



Предпосылки к эволюционному внедрению информационного моделирования в строительной отрасли

М.В. Пучков¹, И.Ф. Загруддинов²✉

^{1,2}Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. В статье рассматривается технология BIM, которая предоставляет возможность создавать детальные цифровые двойники зданий, чтобы проводить виртуальные обходы, выявлять коллизии и оптимизировать планировку еще на этапе проектирования. В статье исследуется применение BIM в управлении безопасностью и гигиеной труда на строительных площадках. Анализируются преимущества BIM в выявлении и минимизации рисков, оптимизации планирования и координации работ, а также в повышении производительности труда. В статье также представлен обзор международного опыта применения BIM и анализируются факторы, влияющие на его успешное внедрение. Определено, что BIM идентифицирует потенциальные опасности на ранних этапах проекта и в связи с этим можно разрабатывать меры по их предотвращению. BIM-модели обеспечивают детальную визуализацию проекта, чтобы улучшить планирование и координацию между различными участниками строительного процесса. Благодаря BIM можно эффективно использовать ресурсы и минимизировать простои. Внедрение требует подготовки специалистов, имеющих навыки работы с BIM-программным обеспечением и пониманием принципов информационного моделирования. Сделан вывод о том, что BIM имеет значительный потенциал для повышения безопасности и эффективности строительных процессов. Для успешного внедрения BIM необходимо решить ряд проблем, развить нормативно-правовую базу, а также подготовить кадры и создать соответствующую инфраструктуру.

Ключевые слова: строительная отрасль, моделирование, BIM, проект, риски, планирование, информационное моделирование

Для цитирования: Пучков М.В., Загруддинов И.Ф. Предпосылки к эволюционному внедрению информационного моделирования в строительной отрасли // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2025. Т. 15. № 2. С. 266–276. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-266-276>. EDN: XVCKVW.

Original article

Prerequisites for the evolutionary implementation of information modeling in the construction industry

Maxim V. Puchkov¹, Ildar F. Zagrutdinov²✉

^{1,2}Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The article discusses BIM technology, which provides the opportunity to create detailed digital counterparts of buildings in order to conduct virtual rounds, identify collisions and optimize the layout at the design stage. The article explores the application of BIM in occupational safety and health management on construction sites. The advantages of BIM in identifying and minimizing risks, optimizing work planning and coordination, and improving labor productivity are analyzed. The article also provides an overview of international experience in the use of BIM and analyzes the factors influencing its successful implementation. It is determined that BIM identifies potential hazards at the early stages of the project and, in this regard, measures can be developed to prevent them. BIM models provide detailed visualization of the project in order to improve planning and coordination between the various participants in the

construction process. Thanks to BIM, resources can be used efficiently and downtime minimized. Implementation requires the training of specialists who have the skills to work with BIM software and an understanding of the principles of information modeling. It is concluded that BIM has significant potential for improving the safety and efficiency of construction processes. For the successful implementation of BIM, it is necessary to solve a number of problems, develop a regulatory framework, as well as train personnel and create the appropriate infrastructure.

Keywords: construction industry, modeling, BIM, project, risks, planning, information modeling

For citation: Puchkov M.V., Zagrutdinov I.F. Prerequisites for the evolutionary implementation of information modeling in the construction industry. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2025;15(2):266-276. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2025-2-266-276>. EDN: XVCKVW.

ВВЕДЕНИЕ

Информационное моделирование зданий (BIM) выступает катализатором эволюционных преобразований в строительной индустрии, обеспечивая парадигмальный сдвиг от традиционных методов проектирования и строительства к интегрированному, основанному на данных подходу. Внедрение BIM сопряжено с комплексным управлением информационным жизненным циклом объекта, начиная от концептуального проектирования и заканчивая эксплуатацией.

BIM-технология предоставляет уникальные возможности для оптимизации междисциплинарного взаимодействия, минимизации рисков и повышения эффективности управления строительными проектами.

Анализ существующих исследований свидетельствует о том, что BIM обладает потенциалом для усиления безопасности на строительных площадках, посредством создания точных и согласованных цифровых моделей, которые выявляют потенциальные конфликты и несоответствия на ранних стадиях проектирования [1]. Кроме того, BIM способствует повышению качества строительной продукции за счет обеспечения понимания взаимосвязей между различными элементами проекта.

С точки зрения организационного развития, успешное внедрение BIM требует комплексного подхода, основанного не только на освоении новых технологий, но и на пересмотре существующих бизнес-процессов и развитии кадрового потенциала [2]. Систематическое развитие компетенций сотрудников в области BIM является одним из ключевых факторов, определяющих эффективность использования технологий.

