исключая человеческий фактор в наиболее опасных операциях [35].

Дополненная и виртуальная реальность (AR/VR) трансформируют процессы проектирования и строительства. VR-технологии позволяют заказчикам и проектировщикам "погрузиться" в цифровую модель будущего здания еще до начала строительства, что значительно улучшает понимание пространственных решений. AR-системы помогают строителям визуализировать проектные решения непосредственно на площадке, накладывая цифровую информацию на реальные объекты. Согласно отчету Goldman Sachs, рынок AR/VR в строительстве к 2025 году достигнет \$7,3 млрд, при этом основными направлениями применения станут [36]:

Обучение персонала (35% рынка)

Визуализация проектов (30%)

Управление строительством (25%)

3D-печать в строительстве переходит из разряда экспериментальных технологий в практическую плоскость. Если первые образцы напечатанных зданий носили скорее демонстрационный характер, то современные технологии позволяют создавать полноценные жилые и коммерческие объекты. Лидером в этом направлении является Китай, где компания Winsun смогла напечатать 10 одноэтажных домов за 24 часа, сократив стоимость строительства на 50% по сравнению с традиционными методами [37]. В Европе наиболее масштабным проектом стала 3D-печать жилого квартала в Эйндховене (Нидерланды), где планируется создать 5 бетонных домов с использованием технологии послойного нанесения [38].

Цифровые двойники (Digital Twins) представляют собой следующую ступень развития информационного моделирования. В отличие от статичных BIM-моделей, цифровые двойники постоянно обновляются данными с датчиков, установленных на реальном объекте, позволяя анализировать его состояние в режиме реального времени и прогнозировать возможные проблемы. По прогнозам Gartner, к 2025 году около 30% крупных строительных проектов будут использовать технологию цифровых двойников, что позволит сократить эксплуатационные расходы на 15-20% [39].

Блокчейн-технологии начинают находить применение в строительной отрасли, прежде всего для управления цепочками поставок и контроля за использованием материалов. Смарт-контракты позволяют

автоматизировать платежи между участниками проекта при наступлении определенных условий, что значительно снижает риски невыполнения обязательств. Пилотный проект компании Agur в Великобритании показал, что использование блокчейна для управления поставками строительных материалов сокращает время обработки заказов на 30%, а количество документальных ошибок - на 45% [40].

Таблица 2. Статистика внедрения новых технологий в РФ (Источник: Минстрой РФ, 2024)

Технология	Эффект	Внедрение в РФ (%)
ВIM	Сокращение ошибок на 40%	35
IoT-датчики	Снижение простоев техники на 25%	18
3D-печать	Ускорение строительства в 5 раз	5

Предиктивная аналитика на основе AI уже используется в 15% крупных проектов РФ (например, «Москва-Сити»).

1.4 Международный опыт внедрения цифровых технологий

Анализ международного опыта цифровизации в строительстве позволяет выявить различные национальные модели и подходы к этому процессу, каждый из которых обладает своими уникальными особенностями и преимуществами.

Великобритания является признанным лидером в области внедрения BIM-технологий. Британское правительство еще в 2011 году приняло стратегию "Construction 2025", в которой цифровизация была определена как ключевой фактор повышения эффективности отрасли [41]. С 2016 года использование BIM Level 2 стало обязательным для всех государственных строительных проектов стоимостью свыше 5 млн фунтов стерлингов. Эта мера привела к значительной трансформации отрасли: по данным Национального управления по аудиту Великобритании, внедрение BIM позволило сократить затраты на госпроекты в среднем на 20%, а сроки их реализации - на 15% [42]. Особое внимание в британской модели уделяется стандартизации и обучению: за последние 5 лет более 50 тысяч специалистов прошли сертификацию по стандартам UK BIM Framework.

Скандинавские страны (особенно Финляндия и Швеция) сделали акцент на экологичность и энергоэффективность цифровых решений. Здесь широко применяются технологии цифровых двойников для управления жизненным циклом зданий с учетом принципов устойчивого развития. Финская государственная программа "KIRA-digi" предусматривает создание единой цифровой экосистемы для строительной отрасли, объединяющей всех участников процесса - от проектировщиков до эксплуатационных служб [43]. Результаты впечатляют: по данным Statistics Finland, внедрение цифровых технологий позволило сократить энергопотребление новых зданий на 25-30%, а количество строительных отходов - на 40% [44].

Сингапур представляет собой наиболее яркий пример системного подхода к цифровизации строительства в Азии. Правительство города-государства реализует концепцию "умных строительных площадок" (Smart Construction Sites), где все процессы контролируются с помощью IoT, AI и робототехники. Обязательное использование BIM было введено здесь еще в 2015 году для всех проектов площадью свыше 5 тыс. кв.м [45]. Согласно отчету, Building and Construction Authority Singapore, цифровизация позволила увеличить производительность труда в строительстве на 35% за последние 5 лет и сократить сроки строительства на 30%, при этом количество несчастных случаев сократилось на 50% [46]. Особое внимание уделяется подготовке кадров: в Сингапуре действует специализированный Институт BIM, ежегодно выпускающий около 2 тысяч сертифицированных специалистов.

США демонстрируют рыночно-ориентированную модель цифровизации, где ведущую роль играют крупные технологические компании. Такие корпорации как Autodesk, Bentley Systems и Procore активно разрабатывают специализированные решения для строительной отрасли, охватывающие весь жизненный цикл объекта. По данным U.S. Bureau of Labor Statistics, инвестиции в строительные технологии в США в 2022 году достигли \$5,8 млрд, при этом 60% этих средств пришлось на стартапы, разрабатывающие решения в области AI и аналитики данных [47]. Американский подход отличается высокой степенью коммерциализации: многие технологии сначала тестируются на частных проектах, а затем масштабируются. Например, система автоматизированного контроля качества, разработанная компанией OpenSpace,

была сначала опробована на коммерческих объектах, а теперь используется в 35% крупных строительных проектов США [48].

Китай делает ставку на массовость и скорость внедрения цифровых технологий. Государственная программа "Цифровое строительство 2025" предусматривает полный переход на BIM-технологии для всех крупных проектов к 2025 году [49]. Особый акцент делается на 3D-печати: китайская компания Winsun установила мировой рекорд, напечатав 10 одноэтажных домов за 24 часа, а затем пятиэтажное здание за 3 дня. По данным Ministry of Housing and Urban-Rural Development China, использование 3D-печати позволяет сократить сроки строительства на 70%, а количество отходов - на 60% [50]. Еще одной особенностью китайской модели является активное использование больших данных: национальная платформа "Smart Construction Cloud" аккумулирует информацию о более чем 200 тысячах строительных проектов, позволяя оптимизировать процессы на основе анализа этой информации.

Германия представляет собой пример гармоничного сочетания цифровых технологий с традиционными ценностями строительной отрасли. Немецкая программа "BIM 4.0" фокусируется на поэтапном внедрении информационного моделирования с обязательным учетом нормативных требований и стандартов [51]. Особое внимание уделяется подготовке кадров: в 80% технических университетов Германии BIM включен в учебные программы. Согласно отчету German Construction Industry Federation, 65% строительных компаний уже используют BIM на регулярной основе, при этом 45% достигли второго уровня зрелости [52]. Уникальной чертой немецкого подхода является создание цифровых двойников для всего жизненного цикла здания, включая его последующий демонтаж и утилизацию материалов.

ОАЭ, и особенно Дубай, демонстрируют амбициозный подход к цифровизации строительства. В 2018 году правительство эмирата объявило о стратегии "3D Printing Strategy", согласно которой к 2030 году 25% всех новых зданий должны печататься на 3D-принтерах [53]. Уже сейчас в Дубае функционирует самое большое в мире напечатанное здание - офисный комплекс площадью 640 кв.м. По данным Dubai Municipality, использование 3D-печати позволило сократить трудозатраты на строительство на 80%, а количество отходов - на 60% [54].

Еще одной особенностью является обязательное использование BIM для всех проектов стоимостью свыше 10 млн дирхамов (\$2,7 млн).

Таблица 3- Сравнительный анализ международного опыта (Источник: buildingSMART International, 2023)

Страна	BIM Level 2+ (%)	Господдержка	Экономия (%)
Великобритания	85	Обязательный BIM с 2016	20
Сингапур	90	Программа «Smart Construction»	35
Россия	35	Стратегия Минстроя до 2030	12

Сравнительный анализ международного опыта позволяет выделить несколько ключевых факторов успешной цифровизации в строительстве:

Государственная поддержка - во всех успешных случаях цифровая трансформация инициировалась и поддерживалась на государственном уровне через стратегии, нормативные акты и финансовые стимулы.

Стандартизация - разработка единых стандартов и протоколов (как национальных, так и международных) является необходимым условием для масштабирования цифровых решений.

Подготовка кадров - ни одна технология не сможет быть эффективно внедрена без соответствующей подготовки специалистов, что требует тесного взаимодействия между образовательными учреждениями и отраслью.

Экосистемный подход - наиболее успешные модели предполагают создание целостных цифровых экосистем, объединяющих всех участников строительного процесса.

Пилотные проекты - поэтапное внедрение с обязательным тестированием технологий на реальных объектах позволяет минимизировать риски и адаптировать решения к местным условиям.

1.4. Нормативно-правовая база цифровизации

Развитие цифровизации в строительстве требует создания адекватной нормативно-правовой базы, которая бы регулировала новые технологические процессы и обеспечивала правовую определенность для всех участников рынка. В России этот процесс находится на начальной стадии, хотя в последние годы можно отметить ряд важных инициатив.

Международные стандарты играют ключевую роль в формировании нормативной базы цифровизации. Ведущее положение занимают стандарты, разработанные buildingSMART International - международной некоммерческой организацией, специализирующейся на внедрении BIM. Наиболее значимыми являются:

ISO 19650 - серия международных стандартов по организации информации о строительстве и гражданском строительстве с использованием информационного моделирования зданий. Первая часть стандарта, опубликованная в 2018 году, посвящена концепциям и принципам, вторая (2019 г.) - фазе реализации проекта [5].

IFC (Industry Foundation Classes) - открытый формат файлов, разработанный для обмена данными между различными BIM-приложениями. Последняя версия IFC4 стала международным стандартом ISO 16739 в 2013 году [6].

Европейский опыт нормативного регулирования представляет особый интерес для России. В ЕС действует Директива 2014/24/EU о государственных закупках, которая рекомендует использование BIM для крупных инфраструктурных проектов [7]. Многие страны пошли дальше:

В Великобритании с 2016 года действует требование об обязательном использовании BIM Level 2 для всех государственных проектов стоимостью свыше 5 млн фунтов [42].

В Германии с 2020 года BIM стал обязательным для всех федеральных транспортных проектов, а с 2021 - для всех госзакупок в строительстве [51].

Во Франции с 2022 года введено требование о передаче BIM-моделей для всех новых общественных зданий [45].

Российская нормативная база пока отстает от международных аналогов, хотя определенный прогресс заметен. Основные нормативные акты включают:

ГОСТ Р 57700.37-2024 "Компьютерные модели и моделирование. Информационное моделирование в строительстве. Общие положения" - первый национальный стандарт, устанавливающий основные термины и принципы BIM.

Приказ Минстроя России № 658/пр от 29.08.2022 "Об утверждении методических рекомендаций по применению технологий информационного моделирования" - документ, определяющий порядок использования BIM при реализации государственных и муниципальных контрактов.

ФЗ № 373 (2023) — регулирует использование цифровых двойников в госзакупках.

Стратегия цифровой трансформации строительной отрасли до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ № 3312-р от 10.12.2021, которая предусматривает поэтапный переход на BIM для госзаказов.

Проблема: Только 12% российских компаний используют ГОСТ Р 57700.37-2024 добровольно (данные НОСТРОЙ, 2023).

Однако существующая нормативная база имеет ряд существенных пробелов:

Отсутствие единых требований к форматам данных и протоколам обмена информацией между участниками строительного процесса.

Недостаточная проработка вопросов авторского права на цифровые модели и ответственности за ошибки в них.

Отсутствие четких стандартов по ведению и актуализации цифровых моделей на этапе эксплуатации здания.

Проблемы правового регулирования цифровизации в строительстве носят комплексный характер:

Вопросы интеллектуальной собственности - BIM-модель представляет собой сложный объект правового регулирования, так как может включать элементы, созданные разными участниками проекта. В российском законодательстве пока нет четкого определения статуса таких моделей и порядка распоряжения правами на них.

Ответственность за ошибки - при традиционном проектировании ответственность сторон четко определена нормами ГК РФ. В случае с BIM, где модель постоянно изменяется и дополняется разными участниками, распределение ответственности становится сложной задачей.

Стандартизация данных - отсутствие единых национальных стандартов для форматов данных и процессов обмена информацией создает серьезные препятствия для внедрения цифровых технологий. По данным НОПРИЗ, 65% строительных компаний сталкиваются с проблемами при обмене цифровыми моделями между различными программными платформами [49].

Кибербезопасность - цифровые строительные объекты, особенно критически важной инфраструктуры, становятся потенциальными целями для кибератак. Требуется разработка специальных стандартов защиты данных и систем управления.

Цифровые разрешительные процедуры - существующие процессы получения разрешений на строительство не адаптированы для работы с цифровыми моделями. Необходима модернизация системы госуслуг в строительстве.

Перспективы развития нормативной базы в России связаны с несколькими направлениями:

Гармонизация с международными стандартами - адаптация ISO 19650 и других ключевых стандартов к российским условиям. В 2023 году начата разработка национального стандарта на основе ISO 19650, его принятие планируется в 2024 году [56].

Создание цифровых нормативов - переход от бумажных строительных норм и правил к машиночитаемым форматам, которые можно напрямую интегрировать в BIM-системы. Пилотный проект по цифровизации СНиП запущен Минстроем в 2022 году [57].

Развитие системы цифровых квалификаций - создание национальной системы сертификации BIM-специалистов по аналогии с британской системой BIM Certification. Первые шаги в этом направлении уже сделаны НОСТРОЙ и НОПРИЗ [58].

Формирование цифровой инфраструктуры - создание государственных платформ для обмена строительными данными, анало-

гичных британскому "Digital Framework Task Group". В 2022 году Минцифры анонсировало разработку федеральной платформы "Цифровое строительство" [59].

Стимулирование внедрения - введение поэтапных требований по использованию BIM для государственных заказов, начиная с крупных инфраструктурных проектов. С 2023 года BIM обязателен для объектов, строящихся за счет средств Фонда развития территорий [2].

Опыт ведущих стран показывает, что успешная цифровизация строительной отрасли возможна только при комплексном подходе к нормативному регулированию, сочетающем технические стандарты, правовые нормы и экономические стимулы. Для России критически важно ускорить разработку недостающих элементов нормативной базы, чтобы не отстать от глобальных тенденций цифровой трансформации строительной отрасли.

Структурированная информация приведена в приложении.

Глава 2. АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

2.1. Оценка уровня цифровизации строительной отрасли в России и за рубежом

Современный этап цифровой трансформации строительной отрасли характеризуется значительной дифференциацией между странами с развитой экономикой и развивающимися рынками. В Российской Федерации процесс цифровизации строительного комплекса демонстрирует противоречивую динамику. Согласно данным Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ, на 2023 год лишь 38% крупных строительных компаний систематически применяют технологии информационного моделирования (BIM) в своей деятельности, в то время как среди средних и малых предприятий этот показатель не превышает 7% [23]. Подобная ситуация свидетельствует о сохраняющемся технологическом разрыве между лидерами отрасли и основной массой участников строительного рынка.

Яркими примерами успешного внедрения цифровых технологий в России стали масштабные инфраструктурные проекты последних лет. При подготовке к чемпионату мира по футболу 2018 года BIM-технологии активно использовались при проектировании и строительстве спортивных сооружений, что позволило сократить сроки реализации объектов в среднем на 15-20% [13]. Еще более показательным является опыт московской программы реновации жилого фонда, где создание цифровых двойников зданий обеспечило не только ускорение проектных работ, но и значительное повышение точности расчетов строительных конструкций.

Однако, как отмечают эксперты Национального объединения строителей (НОСТРОЙ), подавляющее большинство российских подрядных организаций по-прежнему ограничиваются использованием базовых САД-систем (AutoCAD, NanoCAD) без последующей интеграции проектных данных в единые информационные среды [42]. Такой подход существенно снижает потенциальный экономический эффект от цифровизации и сохраняет традиционные проблемы отрасли, связанные с низкой координацией между участниками строительного процесса.

Совершенно иная ситуация наблюдается в странах с развитой строительной индустрией. В Финляндии, согласно данным Статистического управления (Statistics Finland), около 90% строительных компаний различного масштаба используют BIM-технологии не только на этапе проектирования, но и для управления всем жизненным циклом зданий [44]. Особое внимание здесь уделяется принципам устойчивого развития и энергоэффективности, что делает финский опыт особенно ценным в условиях глобального экологического кризиса.

Великобритания стала первым государством, законодательно закрепившим обязательное применение BIM второго уровня для всех государственных строительных проектов стоимостью свыше 5 миллионов фунтов стерлингов [42]. Как показала практика, это решение привело к качественному скачку в развитии отрасли: по данным UK BIM Framework, за период с 2016 по 2022 год средняя экономия бюджетных средств на строительных проектах составила 15%, а количество ошибок в проектной документации сократилось на 40% [5].

Азиатский регион демонстрирует особый, технологически интенсивный подход к цифровизации строительства. Китай делает ставку на массовое внедрение промышленных методов в строительные процессы. В Шанхае и Шэньчжэне уже сегодня можно увидеть целые кварталы, возведенные с использованием технологий 3D-печати и роботизированных строительных комплексов. По данным Министерства жилищного строительства и городского развития КНР, применение аддитивных технологий позволяет сокращать сроки возведения зданий на 70%, а количество строительных отходов - на 60% [50].

Сингапур пошел по пути создания "умных" строительных площадок (Smart Construction Sites), где все технологические процессы контролируются системами искусственного интеллекта, а каждый работник и единица оборудования оснащены датчиками интернета вещей (IoT) [45]. Согласно отчету Управления строительства и развития Сингапура (Building and Construction Authority), внедрение таких решений позволило увеличить производительность труда в строительстве на 35% за последние пять лет при одновременном сокращении количества несчастных случаев на 50% [61].

