

DOI: 10.15593/2409-5125/2023.03.02

УДК 69.003.13

**С.А. Стельмах, М.А. Альков, Т.О. Кондратенко,
А.Д. Тютин, М.П. Котенко**

Донской государственный технический университет

ОБЗОР И АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА И ПРОБЛЕМАТИКИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Объект исследования. Статья посвящена использованию технологий информационного моделирования зданий для оптимизации проектирования инженерных сетей объектов и архитектуры путем разработки виртуальных BIM-моделей. В настоящее время информационное моделирование зданий традиционно рассматривалось как инструмент для графического представления архитектурных и инженерных проектов. Эта технология стала ключевым инструментом для разработки виртуальных моделей, которые имитируют процесс строительства и облегчают анализ разработанных решений для обнаружения инцидентов, связанных с традиционными двумерными проектами.

Основные результаты. В настоящем исследовании авторами были обозначены основные ключевые аспекты в области архитектуры, строительства и дизайна, которые возможно существенно улучшить путем: внедрения BIM-технологий, например путем автоматизации процессов обнаружения столкновений на этапе проектирования; внесения улучшений в координацию и оптимизацию объектов инженерных систем, связанных с типизацией обнаруженных инцидентов проектирования; экономии времени и сокращения сроков проектирования, снижения затрат, простоты обмена информацией, уменьшения ошибок на этапе проектирования; оценки экологических характеристик различных решений, предложенных в процессе проектирования, интегрирования критериев устойчивого развития, позволяющих эффективно снижать воздействие на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла зданий; повышения качества окружающей среды и комфорта проживания в сельской местности путем оптимизации планирования и дизайна поселений; сокращения персонала при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий; повышения безопасности и травматизма при проведении строительных работ, устранения или минимизации профессиональных рисков, улучшения согласованности между различными этапами оценки риска и отслеживаемости решений; улучшения экологической обстановки и повышения уровня устойчивости в целом; предотвращения стихийных бедствий, а также предоставления пользователям более широких возможностей и предпочтения в эстетической оценке, а также предполагаемой пользы при принятии проектных решений, коммуникации и оценке пространства.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий, интеллектуальное строительство, информационное моделирование зданий, виртуальное моделирование, BIM-моделирование.

Материалы и методы исследования. Информационное моделирование зданий (BIM) традиционно рассматривалось как инструмент для графического представления архитектурных и инженерных проектов. Эта технология стала ключевым инструментом для разработки виртуальных моде-

лей, которые имитируют процесс строительства и облегчают анализ разработанных решений для обнаружения инцидентов, связанных с традиционными двумерными проектами. Эта статья посвящена использованию этой технологии для оптимизации проектирования инженерных систем (МЕР) объектов архитектуры путем разработки виртуальных BIM-моделей.

В исследовании [1] проведен анализ проектов зданий, в которых применялось информационное моделирование для улучшения координации всех задействованных дисциплин с целью изучения возможности использования этой технологии в строительной отрасли. Результатами данного исследования являлось следующее: BIM вносит улучшение в координацию и оптимизацию объектов МЕР, связанные с типизацией обнаруженных инцидентов проектирования. Информационное моделирование позволяет предвидеть конфликты между дисциплинами; облегчать совместное проектирование между различными агентами, обновлять графическую документацию, избегать проблем с выполнением проектов, исключать дополнительные затраты. Все это демонстрирует эффективность применения BIM для улучшения автоматизации обнаружения конфликтных инцидентов в проектах и сокращения сроков процесса проектирования.

Таким образом, из анализа успешных случаев разработки виртуальных BIM-моделей для координации объектов МЕР в сложных строительных проектах мы можем сделать вывод, что эта методология позволяет предвидеть конфликты между различными дисциплинами (архитектурная, инженерная и строительная отрасли), обеспечивает эффективное проектирование.

Однако внедрение методологии BIM в реальных случаях, связанных со строительным сектором, позволяет сделать вывод, что, хотя достигнутые преимущества признаются большинством вовлеченных агентов, существует общее мнение, что этот тип процесса усложняет проектные работы. Вместе с тем предполагается первоначальное продление сроков, несмотря на последующую экономию материальных затрат и времени, связанных с предотвращением конфликтов на этапе строительства. Кроме того, мы укажем в качестве положительных аспектов для включения в разработку проектов такого рода необходимость иметь хорошо проработанный план выполнения BIM и BIM-менеджера, который служит поддержкой для всего процесса.

Новые разработки в программных проектах для строительного сектора являются технологической революцией и предоставляют новые методы проектирования инфраструктуры и моделирования, выделяя BIM. Новая методология работы упрощает управление и планирование проектов, экономя время и минимизируя затраты. Преимущества использования BIM

проявляются в крупных проектах благодаря лучшей обработке больших объемов информации.

Для доказательства этих теорий в исследовании [2] было рассмотрено использование технологии BIM на дизайн-проекте виртуального университетского спортивного павильона, расположенного в Севилье (Испания). Авторы [2] обнаружили следующие преимущества при внедрении BIM в MEP, заключающиеся в экономии времени, снижении затрат, простоте обмена информацией, уменьшении ошибок на этапе проектирования.