Таким образом, информационное моделирование зданий представляет собой перспективную технологию, способную существенно повысить конкурентоспособность строительной отрасли. Для достижения максимального

эффекта от внедрения BIM необходимо учитывать его взаимосвязь с другими инновационными технологиями и процессами, а также разрабатывать долгосрочные стратегии развития, направленные на создание цифровой трансформации строительной отрасли.

МЕТОДЫ

В данной работе был проведен комплексный анализ теоретических исследований, посвященных применению информационного моделирования зданий в области управления безопасностью труда в строительстве. Был проведен систематический обзор научной литературы, опубликованной в рецензируемых журналах и сборниках научных трудов. Для дополнения теоретического анализа был проведен анализ практических исследований, кейсы успешного внедрения BIM в строительных проектах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Информационное моделирование зданий предоставляет инновационные инструменты для оптимизации процессов управления безопасностью и гигиеной труда в строительной отрасли [3].

Детальные цифровые модели, создаваемые в рамках BIM-проектирования, помогают систематизировать информацию о потенциальных опасностях, связанных с выполнением строительных работ, и разработать эффективные меры по их минимизации.

Благодаря интеграции данных о геометрии объекта, материалах, технологических процессах и других релевантных факторах, BIM-модели обеспечивают основу для проведения комплексного анализа рисков и разработки планов по управлению безопасностью.

Также BIM способствует не только повышению уровня безопасности на строительных площадках, но и оптимизации организационных процессов. Основанное на данных BIM-модели планирование трудовых функций позволяет эффективно распределять ресурсы,

минимизировать конфликты между различными бригадами и повысить производительность труда. Кроме того, BIM способствует развитию новых компетенций у работников строительной отрасли, стимулируя спрос на высококвалифицированных специалистов в области информационного моделирования и управления проектами.

Согласно результатам исследования [4] спектр применения информационного моделирования зданий чрезвычайно широк и охватывает весь жизненный цикл объекта, начиная от этапа планирования (фиксация существующих условий), и заканчивая этапом эксплуатации и проведением анализа управления чрезвычайными ситуациями. В [5] отмечают, что BIM-технологии значительно упрощают работу всех участников строительного процесса (владельцев, менеджеров, проектировщиков, инженеров и подрядчиков).

В [6] авторы считают, что BIM стало преобразующей технологией в строительной отрасли, предлагающей значительный потенциал для снижения рисков, облегчения принятия обоснованных решений и повышения общей стоимости проекта. Следует отметить, что BIM имеет многочисленные преимущества, его внедрение сопряжено с новыми рисками, связанными с технологическими и договорными сложностями. Чтобы получить представление о том как BIM влияет на динамику рисков в строительных проектах, в рамках исследования был проведен всесторонний анализ с привлечением международных экспертов и практиков. Данные были собраны с помощью комбинации углубленных интервью, структурированных анкет и тематических исследований текущих проектов.

Результаты исследования показали, что BIM эффективно устраняет значительное количество существенных рисков, которые традиционно присущи строительным проектам. Однако исследование также выявило критический пробел в текущем состоянии внедрения BIM – отсутствие специального плагина, специально разработанного для управления рисками. Чтобы устранить ограничение, была разработана теоретическая основа с целью автоматизации процесса управления рисками и, таким образом, улучшения общей практики управления проектами. Исследования [7] подтверждают, что BIM может быть успешно применен на всех этапах жизненного цикла объекта – от проектирования до эксплуатации и реконструкции. Однако, несмотря на очевидные преимущества BIM, его потенциал в области деревянного строительства остается пока еще недостаточно реализованным.

Разработка и интеграция специального плагина для управления рисками BIM значительно увеличит преимущества, получаемые от его внедрения. Автоматизируя процессы идентификации, оценки и снижения рисков, он может оптимизировать рабочие процессы проекта, уменьшить количество ошибок и улучшить процесс принятия решений, что способствовало бы повышению эффективности проекта, снижению затрат и улучшению результатов [8]. Авторы исследования [9] подчеркивают преобразующий потенциал BIM в решении проблем, связанных с рисками в строительной отрасли. Признавая и удовлетворяя потребность в специальном плагине для управления рисками BIM, строительная отрасль может в полной мере использовать возможности BIM и достигать высоких уровней успеха проектов.

США являются первыми в области BIM, активно способствуя развитию и внедрению данной технологии в строительную отрасль. Государственные органы США, в частности Агентство по управлению строительными активами, сотрудничают с частным сектором, стимулируя применение BIM в различных проектах. Ключевую роль в координации этих усилий играет полуофициальный Национальный институт строительных наук, который разрабатывает и публикует Национальный стандарт информационного моделирования зданий (NBIMS) [10].