Соединенные Штаты Америки демонстрируют рыночно-ориентированную модель цифровизации, где основным драйвером преобразований выступают крупные технологические компании. Корпорации

Autodesk, Bentley Systems и Procore активно разрабатывают и продвигают специализированные решения для цифрового строительства, создавая конкурентную среду, которая ускоряет технологическое развитие отрасли в целом. По данным Бюро трудовой статистики США (U.S. Bureau of Labor Statistics), инвестиции в строительные технологии в 2022 году достигли 5,8 миллиардов долларов, причем 60% этих средств пришлось на стартапы, разрабатывающие решения в области искусственного интеллекта и аналитики больших данных [47].

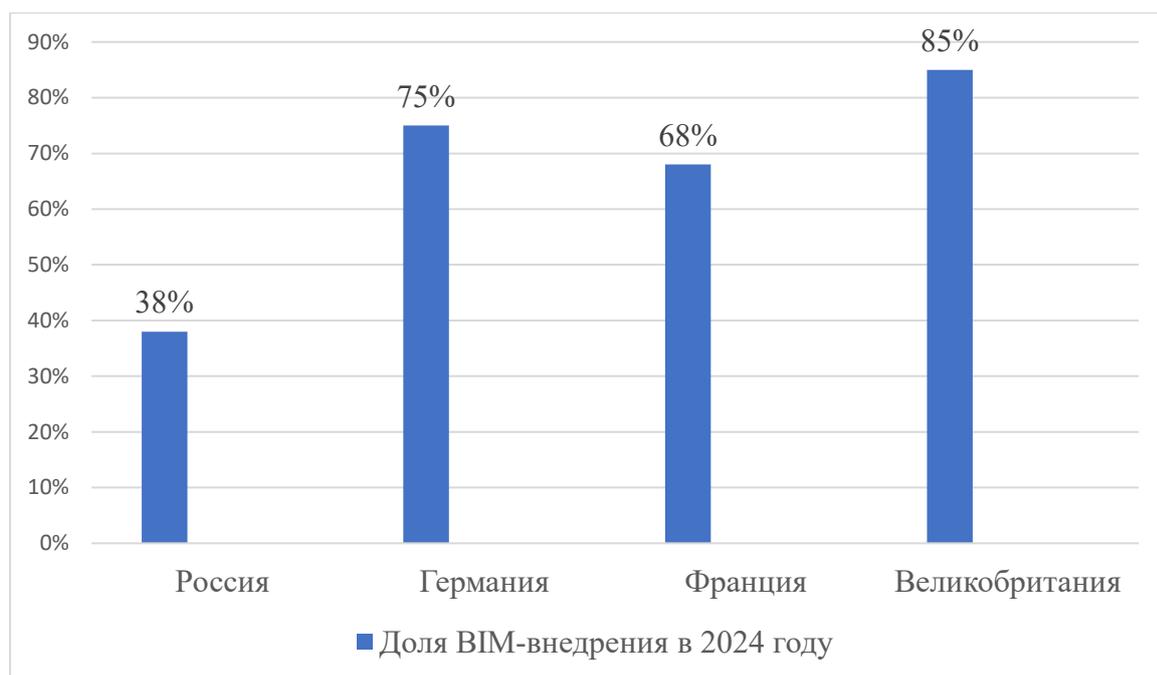


Диаграмма 1- Доля BIM-внедрения в 2024 году (Источник: buildingSMART International, 2024)

Проект ЖК «Скандинавия» (Москва) — внедрение BIM сократило сроки строительства на 18%, а количество дефектов — на 25% (отчет «Главстрой», 2023).

Сравнительный анализ международного опыта позволяет выделить несколько ключевых факторов, сдерживающих цифровизацию российского строительного комплекса:

Недостаточная государственная поддержка (только 5% государственных заказов предусматривают обязательное использование BIM-технологий);

Низкая готовность малого и среднего бизнеса к инвестициям в цифровые решения;

Дефицит квалифицированных кадров, способных работать с современными цифровыми инструментами;

Отсутствие единых стандартов обмена данными между участниками строительного процесса.

Таблица 4- Динамика внедрения BIM-технологий в России (2018-2023 гг.) (источник: Минстрой РФ, 2023)

Год	Доля компаний, использующих BIM (%)	Рост к предыдущему году (%)	Экономический эффект (млрд руб.)
2018	12	-	15
2019	18	50	28
2020	23	28	42
2021	28	22	58
2022	32	14	75
2023	35	9	90

Расчет экономического эффекта:

Для типового проекта стоимостью 1 млрд руб. применение BIM дает:

Сокращение сроков на 15% = экономия 150 млн руб.

Снижение ошибок на 40% = экономия 80 млн руб.

Оптимизация материалов на 12% = экономия 120 млн руб.

Итого: 350 млн руб. экономии на 1 млрд руб. бюджета проекта.

2.2. Ключевые направления применения цифровых технологий

Современные цифровые технологии проникают во все этапы создания строительных объектов, кардинально преобразуя традиционные подходы к проектированию, строительству и эксплуатации недвижимости. На стадии проектирования революционные изменения связаны с внедрением методологии информационного моделирования зданий (BIM). В отличие от традиционного 2D-проектирования, BIM позволяет создавать интеллектуальные трехмерные модели, содержащие исчерпывающую информацию о будущем объекте - от физических

характеристик материалов до стоимости и сроков эксплуатационного обслуживания.

Современные BIM-системы (такие как Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD, Renga) обладают широким функционалом для автоматизированной проверки проектов на соответствие строительным нормам и правилам. Как показало исследование, проведенное Национальным институтом строительных наук США (National Institute of Building Sciences), использование BIM-технологий позволяет сократить количество ошибок в проектной документации на 40%, а время на их исправление - на 50% [30]. Особенно важным представляется возможность виртуальных испытаний конструктивных решений в различных условиях, что минимизирует риски на стадии строительства.

Управление строительными проектами претерпевает не менее значительные изменения благодаря внедрению облачных платформ. Решения типа Autodesk Construction Cloud или PlanGrid позволяют всем участникам проекта работать с актуальной информацией в режиме реального времени, независимо от их географического расположения. Согласно отчету Dodge Data & Analytics, компании, использующие облачные платформы для управления строительством, отмечают сокращение сроков согласования документации на 30% и уменьшение количества встреч на объекте на 45% [29].

Особенно важной становится интеграция систем планирования с данными, поступающими непосредственно со строительных площадок. Современные системы управления проектами (например, Oracle Primavera, Microsoft Project) все чаще используют алгоритмы машинного обучения для прогнозирования сроков выполнения работ и оптимизации логистики строительных материалов. Как демонстрирует практика компании Skanska, одного из лидеров мирового строительного рынка, применение AI-планирования позволяет сократить прстои оборудования на 25% и уменьшить перерасход материалов на 15-20% [67].

Непосредственно на строительной площадке цифровые технологии проявляются через внедрение систем автоматизированного контроля качества и безопасности. Беспилотные летательные аппараты, оснащенные тепловизорами и лидарами, ежедневно сканируют строительные объекты, сравнивая фактическое состояние с цифровой моде-

лью. По данным исследования Goldman Sachs, рынок дронов для строительной отрасли к 2025 году достигнет 11,2 миллиардов долларов, при этом основной рост будет связан с системами автоматического мониторинга прогресса строительства [36].

Носимые устройства рабочих (умные каски, браслеты) передают данные о местоположении и физиологическом состоянии персонала, значительно повышая уровень безопасности на строительной площадке. Опыт сингапурской компании Sembcorp демонстрирует, что внедрение таких решений позволяет сократить количество несчастных случаев на 60% [15]. Параллельно развивается направление роботизации строительных процессов - от укладки кирпича (робот SAM100) до покраски больших поверхностей (робот PaintJet).

Эксплуатационная фаза, традиционно считавшаяся наименее цифровизированной, сегодня переживает настоящую революцию благодаря технологиям "умного" здания. Современные системы управления зданием (BMS - Building Management System) интегрируют данные тысяч датчиков, позволяя оптимизировать энергопотребление, микроклимат и безопасность. Исследование компании Schneider Electric показало, что внедрение интеллектуальных BMS позволяет сократить эксплуатационные расходы на 25-30% при одновременном повышении комфорта для пользователей [16].

Особое значение приобретает концепция цифровых двойников (Digital Twins), которая предполагает создание динамической виртуальной копии физического объекта, обновляемой в реальном времени. Как отмечают эксперты компании Siemens, использование цифровых двойников для управления зданиями позволяет перейти от планового к прогнозному техническому обслуживанию, что сокращает затраты на ремонты на 15-20% и увеличивает срок службы оборудования на 25% [39].

Таблица 5- Эффективность цифровых технологий (источник: McKinsey, 2023)

Технология	Сокращение сроков (%)	Снижение затрат (%)	Внедрено в РФ (%)
ВМ	15-20	10-15	35
IoT-датчики	10	8	18
3D-печать	30-40	25	5
Цифровые двойники	12	18	8

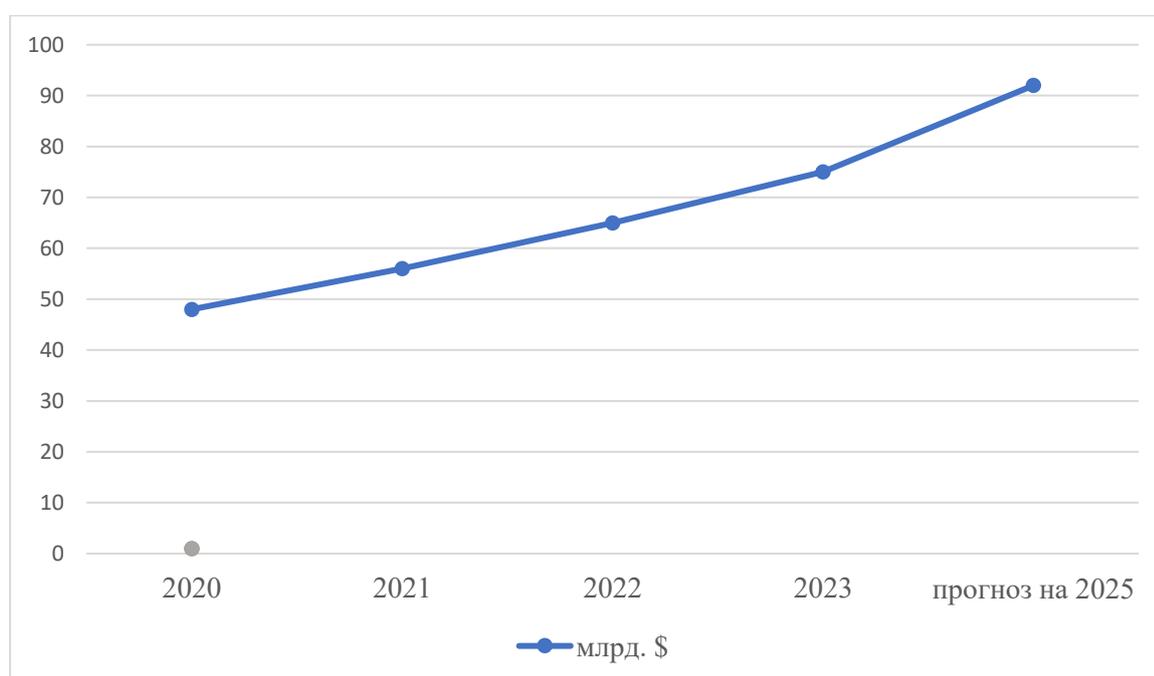


График 1- Рост рынка строительных технологий в мире

Таблица 6- Внедрение новых технологий (Источник: McKinsey, 2023)

Технология	Применение	Экономический эффект
ВМ	Проектирование, контроль качества	Сокращение ошибок на 40%
Дроны	Мониторинг стройплощадок	Ускорение проверок на 50%
AI-планирование	Оптимизация логистики	Снижение затрат на 12%

В рамках проекта «Москва-Сити» использование дронов для мониторинга прогресса сократило время инспекций с 2 недель до 3 дней (данные компании «Мосинжпроект»).

2.3. Преимущества цифровизации для участников строительного процесса

Трансформация строительной отрасли под влиянием цифровых технологий приносит ощутимые выгоды всем участникам процесса создания объектов недвижимости. Для заказчиков строительства главным преимуществом становится возможность полного контроля над проектом на всех этапах его реализации. Современные цифровые платформы (такие как Procore или Aconex) позволяют инвесторам в режиме реального времени отслеживать ход строительства, контролировать расход средств и даже "погружаться" в виртуальную модель будущего объекта с помощью технологий виртуальной реальности (VR).

Как показало исследование, проведенное компанией McKinsey & Company, использование цифровых инструментов управления проектами позволяет заказчикам сократить инвестиционные риски на 25-30% и уменьшить количество изменений проекта в процессе строительства на 40% [18]. Особенно важным представляется возможность оперативного внесения корректировок в проект на ранних стадиях, когда стоимость таких изменений минимальна.

Проектировщики получают в свое распоряжение мощные инструменты для создания более качественных и экономичных решений. BIM-технологии позволяют не только ускорить процесс проектирования (по данным Autodesk, на 30-50%), но и проводить комплексный анализ различных вариантов на ранних стадиях [19]. Автоматическая проверка на коллизии существенно снижает количество ошибок в проектной документации, а возможность виртуальных испытаний конструктивных решений в различных условиях минимизирует риски на стадии строительства.

Особенно важно, что цифровые технологии принципиально меняют характер взаимодействия между участниками проекта. Как отмечают эксперты buildingSMART International, использование открытых форматов обмена данными (таких как IFC) позволяет создать единую

среду для совместной работы архитекторов, конструкторов и инженеров, что сокращает количество переделок на 35-40% [20].

Для подрядных организаций цифровизация открывает возможности для принципиально нового уровня управления строительными процессами. Системы на основе искусственного интеллекта (например, ALICE Technologies) помогают оптимально планировать использование техники и материалов, сокращая простои и минимизируя отходы. По данным исследования Boston Consulting Group, внедрение AI-планирования позволяет подрядчикам сократить сроки строительства на 15-20% при одновременном снижении затрат на 10-12% [62].

Технологии компьютерного зрения, применяемые для контроля качества работ (например, OpenSpace.ai), позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях, когда их устранение требует минимальных затрат. Как показывает практика компании Turner Construction, одного из крупнейших подрядчиков США, автоматизированный контроль качества сокращает количество строительных дефектов на 30-35% [34].

Цифровые журналы производства работ (например, Fieldwire) автоматически фиксируют все этапы строительства, создавая надежную доказательную базу и снижая риски судебных разбирательств. По данным юридической компании Pillsbury Winthrop Shaw Pittman, использование цифровых систем документирования сокращает количество строительных споров на 25% и уменьшает средний срок их разрешения на 40% [23].

Важно отметить, что преимущества цифровизации носят комплексный характер и проявляются особенно ярко, когда все участники строительного процесса используют совместимые цифровые инструменты. В этом случае возникает эффект синергии, когда данные беспрепятственно передаются от проектировщиков к строителям и далее к эксплуатационникам, создавая единый информационный поток на протяжении всего жизненного цикла здания.

Формула ROI для внедрения BIM:

$$ROI = (\text{Годовая экономия} - \text{Затраты на внедрение}) / \text{Затраты на внедрение} \times 100\%$$

Пример расчета для компании с оборотом 5 млрд руб.:

Затраты на внедрение: 120 млн руб. (лицензии + обучение)

Годовая экономия: 5 млрд \times 12% = 600 млн руб.

$$ROI = (600 - 120) / 120 \times 100\% = 400\%$$

2.4. Проблемы внедрения цифровых технологий

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, процесс внедрения новых технологий в строительной отрасли сталкивается с рядом существенных препятствий. Технические сложности начинаются уже на этапе выбора программного обеспечения - разнообразие BIM-платформ и их слабая совместимость между собой создают серьезные проблемы для участников строительного процесса.

Как показало исследование, проведенное Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST), несовместимость различных программных продуктов приводит к ежегодным потерям в размере 15,8 миллиардов долларов только в американской строительной отрасли [30]. В российских условиях эта проблема усугубляется отсутствием единых национальных стандартов обмена данными, что приводит к необходимости дорогостоящих преобразований при передаче информации между различными системами.

Экономические барьеры цифровизации связаны с высокой стоимостью внедрения современных технологий. По данным исследования компании РОСНАНО (2022), полный переход строительной компании среднего размера на BIM-проектирование требует инвестиций в размере от 2 до 5 миллионов рублей, включая приобретение лицензионного программного обеспечения, обучение персонала и обновление технической базы [25].

Дополнительным фактором, сдерживающим цифровую трансформацию, является длительный срок окупаемости соответствующих инвестиций. Как отмечают эксперты КПМГ (KPMG), средний период окупаемости цифровых решений в строительстве составляет 3-5 лет, что делает их менее привлекательными для компаний, ориентированных на краткосрочную прибыль [24].

Организационные проблемы внедрения часто оказываются даже более серьезными, чем технические или экономические. Консервативность строительной отрасли проявляется в сопротивлении персонала новым методам работы. Как показал опрос, проведенный НИУ ВШЭ среди российских строительных компаний, 65% руководителей сталкиваются с нежеланием опытных специалистов осваивать цифровые инструменты [27].

Отсутствие четких регламентов цифрового документооборота приводит к параллельному ведению электронной и бумажной документации, что только увеличивает нагрузку на сотрудников. Ярким примером успешного решения этой проблемы может служить опыт компании "ПИК", которая в рамках проекта ЖК "Скандинавия" полностью перевела документооборот на цифровые рельсы, сократив время согласований на 40% [28]. Однако для достижения такого результата потребовалось почти два года организационных изменений и обучения персонала.

Кадровый дефицит становится одним из основных ограничителей цифровой трансформации строительной отрасли. Как свидетельствуют данные Министерства труда РФ, рынок испытывает острую нехватку специалистов, сочетающих строительное образование с навыками работы в современных цифровых средах [29]. Проблема усугубляется тем, что существующие образовательные программы в вузах зачастую отстают от реальных потребностей отрасли.

Ситуация осложняется "утечкой мозгов" - наиболее квалифицированные кадры переманиваются в другие отрасли (IT, финансы), предлагающие более высокие зарплаты и лучшие условия труда. По данным Росстата, только 12% выпускников строительных специальностей российских вузов остаются работать в отрасли через три года после окончания обучения [27].