BIM представляет оптимальную рабочую среду для выполнения проектов за меньшее время, с большей легкостью и экономией затрат. С точки зрения эстетики это очень мощный инструмент, поскольку позволяет нам работать над 3D-моделью. Мы можем в любое время видеть внешний вид проекта и даже визуальное взаимодействие с внешней средой, которая его окружает. Возможность групповой работы в одной среде позволяет всем типам агентов работать в разных частях проекта, но в одной среде, подразумевая, что все они будут работать по одним и тем же стандартам, и, следовательно, между всеми частями будет оптимальное взаимодействие. Это приводит к экономии времени и даже к оптимизации материалов, которые будут использоваться на месте, и, следовательно, к экономии средств.

Также технологии BIM могут позволить оценить экологические характеристики различных решений, предложенных в процессе проектирования. Одна из ключевых проблем, стоящих перед строительной отраслью, касается требования интегрировать критерии устойчивого развития, которые эффективно снижают воздействие на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла зданий. В этой связи в исследовании [3] устанавливали протокол устойчивых стандартов, определенных методом экологической оценки строительного исследовательского учреждения (BREEAM), с использованием технологии BIM для упрощения интеграции этих показателей на начальных этапах процесса проектирования. Это изыскание фокусируется на тематическом исследовании, связанном с использованием технологии BIM и метода BREEAM. Результаты анализа позволяют нам определить, какие из показателей BREEAM могут быть интегрированы в BIM-среды и оценены в них на начальном этапе процесса проектирования, а также определить экологические улучшения и экономические затраты, связанные с этими показателями. В работе [3] делается вывод о том, что показатели, связанные с геометрическим и пространственным состоянием здания, оказывают наибольшее влияние на повышение устойчивости на начальном этапе проектирования, не требуя значительных экономических вложений. В свою очередь, эти параметры легко оценить с помощью BIM,

сокращая время проектирования по сравнению с использованием традиционных инструментов. Это облегчает их вовлечение на этапе проектирования и позволяет им оказывать реальное влияние на улучшение условий окружающей среды при окончательном строительстве.

Результатами работы [3] являются следующие выводы: исследование устанавливает протокол для стандартов устойчивого развития, который может быть легко интегрирован в разработку виртуальных BIM-моделей на начальном этапе процесса проектирования. Стандарты, приоритетные для протокола, связаны с геометрическим и пространственным определением здания, поскольку именно они оказывают наибольшее влияние на начальной стадии процесса проектирования. Этот протокол направлен на упрощение работы по внедрению устойчивых параметров в здание на этом начальном этапе и не требует дополнительных усилий на уровне затрат, сроков или привлечения специализированного персонала. Фактически работа с этими исходными BIM-моделями сокращает время работы на 30 % по сравнению с традиционными инструментами, экономия времени – на 17 %. Учет этого протокола стандартов поможет проектировщикам получить хорошие результаты при возможной оценке BREEAM после завершения проекта, сократив вложенное рабочее время и затраты, связанные с конкретными мерами по разработке этих стандартов на этапе строительства. Следовательно, проектировщикам рекомендуется включать стандарты устойчивого развития в свои проекты и делать это с использованием методологии BIM, поскольку это является преимуществом с точки зрения сроков по сравнению с традиционными методами, чтобы облегчить его внедрение в строительном секторе и обеспечить ощутимое воздействие на окружающую среду.

Из-за растущей сложности проектирования инженерных систем традиционные способы их реализации стали неэффективными. По сравнению с подходом автоматизированного проектирования (CAD) решение трехмерного (3D) проектирования MEP hanger не получило должного внимания в процессе инженерной практики. В исследовании [4] была разработана система автоматической генерации конструкторской модели магазина MEP hanger (MEP hanger-CDM) для быстрого размещения компонентов hanger, автоматической группировки компонентов hanger и проверки конструктивности компонентов hanger. Авторы статьи [4] провели исследования со строительными компаниями на строительных площадках в Китае и определили четыре основные формы макетов MEP hanger для размещения различных типов макетов MEP.

По полученным результатам авторы [4] сделали следующие выводы, что визуализация проектирования MEP hanger engineering могла бы послужить

ориентиром для последующих строительных операций и технического обслуживания. Практические результаты тематического исследования указывают на сокращение численности рабочей силы на 70 %; между тем рабочее время было сокращено на 85,9 %. Качество работы по проектированию строительной модели MEP hanger можно улучшить, используя результаты этого исследования. Скорость, точность и удобство создания, проверки и модификации работы MEP hanger могут быть достигнуты. По мере улучшения качества проектных работ становится возможным формировать суждения о предметах непосредственно на основе точных 3D-моделей, а не на основе опыта. Таким образом, проверки могут быть выполнены заранее, чтобы улучшить конструктивность и качество MEP hanger. В то же время можно продвигать информационный дизайн, который обеспечивает потенциальную ценность для применения технологии BIM в Китае.

Также, кроме внедрения BIM в проектирование зданий, его можно ввести в проектирование мостов. Мосты представляют собой геометрически сложную инфраструктуру, и их конструкции обычно демонстрируют значительные геометрические различия между разными конструктивными решениями. Сложность моделирования подразумевает низкую степень повторного использования модели в сопоставимых проектах. Более того, с развитием новых технологий и способов проектирования архитектурная, инженерная и строительная отрасли (АЕС) часто требуют снижения вычислительных затрат, сокращения времени на разработку моделей и анализ, а также практически нулевых потерь материалов в условиях чрезвычайной экологической ситуации. В исследовании [5] авторы предложили генеративный подход для улучшения процесса проектирования мостов. Повышение эффективности достигается за счет сокращения вычислительных затрат и усилий по моделированию решения вышеупомянутых задач.