NBIMS является комплексным документом, который охватывает интеграцию международных стандартов, определение форматов обмена информацией, разработку методических рекомендаций и шаблонов контрактов. Регулярное обновление стандарта, последняя версия которого (NBIMS-US версия 3) была опубликована в 2015 г., свидетельствует о динамичном развитии BIM-технологий и необходимости адаптации нормативной базы к новым вызовам в строительной отрасли [11].

Опыт США в области внедрения BIM представляет значительный интерес для других стран, стремящихся повысить эффективность и качество строительных проектов. Так, Комитет по общественным работам исполнительной власти Китая, активно продвигая использование BIM в строительстве, ссылается на американский опыт как на один из примеров успешного развития данной технологии. США являются мировым лидером в области стандартизации и внедрения данной технологии. Разработанные стандарты и методики используются в других странах, способствуя формированию единого информационного пространства в строительной отрасли и повышению ее конкурентоспособности [12].

Глобальная строительная индустрия переживает период активной трансформации, характеризующийся масштабной цифровизацией процессов и внедрением инновационных технологий. BIM становится одним из ключевых драйверов этих изменений, обеспечивая существенный потенциал для повышения эффективности, качества и безопасности строительных проектов.

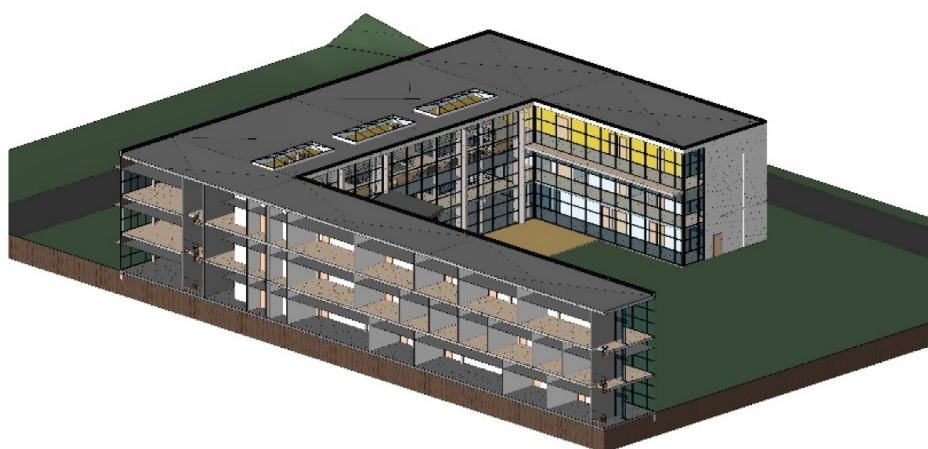
Тенденция к цифровизации строительной отрасли находит отражение в повсеместном внедрении информационного моделирования зданий BIM. Государства по всему миру, осознавая потенциал BIM для повышения эффективности и качества строительных проектов, активно разрабатывают и реализуют политику, направленную на стимулирование его применения.

Анализ данных о применении BIM в различных регионах мира, России, Европы и Северной Америки, свидетельствует о неуклонном росте популярности данной технологии. Строительные компании все чаще используют BIM для реализации коммерческих проектов, что обусловлено очевидными преимуществами технологии в плане оптимизации процессов проектирования, строительства и эксплуатации объектов. Тем не менее, наблюдается тенденция к расширению сферы применения BIM и на другие сектора экономики, не связанные непосредственно со строительством [13].

США, Великобритания, Япония, Южная Корея, Сингапур и многие другие страны принимают целенаправленные меры для ускорения процесса внедрения BIM в строительную отрасль. Например, правительство Великобритании с 2016 г. ввело обязательное использование BIM для всех государственных строительных проектов, что стало мощным импульсом для развития BIM-технологий в стране.

Южная Корея также последовательно внедряет BIM в строительную практику, начиная с 2016 г. сделав обязательным использование BIM для всех государственных объектов стоимостью свыше 50 млрд вон. Сингапур с 2015 г. требует обязательного применения BIM для всех государственных и частных зданий площадью 5000 м² [14].

Несмотря на то, что коммерческие строительные проекты по-прежнему остаются основным сегментом рынка, где BIM часто применяется, но наблюдается устойчивый рост использования технологии в инфраструктурных, промышленных и других типах проектов. Многие строительные компании признают BIM как универсальный инструмент для управления сложными инженерными объектами на протяжении всего их жизненного цикла. BIM трансформирует традиционные подходы к проектированию и строительству, способствуя повышению конкурентоспособности строительных компаний и повышению качества строительной продукции. Дальнейшее развитие BIM будет связано с интеграцией технологии с другими цифровыми решениями, такими как искусственный интеллект, большие данные и виртуальная реальность, чтобы создавать интеллектуальные и эффективные строительные проекты. Визуализация возможностей BIM, представленная на рисунке, наглядно демонстрирует то, как BIM-инструменты создают трехмерные и четырехмерные модели объектов, генерируют разнообразную документацию (чертежи, спецификации, ведомости объемов работ) и проводят симуляции различных строительных процессов. Благодаря возможностям BIM существенно повышается точность и эффективность проектирования строительства, а также выявляются и устраняются ошибки на ранних стадиях строительного проекта.