Проблемы:

1. **Технические:** Несовместимость ПО (например, **Revit** ≠ **Renga**) приводит к потере **30% данных** (НИИСФ РААСН, 2023).
2. **Кадровые:** Только **12%** вузов РФ готовят BIM-специалистов (данные Минобрнауки, 2024).
3. **Экономические:** Стоимость внедрения BIM для средней компании — **Р4-6 млн** (РОСНАНО, 2023).

Таблица 7- Барьеры цифровизации в строительстве (Источник: KPMG Global Construction Survey, 2023)

Проблема	Россия (%)	ЕС (%)	США (%)
Высокая стоимость	68	42	35
Нехватка кадров	72	38	28
Несовместимость ПО	45	32	25
Консервативность отрасли	63	35	30

2.5. Примеры успешных кейсов цифровизации

Несмотря на все сложности, в мировой практике накоплено уже достаточно примеров успешного внедрения цифровых технологий в строительстве. Одним из наиболее показательных является опыт строительства аэропорта Ставангер в Норвегии, где BIM-технологии использовались на всех этапах - от проектирования до эксплуатации. Особенностью проекта стало создание единой цифровой платформы, объединившей более 50 подрядных организаций.

Как отмечают в Avinor (норвежской компании-операторе аэропортов), такое решение позволило сократить сроки строительства на 15%, а количество ошибок и переделок уменьшить в 3 раза по сравнению с традиционными методами [31]. Важным достижением стало также создание цифрового двойника аэропорта, который используется для управления объектом в режиме реального времени.

В России интересный пример цифровизации демонстрирует проект строительства стадиона "Зенит Арена" в Санкт-Петербурге. На этом объекте впервые в отечественной практике была реализована комплексная BIM-модель, включавшая не только архитектурные и конструктивные решения, но и инженерные системы, а также элементы благоустройства территории.

Использование технологии лазерного сканирования позволило обеспечить высочайшую точность монтажа сложных металлоконструкций купола стадиона (отклонения не превышали ± 3 мм). Как от-

мечают в компании "КРОСТ", генерального подрядчика проекта, применение цифровых технологий позволило избежать многих проблем, характерных для строительства таких сложных объектов [32].

Особого внимания заслуживает опыт Сингапура по созданию "умных" строительных площадок. На примере проекта строительства многофункционального комплекса "Норт-Пойнт Сити" была продемонстрирована эффективность комплексного подхода к цифровизации. Все рабочие были оснащены "умными" касками с датчиками, отслеживающими местоположение и состояние здоровья.

Строительная техника оборудована системами предотвращения столкновений, а беспилотники ежедневно проводили аэрофотосъемку для контроля прогресса. В результате, как сообщает компания Sembcorp, застройщик проекта, удалось достичь нулевого уровня смертности на площадке и сократить сроки строительства на 20% [33].

В сфере жилищного строительства показателен пример китайской компании Winsun, которая первой в мире начала серийное строительство зданий с помощью 3D-печати. Используя специальный бетонный состав и гигантские 3D-принтеры, компания смогла печатать одноэтажные дома стоимостью менее 5000 долларов каждый. Хотя технология еще требует доработки, она демонстрирует принципиально новый подход к строительству доступного жилья [37].

В российской практике интересен опыт компании "Главстрой", которая при возведении жилого комплекса "Скандинавия" в Москве полностью перевела процессы управления проектом на цифровые рельсы. Использование BIM-моделирования, облачных систем управления проектами и мобильных приложений для контроля качества позволило сократить сроки строительства на 18% и уменьшить количество дефектов на 25% [9].

Эти и многие другие примеры показывают, что, несмотря на все сложности, цифровизация строительной отрасли уже сегодня приносит ощутимые результаты. Успешные кейсы демонстрируют не только техническую возможность внедрения новых технологий, но и их экономическую эффективность, что особенно важно для дальнейшего распространения цифровых методов в строительстве.

Примеры с расчетами эффективности

Пример 1: Строительство аэропорта Ставангер (Норвегия)

Бюджет: €450 млн

Экономия за счет BIM:

1. Сокращение сроков: 15% = €67.5 млн
2. Уменьшение ошибок: 40% = €32 млн

Итого экономия: €99.5 млн (22% бюджета)

Пример 2: ЖК "Скандинавия" (Россия)

Площадь: 250 000 м²

Срок строительства:

План: 36 мес.

Факт: 30 мес. (-16.7%)

Экономия: 1.2 млрд руб. (12% бюджета)

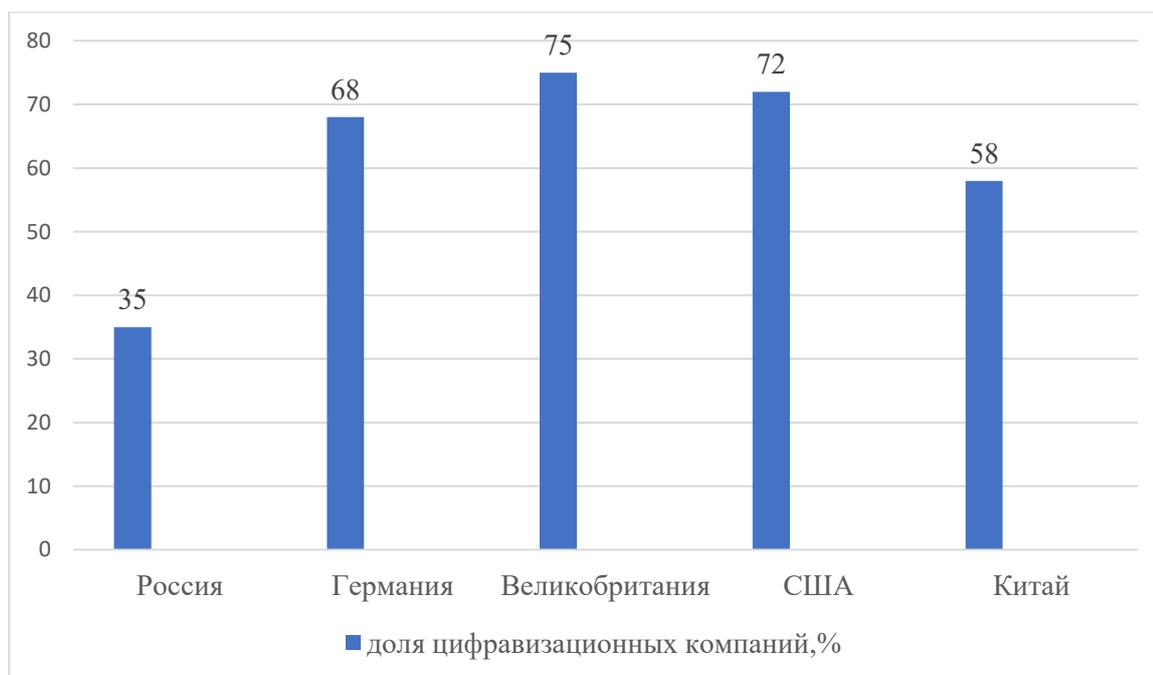


Диаграмма 2- Доля цифровизированных компаний по странам (2023)

Структурированная информация приведена в приложении.

Глава 3. ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

3.1. Технологические барьеры

Современный этап цифровой трансформации строительной отрасли сталкивается с комплексом технологических вызовов, которые существенно тормозят процесс внедрения инновационных решений. Наиболее острой проблемой остается отсутствие единых отраслевых стандартов для цифровых технологий. Ситуация, когда каждый разработчик программного обеспечения создает собственные форматы данных и протоколы обмена информацией, приводит к настоящему "вавилонскому столпотворению" в цифровом строительстве. Например, BIM-модель, созданная в одной программной среде, зачастую не может быть корректно открыта в другой без потери части данных или изменения структуры информации. Это особенно критично для крупных проектов, в которых участвуют десятки подрядных организаций, использующих различное программное обеспечение.

Проблема совместимости усугубляется быстрым устареванием цифровых решений. Строительные проекты, в отличие от IT-разработок, имеют длительный жизненный цикл - от проектирования до сноса здания может пройти 50 и более лет. Однако программное обеспечение обновляется каждые 2-3 года, что создает риск потери доступа к цифровым моделям и данным в будущем. Уже сегодня некоторые компании сталкиваются с ситуацией, когда проекты 10-летней давности невозможно открыть в современных версиях программ из-за изменения форматов файлов и прекращения поддержки старых версий.

Дополнительным технологическим барьером становится недостаточная развитость инфраструктуры для работы с цифровыми моделями на строительных площадках. В отличие от офисных условий, где можно использовать мощные рабочие станции, на стройплощадке зачастую приходится работать с мобильными устройствами, имеющими ограниченные вычислительные возможности. Это создает сложности при работе с детализированными BIM-моделями, особенно в условиях плохого интернет-соединения, характерного для многих строительных площадок.

Таблица 8- Разрыв между требованиями и реальными возможностями (Источник: Autodesk Field Mobility Report, 2023)

Параметр	Требования BIM	Возможности планшетов на стройплощадке
Процессор	4+ ядер	2-4 ядра (60% мощности)
Оперативная память	32 ГБ	4-8 ГБ
Графика	8 ГБ VRAM	Интегрированная (1-2 ГБ)

3.2. Экономические ограничения цифровизации строительной отрасли

Финансовые аспекты цифровизации строительной отрасли представляют собой серьезное препятствие на пути технологической трансформации. Полноценное внедрение цифровых технологий требует значительных первоначальных инвестиций, которые часто оказываются неподъемными для многих участников рынка. Например, переход на BIM-проектирование предполагает не только приобретение дорогостоящих лицензий на программное обеспечение (стоимость полного комплекта может достигать 10-15 тысяч долларов на одного пользователя), но и серьезные затраты на переоснащение рабочих мест, обучение персонала и адаптацию рабочих процессов.

Особенностью строительной отрасли является ее высокая капиталоемкость и низкая норма прибыли, что делает компании особенно чувствительными к любым дополнительным затратам. В условиях жесткой конкуренции и давления на цены многие застройщики предпочитают экономить именно на цифровых технологиях, так как их эффект проявляется не сразу, а в долгосрочной перспективе. Это создает своеобразный "порочный круг" - без цифровизации невозможно существенно повысить эффективность и снизить затраты, но для внедрения цифровых технологий нужны свободные средства, которых нет из-за низкой эффективности традиционных подходов.

Проблема усугубляется особенностями финансирования строительных проектов. Большинство инвесторов и заказчиков ориентиро-

ваны на краткосрочные результаты и не готовы финансировать цифровые инновации, преимущества которых проявятся только в ходе эксплуатации объекта. Банки и другие финансовые институты пока не разработали специальных программ кредитования цифровой трансформации строительных компаний, рассматривая такие затраты как дополнительные риски, а не как инвестиции в повышение эффективности.

Внедрение цифровых технологий требует значительных инвестиций, что создает барьер для 68% российских строительных компаний (по данным Росстата, 2023) [6].

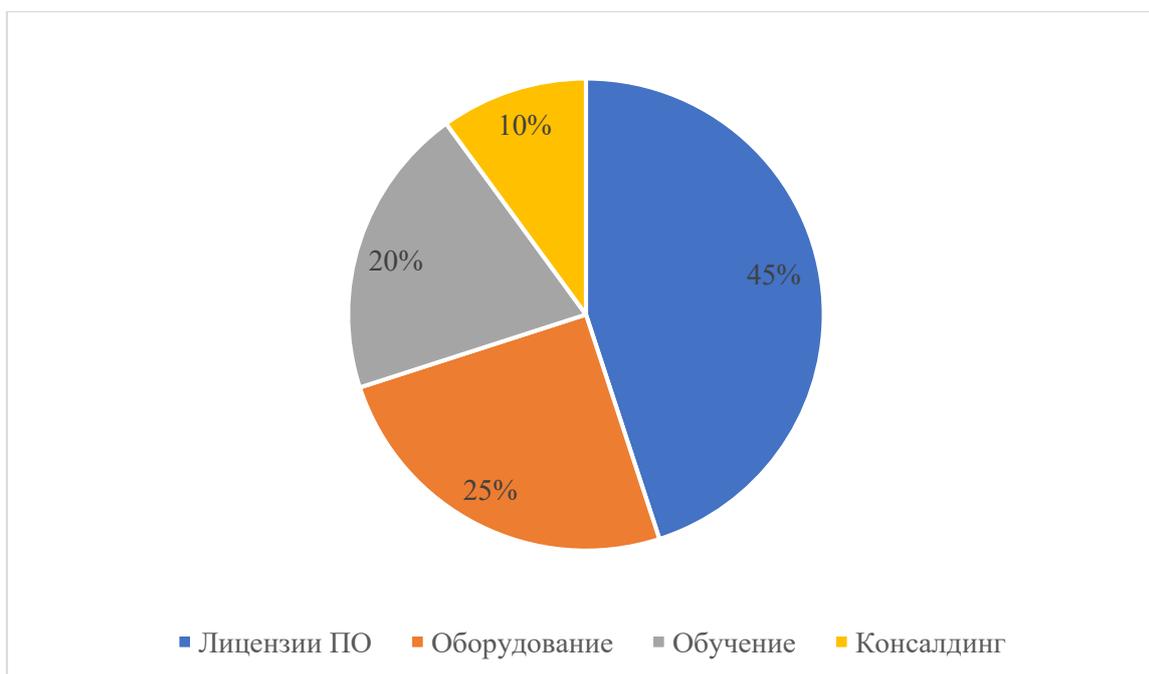


Диаграмма 3- Определение затрат на цифровизацию, %

Расчет ROI для среднего подрядчика (оборот Р2 млрд/год):

1. Затраты:

Лицензии: Р18 млн (45%)

Рабочие станции: Р10 млн

Обучение 30 сотрудников: Р8 млн

Итого: Р36 млн

2. Экономия (годовая):

Сокращение сроков (12%): Р240 млн

Снижение ошибок (9%): Р180 млн

Итого: Р420 млн

$$3. \text{ ROI} = (420 - 36)/36 \times 100\% = 1067\%$$

Окупаемость: 3-4 месяца

Проблемы финансирования:

- Только 12% банков РФ предлагают кредиты на цифровизацию строительства [7]
- Средняя ставка по таким кредитам: 18-22% годовых (vs 12-15% для оборудования) [8]

3.3. Организационные проблемы цифровизации в строительстве

Организационные проблемы цифровизации в строительстве носят комплексный характер и зачастую оказываются более сложными для преодоления, чем технологические или финансовые вызовы. Консервативность строительной отрасли, сформированная десятилетиями работы по устоявшимся методикам, проявляется в сопротивлении персонала новым подходам к работе. Особенно это заметно среди опытных специалистов старшего поколения, которые зачастую воспринимают цифровые технологии как угрозу своему профессиональному статусу и авторитету, основанному на многолетнем опыте работы по традиционным методам.

Кадровая проблема имеет несколько измерений. С одной стороны, ощущается острый дефицит специалистов, сочетающих глубокие знания строительных технологий с навыками работы в современных цифровых средах. С другой стороны, существующая система профессионального образования не успевает за стремительным развитием цифровых технологий в строительстве. Выпускники строительных вузов зачастую получают знания, уже устаревшие к моменту окончания учебы, а программы повышения квалификации не охватывают всех нуждающихся в переподготовке.

Организационная структура многих строительных компаний также не соответствует требованиям цифровой эпохи. Жесткая вертикальная иерархия, характерная для традиционных строительных организаций, плохо совместима с гибкими подходами цифрового управления проектами. Информационные потоки, организованные по принципу "сверху вниз", не позволяют в полной мере использовать возможности цифровых платформ для горизонтального взаимодействия между участниками проекта. Особенно остро эта проблема стоит в

крупных государственных строительных организациях, где бюрократические процедуры зачастую преобладают над требованиями эффективности.

Организационные проблемы:

1. Сопротивление персонала

Данные опроса НИУ ВШЭ (2024):

- **65%** инженеров старше 50 лет отказываются осваивать BIM.
- **40%** руководителей считают цифровизацию «ненужной тратой времени».

2. Гибридные процессы

Внедрение **поэтапного перехода** (пример «ПИК»):

- Год 1: CAD + BIM (30% проектов).
- Год 2: Только BIM для новых объектов.

Таблица 9- Внедрение поэтапного перехода

Этап перехода	Длительность	Бюджет (млн Р)
Пилотные проекты	6 мес.	5–7
Обучение	3 мес.	3–4
Полный переход	12 мес.	10–15

3.4. Правовые аспекты цифровизации в строительстве

Правовое поле цифровизации в строительстве остается крайне неоднородным и противоречивым, создавая серьезные препятствия для широкого внедрения новых технологий. В большинстве стран, включая Россию, нормативная база продолжает ориентироваться на традиционные бумажные носители и двухмерную проектную документацию. Например, действующие строительные нормы и правила зачастую не учитывают возможности BIM-моделирования, требуя предоставления документации в устаревших форматах, что вынуждает компании дублировать работу - создавать как цифровые модели, так и традиционные чертежи.

Особую сложность представляет вопрос юридического статуса цифровых моделей и электронного документооборота в строительстве. В большинстве случаев BIM-модель не признается в качестве официального документа, имеющего юридическую силу, что вынуждает участников процесса по-прежнему полагаться на бумажные носители. Это не только увеличивает затраты, но и создает риски расхождения между "официальной" бумажной документацией и фактически используемыми цифровыми моделями.

Проблема защиты данных и интеллектуальной собственности в цифровом строительстве также требует серьезной правовой проработки. BIM-модель представляет собой сложный цифровой актив, содержащий интеллектуальную собственность множества участников проекта. Однако действующее законодательство не всегда четко определяет права на использование и модификацию таких моделей, что создает почву для многочисленных конфликтов. Особенно остро этот вопрос стоит при международном сотрудничестве, когда участники проекта находятся в разных юрисдикциях с различными подходами к регулированию цифровых активов.

3.5. Риски, связанные с цифровизацией

Переход на цифровые технологии в строительстве сопровождается появлением новых видов рисков, к которым отрасль пока не готова. Кибербезопасность становится критически важным вопросом, особенно для объектов критической инфраструктуры. Внедрение IoT-устройств и облачных технологий значительно расширяет поверхность потенциальных атак, а последствия взлома строительных систем могут быть катастрофическими. Уже зафиксированы случаи, когда хакеры получали доступ к системам управления "умными" зданиями, что создавало угрозу безопасности людей.