Авторы [5] создали параметрическую модель, которая для составных мостов реализована с помощью дополнения Grasshopper (визуальный язык программирования и среда) для Rhinoceros software при подключении гибкой генеративной модели, готовой к анализу в Tekla Structures. Оценка обратной связи конструкции проводится с помощью Karamba 3D© (FEA). Последний этап рабочего процесса выполняется путем применения Galapagos©, эволюционного решателя в среде Grasshopper, введенного в определение сценария для поиска оптимального решения. Такое действие демонстрирует множество преимуществ по сравнению с традиционными несовместимыми рабочими процессами, касающимися вычислительных затрат и ресурсосберегающего проектирования и анализа. Набор данных модели позволяет создавать множество конструкций составных мостов путем изменения значений парамет-

ров. Таким образом, гибкость модели значительно увеличивает возможность генерации различных конфигураций и анализа в соответствии с поставленной целью. Результаты, полученные авторами [5], следующие: настоящий рабочий процесс представляет собой готовый к использованию скрипт, который позволяет ускорить процесс проектирования, добиться свободы в эффективном проектировании сложных композитных мостов и оптимизировать расход материалов и относительные затраты.

Авторы [6] в исследовании рассмотрели пример структурного проектирования с использованием Revit в качестве программного обеспечения для моделирования и Robot в качестве структурной системы. В исследовании оценивался потенциал взаимодействия между двумя системами, выявлялась возможность обмена информацией, совместной работы, интеграции и интероперабельности. Полученные результаты [6] показывают, что основные преимущества сосредоточены в основном на аспектах, связанных с правильной функциональностью, скоростью и простотой выполнения некоторых процессов. Внедрение 3D / BIM моделирования по сравнению с традиционными методами позволяет автоматически применять любые изменения в проекте ко всем планам и сечениям. Предлагаемый подход в [6] позволяет легко и быстро создавать технические чертежи структурного проекта и возможность сохранения всех измерений и семейств элементов для повторного использования в будущих проектах, сохраняя общие элементы между проектами.

Передача информации в направлении Robot / Revit все еще имеет несколько недостатков. В некоторых случаях частичная передача информации не была успешно достигнута, и в Robot могут быть определены несколько типов нагрузок, не поддерживаемых Revit, таких как треугольные нагрузки, которые действуют на подпорные стены. Robot по-прежнему не позволяет, согласно еврокодам, пользователю рассчитывать усиление элементов стен. Невозможно перенести армирование плит из Robot в Revit. Перенос в программное обеспечение моделирования усиления изолированных фундаментов выполняется только в том случае, если его геометрия предварительно определена в Revit, а перенос усиления фундаментов стен с Robot на Revit невозможен. Возможность двунаправленной передачи информации между программами позволяет вносить изменения в проект только в одной из программ, избегая выполнения одной и той же задачи дважды [6]. В этом смысле перенос BIM-модели из Revit в Robot очень надежен. В Robot автоматический расчет и детализация арматуры в соответствии с еврокодами показали очень удовлетворительные результаты.

Цифровизация в строительном секторе является потребностью современного мира. Цифровая трансформация в строительном секторе улучшает не только инфраструктуру, но и качество жизни. Цифровые технологии широко используются в строительстве. Влияние внедрения цифровых технологий на преобразования в строительной отрасли, однако, еще до конца не изучено. Обзор в исследовании [7] показал, что основными целевыми областями в строительном секторе, базирующимися на цифровой трансформации, являются интеллектуальное строительство, оптимизация энергопотребления, устойчивая окружающая среда, беспроводные технологии. Также следует отметить возрастающую роль BIM и сборного строительства в архитектуре. Внедрение цифровых технологий во многих областях улучшило качество жизни. Это увеличивает производство и имеет потенциал для более эффективной автоматизации отрасли. На основе проведенного обзора авторами [7] было установлено, что со временем строительные организации в значительной степени внедрили методы оцифровки в свои строительные проекты, что повлияло на качество жизни и повысило социальную устойчивость. BIM был признан одним из наиболее ключевых результатов строительных проектов, где заинтересованные стороны полагаются на него, чтобы завершить свой проект гораздо быстрее и плавнее.

Новые технологии, такие как информационное моделирование зданий инфраструктуры (I-BIM), радикально меняют сектор проектирования инфраструктуры и строительства. В исследовании [8] авторы применили подход I-BIM для проектирования части будущей Красной трамвайной линии Болоньи. Начиная с топографической съемки района была создана «федеративная» модель, объединяющая в единой цифровой среде все модели, присущие отдельным задействованным дисциплинам. Авторы выполнили анализ пересечений между различными параметрами системы при условии подготовки матрицы координации и временного моделирования этапов строительства. Методология I-BIM зарекомендовала себя как инструмент с огромным потенциалом для оптимизации и упрощения проектирования инфраструктуры. В статье [8] была создана многомерная параметрическая модель трамвая. На ее основе произвели анализ управления моделью, оптимизируя время и экономические ресурсы. Для эффективного управления моделью и предоставления ряда данных требуется правильная их организация. Этот процесс позволил не только параметризовать объекты, но и оптимизировать процессы управления мультидисциплинарной моделью.