Здание, смоделированное в BIM Revit v2023 [9]
A building modeled in BIM Revit v2023 [9]

BIM трансформирует традиционные подходы к обеспечению безопасности на строительных объектах, предоставляя мощный инструмент для проективного управления рисками и оптимизации строительных процессов. Эффективно BIM применяется на ранних стадиях проекта, когда осуществляется проектирование и планирование строительных работ.

Использование BIM помогает детально моделировать геометрию зданий, сложные формы и нестандартные конструктивные решения, чтобы проводить всесторонний анализ проектных решений и выявлять потенциальные опасности, связанные с особенностями геометрии здания, еще до начала строительных работ. Например, BIM-моделирование может оценить сложность монтажа конструкций, выявить потенциальные конфликты между различными элементами здания и разработать оптимальные решения для обеспечения безопасности строительных работ.

BIM-модели обеспечивают визуализацию строительных процессов, чтобы эффективно планировать работы, координировать действия различных подрядных организаций и контролировать соблюдение требований безопасности [15]. Трехмерные модели зданий могут использоваться для создания планов эвакуации, разработки схем организации строительной площадки и проведения инструктажей для персонала.

Одним из значимых преимуществ BIM является возможность проведения количественной оценки рисков, связанных с безопасностью и охраной труда. BIM-модели анализируют различные сценарии развития событий, оценивают вероятность возникновения опасных ситуаций и разрабатывают меры по их предотвращению. BIM используют для создания цифровых двойников объектов безопасности, таких как системы пожарной сигнализации и оповещения, чтобы проводить их тестирование и оптимизацию в виртуальной среде.

Таким образом, BIM предоставляет уникальные возможности для повышения уровня безопасности на строительных объектах. Путем создания детальных цифровых моделей зданий и проведения всестороннего анализа проектных решений, BIM выявляет и устраняет потенциальные опасности на ранних стадиях проекта, оптимизировать строительные процессы и обеспечивать безопасные условия труда для строителей. Анализ современного состояния строительной отрасли свидетельствует о наличии существенных ограничений, препятствующих повышению ее эффективности. Одной из острых проблем является низкая производительность труда, которая, согласно

статистическим данным, практически не демонстрирует положительной динамики [15]. Корреляция между уровнем промышленной безопасности и производительностью труда в строительстве является предметом многочисленных исследований. Результаты этих исследований указывают на то, что высокий уровень травматизма и несчастных случаев на производстве, характерный для многих отраслей тяжелой промышленности, негативно влияет на эффективность строительных процессов.

Причинами низкой производительности труда в строительстве является недостаточная квалификация рабочих, отсутствие современных технологий, а также организационные проблемы. Именно вопросы безопасности труда играют одну из ключевых ролей в снижении эффективности строительных проектов. Высокий уровень риска на строительных площадках приводит к увеличению затрат на компенсацию ущерба, вызванного несчастными случаями, а также к потере рабочего времени.

Анализ статистических данных о компенсациях, выплачиваемых в связи с производственными травмами, свидетельствует о том, что, несмотря на общую тенденцию к снижению уровня профессионального риска в различных отраслях экономики, строительная индустрия продолжает характеризоваться аномально высоким уровнем производственного травматизма. Несмотря на наличие нормативно-правовой базы, регулирующей вопросы безопасности в строительстве, на практике наблюдается значительный разрыв между требованиями нормативных документов и реальной ситуацией на строительных площадках.

Одним из ключевых факторов, обуславливающих сохранение высокого уровня производственного травматизма в строительстве, является недостаточная эффективность традиционных методов управления безопасностью. Постоянное использование двумерной графики и бумажных носителей для передачи информации о проекте приводит к затруднениям в координации действий различных участников строительного процесса, так как повышается вероятность возникновения ошибок и недоразумений, а также затрудняется проведение комплексного анализа рисков.

Увеличивающаяся сложность современных инженерных проектов, а также возрастающие требования к безопасности труда требуют применения совершенных инструментов управления проектами. BIM представляет собой перспективную технологию, способную существенно повысить уровень безопасности на строительных площадках. Использование трехмерных цифровых моделей, детально

анализирующих потенциальные опасности, выявляет конфликты между различными элементами проекта и разрабатывает эффективные меры по предотвращению несчастных случаев.