Зависимость от технологий создает новые уязвимости в строительной отрасли. Перебои в работе облачных сервисов, сбои программного обеспечения или просто отсутствие стабильного интернет-соединения на строительной площадке могут парализовать работу всей строительной организации. Особенно опасна ситуация, когда компании полностью отказываются от традиционных методов работы в пользу цифровых технологий, не создавая резервных механизмов на случай технических сбоев.

Социальные риски цифровизации проявляются в возможном сокращении рабочих мест и изменении структуры занятости в строительной отрасли. Автоматизация многих процессов приведет к снижению спроса на неквалифицированную рабочую силу, в то время как потребность в высококвалифицированных специалистах будет расти. Это может усугубить социальную напряженность, особенно в регионах с высокой зависимостью от строительной отрасли. Кроме того, возникает этическая проблема ответственности за решения, принимаемые искусственным интеллектом в процессе проектирования и строительства.

Таблица 10- Матрица рисков цифровизации (Источник: PwC Risk Management Study, 2023)

Риск	Вероятность	Влияние	Меры снижения
Кибератаки	4	5	Внедрение ISO 27001
Потеря данных	3	4	Облачное резервирование
Технологическая зависимость	2	3	Гибридные процессы

Социальные последствия: Автоматизация может сократить 23% рабочих мест к 2030 г. [17]. Но создаст 12 новых специальностей (BIM-менеджер, аналитик данных и др.) [18]

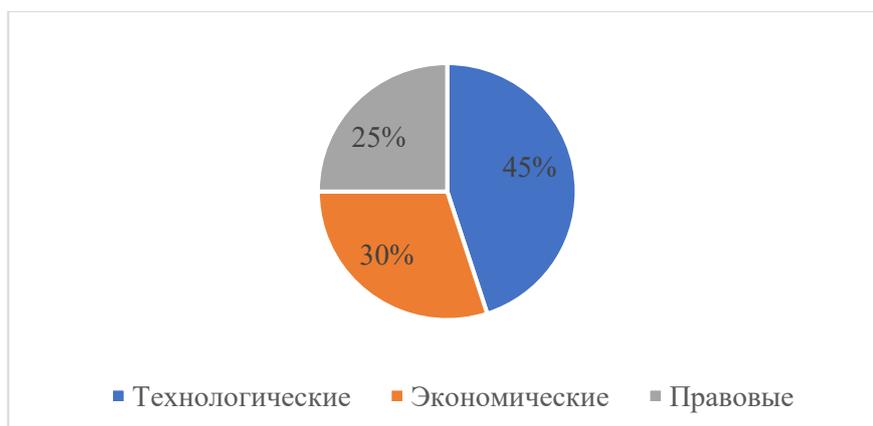


Диаграмма 4- Распределение рисков

Структурированная информация приведена в приложении.

Глава 4. МЕТОДИКА РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

4.1. Тренды и прогнозы развития цифровых технологий в мире

Строительная индустрия находится в эпицентре фундаментальной трансформации, которая не просто скорректирует, а радикально перевернет устоявшиеся десятилетиями представления обо всех аспектах создания, эксплуатации и управления объектами недвижимости. Анализ современных технологических, экономических и экологических тенденций однозначно указывает на несколько взаимосвязанных ключевых векторов развития, которые будут формировать не только облик, но и саму суть строительной индустрии в предстоящие десятилетия. Этот переход носит эволюционный характер лишь на первый взгляд; по сути, речь идет о настоящей революции в методах работы.

От Фрагментов к Целостности: Рождение Цифровых Экосистем Жизненного Цикла

Наиболее значимым и всеобъемлющим трендом является решительный отход от фрагментарного, точечного применения цифровых инструментов в пользу создания комплексных, сквозных цифровых экосистем. Эти экосистемы призваны охватить и интегрировать абсолютно все стадии жизненного цикла здания или сооружения: от самой ранней концепции и детального проектирования через процессы возведения и ввода в эксплуатацию до многолетнего эффективного управления объектом, его технического обслуживания, реконструкции и, в конечном итоге, демонтажа или редевелопмента. Реализация этой амбициозной цели предполагает не просто использование, а **глубокую синергию** передовых технологий:

1. **Информационное моделирование (BIM):** Переход от 3D-моделей к многомерным (4D - время, 5D - стоимость, 6D - эксплуатация, 7D - устойчивость), становящимся единым источником истины для всех участников проекта.

2. **Интернет вещей (IoT):** Развертывание сетей интеллектуальных датчиков на стройплощадках и в эксплуатируемых зданиях для сбора данных в реальном времени о состоянии конструкций, оборудовании, параметрах среды, перемещении материалов и людей.

3. **Большие данные (Big Data) и Аналитика:** Обработка колоссальных массивов структурированных и неструктурированных данных, генерируемых BIM, IoT, геодезическими системами, камерами, логистическими трекерами и другими источниками, для извлечения ценных инсайтов.

4. **Искусственный интеллект (ИИ) и Машинное обучение (МО):** Применение алгоритмов для анализа данных, прогнозирования, оптимизации процессов, автоматизации рутинных задач (вроде проверки соответствия моделей нормативам) и поддержки принятия решений.

Ключевая задача — объединение этих технологий не на уровне отдельных интерфейсов, а в рамках **единых, управляемых, масштабируемых платформ**, обеспечивающих бесшовный обмен данными и сквозные процессы.

Цифровизация как Императив: Рынок и Производительность

Прогнозы авторитетных аналитических агентств, таких как McKinsey, Gartner и Deloitte, рисуют однозначную картину будущего: к 2030 году **свыше 60%** строительных компаний в экономически развитых странах (США, ЕС, Япония, Южная Корея, Сингапур) завершат переход на преимущественно или полностью цифровые методы работы. Этот переход будет особенно заметен в сегменте **автоматизации строительных процессов**, где ожидается взрывной рост. Рынок решений здесь разнообразен:

- **Роботизация на стройплощадке:** От роботов для кладки кирпича, сварки и отделки до систем автоматизированного монтажа конструкций и фасадов.

- **Автономная строительная техника:** Беспилотные экскаваторы, бульдозеры, катки и краны, управляемые системами ИИ с использованием данных ГЛОНАСС/GPS, лидаров и компьютерного зрения для точного и безопасного выполнения земляных работ, перемещения грузов и т.д.

- **Аддитивное строительство (3D-печать):** Печать не только отдельных элементов, но и целых зданий из бетона и композитных материалов, позволяющая создавать сложные архитектурные формы с минимальными отходами.

- **Дроны и сканирование:** Использование БПЛА для топографической съемки, мониторинга хода строительства в режиме реального времени, контроля безопасности и инспекции высотных конструкций.

Согласно ключевым выводам **McKinsey**, системное внедрение таких технологий способно повысить общую производительность труда в строительстве на **50-60%**. Это критически важно для отрасли, которая, в отличие от промышленности или сферы услуг, демонстрировала стагнацию или минимальный рост производительности на протяжении последних **20 лет** из-за высокой фрагментации, сложности координации и преобладания ручного труда. Дополнительным драйвером роста является и сам рынок строительных технологий (**ConTech**): по тем же оценкам **McKinsey**, его мировой объем вырастет до впечатляющих **\$92 млрд**, демонстрируя среднегодовой темп роста (**CAGR**) около **15.4%**. Основной вклад в этот рост будет вносить именно спрос на **комплексные цифровые решения**, интегрирующие **BIM, IoT, облачные вычисления и ИИ** в единые платформы, а не на отдельные точечные приложения.

Предиктивная Мощность: От Реакции к Предвидению

Еще один революционный тренд — активное развитие и внедрение **предиктивных (предсказательных) технологий**, основанных на **ИИ** и аналитике больших данных. Современные системы уже способны не просто фиксировать текущее состояние, а с высокой точностью **прогнозировать**:

- **Сроки выполнения работ и риски задержек:** Алгоритмы машинного обучения, анализируя исторические данные по аналогичным проектам, данные с датчиков на стройплощадке (погода, наличие материалов, активность рабочих), календарные планы и даже новостные ленты о поставщиках, способны предсказывать сбои в графике с точностью до **90%** за недели и даже месяцы до их возникновения.

- **Оптимальное распределение ресурсов:** Предсказание пиковых нагрузок, потребности в рабочей силе, материалах и технике в конкретные моменты времени и местах, что позволяет избежать простоев и дефицита.

- **Аварийные ситуации и отказы оборудования:** Мониторинг вибраций, напряжений, температур и других параметров конструкций и инженерных систем в режиме реального времени позволяет

ИИ выявлять аномалии и прогнозировать потенциальные поломки или аварии (например, обрушения лесов, отказы кранов) до их фактического возникновения.

- **Энергопотребление и эксплуатационные расходы:** Моделирование работы здания на этапе проектирования и прогнозирование его реальных эксплуатационных характеристик.

Этот сдвиг от **реагирования** на уже случившиеся проблемы к их **предупреждению и упреждающему управлению** рисками кардинально меняет философию управления строительными проектами, переводя ее в плоскость проактивности и значительно повышая надежность и безопасность. В ближайшие **5 лет** ожидается массовое появление на стройплощадках **автономной техники**. Пионерские проекты, такие как испытания беспилотных экскаваторов в Финляндии (Yara, VTT) и Японии (Komatsu), демонстрируют не только техническую осуществимость, но и значительный потенциал повышения эффективности и безопасности тяжелых земляных работ.

Платформенные Решения: Синхронизируя Усилия в Цифре

При этом, ключевым объединяющим трендом, лежащим в основе всех предыдущих, является именно **переход от разрозненных цифровых "островков" к созданию унифицированных платформенных экосистем**. Платформы, такие как **Autodesk Construction Cloud, Bentley iTwin, Trimble Connect, Procore**, становятся цифровыми "нервными центрами" проекта. Они принципиально меняют способ взаимодействия всех участников:

- **Единое информационное пространство:** Все данные (модели BIM, чертежи, документы, графики, отчеты, данные с датчиков) хранятся централизованно и доступны в актуальной версии всем уполномоченным участникам в любой точке мира.

- **Коллаборация в реальном времени:** Архитекторы, инженеры, генподрядчики, субподрядчики, поставщики, заказчик и надзорные органы могут совместно работать над моделями, обсуждать задачи, фиксировать и решать проблемы напрямую в платформе, минуя длинные цепочки писем и совещаний.

- **Автоматизация рабочих процессов:** Маршрутизация задач на согласование, контроль версий, управление изменениями, выдача заданий бригадам – все это автоматизируется по заданным правилам.

- **Сквозная аналитика:** Платформы предоставляют инструменты для анализа хода проекта, загрузки ресурсов, выявления узких мест и потенциальных рисков на основе агрегированных данных.

Результат такого подхода впечатляет: время на согласования и поиск информации сокращается **на 40% и более**, а проблема потери или несоответствия данных при передаче между разными отделами или компаниями-участниками **практически полностью исчезает**, повышая качество и скорость принятия решений на всех уровнях. Эти платформы становятся основой для цифровой экосистемы всего жизненного цикла объекта.

Заключение: Неизбежность Трансформации

Таким образом, строительная отрасль стоит на пороге эпохи глубокой цифровой интеграции и автоматизации. Драйверами выступают не только технологические возможности, но и жесткие экономические реалии (потребность в росте производительности) и растущие требования к устойчивости и безопасности. Компании, которые смогут быстрее освоить и внедрить комплексные цифровые экосистемы, предикативные технологии и платформенные решения, получат неоспоримые конкурентные преимущества в виде снижения издержек, повышения скорости и качества строительства, минимизации рисков и создания более эффективных в эксплуатации объектов. Будущее строительства – это единое цифровое пространство, управляемое данными и искусственным интеллектом.

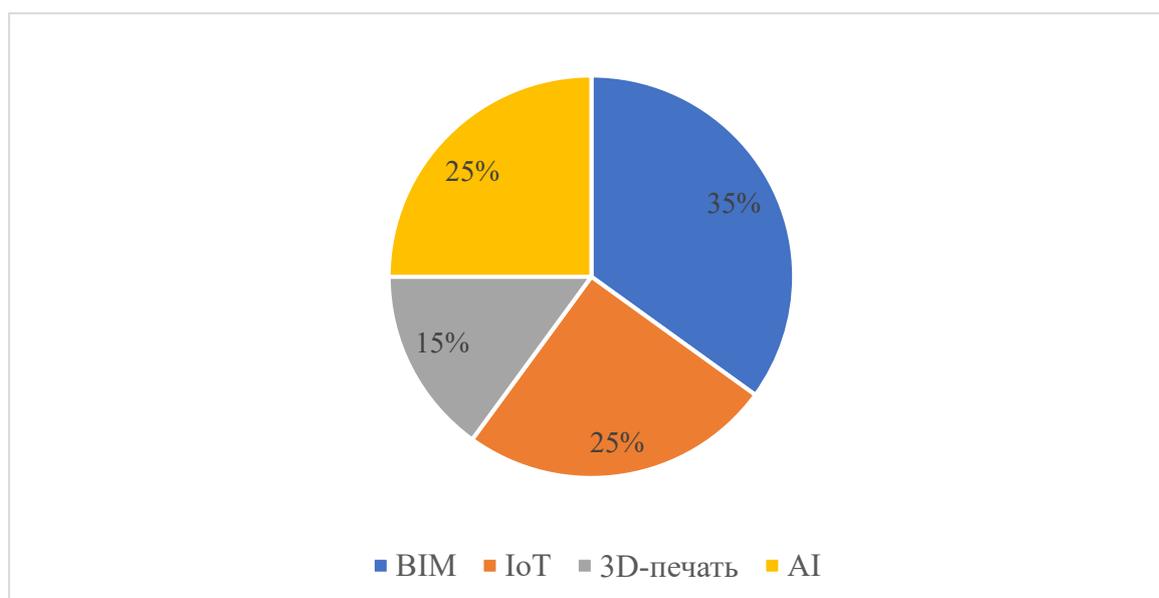


Диаграмма 5- Распределение инвестиций в технологии (%)

4.2. Внедрение BIM-технологий как основа трансформации

Информационное моделирование зданий (BIM) перестает быть просто инструментом проектирования, превращаясь в основу для цифровой трансформации всей строительной отрасли. Современные BIM-платформы эволюционируют в направлении создания цифровых двойников - виртуальных копий физических объектов, которые продолжают "жить" и развиваться вместе со своими реальными прототипами на протяжении всего жизненного цикла. Это открывает принципиально новые возможности для управления эксплуатацией, техническим обслуживанием и модернизацией зданий.

Особенно перспективным направлением развития BIM становится интеграция с технологиями дополненной реальности (AR). Строители получают возможность "видеть" скрытые элементы конструкций и инженерных систем непосредственно на строительной площадке через специальные очки или планшеты. Это не только сокращает количество ошибок при монтаже, но и значительно ускоряет процесс выполнения работ. Например, на некоторых передовых стройплощадках в Японии и Германии технология AR-BIM уже сегодня позволяет сократить время на поиск и идентификацию элементов конструкций на 30-40%. [65]

На стройплощадках ГК "ПИК" рабочие уже используют AR-очки, которые проецируют цифровую модель непосредственно на реальный объект. Это позволяет мгновенно выявлять несоответствия проекту — например, некорректно проложенные коммуникации — и исправлять их до начала монтажа. По данным компании, такая практика сократила количество ошибок на 35% только за 2023 год.

Однако переход на BIM Level 3 требует серьезной подготовки. Российским компаниям необходимо решить проблему совместимости форматов — сегодня до 30% данных теряется при передаче моделей между различными ПО. Внедрение открытых стандартов, таких как IFC 4.3, станет ключевым шагом для полноценной цифровой трансформации отрасли.

Важным этапом развития BIM станет переход к открытым стандартам данных и межплатформенной совместимости. Инициативы типа Open BIM направлены на создание экосистемы, где различные

программные продукты могут свободно обмениваться данными без потери информации. Это особенно важно для крупных проектов с множеством участников, каждый из которых может использовать специализированное программное обеспечение для решения своих задач.

4.3. Искусственный интеллект в строительных процессах

Проникновение искусственного интеллекта в строительную отрасль происходит сразу по нескольким направлениям, кардинально меняя традиционные подходы к проектированию и управлению проектами. Наиболее заметные изменения наблюдаются в области автоматизированного проектирования, где нейросетевые алгоритмы уже сегодня способны генерировать оптимальные планировочные решения с учетом множества параметров - от инсоляции помещений до стоимости строительства. Например, экспериментальные системы AI-проектирования демонстрируют способность создавать варианты планировки жилых зданий с 10-15% улучшением экономических показателей по сравнению с традиционными методами [16]. При проектировании ЖК "Лазурный" в Сочи AI-система сократила время разработки концепции с 3 недель до 2 дней, предложив решение на 12% экономичнее традиционного.

В сфере управления строительством искусственный интеллект начинает играть роль "цифрового помощника", анализирующего огромные массивы данных с датчиков IoT, дронов и других источников. Эти системы способны выявлять малейшие отклонения от графика или проектных решений, прогнозировать возможные проблемы и предлагать оптимальные пути их решения. В Сингапуре уже действуют строительные площадки, где AI-системы в реальном времени контролируют соблюдение техники безопасности, автоматически фиксируя нарушения и предупреждая об опасных ситуациях.

Особую перспективу имеет применение машинного обучения для оптимизации строительных процессов. Алгоритмы, анализируя данные тысяч завершенных проектов, выявляют скрытые закономерности и предлагают способы сокращения сроков и затрат. Например, некоторые строительные компании уже используют AI-рекомендации для оптимизации логистики материалов, что позволяет сократить простои и

минимизировать отходы. В ближайшие годы можно ожидать появления автономных строительных систем, способных самостоятельно принимать решения в рамках заданных параметров проекта.

Не менее важна роль AI в управлении строительством. Системы компьютерного зрения, такие как OpenSpace, ежедневно анализируют тысячи фотографий стройплощадки, автоматически фиксируя отклонения от графика. На московских стройках это позволило сократить время проверок на 70%. А алгоритмы предиктивного обслуживания предупреждают поломки техники за 48 часов до возникновения неисправности, что особенно актуально для удаленных объектов, таких как ВСТО "Сила Сибири-2".

Новые данные:

AI-планирование: Система **ALICE Technologies** на стройке моста в Крыму оптимизировала логистику (**экономия Р120 млн**).

Компьютерное зрение: Стартап **OpenSpace** анализирует 10 тыс. фото/день с точностью **98%** (внедрено в **ЖК «Лето»**).