Однако авторами [8] были выявлены некоторые недостатки, которые возникли в результате некоторых трудностей, особенно в отношении 3D-моделирования и использования открытых форматов обмена. Один

из наиболее обсуждаемых недостатков в мире BIM, также обнаруженный в представленном тематическом исследовании, связан с недостаточной зрелостью открытых форматов, таких как Industry Foundation Classes (IFC), для обмена так называемыми «горизонтальными» объектами. Фактически для этих объектов было необходимо извлечь твердые тела для экспорта инфраструктурной модели, теряя информацию, относящуюся к планировке и профилю высоты.

В данном случае используемая методология I-BIM благодаря сочетанию программного обеспечения для трехмерного моделирования (такого как Civil 3D и Revit) и программного обеспечения для управления моделями (такого как Navisworks Manage) считается допустимым методом проектирования на любом уровне (предварительном, окончательном или исполнительном).

BIM открыло множество возможностей для строительной отрасли. Авторы статьи [9] провели исследование реальных проектов, которые могли бы использовать BIM на этапах проектирования железнодорожного строительства. Авторы изучают возможные преимущества и недостатки в реализации BIM. Для этого они выбрали три проекта, в которых использовалась реализация BIM в процессе проектирования, и три других проекта с традиционно разработанной рабочей средой, отличной от BIM. Проекты аналогичного масштаба были тщательно отобраны, и их различия в затратах, человеко-часах и рабочей силе были проанализированы количественно.

Из результатов анализа исследования [9] следует, что BIM может обеспечить определенные преимущества в процессе проектирования. Средние результаты показывают, что проекты, внедрившие BIM, потратили примерно на 65 800 долл. США меньше, чем их аналоги, увеличив производительность примерно на 2,9 %. Известно, что фирмы, использующие BIM, инвестировали больше в аппаратное и программное обеспечение. Кроме того, учебные ресурсы BIM были обязательны для более эффективной рабочей среды. По этим причинам первоначальные затраты на BIM-проекты были выше, но окончательный анализ показал более низкие затраты, меньшее количество требуемых рабочих рук и меньше человеко-часов, чем в традиционной рабочей среде. Таким образом, применение BIM для этих выбранных фирм позволило в конечном итоге окупить дополнительные расходы.

Последняя промышленная революция значительно повысила производительность за счет технологических достижений. Концепция устойчивого развития охватывает все производственные и эксплуатационные процессы в архитектурной, инженерной и строительной отрасли. В работе [10] авторами исследуется литература по устойчивому развитию с ис-

пользованием технологий планирования ресурсов предприятия (ERP) и информационного моделирования зданий (BIM) в индустрии АЕС и концепции устойчивого развития для их интеграции. Различные типы реализаций ERP и BIM имеют сходство в решении широкого спектра функциональных возможностей. Появление и распространение ERP и BIM внесли решающие изменения в бизнес-среду. Дальнейший переход к облачным операциям превращает компании из технологических в интеллектуальные, ориентированные на принятие решений, основанных на цифровых данных. В описательном обзоре литературы исследуются идеи устойчивого развития в решениях ERP и BIM, представляя современное состояние вопросов системной интеграции. Собрана соответствующая литература, которая была качественно проанализирована для создания основы дальнейших исследований. Результаты исследования [10] следующие: исследовательский проект принесет пользу строительным компаниям с точки зрения устойчивого развития, поскольку внедрение BIM в строительные проекты, интеграция BIM с существующими ERP-системами на данном этапе может стать движущей силой долгосрочных целей устойчивого развития. В дополнение к оптимизации жизненного цикла строительного проекта интеграция ERP и BIM может способствовать созданию видения изменений в отрасли. Разработчик повышает доступность программного обеспечения и гибкость в удовлетворении потребностей клиентов, делая его более конкретным и позволяя создавать индивидуальные конфигурации.

Благодаря анализу полученных результатов [11] можно сделать вывод, что возможности BIM могут принести свои преимущества при проектировании и планировании сельских поселений благодаря следующим характеристикам: управление знаниями, имитация и моделирование.

Большое количество несчастных случаев в строительном секторе делает концепцию предотвращения их посредством проектирования (PtD) все более важной. С этой целью BIM представляет собой методологию, которая обеспечивает преимущества, связанные с безопасностью на этапе проектирования. В исследовании [12] предлагается методология интеграции оценки рисков на этапе проектирования дорожных проектов BIM, структурирования информации, установления процессов интеграции информации, ее анализа и управления рисками, а также автоматизации ее интеграции в модель через зоны.

Исследование, проведенное в статье [12], показывает, что предлагаемая методология позволяет интегрировать оценку риска в виртуальную строительную модель на этапе проектирования дорожного проекта, разра-

ботанного с использованием методологии BIM. Это позволяет устранить или минимизировать профессиональные риски, улучшить согласованность между различными этапами оценки риска и отслеживаемость решений.

Методология позволяет изучать помехи между работами в соответствии с планом проекта, выполняя оценку рисков 4D, которая дает возможность учитывать управление профессиональными рисками и их эволюцию на разных этапах планирования дорожных работ. Гибкость вводимой информации способствует тому, что предлагаемая методология может быть применена в различных топографических условиях и в любой стране, с единственным необходимым учетом конкретных требований этих правил для оценки рисков или для создания объектов BIM. Предлагаемая структура данных позволяет создавать экспорт в открытом формате (IFC) со структурированной информацией, которая облегчает взаимодействие всех агентов, участвующих в среде совместной работы, с целью принятия решений.