Следовательно, поиск новых подходов к повышению безопасности труда и производительности в строительстве является актуальной задачей. BIM рассматривается как одна из перспективных технологий, способных внести существенный вклад в решение проблемы. BIM создает детальные цифровые модели строительных объектов, которые применяются для проведения анализа рисков, планирования работ и координации действий различных участников строительного процесса. Ведь низкая производительность труда в строительной отрасли является комплексной проблемой, требующей системного решения. Также низкий

уровень безопасности труда в строительной отрасли является следствием ряда объективных и субъективных факторов, влияющих на недостаточную эффективность традиционных методов управления проектами.

Внедрение BIM-технологий в сочетании с другими инновационными подходами является важной технологией на пути к повышению безопасности труда и эффективности строительных процессов. Они открывают новые возможности для повышения безопасности труда и эффективности строительных процессов. Анализ современного состояния внедрения BIM выявляет ряд существенных препятствий, сдерживающих распространение технологии. Несмотря на растущий интерес к BIM со стороны участников строительной отрасли, реализация его потенциала сталкивается с комплексом взаимосвязанных проблем (таблица).

Проблемы и пути решения при внедрении BIM Problems and solutions in the implementation of BIM

Проблема	Описание проблемы	Пути решения
Несовершенство политики, правил и стандартов	Отсутствие единых и четких стандартов BIM, разрозненность нормативной базы, отсутствие четких требований к уровню детализации моделей и форматам обмена данными	Разработка национальных и отраслевых стандартов BIM, создание единой информационной модели, проведение регулярных обновлений нормативной базы с учетом развития технологий
Недостаточный технический персонал BIM	Дефицит специалистов, не имеющих необходимых знаний и навыков в области BIM, а также отсутствие программ обучения и повышения квалификации	Внедрение образовательных программ по BIM в вузах и колледжах, организация курсов повышения квалификации для действующих специалистов, создание центров компетенций по BIM
Разный уровень зрелости применения BIM в компаниях	Неравномерное внедрение BIM в различных организациях строительной отрасли, отсутствие системного подхода к внедрению технологии	Разработка дорожных карт по внедрению BIM для организаций с разным уровнем зрелости, создание центров поддержки пользователей BIM, проведение обучающих семинаров и конференций
Ограниченное применение BIM с добавленной стоимостью	Сосредоточение на создании 3D-моделей без использования дополнительных функциональных возможностей BIM, таких как анализ данных, симуляция процессов и оптимизация проектов	Разработка методик оценки эффективности применения BIM, поощрение использования BIM для решения нестандартных задач, создание примеров успешного применения BIM
Отсутствие изменений в операционных процессах	Сохранение традиционных методов работы, не адаптированных к использованию BIM, отсутствие интеграции BIM-моделей с другими системами управления проектами	Реинжиниринг бизнес-процессов с учетом применения BIM, разработка интегрированных информационных систем, внедрение принципов бережливого производства
Нехватка технического персонала BIM на строительных площадках	Высокая стоимость содержания специалистов по BIM, необходимость постоянного обучения и повышения квалификации	Разработка гибких моделей привлечения специалистов по BIM (аутсорсинг, фриланс), создание виртуальных команд специалистов, использование облачных технологий

Нормативно-правовая база и стандартизация являются одними из ключевых факторов, влияющих на успешность внедрения BIM.

Отсутствие единых и четко сформулированных требований к уровню детализации моделей, форматам обмена данными, а также недостаточная интеграция BIM в существующую нормативную базу создают значительные барьеры для распространения технологии.

Несовершенство нормативной среды приводит к неопределенности в отношении ответственности участников проекта, затрудняет оценку качества BIM-моделей и снижает эффективность их использования.

Дефицит квалифицированных кадров также является серьезным препятствием на пути развития BIM. Недостаток специалистов, которые не имеют знания в области информационного моделирования, затрудняет выполнение проектов с использованием BIM, особенно на крупных и сложных объектах.

Кроме того, отсутствие программ непрерывного обучения и повышения квалификации не дает возможность специалистам адаптироваться к быстро меняющимся технологиям и требованиям рынка. Разный уровень зрелости применения BIM в различных организациях является еще одним важным фактором, сдерживающим развитие отрасли. Многие компании только начинают осваивать BIM-технологии, в то время как другие уже имеют значительный опыт. Отсутствие единого подхода к внедрению BIM приводит к фрагментации рынка и затрудняет обмен опытом между организациями. Ограниченное использование функциональных возможностей BIM также является характерной проблемой. Многие компании ограничиваются созданием трехмерных моделей, не используя весь потенциал BIM для анализа данных, оптимизации процессов и принятия решений из-за недостаточной осведомленности о возможностях BIM, а также отсутствия соответствующих методик и инструментов.