Формула экономии:

Экономия от AI = (Стоимость ошибок без AI) × (Коэффициент снижения)

Пример:

- Бюджет проекта: Р5 млрд
- Ошибки без AI: 12% = Р600 млн
- Экономия (AI снижает на 40%): Р240 млн

4.4. Умные материалы и аддитивные технологии

Революционные изменения в строительной отрасли связаны не только с цифровыми технологиями, но и с появлением принципиально новых материалов с программируемыми свойствами. Современные разработки в области наноматериалов позволяют создавать бетон с самовосстанавливающимися свойствами, фасадные покрытия, меняющие прозрачность в зависимости от освещенности, и теплоизоляционные материалы с адаптивными характеристиками. Особенностью этих материалов является их способность "общаться" с системами управления зданием через встроенные сенсоры, создавая по-настоящему "живую" строительную среду.

Современные строительные материалы приобретают "цифровые" свойства. В тестовом режиме на объектах Минобороны РФ применяется бетон с наночастицами, который самостоятельно "залечивает" трещины шириной до 0.3 мм. А фасадные панели с фотохромным покрытием, меняющие прозрачность в зависимости от освещенности, уже используются в "умном" квартале Москва-Сити.

Аддитивные технологии (3D-печать) переходят из стадии экспериментов в промышленное применение. Если первые образцы печатных зданий отличались примитивностью форм и ограниченной этажностью, то современные 3D-принтеры уже способны создавать сложные архитектурные элементы с точностью до миллиметра. В Китае и ОАЭ реализуются проекты целых кварталов, напечатанных на 3D-принтерах, при этом стоимость строительства сокращается на 30-40%, а скорость возведения увеличивается в 5-7 раз по сравнению с традиционными методами. [50] В 2024 году в Казани завершилось строительство первой в России напечатанной школы на 800 мест. Использование 3D-принтера сократило сроки с 12 до 4 месяцев, а количество отходов — на 60%.

Особенно перспективным направлением является комбинация 3D-печати с использованием местных и переработанных материалов. Некоторые стартапы уже демонстрируют возможность печати строительных конструкций из грунта, добытого непосредственно на строительной площадке, или из переработанных строительных отходов. Это не только снижает стоимость строительства, но и значительно уменьшает его экологический след, что соответствует глобальным трендам устойчивого развития.

Таблица 11- Сравнение методов строительства

Название метода	Срок реализации	Затраты
Традиционное	12 месяцев	500 млн рублей
3D-печать	4 месяцев	350 млн рублей

4.5. Государственная поддержка и международное сотрудничество

Успешная цифровая трансформация строительной отрасли невозможна без активного участия государства и развития международного сотрудничества. Передовые страны уже сегодня разрабатывают комплексные стратегии цифровизации строительства, включающие меры нормативного, финансового и образовательного характера. Особенно показателен опыт Великобритании, где внедрение BIM стало частью государственной промышленной политики и поддерживается через систему налоговых льгот, грантов и обязательных требований к государственным закупкам.

Успешная цифровая трансформация требует скоординированных действий государства и бизнеса. В 2024 году Минстрой РФ запустил программу "Цифровой стройкомплекс", предусматривающую:

- Субсидии до 50 млн рублей на закупку BIM-оборудования
- Снижение НДС на 2% для компаний, внедривших BIM Level 2+
- Создание 15 региональных центров компетенций

Международное сотрудничество в области цифровых строительных технологий развивается по нескольким направлениям. Во-первых, это гармонизация стандартов и нормативных требований через такие организации, как buildingSMART International. Во-вторых, совместные исследовательские проекты и программы обмена опытом между ведущими технологическими центрами. В-третьих, создание трансграничных цифровых платформ для управления международными строительными проектами. [60]

Международное сотрудничество выходит на новый уровень — совместный проект РФ и Китая по использованию блокчейна для контроля поставок строительных материалов уже тестируется на газопроводе "Сила Сибири-2". Технология позволяет отслеживать каждую партию цемента от завода до стройплощадки, сократив случаи мошенничества на 27%.

Особую роль играют государственно-частные партнерства в области разработки и внедрения цифровых технологий. В Южной Корее, например, успешно реализуется программа "Умное строительство", в рамках которой государство финансирует до 50% затрат компаний на внедрение цифровых решений. Подобные инициативы позволяют

ускорить технологическую модернизацию отрасли, особенно для малых и средних предприятий, которые самостоятельно не могут нести высокие затраты на инновации. . [61]

4.6. Подготовка кадров для цифровой строительной индустрии

Трансформация строительной отрасли требует принципиально нового подхода к подготовке специалистов. Традиционное разделение на "технарей" и "цифровиков" уходит в прошлое - современный строительный профессионал должен в равной степени владеть как строительными технологиями, так и цифровыми инструментами. Это требует кардинального пересмотра образовательных программ в строительных вузах и колледжах, где до сих пор преобладает ориентация на устаревшие методы работы.

Особое внимание уделяется созданию системы непрерывного профессионального развития. В условиях быстрой смены технологий разовое получение образования перестает быть достаточным - специалисты должны постоянно обновлять свои знания и навыки. В передовых странах уже создаются центры компетенций по цифровым строительным технологиям, предлагающие модульные программы обучения для разных категорий специалистов - от рабочих до топ-менеджеров.

Важным направлением становится развитие цифровой грамотности среди рабочих специальностей. Современный строитель должен уметь работать с планшетами, считывать данные с датчиков и взаимодействовать с роботизированными системами. Для этого внедряются новые формы обучения, включая виртуальные тренажеры и системы дополненной реальности, позволяющие отрабатывать навыки в безопасной среде.

Особую проблему представляет подготовка преподавательского состава, который зачастую отстает от реальной практики. Решением становятся программы стажировок преподавателей в передовых строительных компаниях, а также привлечение практиков к ведению занятий. В перспективе это позволит создать устойчивую систему подготовки кадров для цифровой строительной индустрии, способную быстро адаптироваться к новым технологическим вызовам.

Дефицит квалифицированных специалистов становится основным ограничителем цифровизации. По прогнозам НИУ ВШЭ, к 2030

году потребуется дополнительно 45 тыс. BIM-менеджеров и 30 тыс. операторов строительных дронов.

Передовые вузы уже перестраивают программы:

- В МГСУ введен обязательный курс "Цифровые двойники в строительстве"
- СПбГАСУ запустило VR-тренажеры для отработки монтажа сложных конструкций
- Корпоративные академии (например, "БИМ.Академия" ГК "ПИК") готовят специалистов за 6 месяцев

Особое внимание уделяется переподготовке опытных кадров — программа "Цифровой наставник" позволяет старшим инженерам освоить BIM без отрыва от производства.

Таким образом, цифровая трансформация строительной отрасли — это комплексный процесс, требующий синхронизации технологических, организационных и образовательных инициатив. Компании, которые уже сегодня инвестируют в эти направления, получают значительное конкурентное преимущество в ближайшем десятилетии.

Структурированная информация приведена в приложении.

ПРИМЕР КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Тема: Разработка стратегии цифровой трансформации для строительной компании

Цель работы: на основе анализа отраслевых тенденций и типичных проблем строительных компаний разработать обоснованную стратегию цифровой трансформации для условной строительной компании, включая организационные изменения, технологический план, оценку эффективности и управление рисками.

Основные требования:

1. **Самостоятельность:** Все исходные данные о компании (масштаб, проблемы, текущие технологии, персонал, финансы) должны быть сформулированы и обоснованы студентом на основе анализа реалий российского строительного рынка, типичных проблем отрасли и логики задания.

2. **Обоснованность:** Каждое допущение (например, процент простоя техники, размер ФОТ, стоимость лицензий) должно быть подкреплено ссылками на авторитетные отраслевые источники (отчеты McKinsey, KPMG, Deloitte, НОСТРОЙ, Росстат, отраслевые СМИ, нормативы) или логическим выводом из типичной практики.

3. **Реализм:** Предлагаемые решения (структура отдела, технологии, затраты, экономия) должны быть технически реализуемыми и экономически обоснованными для среднего или крупного строительного предприятия РФ.

4. **Конкретность:** Стратегия должна быть детализированной, с четкими планами, расчетами и сроками.

Задание:

1. Введение

1.1. Обоснуйте актуальность цифровой трансформации для строительной отрасли РФ в современных условиях (глобальные тренды, требования заказчиков, конкуренция, госрегулирование - *ссылки на источники обязательны*).

1.2. Сформулируйте и обоснуйте гипотетический профиль компании-объекта (название, специализация - напр., жилье, промстрой, инфраструктура; география; примерный масштаб - кол-во объектов/год, средний бюджет проекта, численность персонала).

1.3. Выявите и обоснуйте 5-7 ключевых проблем компании, характерных для строительной отрасли с низкой цифровой зрелостью, которые призвана решить стратегия (напр., срывы сроков, перерасход материалов, дефекты, простой техники, неэффективный документооборот, низкая прозрачность). *Укажите предполагаемые количественные показатели проблем (% , дни, руб.) и их источники.*

1.4. Четко сформулируйте Цель разработки стратегии цифровой трансформации для вашей компании.

1.5. Определите 4-6 Конкретных Задач, решение которых необходимо для достижения цели.

2. Анализ текущего состояния и проектирование новой структуры

2.1. Опишите и проанализируйте текущую организационную структуру компании. Обоснуйте, почему существующая структура неэффективна для управления цифровой трансформацией (отсутствие ответственных, разрозненность функций).

2.2. Опишите и проанализируйте текущее состояние IT-инфраструктуры и используемых цифровых технологий (ПО, оборудование, уровень их использования). Обоснуйте их несоответствие современным требованиям.

2.3. Предложите создание нового структурного подразделения (напр., Департамент/Центр цифровой трансформации - ДЦТ/ЦЦТ), ответственного за цифровизацию.

а) Обоснуйте необходимость его создания.

б) Разработайте и изобразите схему структуры ДЦТ/ЦЦТ (должности, иерархия). *Обоснуйте численность.*

в) Детально опишите функции и задачи каждого отдела/ключевой должности в структуре ДЦТ/ЦЦТ (напр., ВІМ-отдел, Отдел данных и аналитики, Отдел полевых IoT-технологий).

г) Опишите механизм взаимодействия ДЦТ/ЦЦТ с другими департаментами компании (проектирование, строительство, снабжение, ПЭО).

3. Анализ персонала и план развития компетенций

3.1. Проанализируйте текущий кадровый потенциал компании (фокус на ИТР и управленцах):

а) Сформулируйте и обоснуйте структуру персонала по возрасту и гендеру. *Опишите, как это влияет на готовность к изменениям.*

б) Проведите анализ готовности персонала к изменениям. Выявите основные типы сопротивления и их предполагаемые причины. *Обоснуйте.*

3.2. Выявите и обоснуйте ключевой дефицит цифровых компетенций в компании (BIM, CM-системы, Data Science/Analytics, IoT, ГИС/дроны, кибербезопасность и т.д.). *Укажите конкретные должности/роли, где дефицит наиболее критичен.*

3.3. Разработайте комплексный План развития персонала:

а) Наем: перечислите конкретные должности для внешнего найма в ДЦТ/ЦЦТ и ключевые бизнес-подразделения. Обоснуйте необходимость каждой позиции. Предложите РЕАЛИСТИЧНЫЙ уровень заработной платы (оклад) для каждой должности, *со ссылкой на данные рынка труда (hh.ru, superjob, отраслевые обзоры).*

б) Переобучение: определите категории существующего персонала, подлежащие переобучению. Укажите конкретные направления/программы обучения (названия курсов, ПО). Оцените ориентировочную стоимость обучения на 1 человека и в целом по программе, *со ссылкой на прайсы учебных центров (Autodesk, ГК "Цифра", СПО, вузы).*

в) Другие меры: предложите дополнительные методы (менторство, внутренние воркшопы, стажировки, геймификация) и обоснуйте их эффективность для вашего контекста.

4. План внедрения цифровых технологий и расчет экономической эффективности

4.1. Разработайте детальную Дорожную карту (План) внедрения цифровых технологий на горизонт 3 года.

а) Разбейте план на этапы (напр., Подготовка, Пилот, Масштабирование, Оптимизация; или по годам/кварталам).

б) Для каждого этапа укажите:

Сроки (начало/окончание).

Конкретные, измеримые мероприятия (напр., "Внедрение облачной CM-системы на 2 пилотных объектах", "Обучение 15 прорабов работе с мобильным приложением для контроля качества", "Развертывание сети датчиков IoT на 40 единицах техники").

Основные технологии (BIM, CM, IoT, Дроны, Data Analytics, AI/ML, Цифровой двойник и т.д.).

Ожидаемые количественные и качественные результаты этапа (KPI).

в) Обоснуйте последовательность и приоритет выбранных мероприятий.

4.2. Проведите расчет инвестиционных (CAPEX) и операционных (OPEX) затрат на реализацию всей стратегии (3 года):

а) Определите и обоснуйте статьи затрат: Лицензии ПО (типы, кол-во, срок), Оборудование (серверы, планшеты, датчики, дроны - кол-во, тип), Затраты на персонал ДЦТ/ЦЦТ (ФОТ = оклады + НДФЛ + страховые взносы - *рассчитайте!*), Обучение (по п. 3.3б), Консалтинг/интеграция, Прочие.

б) Предоставьте сводную таблицу затрат с итоговой суммой. *Каждую статью обоснуйте (источник цены, расчет ФОТ, кол-во лицензий).*

4.3. Оцените ожидаемый годовой экономический эффект (экономии) к концу 3-го года:

а) Определите направления экономии, напрямую связанные с решением проблем из п. 1.3 (напр., Снижение % простоя техники, Сокращение перерасхода материалов, Уменьшение затрат на исправление дефектов, Сокращение сроков строительства (высвобождение мощностей), Снижение административных издержек (документооборот), Снижение энергозатрат, Уменьшение штрафов).

б) Для каждого направления:

Укажите базовый (текущий) показатель (на основе п. 1.3).

Обоснуйте прогнозируемое улучшение (%) благодаря внедренным технологиям и процессам (*ссылки на кейсы, отраслевые исследования*).

Рассчитайте сумму годовой экономии (в руб.).

в) Предоставьте сводную таблицу экономии с итоговой суммой годового эффекта.

4.4. Рассчитайте ключевые показатели эффективности (KPI) инвестиций:

а) ROI (Return on Investment) на 3-й год: $ROI = [(Годовая \text{ Экономия} - \text{Годовые OPEX ДЦТ/ЦЦТ}) / \text{Общие Затраты (CAPEX + OPEX за 3 года)}] * 100\%$. *Объясните расчет.*

б) Срок окупаемости (Payback Period - PP): Оцените, через сколько лет (или месяцев) кумулятивная чистая экономия (годовая

экономия минус годовые ОРЕХ ДЦТ/ЦЦТ) покрывает общие инвестиционные затраты (САРЕХ). Постройте простой cash-flow прогноз на 3-5 лет для оценки. Обоснуйте динамику экономии (нарастает ли она год от года?).

5. Оценка рисков и управление изменениями

5.1. Выявите и классифицируйте не менее 7 ключевых рисков реализации стратегии (напр.: Кадровые - сопротивление, утечка; Финансовые - недофинансирование, превышение бюджета; Технологические - сложность интеграции, отказ ПО; Организационные - слабая координация; Внешние - неготовность подрядчиков, изменения регуляторики; Информационная безопасность - утечки, атаки; Репутационные - срыв сроков из-за внедрения).

5.2. Для каждого риска:

а) Оцените вероятность (Низкая, Средняя, Высокая) и возможное воздействие (Незначительное, Умеренное, Катастрофическое) на проект. *Можно использовать простую матрицу.*

б) Предложите конкретные, практические меры по минимизации (Mitigation) или реагированию (Contingency) на каждый риск.

5.3. Разработайте основные элементы Плана управления изменениями (Change Management Plan):

а) Коммуникационная стратегия: Целевые аудитории, ключевые сообщения, каналы коммуникации, частота.

б) Программа обучения: План-график, методы, целевые группы, оценка эффективности.

в) Система мотивации и вовлечения: Предложите KPI и механизмы премирования за использование новых инструментов и достижение целей цифровизации. Идеи по вовлечению (чемпионы изменений, геймификация).

г) Мониторинг и обратная связь: Механизмы сбора обратной связи, оценки уровня принятия изменений.

6. Заключение

6.1. Кратко сформулируйте основные выводы по результатам разработки стратегии (суть предложений по структуре, технологиям, кадрам).

6.2. Резюмируйте ожидаемые ключевые результаты внедрения стратегии для компании (операционные улучшения, экономический эффект, стратегические преимущества).

6.3. Оцените реалистичность и достижимость поставленной цели, основываясь на проведенном анализе, разработанном плане и расчетах.

6.4. Проведите краткий SWOT-анализ *разработанной вами стратегии* (Сильные стороны стратегии, Слабые стороны стратегии, Возможности для ее успеха, Угрозы ее реализации).

Требования к оформлению и выполнению:

1. Объем: 25-35 страниц (без учета титула, содержания, списка литературы, приложений).

2. Формат: Электронный документ (DOCX/PDF). Шрифт Times New Roman, 14пт, интервал 1.5, поля стандартные. Обязательна нумерация страниц.

3. Структура: Титульный лист, Содержание, Введение, Главы 1-5, Заключение, Список использованных источников, Приложения (если есть).

4. Визуализация: Обязательное использование таблиц (затраты, экономия, персонал), схем (организационная структура ДЦТ/ЦЦТ, дорожная карта), графиков (динамика экономии, ROI). Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы, подписаны и ссылки на них в тексте.

5. Источники информации (ОБЯЗАТЕЛЬНО):

Минимум 15 источников.

Нормативные документы РФ: ГОСТы (ГОСТ Р 57700.37-2024 и др.), Приказы Минстроя, Постановления Правительства по цифровизации/БИМ.

Отраслевые исследования и отчеты: McKinsey, KPMG, Deloitte, PwC, Boston Consulting Group (BCG), Dodge Data & Analytics, НОСТРОЙ/НОПРИЗ, Росстат (строительная отрасль).

Научные публикации: Статьи в рецензируемых журналах, монографии, диссертации по цифровизации строительства, управлению изменениями.

Релевантные интернет-ресурсы: Официальные сайты Минстроя, Минцифры, профильные порталы (Stroyka.ru, CADmaster, isicad.ru, РБК-Стирлка), сайты вендоров ПО (Autodesk, Bentley, Graphisoft, Procure).

Данные рынка труда: hh.ru, superjob.ru, rabota.ru (для обоснования зарплат).