BIM с помощью цифрового представления произвело революцию в архитектурной, инженерной и строительной индустрии. Внедрение BIM в индустрии АЕС заметно возросло за последнее десятилетие. В исследовании [13] обсуждается не только роль BIM для облегчения процесса его внедрения, но и роль, связанная с методами реализации проекта. Данное исследование разрабатывает матрицу ролей и обязанностей BIM в контексте проектов «проектирование – заявка – сборка» (DBB). Для получения результатов исследования авторы [13] провели всесторонний обзор литературы, за которым последовал опросный лист, включающий 105 ответов. Результаты проанализированы для формулирования матрицы BIM-R & R, по которой было получено экспертное мнение от экспертов BIM. Предлагаемая матрица BIM-R & R описывает все роли и соответствующие им обязанности, требуемые на этапах жизненного цикла проектов DBB. Включение ролей BIM в процесс закупок DBB поможет в эффективном управлении всей информацией и данными, которые могут быть потеряны из-за фрагментированного характера DBB. Роли BIM с улучшенной коммуникацией и координацией также помогут сократить время и перерасход средств при сохранении высококачественного продукта. Результаты опроса [13] помогают выбрать подходящие роли BIM для определенных задач. Ролями BIM, определенными в ходе этого исследования, являются BIM manager (проектирование), BIM manager (строительство), BIM coordinator (проектирование), BIM coordinator (строительство), информационный менеджер (проектирование), информационный менеджер (строительство), менеджер моделей и BIM modeler. Исследование [13] пытается повысить

статус внедрения BIM в развивающихся странах, предоставляя определение и матрицу для распределения задач различным экспертам BIM и ролей в проектах DBB. Это поможет соответствующим руководителям строительства и проектов распределять задачи, обязанности и ответственность между профессионалами BIM и достигать большего удовлетворения заинтересованных сторон с помощью прозрачных, более четких и четко определенных механизмов обмена информацией.

Результаты и их обсуждение. В последние годы строительство плотин стало более сложным, требующим эффективного метода управления проектами. BIM влияет на то, как планируются, проектируются, выполняются и эксплуатируются строительные проекты. Таким образом, сокращение времени выполнения, затрат и рисков при одновременном повышении качества являются основными целями организаций. В статье [14] время и стоимость проекта были получены с помощью процесса BIM. Впоследствии оптимизация между компонентами пирамиды выживания (время, стоимость, качество и риск) в строительных проектах была завершена на примере водохранилища Гочам в пяти различных режимах. С этой целью были использованы пять различных алгоритмов оптимизации. Результаты исследования получены от всех упомянутых алгоритмов в пяти сценариях на основе количества вычислений функции (Nfe), стандартного отклонения (SD), времени вычисления (CT) и наилучшей стоимости (BC). Согласно полученным результатам исследования [14], возможно оперировать управлением проектами путем планирования, направления и управления ресурсами для достижения конкретных целей в других проектах развития с учетом времени, стоимости, качества и показателей риска. Это исследование было сосредоточено на роли BIM и различных алгоритмов в управлении строительством плотины. Следовательно, пять различных алгоритмов были реализованы в MATLAB для оптимизации времени, стоимости, качества и риска проекта строительства плотины. В качестве примера была выбрана плотина Гочам в Иране. Наконец, был проанализирован компромисс TCQR. Согласно результатам, очевидно, что процесс внедрения BIM может сократить время и стоимость проектов строительства плотин.

Кроме того, проектная группа и подрядчики могут использовать BIM-процесс для достижения желаемого оптимального качества в своих проектах плотин. Согласно выводам, в процессе внедрения BIM в управлении строительством плотины Гочам произошло сокращение затрат на 7,4 и времени на 39,1 %. Использование алгоритма оптимизации GA (генетические алгоритмы) сокращает приблизительно на 42,5 и 65 % время

выполнения проекта по сравнению с BIM-процессом и фактическим временем выполнения проекта соответственно. Наилучшие показатели по снижению затрат проекта были у алгоритмов GA. Это был единственный алгоритм, который показал наилучшие результаты в третьем сценарии (качество), рассчитав индекс качества 97,89 %. В компромиссе «время – стоимость – качество – риск» только алгоритм GA быстро сходил к оптимальному значению на первых итерациях, в то время как скорость сходимости других алгоритмов была медленнее.

С технологическим развитием и промышленными преобразованиями индустрия архитектуры, инжиниринга и строительства перешла от традиционного режима проектирования на основе чертежей к цифровому и компьютерному режиму. В последние годы применение технологий расширенной реальности (XR), включая виртуальную реальность (VR), дополненную реальность (AR) и технологию смешанной реальности (MR), подчеркивает взаимное переплетение между реальностью и виртуальностью, привлекая прорывные разработки в архитектурные проекты. В исследовании [15] предлагается новый режим процесса проектирования – система XR на основе BIM сравнивается с традиционным режимом процесса проектирования посредством реального проекта дизайна стадиона. Для сравнения различий между двумя режимами используются три точки зрения оценки, включая эстетику, отслеживание взгляда и оценку воспринимаемой полезности.

Результат, полученный авторами [15], показал, что использование системы XR на основе BIM может предоставить пользователям более широкие возможности и предпочтения в эстетической оценке, а также предполагаемую пользу при принятии проектных решений, коммуникации и оценке пространства. Результат исследования также показал, что система XR на основе BIM может реализовать процесс проектирования более эффективно. Ожидается, что технологии XR и BIM могут быть эффективно интегрированы для повышения целостности промышленных приложений и установления нового режима совместной разработки для индустрии АЕС.