Недостаточная интеграция BIM в бизнес-процессы является одной из серьезных проблем. Внедрение BIM требует не только изменения технологических процессов, но и переосмысления организационной структуры и системы управления проектами. Отсутствие системного подхода к внедрению BIM приводит к тому, что BIM-модели используются изолированно и не оказывают существенного влияния на принятие решений. Для преодоления указанных проблем необходимо комплексное решение:

– разработка и совершенствование нормативно-правовой базы в области BIM, создание единых стандартов и требований;

– организация системного обучения и повышения квалификации специалистов в области BIM;

– создание центров компетенций по BIM для обмена опытом и разработки лучших практик;

– разработка методик оценки эффективности применения BIM и стимулирование использования BIM для решения нестандартных задач;

– реинжиниринг бизнес-процессов с учетом применения BIM;

– создание интегрированных информационных систем для управления проектами с использованием BIM.

Решение проблем, связанных с внедрением BIM, требует комплексного подхода, основанного не только на технологических аспектах, но и организационных, экономических и социальных. Внедрение BIM должно осуществляться постепенно, начиная с небольших пилотных проектов и постепенно расширяя сферу его применения. Важно создать активное сообщество специалистов по BIM для обмена опытом, разработки лучших практик и совместного решения проблем. Успешное внедрение BIM невозможно без поддержки руководства организации. BIM предоставляет уникальные возможности для оптимизации процессов управления строительными проектами на всех стадиях их жизненного цикла, от концептуального проектирования до эксплуатации. Использование BIM-инструментов существенно снизит риски, связанные с ошибками проектирования и строительства, а также минимизирует трудозатраты на устранение дефектов.

Внедрение BIM в строительную отрасль открывает новые перспективы для повышения безопасности и эффективности строительных процессов. Систематическое планирование и развитие компетенций персонала, особенно в области управления проектами, поможет максимально эффективно использовать потенциал BIM. Приоритетным направлением развития является разработка специализированных учебных программ для инженеров BIM, ориентированных на освоение ключевых навыков и компетенций, необходимых для эффективного применения BIM в области управления безопасностью и охраной труда.

Такие программы должны охватывать набор инструментов, а именно:

1. Владение современными программными комплексами BIM, понимание принципов работы программ, таких как Revit, Tekla и др. Умение применять их для создания детальных трехмерных моделей строительных объектов

(архитектурные, конструктивные и инженерные системы).

2. Пространственное мышление и визуализация, способность воспринимать и анализировать информацию, представленную в трехмерном пространстве, а также создавать и интерпретировать визуальные модели строительных объектов.

3. Интеграция BIM-моделей с другими системами (умение интегрировать BIM-модели с другими информационными системами, используемыми в строительстве, для обеспечения эффективного обмена данными и координации работ).

4. Планирование и управление строительными процессами (умение использовать BIM для планирования строительных работ, оптимизации логистики, управления ресурсами и контроля качества).

5. Оценка рисков и безопасности (способность проводить оценку рисков, связанных с безопасностью строительных работ, и разрабатывать меры по их минимизации).

6. Экономическое обоснование проектов (умение использовать BIM для оценки стоимости строительных работ и оптимизации затрат).

Реализация описанных компетенций инженеров с применением технологии BIM эффективно решает следующие задачи:

- проектирование безопасных строительных объектов, создание трехмерных моделей, которые учитывают все аспекты безопасности (эвакуацию, пожаротушение, защиту от падения с высоты и другие опасности);

- оптимизация строительных процессов, разработка детальных планов производства работ, координация действий различных подрядных организаций, контроль соблюдения сроков и бюджета;

- управление рисками, выявление и оценка потенциальных рисков, разработка мер по их предотвращению и минимизации;

- повышение качества коммуникации: улучшение взаимодействия между всеми участниками строительного процесса благодаря использованию единой информационной модели. Внедрение BIM в строительную отрасль повысит уровень безопасности, но и сократит

сроки строительства, а также снизит затраты. Для достижения указанных целей необходимо обеспечить высокий уровень профессиональной подготовки специалистов в области BIM. Таким образом, инвестиции в развитие человеческого капитала в области BIM являются стратегически важным направлением для повышения конкурентоспособности строительной отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

1. Указано, что строительная отрасль активно развивается и внедрение BIM-технологии улучшит производительность труда персонала, усилит технические функции в области безопасности и гигиены труда, уменьшит количество несчастных случаев на производстве и обеспечит безопасность работников. Укрепление профессиональных возможностей персонала является основным направлением развития строительной инженерии.