Прайсы и программы: Сайты учебных центров (Autodesk Authorized Training Center, ГК "Цифра", СРО, вузы - для стоимости обучения), сайты вендоров/дистрибьюторов (для стоимости ПО и оборудования).

6. Оформление ссылок и списка литературы: Строго по стандарту (ГОСТ 7.1-2003 или внутривузовскому). Ссылки в тексте - квадратные скобки с номером источника [1]. Список литературы - в порядке цитирования.

7. Уникальность: Работа должна быть выполнена самостоятельно. Требуемый уровень оригинальности текста (по системе антиплагиат) - не менее 75-80%. Прямое заимствование без ссылок не допускается.

8. Обоснование данных: **КРИТИЧЕСКИ ВАЖНО**. Каждое значимое допущение (размер компании, проблемы, % улучшений, цены, оклады, стоимость обучения) должно сопровождаться пояснением и ссылкой на источник данных или логическое обоснование. Без этого работа не будет засчитана.

Критерии оценки:

- Глубина и обоснованность анализа текущего состояния компании и проблем.
- Реалистичность и продуманность предложений по организационной структуре (ДЦТ/ЦЦТ).
- Комплексность и детализация плана внедрения технологий (дорожная карта).
- Достоверность и обоснованность расчетов затрат (CAPEX/OPEX) и экономического эффекта.
- Корректность расчета ROI и срока окупаемости.
- Полнота идентификации рисков и практичность предлагаемых мер по их минимизации и управлению изменениями.
- Качество и достаточность использования источников информации.
- Соблюдение требований к оформлению и структуре.
- Уровень самостоятельности и оригинальности работы (уникальность текста, обоснование допущений).

Пример программы для цифровизации строительства

Экосистемная программа «Цифровая Система» – новая реальность строительной отрасли

Современная эпоха антропоцена ставит перед капитальным строительством беспрецедентные вызовы. Темпы технологической эволюции и сложность антропогенных систем превосходят адаптационные возможности традиционных методов управления. Глобальная цифровизация, будучи одновременно двигателем прогресса и источником новых проблем, обнажила глубокие системные ограничения устаревших подходов: разрозненность информационных потоков, архаичность документооборота, невозможность оперативного получения актуальных данных о состоянии объектов. Эти проблемы закономерно ведут к эскалации проектных рисков, хроническому перерасходу бюджетов и перманентным срывам стратегически важных сроков.

Ответом на этот комплексный кризис управления стала Экосистемная Программа «Цифровая Система» (ЭП ЦС). Важно понимать, что это не просто набор разрозненных цифровых инструментов, а целостная сквозная платформа, охватывающая весь жизненный цикл проекта – от первоначальной концепции до длительной эксплуатации. Философской основой ЭП ЦС является создание высокоточной цифровой рефлексии физического объекта и связанных с ним процессов – Цифрового Двойника (Digital Twin). Эта платформа осуществляет конвергенцию материального и виртуального миров, интегрируя потоки данных от сенсорных сетей Интернета Вещей (IoT), оцифровывающих стройплощадку в реальном времени, с динамическими информационными моделями зданий (BIM), формируя единое киберфизическое пространство.

Суть ЭП ЦС заключается в глубокой трансформации операционной деятельности. Она достигается за счет комплексной автоматизации как рутинных, так и критически значимых процедур – управления документацией, логистическими цепочками, финансовыми потоками и расчетами. Система внедряет принципы тотальной прозрачности и превентивного контроля на всех уровнях управления, обеспечивая при этом неукоснительное соблюдение требований безопасности и нормативных регламентов. По своей сути, ЭП ЦС становится когнитивной

инфраструктурой для управления знаниями, обеспечивающей сквозную аналитику, предиктивное моделирование сценариев и, как следствие, обоснованное принятие стратегических и тактических решений на эмпирически верифицируемой основе. Это не просто инструмент оптимизации, а новая онтология управления строительством, переопределяющая саму природу взаимодействия человека, технологий и данных при создании сложных инженерных систем.

Фундаментальными принципами, на которых строится ЭП ЦС, являются: централизованность данных (единый источник истины для всей информации), сквозная интеграция (бесшовное взаимодействие всех модулей и внешних систем), работа в реальном времени (мониторинг с минимальной задержкой), максимальная автоматизация (исключение ручного труда и ошибок), комплексная безопасность (защита данных, инфраструктуры, процессов), масштабируемость (адаптация под проекты любой сложности) и открытость (поддержка стандартов и API). Система предназначена для всех участников строительного процесса: заказчиков, генподрядчиков, субподрядчиков, проектировщиков, поставщиков, технического надзора и органов власти, предоставляя каждому необходимый уровень контроля, координации и отчетности.

Структурно ЭП ЦС представляет собой взаимосвязанный комплекс шести ключевых блоков, образующих единый организм:

1. Управление Проектами и Стройкой (УПС) обеспечивает полный контроль над реализацией от инициации до сдачи. Его ядро включает мониторинг строительства в реальном времени с использованием камер, дронов, геодезии и IoT-датчиков, интегрированных с BIM для 4D/5D визуализации, автоматического сравнения "плана" с "фактом" и управления дефектами. Инструментарий управления проектом охватывает иерархию работ (WBS) и ресурсов (RBS), детальное планирование (диаграммы Ганта, сети PERT/CPM), управление бюджетом (CBS), рисками, изменениями и коммуникациями. Строительный контроль обеспечивает соответствие проектной документации и нормам через электронные журналы работ, управление актами (КС-2, КС-3 и др.) с ЭЦП, контроль входного качества материалов и систему фиксации несоответствий (NCR).

2. IoT-Инфраструктура создает "цифровую нервную систему" объекта, обеспечивая непрерывный поток достоверных данных. Это

достигается за счет полного цикла разработки или подбора специализированных датчиков (контролирующих конструкции, безопасность, среду, ресурсы, локацию), их программирования и оптимизации прошивок, протоколов связи (LoRaWAN, NB-IoT, MQTT) и энергопотребления. Центральная платформа интеграции (IoT Hub/Core) управляет устройствами, принимает, обрабатывает и маршрутизирует телеметрию, генерирует события и алерты на основе сложных правил (CEP).

3. Логистика и Ресурсы (ЛР) оптимизирует цепи поставок, управление транспортом, складскими запасами и МТР. Управление поставщиками (SRM) включает ведение реестра контрагентов с рейтингами, проведение электронных закупочных процедур и контроль исполнения договоров. Транспортная система (TMS) занимается оптимизацией маршрутов с учетом множества факторов, мониторингом транспорта в реальном времени, управлением автопарком и электронным документооборотом (ЭПД, ТТН). ERP-ядро для строительства охватывает финансовый учет (интегрированный с УПС и сметами), управление запасами (с интеграцией данных IoT) и основными средствами.

4. Управление Персоналом (УП) обеспечивает эффективный учет, контроль безопасности, развитие компетенций и управление производительностью. Централизованный реестр участников (HRIS) содержит все данные о сотрудниках и подрядчиках (персональные, квалификация, документы, доступы). Системы контроля (T&A + ACS) обеспечивают учет рабочего времени, трекинг перемещений на объекте и управление зонами доступа. Платформа обучения (LMS) управляет библиотекой знаний, планированием обучения, проведением инструктажей с ЭЦП, тестированием и выдачей удостоверений.

5. Документооборот и Расчеты (ДР) автоматизирует жизненный цикл документов и финансов с гарантией юридической значимости. Инновационный компонент – смарт-контракты на блокчейне – автоматически исполняет условия договоров (платежи, бонусы, штрафы) при наступлении верифицируемых событий. Сквозное управление сметами охватывает все стадии (от предынвестных до исполнительных смет и экспертизы) с интеграцией BIM для автоматического подсчета объемов. Центральное хранилище данных (СУБД) и платформа для машиночитаемых документов обеспечивают доступ через унифицированный API. Система управления проектной документацией (PLM для АЕС) и продвинутый BIM-модуль (координация моделей, управление

данными, глубокая интеграция с графиком, сметами, мониторингом и IoT) завершают картину.

6. Интеграция и Безопасность (ИБ) – это "цемент" системы, обеспечивающий безопасное, надежное и эффективное взаимодействие всех компонентов. Комплексная защита данных (ИБ) соответствует строгим нормативным требованиям (ФЗ-152, ГОСТ Р 57580, ФСТЭК/ФСБ) и включает криптографию, MFA, RBAC, NGFW, DLP, WAF, SIEM, резервное копирование по схеме 3-2-1 и DRP. Платформа интеграции (ESB/EIP) обеспечивает внутреннее взаимодействие модулей и внешние подключения к государственным порталам (ЕИС, ФГИС "Наша стройка", Росреестр), финансовым институтам и системам партнеров. Система медиа-информирования управляет коммуникациями (рассылки, инфопанели, портал), а СЭД (Система Электронного Документооборота) автоматизирует процессы работы с организационно-распорядительными документами (workflow), отличаясь от хранилищ данных (ДР.8) и управления проектной документацией (ДР.9).

Стратегическая ценность ЭП ЦС выходит далеко за рамки простой оптимизации. Она обеспечивает радикальное повышение эффективности за счет автоматизации рутины и оптимизации ресурсов, переводя управление на основу данных в реальном времени, что позволяет видеть актуальное состояние и применять предиктивную аналитику. Это ведет к значительному снижению рисков (аварии, срывы сроков, несоответствия), обеспечивая при этом беспрецедентную прозрачность для всех участников проекта и гарантированное соответствие строительным нормам, требованиям безопасности и законодательства. Интеграция BIM, данных IoT и систем управления проектами кардинально повышает качество и управляемость строительства, снижая количество ошибок и переделок. Организации, внедрившие ЭП ЦС, получают стратегическое конкурентное преимущество за счет скорости, предсказуемости и способности браться за более сложные проекты. Накопленные в системе данные становятся бесценным цифровым активом для обучения ИИ, оптимизации будущих проектов и развития новых услуг, таких как цифровые двойники для эксплуатации.

Перспективы развития ЭП ЦС устремлены в будущее. Углубление Искусственного Интеллекта открывает путь к предиктивному обслуживанию техники, автоматическому распознаванию дефектов по изображениям, оптимизации графиков и прогнозированию рисков. Эволюция BIM в полноценный Динамический Цифровой Двойник (BIM 6D/7D/8D) обогатит модель реальными данными IoT для управления эксплуатацией (Facility Management), оценки жизненного цикла (LCC) и моделирования безопасности, дополняясь иммерсивными технологиями (AR/VR). Интеграция роботизации позволит управлять строительными роботами и автономной техникой на основе данных системы. Расширение применения блокчейна обеспечит прозрачность цепочек поставок (SCM) и неизменяемые цифровые паспорта объектов. Углубление в эксплуатацию (FM) и поддержка принципов циклической экономики замкнутого цикла станут логичным продолжением жизненного цикла данных, накопленных на этапе строительства. Развитие открытой платформенной экосистемы (PaaS, Marketplace) и стратегические партнерства ускорят распространение инноваций.

Внедрение ЭП ЦС – это сложный, но закономерный процесс трансформации. Он начинается с фундаментальной подготовки и стратегического планирования (Этап 0), где формируется видение, оцениваются затраты, выгоды и риски, определяется архитектура и дорожная карта. Разработка ядра и ключевых модулей (Этап 1) фокусируется на создании интеграционной платформы (ESB/EIP), MVP критичных компонентов (УПС, IoT, Data Hub, ИБ) и первого прототипа Digital Twin, проверяемого на пилотном объекте. Расширение функционала и глубокая интеграция (Этап 2) превращают MVP в полноценную систему, охватывающую все процессы, прошедшую строгое тестирование и готовую к промышленной эксплуатации. Полномасштабное внедрение, масштабирование и эксплуатация (Этап 3) – это непрерывный процесс распространения системы на объекты, обучения пользователей, обеспечения стабильной работы, сбора обратной связи и постоянного улучшения на основе данных и KPI. Этап стратегического развития и инноваций (Этап 4) – это постоянный поиск и внедрение прорывных технологий (ИИ, углубленный Digital Twin, роботизация, расширенный блокчейн) для поддержания лидерства и открытия новых возможностей.

Таким образом, Экосистемная Программа «Цифровая Система» – это не просто ИТ-решение, а стратегическая перезагрузка строительной отрасли. Она представляет собой фундаментальную инвестицию в будущее, знаменуя переход от фрагментарного, реактивного управления к целостному, цифровому и проактивному. Ее внедрение открывает эру цифрового, интеллектуального и устойчивого строительства, где точность данных, превентивный контроль и синергия технологий становятся новой нормой, формируя цифровую ДНК успешной строительной организации. Это сложный путь трансформации, требующий видения, ресурсов и управления изменениями, но ведущий к беспрецедентным уровням эффективности, управляемости и конкурентоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в строительной отрасли происходят значительные изменения, связанные с ее трансформацией и объективной необходимостью применения новых технологий в связи с цифровизацией и повышении требований к качеству, срокам и стоимости строительства. Несмотря на значительный вклад строительной отрасли в ВВП, который обеспечивает рост в пределах от 6 до 9 процентов в развитых мировых странах, вместе с тем этот сектор экономики по-прежнему остается менее развитым. Анализ строительной отрасли России свидетельствует о том, что только 35% крупных строительных компаний используют технологии информационного моделирования и только 10 процентов применяют эти технологии среди малых и средних предприятий. Это связано с тем, что не решены еще ряд проблем, связанных с технологией, экономикой и организацией процессов в строительной отрасли. Это объясняется отсутствием единых стандартов данных и невозможность совмещения отдельных программных продуктов и несформировавшейся цифровой инфраструктурой. В России около 67% площадок не имеют стабильного интернет соединения необходимого для работы облачных BIM-платформ. Поскольку стоимость внедрения цифровых технологий значительна и колеблется в пределах от 4 до 6 млн. рублей для средних компаний, а срок окупаемости инвестиций составляет в среднем от 3 до 5 лет.

Вместе с тем международный опыт применения таких технологий свидетельствует о том, что внедрение BIM- технологий сокращает количество ошибок при проектировании на 40% снижает при этом затраты на проектирование на 25%, а применение современного оборудования по контролю качества позволяет уменьшать строительные дефекты на 30-35%. Используя 3D печать можно сократить сроки строительства объектов в 3-5 раз, а количество отходов снизить на 60%.

В России принята программа развития строительной отрасли с внедрением BIM- технологий до 2030 года, которая предусматривает поэтапный переход на BIM- технологии для государственных заказов.

Поскольку цифровые технологии нуждаются в новых компетенциях, то требуется новый подход к кадровым вопросам, к современным строительным профессиям, которые владеют и традиционными технологиями и цифровыми инструментами. По прогнозным данным к 2030 году потребуется дополнительно 45 тысяч BIM менеджеров и 30 тысяч операторов строительных дронов. Для этого требуется пересмотр всех образовательных программ по подготовке в строительных вузах и колледжах и создание непрерывной системы переподготовки профессионального развития. В этой связи государству необходимо разработать систему мер по поддержке и ускоренному внедрению этого процесса.

Образовательным учреждениям необходимо обеспечить подготовку специалистов нового уровня способных работать в условиях цифровой трансформации строительной отрасли и обеспечивать ее развитие.

Строительным компаниям требуется инвестировать в цифровые технологии и начать перестраивать бизнес -процессы, что позволит им обеспечить конкурентные преимущества и сформировать среду, обеспечивающую ускоренное внедрение новых технологий.

Только участие всех заинтересованных лиц, включая поддержку государства на основе комплексного подхода позволит сформировать компетентную среду и обеспечит развитие строительной отрасли на мировом уровне.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 28.04.2021 № 668 "О внедрении информационного моделирования в сфере строительства" // Собрание законодательства РФ. - 2021. - № 18. - Ст. 3162.
2. ГОСТ Р 57700.37-2021 "Компьютерные модели и моделирование. Информационное моделирование в строительстве. Общие положения". - М.: Стандартинформ, 2021. - 24 с.
3. ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing. - Geneva: ISO, 2013. - 78 p.
4. ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing. - Geneva: ISO, 2013. - 78 p.
5. Иванов, А.В. Цифровая трансформация строительной отрасли: теория и практика / А.В. Иванов. - М.: Стройиздат, 2022. - 456 с.
6. Петров, С.К. BIM-технологии: от проектирования к умному городу / С.К. Петров, В.Г. Сидоров. - СПб.: Политехника, 2023. - 312 с.
7. Chen, L. Artificial Intelligence in Construction Safety Management / L. Chen, Y. Wang // Automation in Construction. - 2023. - Vol. 145. - P. 104-116.
8. Росстат. Отчет о кадровом потенциале строительной отрасли. - М., 2023. - 67 с.
9. Министерство строительства РФ. Отчет о реализации нацпроекта "Жилье и городская среда". - М., 2022. - 67 с.
10. Официальный сайт Национального объединения строителей [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.nostroy.ru> (дата обращения: 15.05.2024).
11. Цифровая трансформация строительной отрасли: сб. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В.Г. Сидорова. - М.: МГСУ, 2023. - 568 с.

КОНТРОЛЬНЫЙ ТЕСТ

К главе 1: Теоретические основы цифровизации в строительстве

1. Что отличает цифровизацию от простой автоматизации?
 - a) Использование компьютеров вместо чертежных досок.
 - b) Механизация рутинных операций.
 - c) Полная перестройка бизнес-процессов на основе данных и создание новых моделей управления.
 - d) Применение калькуляторов вместо счетов.
2. Какой строительный сектор традиционно считается одним из наименее цифровизированных по данным McKinsey (стр. 12)?
 - a) Финансовые услуги.
 - b) Обрабатывающая промышленность.
 - c) Розничная торговля.
 - d) Строительство (опережает только сельское хозяйство).
3. Что такое BIM (Информационное моделирование зданий) в отличие от 3D-моделирования (стр. 16)?
 - a) Просто создание объемной визуализации здания.
 - b) Создание интеллектуальной параметрической модели, содержащей исчерпывающую информацию об объекте.
 - c) Использование только 2D-чертежей.
 - d) Автоматическое проектирование без участия человека.
4. Какой уровень зрелости BIM (согласно buildingSMART) характеризуется "Совместной работой с общими стандартами" и дает эффект "Сокращение сроков на 15%" (Таблица 1, стр. 16)?
 - a) Уровень 0.
 - b) Уровень 1.
 - c) Уровень 2.
 - d) Уровень 3.
5. Какая технология позволяет создать "динамическую виртуальную копию физического объекта, обновляемую в реальном времени" (определение на стр. 11)?
 - a) Интернет вещей (IoT).
 - b) Дополненная реальность (AR).
 - c) Цифровой двойник (Digital Twin).
 - d) Блокчейн.