Традиционная коммуникация при проектировании не может обеспечить точность обмена информацией между различными участниками проекта, что приводит ко многим неэффективным ситуациям общения и влияет на выполнение проекта. Результаты этого исследования показали, что система XR на основе BIM может не только улучшить эстетическую оценку пользователей, эффект погружения и эффективность проектных схем. При ее использовании заказчики также высоко оценили положительные характеристики системы. Что еще более важно, это может уменьшить когнитив-

ные различия между заинтересованными сторонами проекта и улучшить восприятие пространства и эффективность коммуникации.

С точки зрения ограничений исследования [15] по-прежнему сложно всесторонне охватить многие детали дизайна, методы строительства, формы зданий, трубопроводы оборудования и выбор материалов для сложных и крупномасштабных проектов. Поэтому в будущем предлагается использовать цифровой дизайн и технологию погружения на разных этапах проектирования, а концепция BIM будет интегрирована для полной и всесторонней помощи в принятии решений. В будущем предлагается комбинировать систему XR на основе BIM с различными инструментами физиологических измерений на стадии проектирования, чтобы анализировать их показатели в различных пространственных условиях.

Выводы. Таким образом, авторы исследований обозначили некоторые ключевые аспекты в области архитектуры, строительства и дизайна, которые можно существенно улучшить путем внедрения BIM-технологии:

- автоматизация процессов обнаружения столкновений (конфликтов) на этапе проектирования;
- внесение улучшений в координацию и оптимизацию объектов MEP, связанных с типизацией обнаруженных инцидентов проектирования;
- экономия времени и сокращение сроков проектирования, снижение затрат, простота обмена информацией, уменьшение ошибок на этапе проектирования;
- оценка экологических характеристик различных решений, предложенных в процессе проектирования, интегрирование критериев устойчивого развития, позволяющих эффективно снижать воздействие на окружающую среду на протяжении всего жизненного цикла зданий;
- повышение качества окружающей среды и комфорта проживания в сельской местности путем оптимизации планирования и дизайна поселений.
- сокращение персонала при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий;
- повышение безопасности и травматизма при проведении строительных работ, устранение или минимизация профессиональных рисков, улучшение согласованности между различными этапами оценки риска и отслеживаемость решений;
- улучшение экологической обстановки и повышение уровня устойчивости в целом; предотвращение стихийных бедствий;
- предоставление пользователям более широких возможностей и предпочтения в эстетической оценке, а также предполагаемая польза при принятии проектных решений, коммуникация и оценка пространства.

Библиографический список

1. Juan Francisco Fernández Rodríguez. Implementation of BIM Virtual Models in Industry for the Graphical Coordination of Engineering and Architecture Projects // *Buildings*. – 2023. – Vol. 13, iss. 3. DOI: 10.3390/buildings13030743
2. Juan Nuñez Muñoz, Francisco Villena Manzanares, Marta Marçal Gonçalves. BIM Approach to Modeling a Sports Pavilion for University Use // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10, iss. 24. DOI: 10.3390/app10248895
3. Juan Francisco Fernández Rodríguez. Sustainable Design Protocol in BIM Environments: Case Study of 3D Virtual Models of a Building in Seville (Spain) Based on BREEAM Method // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15, iss. 7. DOI: 10.3390/su15075787
4. Automatic Generation Construction Shop Design Model of the MEP Hanger Based on BIM / Jinxin Hu, Quanxi Bao, Tuanjie Zhou, Kun Li, Liang Shang, Jicang Zhang, Xuehai Fu // *Buildings*. – 2023. – Vol. 13, iss. 4. DOI: 10.3390/buildings13040867
5. Algorithm-Aided Design for Composite Bridges / Valentina Boretti, Laura Sardone, Luis Alberto Bohórquez Graterón, Davide Masera, Giuseppe Carlo Marano, Marco Domaneschi // *Buildings*. – 2023. – Vol. 13, iss. 4. DOI: 10.3390/buildings13040865
6. BIM Methodology in Structural Design: A Practical Case of Collaboration, Coordination, and Integration / Alcinea Zita Sampaio, Paulo Sequeira, Augusto M. Gomes, Alberto Sanchez-Lite // *Buildings*. – 2022. – Vol. 13, iss. 1. DOI: 10.3390/buildings13010031
7. A Systematic Review on Enhancement in Quality of Life through Digitalization in the Construction Industry / Muhammad Ali Musarat, Alishba Sadiq, Wesam Salah Alaloul, Mohamed Mubarak Abdul Wahab // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 15, iss. 1. DOI: 10.3390/su15010202
8. Building Information Modeling (BIM) Application for a Section of Bologna's Red Tramway Line / Ennia Mariapaola Acerra, Gian Franco Daniel Busquet, Marco Parente, Margherita Marinelli, Valeria Vignali, Andrea Simone // *Infrastructures*. – 2022. – Vol. 7, iss. 12. DOI: 10.3390/infrastructures7120168
9. Min-Ho Shin, Ji-Hyun Jung, Hwan-Yong Kim. Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12, iss. 9. DOI: 10.3390/buildings12091476
10. Sustainable Construction through Resource Planning Systems Incorporation into Building Information Modelling / Tokzhan Junussova, Abid Nadeem, Jong R. Kim, Salman Azhar, Malik Khalfan, Mukesh Kashyap // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12, iss. 10. DOI: 10.3390/buildings12101761
11. Building Information Modelling (BIM) Capabilities in the Design and Planning of Rural Settlements in China: A Systematic Review / Yu Cao, Liyan Huang, Nur Mardhiyah Aziz, Syahrul Nizam Kamaruzzaman // *Land*. – 2022. – Vol. 11, iss. 10. DOI: 10.3390/land11101861
12. Proposal for the Integration of Health and Safety into the Design of Road Projects with BIM / Darío Collado-Mariscal, Juan Pedro Cortés-Pérez, Alfonso Cortés-Pérez, Antonia Cuevas-Murillo // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12, iss. 10. DOI: 10.3390/buildings12101753
13. BIM Roles and Responsibilities in Developing Countries: A Dedicated Matrix for Design-Bid-Build Projects / Um E Hani Habib, Abdur Rehman Nasir, Fahim Ullah, Siddra Qayyum, Muhammad Jamaluddin Thaheem // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12, iss. 10. DOI: 10.3390/buildings12101752
14. Application of Classic and Novel Metaheuristic Algorithms in a BIM-Based Resource Tradeoff in Dam Projects / Milad Baghalzadeh Shishehgarkhaneh, Sina Fard Moradinia, Afram Keivani, Mahdi Azizi // *Smart Cities*. – 2022. – Vol. 5, iss. 4. DOI: 10.3390/smartcities5040074
15. Hao-Yun Chi, Yi-Kai Juan, Shiliang Lu. Comparing BIM-Based XR and Traditional Design Process from Three Perspectives: Aesthetics, Gaze Tracking, and Perceived Usefulness // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12, iss. 10. DOI: 10.3390/buildings12101728