2. Установлено, что благодаря своей способности интегрировать разнородную информацию о проекте, BIM способствует повышению качества планирования и координации работ, что в свою очередь ведет к сокращению количества переделок и простоев. Кроме того, применение BIM-технологий открывает новые перспективы для обеспечения безопасности труда на строительных площадках с помощью детальных цифровых моделей, создаваемые в рамках BIM-проектирования, для проведения углубленного анализа потенциальных рисков и разработки эффективных мер по их предотвращению.

3. Определено, что внедрение BIM требует не только освоения новых программных продуктов, но и пересмотра существующих бизнес-процессов и развития кадрового потенциала. Систематическое обучение сотрудников навыкам работы с BIM-системами является одним из ключевых факторов успешной реализации проектов с использованием данной технологии. Развитие функциональной структуры организации, связанной с управлением BIM-проектами, обеспечит непрерывное совершенствование процессов и адаптацию к меняющимся требованиям строительного рынка.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ильенкова В.А., Гулиева Р.М., Антипова В.К., Ахмадеев С.А., Недосеева П.А. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования работ (CAD) и систем информационного моделирования зданий (BIM) // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 11. С. 34–37. EDN: XBBNPW.
2. Жданюк А.Ю., Желтухина Д.В., Пергатая С.Н., Бебес А.О., Рослякова М.А. Определение экономической целесообразности возможности использования систем информационного моделирования зданий

- (BIM) для зданий, введенных в эксплуатацию // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2022. № 11. С. 230–233. EDN: CGDKEF.
3. Косаруков М.М., Вашлаев А.Д., Калинина А.П. Эффекты от внедрения технологии информационного моделирования здания (BIM-технологии) // Экономика и предпринимательство. 2024. № 8. С. 929–932. <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.169.8.174>. EDN: PNNMUD.
4. Loyola M., López F. An Evaluation of the Macro-Scale Adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013–2016 // Journal of Construction. 2018. Vol. 17. Iss. 1. P. 158–171. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.1.158>.
5. Alpatov V.Yu., Atamanchuk A.V., Balzannikov M.I. Economic Effectiveness of Traditional Building Materials in Modern Conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698. Iss. 2. P. 1–7. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022055>.
6. Ahmad Z., Thaheem M.J., Maqsoom A. Building Information Modeling as A Risk Transformer: An Evolutionary Insight into The Project Uncertainty // Automation in Construction. 2018. Vol. 92. P. 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.032>.
7. Agirbas A. Teaching Construction Sciences with The Integration of BIM to Undergraduate Architecture Students // Frontiers of Architectural Research. 2020. Vol. 9. Iss. 4. P. 940–950. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.03.007>.
8. Rokooei S. Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2015. Vol. 210. P. 87–95. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>.
9. Lobos Calquin D., Mata R., Correa C., Nuñez E., Bustamante G., Caicedo N. et al. Implementation of Building Information Modeling Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art from a Multi-disciplinary Approach // Buildings. 2024. Vol. 14. Iss. 3. P. 1–32. <https://doi.org/10.3390/buildings14030584>.
10. Mssoud Al-sarafi A.H., Alias A.H., Mohd. Shafri H.Z., Mohd. Jakarni F. Factors Affecting BIM Adoption in The Yemeni Construction Industry: A Structural Equation Modelling Approach // Buildings. 2022. Vol. 12. Iss. 12. P. 1–27. <https://doi.org/10.3390/buildings12122066>.
11. Dowsett R.M., Harty Ch.F. Assessing The Implementation of BIM – An Information Systems Approach // Construction Management and Economics. 2019. Vol. 37. Iss. 10. P. 551–566. <https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1476728>.
12. Takim R., Harris M., Hadi Nawawi A. Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2013. Vol. 101. P. 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>.
13. Mohammed A., Hasnain S.A., Quadir A. Implementation of Building Information Modelling (BIM) Practices and Challenges in Construction Industry in Qatar // Journal of Engineering Research and Reports. 2019. Vol. 9. Iss. 1. P. 1–9. <https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v9i117008>.
14. Tuan Anh Nguyen, Tu Anh Nguyen Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Schedule Management: A Review // Engineering, Technology & Applied Science Research. 2024. Vol. 14. Iss. 2. P. 1–10. <http://doi.org/10.48084/etasr.6834>.
15. Mohammed A.B. Integration Between BIM and Virtual Reality for Enhancing the Building and Occupants During the Operational Phase // Housing Construction. 2020. Iss. 1-2. P. 56–64. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-56-64>. EDN: BIXPLZ.