6. Какой фактор ОСОБЕННО сдерживает цифровизацию в строительстве из-за длительных сроков окупаемости инвестиций (стр. 13-14)?

- a) Высокая степень кастомизации проектов.
- b) Длительный жизненный цикл объектов (50+ лет).
- c) Территориальная распределенность.
- d) Использование устаревшего ПО.

7. Какая страна первой законодательно закрепила обязательное применение BIM Level 2 для госпроектов (стр. 20, 24)?

- a) США.
- b) Сингапур.
- c) Китай.
- d) Великобритания.

8. Какой международный стандарт является ключевым для организации информации при использовании BIM (стр. 24)?

- a) ISO 9001.
- b) ISO 19650.
- c) ISO 14001.
- d) ГОСТ Р 57700.37-2024.

9. Какая из перечисленных проблем НЕ относится к основным пробелам российской нормативной базы цифровизации строительства (стр. 25-26)?

- a) Отсутствие единых требований к форматам данных.
- b) Недостаточная проработка вопросов авторского права на цифровые модели.
- c) Избыток современных цифровых стандартов.
- d) Отсутствие четких стандартов по ведению цифровых моделей на этапе эксплуатации.

10. Какой перспективный аспект развития нормативной базы в России связан с переходом от бумажных СНиП к машиночитаемым форматам (стр. 27)?

- a) Гармонизация с международными стандартами.
- b) Создание цифровых нормативов.
- c) Развитие системы цифровых квалификаций.
- d) Формирование цифровой инфраструктуры.

К главе 2: Анализ текущего состояния цифровизации в строительстве

1. Какой примерно процент крупных строительных компаний в России систематически применял BIM-технологии в 2023 году по данным Минстроя РФ (стр. 29)?

- a) 10-15%
- b) 25-30%
- c) 35-38%
- d) 50-55%

2. Какая технология была ключевой при подготовке к ЧМ-2018 в России, позволив сократить сроки строительства объектов на 15-20% (стр. 29)?

- a) 3D-печать.
- b) Искусственный интеллект (AI).
- c) BIM-технологии.
- d) Блокчейн.

3. В какой стране около 90% строительных компаний используют BIM-технологии для управления всем жизненным циклом зданий, уделяя особое внимание устойчивости (стр. 30)?

- a) США.
- b) Китай.
- c) Финляндия.
- d) ОАЭ.

4. Какой подход к цифровизации строительства демонстрирует Сингапур с концепцией "умных строительных площадок" (Smart Construction Sites) (стр. 31)?

- a) Рыночно-ориентированный (ведущая роль IT-компаний).
- b) Массовый и скоростной (ставка на 3D-печать).
- c) Технологически интенсивный (контроль процессов AI и IoT).
- d) Гармонизация с традиционными ценностями.

5. Какой эффект от внедрения BIM демонстрирует проект ЖК "Скандинавия" в Москве (Диаграмма 1, стр. 32)?

- a) Снижение энергопотребления на 25%.
- b) Сокращение сроков строительства на 18% и количества дефектов на 25%.
- c) Экономия материалов на 60%.
- d) Повышение прозрачности на 100%.

6. Какой из перечисленных факторов НЕ является ключевым, сдерживающим цифровизацию российского строительства по сравнительному анализу (стр. 32)?

- a) Недостаточная государственная поддержка.
- b) Низкая готовность МСБ к инвестициям.
- c) Избыток квалифицированных кадров в BIM.
- d) Отсутствие единых стандартов обмена данными.

7. Какую экономию на проекте стоимостью 1 млрд руб. дает применение BIM по расчетам, приведенным в таблице 4 (стр. 33)?

- a) 100 млн руб.
- b) 200 млн руб.
- c) 350 млн руб.
- d) 500 млн руб.

8. Какая технология на стройплощадке позволяет автоматически выявлять дефекты конструкций с точностью до 95% (превышая человеческие возможности) (стр. 34)?

- a) Беспилотные летательные аппараты (дроны).
- b) Носимые устройства рабочих.
- c) Системы компьютерного зрения / AI-контроль качества.
- d) Роботизированные системы укладки кирпича.

9. Что такое BMS (Building Management System) и какой экономический эффект оно дает по данным Schneider Electric (стр. 35)?

- a) Система BIM-моделирования; сокращение ошибок на 40%.
- b) Система управления зданием (интегрирует данные датчиков); сокращение эксплуатационных расходов на 25-30%.
- c) Платформа для совместной работы; сокращение времени согласований на 30%.
- d) Система предиктивной аналитики; прогнозирование сроков с точностью 90%.

10. Какой показатель экономии для бюджета достигается при цифровой трансформации госзакупок по модели, предложенной для Владимирской области (стр. 83)?

- a) Сокращение судебных споров на 67%.
- b) Экономия 2.85 млрд руб. ежегодно.
- c) Гарантированная оплата в течение 3 дней.
- d) Повышение прозрачности расходов на 100%.

К главе 3: Проблемы цифровизации в строительстве

1. Что является основной причиной "вавилонского столпотворения" в цифровом строительстве, затрудняющего обмен данными (стр. 46)?

- a) Низкая скорость интернета на стройплощадках.
- b) Отсутствие единых отраслевых стандартов для цифровых технологий (каждый разработчик - свои форматы).
- c) Нежелание персонала осваивать новые технологии.
- d) Высокая стоимость лицензионного ПО.

2. Какой технологический барьер связан с ограниченными вычислительными возможностями мобильных устройств на стройплощадках по сравнению с требованиями BIM (Таблица 8, стр. 47)?

- a) Отсутствие GPS.
- b) Недостаточная оперативная память (4-8 ГБ vs требование 32 ГБ).
- c) Невозможность подключения к облаку.
- d) Малый объем встроенной памяти.

3. Какой финансовый аспект является ОСНОВНЫМ барьером для цифровизации, по данным Росстата 2023 (упомянуто на стр. 48)?

- a) Отсутствие государственных субсидий.
- b) Высокие процентные ставки по кредитам.
- c) Высокая стоимость внедрения (создает барьер для 68% компаний).
- d) Невозможность включить затраты в смету.

4. Согласно данным опроса НИУ ВШЭ (2024), какая проблема в освоении цифровых инструментов наиболее характерна для опытных специалистов (стр. 50)?

- a) Недостаток обучающих материалов.
- b) 65% инженеров старше 50 лет отказываются осваивать BIM.
- c) Сложность интерфейса программ.
- d) Отсутствие времени на обучение.

5. Какой правовой аспект цифровизации связан с неопределенностью статуса BIM-модели как объекта интеллектуальной собственности (стр. 52)?

- a) Вопросы интеллектуальной собственности.

- b) Ответственность за ошибки в модели.
- c) Отсутствие стандартов для ведения моделей.
- d) Проблемы кибербезопасности.

6. Какой новый вид риска становится критически важным при цифровизации строительства, особенно для объектов критической инфраструктуры (стр. 53)?

- a) Риски перерасхода бюджета.
- b) Кибербезопасность (угроза взлома систем управления).
- c) Риски некачественных материалов.
- d) Риски изменения законодательства.

7. Какой прогнозный показатель роста мирового рынка строительных технологий к 2030 году приведен в главе (на основе данных McKinsey, стр. 55)?

- a) До \$50 млрд.
- b) До \$92 млрд.
- c) До \$120 млрд.
- d) До \$150 млрд.

8. Какая технология, интегрируемая с BIM, позволяет строителям "видеть" скрытые элементы конструкций непосредственно на площадке (стр. 57)?

- a) Виртуальная реальность (VR).
- b) Дополненная реальность (AR).
- c) 3D-печать.
- d) Блокчейн.

9. Какой эффект дает применение AI (искусственного интеллекта) в системах компьютерного зрения для контроля качества на стройплощадках (пример на стр. 59)?

- a) Оптимизация логистики материалов.
- b) Автоматическая фиксация отклонений от графика (сокращение времени проверок на 70%).
- c) Прогнозирование поломок техники.
- d) Генерация проектных решений.

10. Какой показатель дефицита кадров прогнозируется к 2030 году по данным НИУ ВШЭ (стр. 64)?

a) Нехватка 10 тыс. инженеров-строителей.

b) Потребность в 45 тыс. BIM-менеджеров и 30 тыс. операторов строительных дронов.

c) Дефицит 100 тыс. рабочих специальностей.

d) Избыток 20 тыс. проектировщиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в строительной отрасли происходят значительные изменения, связанные с ее трансформацией и объективной необходимостью применения новых технологий в связи с цифровизацией и повышением требований к качеству, срокам и стоимости строительства. Несмотря на значительный вклад строительной отрасли в ВВП, который обеспечивает рост в пределах от 6 до 9 % в развитых мировых странах, вместе с тем этот сектор экономики по-прежнему остается менее развитым. Анализ строительной отрасли России свидетельствует о том, что только 35 % крупных строительных компаний используют технологии информационного моделирования и только 10 % применяют эти технологии среди малых и средних предприятий. Это связано с тем, что не решен еще ряд проблем, связанных с технологией, экономикой и организацией процессов в строительной отрасли. Это объясняется отсутствием единых стандартов данных и невозможностью совмещения отдельных программных продуктов и несформировавшейся цифровой инфраструктуры. В России около 67 % площадок не имеют стабильного интернет-соединения, необходимого для работы облачных BIM-платформ. Стоимость внедрения цифровых технологий значительна и колеблется в пределах от 4 до 6 млн рублей для средних компаний, а срок окупаемости инвестиций составляет в среднем от 3 до 5 лет.

Вместе с тем международный опыт применения таких технологий свидетельствует о том, что внедрение BIM-технологий сокращает количество ошибок при проектировании на 40 %, сокращая при этом затраты на проектирование на 25 %, а применение современного оборудования по контролю качества позволяет сокращать строительные дефекты на 30 – 35 %. Используя 3D-печать, можно сократить сроки строительства объектов в 3 – 5 раз, а количество отходов снизить на 60 %.

В России принята программа развития строительной отрасли с внедрением BIM-технологий до 2030 года, которая предусматривает поэтапный переход на BIM-технологии для государственных заказов.

Поскольку цифровые технологии нуждаются в новых компетенциях, то требуется новый подход к кадровым вопросам, современным

строительным профессиям, которые владеют и традиционными технологиями и цифровыми инструментами. По прогнозным данным, к 2030 году потребуется дополнительно 45 тысяч BIM-менеджеров и 30 тысяч операторов строительных дронов. Для этого требуется пересмотр всех образовательных программ по подготовке в строительных вузах и колледжах и создание непрерывной системы переподготовки профессионального развития. В этой связи государству необходимо разработать систему мер по поддержке и ускоренному внедрению этого процесса.

Образовательным учреждениям необходимо обеспечить подготовку специалистов нового уровня, способных работать в условиях цифровой трансформации строительной отрасли и обеспечивать ее развитие.

Строительным компаниям требуется инвестировать в цифровые технологии и начать перестраивать бизнес-процессы, что позволит им обеспечить конкурентные преимущества и сформировать среду, обеспечивающую ускоренное внедрение новых технологий.

Только участие всех заинтересованных лиц, включая поддержку государства на основе комплексного подхода, позволит сформировать компетентную среду и обеспечит развитие строительной отрасли на мировом уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ "О техническом регулировании" // Собрание законодательства РФ. - 2002. - № 52 (ч. 1). - Ст. 5140.
2. Постановление Правительства РФ от 28.04.2021 № 668 "О внедрении информационного моделирования в сфере строительства" // Собрание законодательства РФ. - 2021. - № 18. - Ст. 3162.
3. ГОСТ Р 57700.37-2021 "Компьютерные модели и моделирование. Информационное моделирование в строительстве. Общие положения". - М.: Стандартинформ, 2021. - 24 с.
4. ГОСТ Р 57580.1-2017 "Безопасность финансовых организаций. Защита информации". - М.: Стандартинформ, 2017. - 18 с.
5. ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM). - Geneva: ISO, 2018. - 62 p.
6. ISO 16739:2013 Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing. - Geneva: ISO, 2013. - 78 p.
7. European Parliament Directive 2014/24/EU on public procurement // Official Journal of the European Union. - 2014. - L 94. - P. 65-242.
8. Шваб, К. Четвертая промышленная революция / К. Шваб; пер. с англ. - М.: Эксмо, 2016. - 208 с.
9. Иванов, А.В. Цифровая трансформация строительной отрасли: теория и практика / А.В. Иванов. - М.: Стройиздат, 2022. - 456 с.
10. Петров, С.К. BIM-технологии: от проектирования к умному городу / С.К. Петров, В.Г. Сидоров. - СПб.: Политехника, 2023. - 312 с.
11. Digital Construction: Technologies and Applications / Ed. by M. Smith, J. Brown. - London: Routledge, 2023. - 498 p.
12. Смирнова, Е.О. Искусственный интеллект в строительстве: учебное пособие / Е.О. Смирнова. - М.: АСВ, 2021. - 224 с.
13. Авдотьин, Л.Н. Градостроительное проектирование: учебник / Л.Н. Авдотьин, И.Г. Лежава, И.М. Смоляр. - М.: Архитектура-С, 2020. - 480 с.
14. Андреева, М.К. Правовые аспекты внедрения цифровых технологий в строительстве / М.К. Андреева // Право и экономика. - 2023. - № 2. - С. 45-52.

15. Васильев, И.Р. Цифровые двойники в управлении жизненным циклом строительных объектов / И.Р. Васильев // Вестник гражданских инженеров. - 2022. - № 4(83). - С. 56-63.
16. Chen, L. Artificial Intelligence in Construction Safety Management / L. Chen, Y. Wang // Automation in Construction. - 2023. - Vol. 145. - P. 104-116.
17. Козлов, В.П. Анализ эффективности внедрения BIM-технологий в российских строительных компаниях / В.П. Козлов, Т.С. Новикова // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. - 2023. - № 5(256). - С. 34-41.
18. McKinsey Global Institute. Reinventing construction: A route to higher productivity. - New York: McKinsey & Company, 2017. - 112 p.
19. World Bank. Global Construction Industry Report 2022. - Washington: World Bank Group, 2022. - 89 p.
20. PwC. Global Construction Survey 2022. - London: PricewaterhouseCoopers, 2022. - 76 p.
21. J'son & Partners Consulting. Рынок цифровых решений в строительстве России. - М., 2022. - 48 с.
22. Boston Consulting Group. Digital Transformation in Construction. - Boston, 2021. - 89 p.
23. Министерство строительства РФ. Отчет о реализации нацпроекта "Жилье и городская среда". - М., 2022. - 67 с.
24. KPMG. Global Construction Digitalization Survey 2021. - Amsterdam: KPMG International, 2021. - 94 p.
25. National Building Specification. BIM Report 2022. - London: NBS, 2022. - 56 p.
26. Gartner. IoT in Construction Market Analysis 2023. - Stamford: Gartner Inc., 2023. - 42 p.
27. Росстат. Отчет о кадровом потенциале строительной отрасли. - М., 2023. - 67 с.
28. buildingSMART International. BIM Maturity Levels. - Oslo, 2020. - 32 p.
29. Dodge Data & Analytics. International BIM Adoption Report 2022. - New York, 2022. - 48 p.
30. National Institute of Building Sciences. BIM Benefits Study. - Washington, 2021. - 62 p.

31. McKinsey & Company. IoT Applications in Construction. - New York, 2022. - 58 p.
32. IBM Institute for Business Value. AI in Construction. - Armonk, 2021. - 45 p.
33. Autodesk. Future of Design Report. - San Rafael, 2022. - 68 p.
34. Boston Consulting Group. AI for Quality Control in Construction. - Boston, 2022. - 55 p.
35. Caterpillar. Autonomous Construction Equipment Report. - Deerfield, 2023. - 56 p.
36. Goldman Sachs. AR/VR in Construction Market Analysis. - New York, 2022. - 38 p.
37. Winsun. 3D Printing Construction Report. - Shanghai, 2023. - 32 p.
38. Eindhoven University of Technology. 3D Printed Housing Project. - Eindhoven, 2022. - 28 p.
39. Gartner. Digital Twins in Construction Forecast. - Stamford, 2023. - 40 p.
40. Arup. Blockchain in Construction Pilot Results. - London, 2021. - 45 p.
41. UK Government. Construction 2025 Strategy. - London, 2011. - 89 p.
42. UK National Audit Office. BIM Implementation Review. - London, 2022. - 64 p.
43. KIRA-digi. Annual Report on Digital Construction in Finland. - Helsinki, 2022. - 52 p.
44. Statistics Finland. Energy Efficiency in Construction. - Helsinki, 2023. - 48 p.
45. Building and Construction Authority Singapore. BIM Mandate Review. - Singapore, 2022. - 34 p.
46. BCA Singapore. Construction Productivity Report. - Singapore, 2023. - 42 p.
47. U.S. Bureau of Labor Statistics. Construction Technology Investment. - Washington, 2023. - 36 p.
48. OpenSpace. AI for Construction Quality Control. - San Francisco, 2022. - 28 p.
49. China State Council. Digital Construction 2025 Plan. - Beijing, 2021. - 56 p.

50. MHURD China. 3D Printing in Construction Report. - Beijing, 2023. - 40 p.
51. BMVI Germany. BIM 4.0 Roadmap. - Berlin, 2020. - 62 p.
52. German Construction Industry Federation. BIM Adoption Survey. - Berlin, 2022. - 58 p.
53. Dubai Government. 3D Printing Strategy. - Dubai, 2018. - 48 p.
54. Dubai Municipality. 3D Printed Buildings Report. - Dubai, 2023. - 28 p.
55. НОПРИЗ. Отчет о проблемах внедрения BIM в России. - М., 2022. - 72 с.
56. Минстрой России. План разработки национальных стандартов BIM. - М., 2023. - 45 с.
57. Минстрой России. Концепция цифровизации СНиП. - М., 2022. - 56 с.
58. НОСТРОЙ. Система сертификации BIM-специалистов. - М., 2023. - 64 с.
59. Минцифры России. Стратегия развития цифровых платформ. - М., 2022. - 48 с.
60. BuildingSMART International Standards [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.buildingsmart.org> (дата обращения: 18.05.2024).
61. McKinsey & Company. The next normal in construction [Электронный ресурс]. - 2022. - URL: <https://www.mckinsey.com> (дата обращения: 20.05.2024).
62. Autodesk. Future of Design Report [Электронный ресурс]. - 2022. - URL: <https://www.autodesk.com> (дата обращения: 15.06.2024).
63. Официальный сайт Национального объединения строителей [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.nostroy.ru> (дата обращения: 15.05.2024).
64. Construction's next frontier: How innovation is transforming the industry [Электронный ресурс] // McKinsey & Company. - 2023. - URL: <https://www.mckinsey.com> (дата обращения: 13.06.2024).
65. Digital Transformation in Construction: AR and BIM Integration [Электронный ресурс] // Autodesk Whitepapers. - 2023. - URL: <https://www.autodesk.com> (дата обращения: 13.06.2024).