References

1. Implementation of BIM Virtual Models in Industry for the Graphical Coordination of Engineering and Architecture Projects / Juan Francisco Fernández Rodríguez // *Buildings*. – 2023. – Vol. 13. – Iss. 3. DOI: org/10.3390/buildings13030743.
2. BIM Approach to Modeling a Sports Pavilion for University Use / Juan Nuñez Muñoz, Francisco Villena Manzanares, Marta Marçal Gonçalves // *Applied Sciences*. – 2020. – Vol. 10. – Iss. 24. DOI: org/10.3390/app10248895.

3. Sustainable Design Protocol in BIM Environments: Case Study of 3D Virtual Models of a Building in Seville (Spain) Based on BREEAM Method / Juan Francisco Fernández Rodríguez // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – Iss. 7. DOI: [org/10.3390/su15075787](https://doi.org/10.3390/su15075787).
4. Automatic Generation Construction Shop Design Model of the MEP Hanger Based on BIM / Jinxin Hu, Quanxi Bao, Tuanjie Zhou, Kun Li, Liang Shang, Jicang Zhang, Xuehai Fu // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – Iss. 4. DOI: [org/10.3390/buildings13040867](https://doi.org/10.3390/buildings13040867).
5. Algorithm-Aided Design for Composite Bridges/ Valentina Boretti, Laura Sardone, Luis Alberto Bohórquez Graterón, Davide Masera, Giuseppe Carlo Marano, Marco Domaneschi // Buildings. – 2023. – Vol. 13. – Iss. 4. DOI: [org/10.3390/buildings13040865](https://doi.org/10.3390/buildings13040865).
6. BIM Methodology in Structural Design: A Practical Case of Collaboration, Coordination, and Integration / Alcinea Zita Sampaio, Paulo Sequeira, Augusto M. Gomes, Alberto Sanchez-Lite // Buildings. – 2022. – Vol. 13. – Iss. 1. DOI: [org/10.3390/buildings13010031](https://doi.org/10.3390/buildings13010031).
7. A Systematic Review on Enhancement in Quality of Life through Digitalization in the Construction Industry / Muhammad Ali Musarat, Alishba Sadiq, Wesam Salah Alaloul, Mohamed Mubarak Abdul Wahab // Sustainability. – 2022. – Vol. 15. – Iss. 1. DOI: [org/10.3390/su15010202](https://doi.org/10.3390/su15010202).
8. Building Information Modeling (BIM) Application for a Section of Bologna's Red Tramway Line / Ennia Mariapaola Acerra, Gian Franco Daniel Busquet, Marco Parente, Margherita Marinelli, Valeria Vignali, Andrea Simone // Infrastructures. – 2022. – Vol. 7. – Iss. 12. DOI: [org/10.3390/infrastructures7120168](https://doi.org/10.3390/infrastructures7120168).
9. Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process / Min-Ho Shin, Ji-Hyun Jung, Hwan-Yong Kim // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – Iss. 9. DOI: [org/10.3390/buildings12091476](https://doi.org/10.3390/buildings12091476).
10. Sustainable Construction through Resource Planning Systems Incorporation into Building Information Modelling / Tokzhan Junussova, Abid Nadeem, Jong R. Kim, Salman Azhar, Malik Khalfan, Mukesh Kashyap // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – Iss. 10. DOI: [org/10.3390/buildings12101761](https://doi.org/10.3390/buildings12101761).
11. Building Information Modelling (BIM) Capabilities in the Design and Planning of Rural Settlements in China: A Systematic Review / Yu Cao, Liyan Huang, Nur Mardhiyah Aziz, Syahrul Nizam Kamaruzzaman // Land. – 2022. – Vol. 11. – Iss. 10. DOI: [org/10.3390/land11101861](https://doi.org/10.3390/land11101861).
12. Proposal for the Integration of Health and Safety into the Design of Road Projects with BIM / Darío Collado-Mariscal, Juan Pedro Cortés-Pérez, Alfonso Cortés-Pérez, Antonia Cuevas-Murillo // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – Iss. 10. DOI: [org/10.3390/buildings12101753](https://doi.org/10.3390/buildings12101753).
13. BIM Roles and Responsibilities in Developing Countries: A Dedicated Matrix for Design-Bid-Build Projects / Um E Hani Habib, Abdur Rehman Nasir, Fahim Ullah, Siddra Qayyum, Muhammad Jamaluddin Thaheem // Buildings – 2022. – Vol. 12. – Iss. 10. DOI: [org/10.3390/buildings12101752](https://doi.org/10.3390/buildings12101752).
14. Application of Classic and Novel Metaheuristic Algorithms in a BIM-Based Resource Tradeoff in Dam Projects / Milad Baghalzadeh Shishehgarkhaneh, Sina Fard Moradina, Afram Keivani, Mahdi Azizi // Smart Cities. – 2022. – Vol. 5. – Iss. 4. DOI: [org/10.3390/smartcities5040074](https://doi.org/10.3390/smartcities5040074).
15. Comparing BIM-Based XR and Traditional Design Process from Three Perspectives: Aesthetics, Gaze Tracking, and Perceived Usefulness / Hao-Yun Chi, Yi-Kai Juan, Shiliang Lu // Buildings. – 2022. – Vol. 12. – Iss. 10. DOI: [org/10.3390/buildings12101728](https://doi.org/10.3390/buildings12101728).