REFERENCES

1. Ilyenkova V.A., Gulieva R.M., Antipova V.K., Akhmadeev S.A., Nedoseeva P.A. Comparison of CAD and BIM. *Competitiveness in A Global World: Economics, Science, Technology*. 2022;11:34-37. (In Russ.). EDN: XBBNPW.
2. Zhdanyuk A.Yu., Zheltukhina D.V., Pergataya S.N., Bebes A.O., Roslyakova M.A. Determination of The Economic Feasibility of the Possibility of Using Building Information Modeling (BIM) Systems for Buildings Commissioned. *Competitiveness in A Global World: Economics, Science, Technology*. 2022;11:230-233. (In Russ.). EDN: CGDKEF.
3. Kosarukov M.M., Vashlaev A.D., Kalinina A.P. Effects from The Implementation of Building Information Modeling Technology (BIM Technology). *Ekonomika i predprinimatelstvo*. 2024;8:929-932. (In Russ.). <https://doi.org/10.34925/EIP.2024.169.8.174>. EDN: PNNMUD.
4. Loyola M., López F. An Evaluation of the Macro-Scale Adoption of Building Information Modeling in Chile: 2013–2016. *Journal of Construction*. 2018;17(1):158-171. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.1.158>.
5. Alpatov V.Yu., Atamanchuk A.V., Balzannikov M.I. Economic Effectiveness of Traditional Building Materials in Modern Conditions. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;698(2):1-7. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/698/2/022055>.

6. Ahmad Z., Thaheem M.J., Maqsoom A. Building Information Modeling as A Risk Transformer: An Evolutionary Insight into The Project Uncertainty. *Automation in Construction*. 2018;92:103-119. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.032>.
7. Agirbas A. Teaching Construction Sciences with The Integration of BIM to Undergraduate Architecture Students. *Frontiers of Architectural Research*. 2020;9(4):940-950. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2020.03.007>.
8. Rokoei S. Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015;210:87-95. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.332>.
9. Lobos Calquin D., Mata R., Correa C., Nuñez E., Bustamante G., Caicedo N. et al. Implementation of Building Information Modeling Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art from a Multi-disciplinary Approach. *Buildings*. 2024;14(3):1-32. <https://doi.org/10.3390/buildings14030584>.
10. Mssoud Al-sarafi A.H., Alias A.H., Mohd. Shafri H.Z., Mohd. Jakarni F. Factors Affecting BIM Adoption in The Yemeni Construction Industry: A Structural Equation Modelling Approach. *Buildings*. 2022;12(12):1-27. <https://doi.org/10.3390/buildings12122066>.
11. Dowsett R.M., Harty Ch.F. Assessing The Implementation of BIM – An Information Systems Approach. *Construction Management and Economics*. 2019;37(10):551-566. <https://doi.org/10.1080/01446193.2018.1476728>.
12. Takim R., Harris M., Hadi Nawawi A. Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2013;101:23-32. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>.
13. Mohammed A., Hasnain S.A., Quadir A. Implementation of Building Information Modelling (BIM) Practices and Challenges in Construction Industry in Qatar. *Journal of Engineering Research and Reports*. 2019;9(1):1-9. <https://doi.org/10.9734/jerr/2019/v9i117008>.
14. Tuan Anh Nguyen, Tu Anh Nguyen Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Schedule Management: A Review. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2024;14(2):1-10. <http://doi.org/10.48084/etasr.6834>.
15. Mohammed A.B. Integration Between BIM and Virtual Reality for Enhancing the Building and Occupants During the Operational Phase. *Housing Construction*. 2020;1-2:56-64. <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-1-2-56-64>. EDN: BIXPLZ.

Информация об авторах

Пучков Максим Викторович,
доктор архитектуры, доцент,
профессор кафедры архитектуры,
Институт строительства и архитектуры,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Россия,
e-mail: maxpouthkov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1768-1557>
Author ID: 77114

Загруддинов Ильдар Фаритович,
аспирант,
Институт строительства и архитектуры,
Уральский федеральный университет имени
первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Россия,
✉e-mail: zif1977@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-1748-7242>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Information about the authors

Maxim V. Puchkov,
Doctor of Architecture, Associate Professor,
Professor of the Department of Architecture,
Institute of Construction and Architecture,
Ural Federal University named after the first
President of Russia B.N. Yeltsin,
19 Mira St., Yekaterinburg 620062, Russia,
e-mail: maxpouthkov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1768-1557>
Author ID: 77114

Ildar F. Zagrutdinov,
Postgraduate Student,
Institute of Construction and Architecture,
Ural Federal University named after the first Presi-
dent of Russia B.N. Yeltsin,
19 Mira St., Yekaterinburg 620062, Russia,
✉e-mail: zif1977@mail.ru
<https://orcid.org/0009-0009-1748-7242>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and
approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 26.03.2025.
Одобрена после рецензирования 03.04.2025.
Принята к публикации 07.04.2025.

Information about the article

The article was submitted 26.03.2025.
Approved after reviewing 03.04.2025.
Accepted for publication 07.04.2025.