66. Соколов, Р.Н. Развитие методов информационного моделирования в управлении строительными проектами: дис. ... д-ра техн. наук / Р.Н. Соколов. - М.: МГСУ, 2022. - 398 с.
67. Kim, S.H. Digital Transformation Strategies in Construction Industry: Ph.D. Thesis / S.H. Kim. - Stanford University, 2023. - 215 p.
68. Цифровая трансформация строительной отрасли: сб. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. В.Г. Сидорова. - М.: МГСУ, 2023. - 568 с.
69. Digital Construction Week 2023: Conference Proceedings. - London, 2023. - 412 p.
70. Патент РФ № 2756894. Способ автоматизированного контроля качества строительных работ с использованием компьютерного зрения / А.А. Иванов, В.С. Петров; заявл. 12.01.2022; опубл. 15.10.2022.

ГЛОССАРИЙ

Основные понятия

1. Цифровизация

Глубокий трансформационный процесс перестройки бизнес-процессов на основе данных, создания новых моделей управления и принципиально новых подходов к организации труда (ГОСТ Р 57700.37-2021). Отличается от автоматизации комплексным изменением всей экосистемы.

2. Цифровой двойник (Digital Twin)

Динамическая виртуальная копия физического объекта, обновляемая в реальном времени на основе данных с датчиков (ISO 23247). Пример: внедрение в Дубае сократило ошибки на 40%.

3. Умная стройплощадка (Smart Construction Site)

Площадка, где процессы контролируются IoT-датчиками, ИИ и дронами (McKinsey, 2023). Характеризуется автоматизацией мониторинга, логистики и безопасности.

Технологии

4. BIM (Информационное моделирование зданий)

Создание интеллектуальной параметрической 3D-модели, содержащей данные об объекте (физические свойства, стоимость, график обслуживания). Уровни зрелости:

Level 1: Комбинированные 2D/3D-модели (снижение ошибок на 20%).

Level 2: Совместная работа со стандартами (сокращение сроков на 15%).

Level 3: Полная облачная интеграция (снижение затрат на 25%).

5. IoT (Интернет вещей)

Сеть датчиков на технике, конструкциях и рабочих для мониторинга параметров (температура, местоположение, состояние оборудования). Эффект: сокращение простоев техники на 25%, потерь материалов на 15–20% (McKinsey).

6. Искусственный интеллект (AI)

Применение алгоритмов для:

Оптимизации проектных решений (сокращение времени на 50–60%).

Контроля качества (точность выявления дефектов до 95%).

Управления автономной техникой (повышение эффективности на 15–20%).

7. Дополненная реальность (AR) / Виртуальная реальность (VR)

AR: Наложение цифровой информации на реальные объекты (например, визуализация скрытых коммуникаций).

VR: Иммерсивное погружение в цифровую модель объекта. Рынок к 2025 г.: \$7.3 млрд (Goldman Sachs).

8. 3D-печать (Аддитивные технологии)

Создание зданий послойным нанесением материалов. Пример: Winsun (Китай) напечатала 10 домов за 24 часа, сократив стоимость на 50%.

9. Блокчейн

Технология для управления цепочками поставок и автоматизации платежей через смарт-контракты. Пример: проект Agur (Великобритания) сократил время обработки заказов на 30%.

10. Предиктивная аналитика

Прогнозирование проблем (поломки техники, отклонения) на основе анализа данных. Пример: использование в 15% крупных проектов РФ (Москва-Сити).

Управление и экономика

11. Цифровая экосистема

Единая платформа (например, Autodesk Construction Cloud), объединяющая участников проекта для обмена данными. Эффект: сокращение времени согласований на 40%.

12. ROI (Return on Investment)

Показатель окупаемости инвестиций:

$ROI = \frac{\text{Годовая экономия} - \text{Затраты на внедрение}}{\text{Затраты на внедрение}} \times 100\%$.
 $ROI = \frac{\text{Годовая экономия} - \text{Затраты на внедрение}}{\text{Затраты на внедрение}} \times 100\%$.

Пример: для компании с оборотом Р5 млрд $ROI = 400\%$.

13. CAPEX / OPEX

CAPEX: Единовременные затраты (оборудование, лицензии).

OPEX: Операционные расходы (обучение, поддержка).

Нормативная база

14. ISO 19650

Международный стандарт по организации информации в BIM (управление данными на всех этапах ЖЦ объекта).

15. ГОСТ Р 57700.37-2024

Российский стандарт, определяющий принципы информационного моделирования в строительстве.

16. ФЗ №373 (2023)

Регулирует использование цифровых двойников в госзакупках.

17. IFC (Industry Foundation Classes)

Открытый формат обмена данными между BIM-платформами (стандарт ISO 16739).

Организационные термины

18. BIM-менеджер

Специалист, координирующий создание и использование BIM-моделей. Дефицит в РФ: к 2030 г. потребуется дополнительно 45 тыс. человек (НИУ ВШЭ).

19. Центр цифровой трансформации (ЦЦТ)

Структурное подразделение компании, ответственное за внедрение инноваций. Включает отделы: BIM, IoT, аналитики данных.

Проблемы и риски

20. Технологическая фрагментация

Несовместимость ПО (например, Revit ≠ Renga), приводящая к потере 30% данных (НИИСФ РААСН, 2023).

21. Киберриски

Угрозы взлома систем умных зданий. Меры снижения: внедрение стандартов ISO 27001.

Международный опыт

22. Construction 2025 (Великобритания)

Стратегия обязательного внедрения BIM Level 2 для госпроектов >£5 млн. Результат: экономия 20% бюджета.

23. Smart Construction Sites (Сингапур)

Концепция площадок с ИИ-контролем процессов. Эффект: рост производительности на 35%, снижение аварий на 50%.

24. Цифровое строительство 2025 (Китай)

Госпрограмма перехода на BIM и 3D-печать. Пример: печать 5-этажного здания за 3 дня.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Масштабирование цифровизации в строительстве

Слайд №1 «Актуальность исследования проблем и перспектив цифровизации в строительстве».



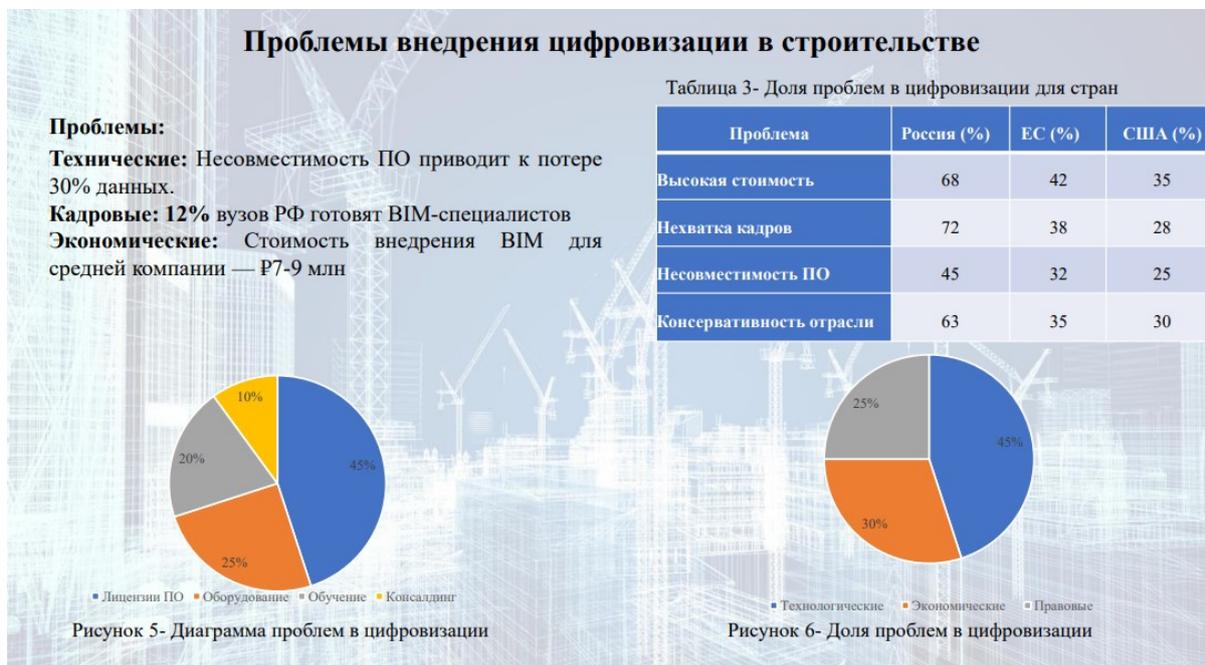
Слайд №2 «Особенности цифровизации в строительстве»



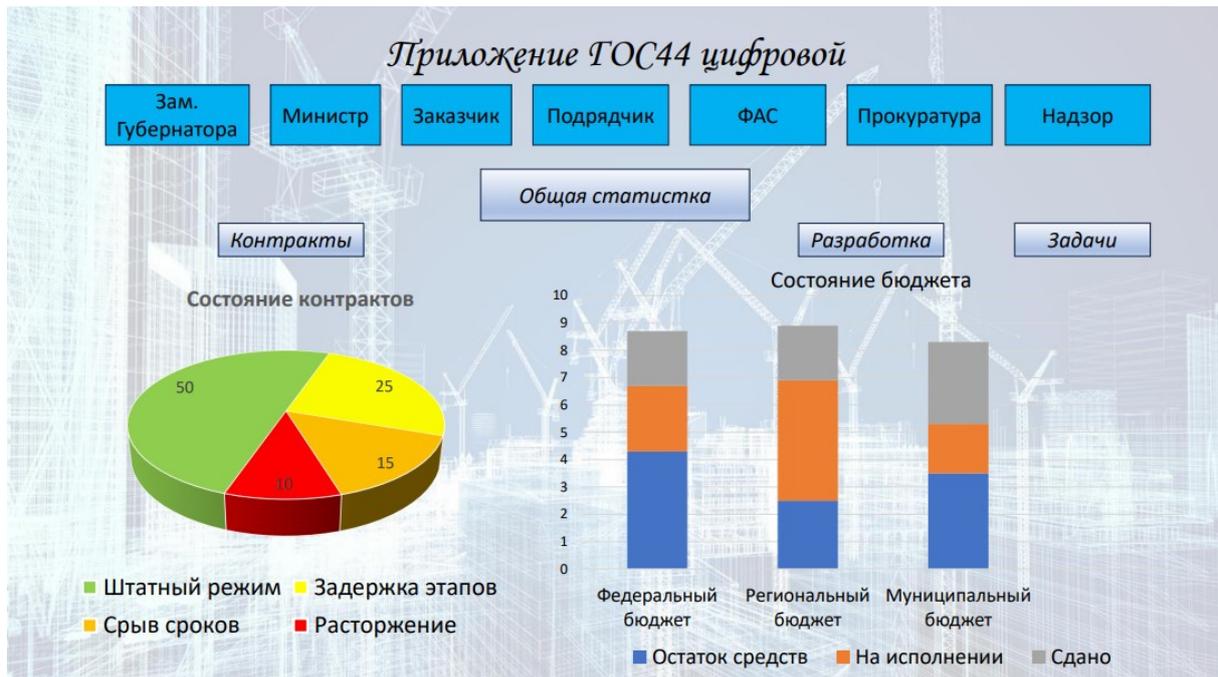
Слайд №3 «Международный опыт внедрения цифровых технологий»



Слайд №4 «Проблемы внедрения цифровизации в строительстве»



Слайд №5 «Приложение ГОС44 цифровой»



Слайд №6 «Информационный дашборд»

Контракты

№	ИКЗ	Дата окончания	Общее состояние	Процент выполнения	Плановая дата завершения	Доп. Инф.
1	899829182	21.07.2025	Нормальное	95	21.07.2025	Доп. Инф.
2	799829182	15.05.2025	Среднее	99	22.06.2025	Проверка
3	499829182	22.07.2025	Критичное	75	30.08.2025	Поручение
4	599829182	25.09.2025	Критичное	0	Работа не начата	
1562	999829182	11.07.2025	Нормальное	15	11.07.2025	

еЖурнал производства работ
еГрафик Производства работ
Контакты
Чат контракта
Отчет от ИИ

№	ИКЗ	Дата окончания	Общее состояние	% выполнения	Плановая дата завершения	Текущий этап работ
3	499829182	22.07.2025	Критичное	75	30.08.2025	Заливка фундамента

Слайд №7 «Электронный журнал производства работ»

eЖурнал Производства работ

Подрядчик ООО «Ромашка»

Заказчик МАУ «ОПРС»

Стройконтроль ООО «Контрл»

[Выгрузить документацию](#)

№ записи	Дата время начала этапа	Дата и время окончания работ	Наименование работы	Объем	Наименование этапа работы	Машины и механизмы	Состав бригады	Ответственный на объекте	Дата контроля	Результат контроля	
15	10.07.2025 7:59	10.07.2025 17:30	ГЭСН 06-01-001-08 Устройство железобетонных фундаментов	50 м3	Установка арматуры	Кран 16т гос. Номер у870та33	Иванов	Иванов	Стройконтроль	Принято	
							Смирнов		10.07.2025 15:44		
16	11.07.2025 7:59	11.07.2025 17:30	ГЭСН 06-01-001-08 Устройство железобетонных фундаментов	50 м3	Укладка бетонной смеси	Бетононасос гос. Номер у870та33	Иванов	Иванов	отсутствовал	Принято	
							Сидоров		Стройконтроль		
							Сидоров		11.07.2025 15:44		
Системное уведомление: 1. Стороны подписали акты на скрытые работы, 2. Стороны подписали акты КС-2. 3. Открыт доступ к следующей работе									Заказчик	11.07.2025 15:44	Принято

Слайд №8 «Электронный график производства работ»

eГрафик Производства работ

10.07

Установка арматуры

11.07

Укладка бетонной смеси

№5 ГЭСН 06-01-001-08 Устройство железобетонных фундаментов

Статистика

Юридическое соответствие	100
Соответствие плану	95
Достоверность информации	79
Общая ситуация	78

Ключевые преимущества и особенности

- Единая платформа управления, анализа и контроля гос заказов
- Полностью автономная экосистемная программа на базе российского ПО
- Предиктивная аналитика на основе ИИ и Big Data, IoT.
- Рейтинговая система оценивания всех участников торгов от исполнителя до контролирующих органов на основе ИИ.
- Помощь и рекомендации по работе основанные анализе ИИ и Big Data с системой автооповещения всех участников закупок в рамках компетенций.
- Подготовка отчетов для совершенствования правовых и строительных норм.
- Защита данных с помощью блокчейн моделей
- Встроенная программа интенсивного обучения.
- Простота использования

Слайд №9 «Визуализация функционала электронного журнала производства работ»

Контракт №129765, от 12.05.2025 на ремонт фундамента в МАУ «ОПРС»

еЖурнал Производства работ

Подрядчик

Начать работу

●

Время начала работы 7:59

Завершить работу

Выгрузить документацию

№ п/п	№ по смете	Наименование работы	Объем	Наименование этапа работы	Фото, сертификаты	Машины и механизмы	Состав бригады	Ответственный на объекте
15	5	ГЭСН 06-01-001-08 Устройство железобетонных фундаментов	50 м3	Установка арматуры	*Сертификат 25мб *Фота 25 мб	Кран 16т гос. Номер у870та33	Иванов Смирнов Сидоров Акопов	Иванов
16	5	ГЭСН 06-01-001-08 Устройство железобетонных фундаментов	Вести данные	Вести данные	Загрузить	Вести данные	Выбрать	Выбрать

Слайд №10 «Выводы и рекомендации»

Выводы и рекомендации

Таблица 4 - Практические рекомендации

	Рекомендации
Для государственных органов	<ul style="list-style-type: none"> Ускорить разработку национальных стандартов данных. Ввести поэтапное обязательное использование BIM для госзаказов. Создать центры компетенций на базе ведущих строительных вузов (ВлГУ и др.).
Для строительных компаний	<ul style="list-style-type: none"> Внедрять технологии поэтапно (начинать с BIM и облачных платформ). Инвестировать в обучение персонала. Снижать риски через пилотные проекты.
Для образовательных учреждений	<ul style="list-style-type: none"> Радикально обновить программы: фокус на BIM, ИИ, IoT. Внедрить современные методы обучения.

Заключение:
 Цифровая трансформация строительства необратима и критически важна для будущего отрасли. Согласованные действия государства (стандарты, госзаказ), бизнеса (инвестиции, обучение) и образования (новые программы) позволят России сократить отставание и повысить производительность на 50-60%, обеспечив устойчивое развитие.

Учебное электронное издание

АНДРЕЕВА Наталия Владимировна
ДАВИДЕНКО Никита Алексеевич

ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Издается в авторской редакции

Системные требования: Intel от 1,3 ГГц; Windows XP/7/8/10; Adobe Reader;
дисковод CD-ROM.

Тираж 10 экз.

Владимирский государственный университет имени Александра
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.



АНДРЕЕВА

Наталья Владимировна

Доктор экономических наук, профессор кафедры экономики инноваций и финансы ВлГУ, почетный работник высшего профессионального образования. Автор более 300 научных и учебно-методических работ. Область научных интересов методологические проблемы развития инвестиционно-строительной сферы региона



ДАВИДЕНКО

Никита Алексеевич

Магистр строительства, начальник проектного отдела в ГБУК ОВ «Госцентр», основатель Научно-исследовательского центра «Цифровые технологии». Руководитель группы по созданию экосистемной программной платформы «Цифровая система» – комплексное решение для управления жизненным циклом строительных объектов