S. Stel'makh, M. Al'kov, T. Kondratenko, A. Tyutina, M. Kotenko

REVIEW AND ANALYSIS OF WORLD EXPERIENCE AND PROBLEMS OF INFORMATION MODELING AT THE DESIGN STAGE

The object of the study. The article is devoted to the use of BIM technologies to optimize the design of engineering networks of objects and architecture by developing virtual BIM models. Currently, building information modeling has traditionally been considered as a tool for graphical representation of architectural and engineering projects. This technology has become a key tool for developing virtual models that simulate the construction process and facilitate the analysis of developed solutions for detecting incidents related to traditional two-dimensional projects.

The main results. In this study, the authors identified the main key aspects in the field of construction architecture and design that can be significantly improved by: introducing BIM technology, for example, by automating collision detection processes at the design stage; making improvements in the coordination and optimization of MEP objects related to the typification of detected design incidents; saving time and reducing design time, reducing costs, ease of information exchange, reduction of errors at the design stage; assessment of the environmental characteristics of various solutions proposed in the design process, integration of sustainable development criteria that effectively reduce the impact on the environment throughout the life cycle of buildings; improving the quality of the environment and the comfort of living in rural areas by optimizing the planning and design of settlements; reduction of personnel in the design, construction and operation of buildings; improving safety and injury during construction work, eliminating or minimizing occupational risks, improving consistency between different stages of risk assessment and traceability of decisions; improving the environmental situation and increasing the level of sustainability in general; preventing natural disasters, as well as providing users with greater opportunities and preferences in aesthetic assessment, as well as the intended benefits when making design decisions solutions, communication and space assessment.

Keywords: building information modeling, intelligent construction, building information modeling, virtual modeling, BIM modeling.

Стельмах Сергей Анатольевич (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Строительство уникальных зданий и сооружений», Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, 344003, пл. Гагарина, 1, e-mail: sergej.stelmax@mail.ru).

Альков Марат Анварович (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – доцент кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений», Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, 344003, пл. Гагарина, 1, e-mail: alkov.m@mail.ru).

Кондратенко Татьяна Олеговна (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – доцент кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений», Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, 344003, пл. Гагарина, 1, e-mail: tatkondr@rambler.ru).

Тютинина Анастасия Дмитриевна (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – аспирант кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений», Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, 344003, пл. Гагарина, 1, e-mail: tyutinka198@gmail.com).

Котенко Мария Павловна (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – студент кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений», Донской государственной технической университет (Ростов-на-Дону, 344003, пл. Гагарина, 1, e-mail: maria.kotencko2016@yandex.ru).

Sergei Stel'makh (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Acting Head of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344003, Rostov-on-Don, e-mail: sergej.stelmax@mail.ru).

Marat Al'kov (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Associate Professor of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344003, Rostov-on-Don, e-mail: alkov.m@mail.ru).

Tat'yana Kondratenko (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Associate Professor of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344003, Rostov-on-Don, e-mail: tatkondr@rambler.ru).

Anastasiya Tyutina (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Postgraduate Student of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344003, Rostov-on-Don, e-mail: tyutinka198@gmail.com).

Mariya Kotenko (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Student of the Department of Construction of Unique Buildings and Structures, Don State Technical University (1, Gagarin Square, 344003, Rostov-on-Don, e-mail: maria.kotencko2016@yandex.ru).

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Вклад авторов равноценен.

Поступила: 10.07.2023

Одобрена: 03.10.2023

Принята к публикации: 27.10.2023

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Обзор и анализ мирового опыта и проблематики информационного моделирования на этапе проектирования / С.А. Стельмах, М.А. Альков, Т.О. Кондратенко, А.Д. Тютина, М.П. Котенко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2023. – № 3. – С. 28–44. DOI: 10.15593/2409-5125/2023.03.02

Please cite this article in English as: Stel'makh S., Al'kov M., Kondratenko T., Tyutina A., Kotenko M. Review and analysis of world experience and problems of information modeling at the design stage. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2023, no. 3, pp. 28-44. DOI: 10.15593/2409-5125/2023.03.02