

Некоторые вопросы повышения конкурентоспособности и зрелости инфраструктурных проектов с использованием технологий информационного моделирования

М.А. Шахраманьян, В.П. Куприяновский

Аннотация—Цифровизация процесса проектирования в строительстве, цифровизация строительства вообще и переход к поддержке всего жизненного цикла строительных объектов явным и очевидным образом меняют устоявшиеся процессы. Но также очевидным является и вопрос об оценке этих изменений. Именно количественным оценкам цифровизации строительства и посвящена данная статья. Принятие и внедрение информационного моделирования зданий (BIM) в качестве технологий и процессов в отрасли архитектуры, проектирования и строительства ознаменовало собой значительный шаг вперед в продвинутой цифровой трансформации в сторону экономических и иных преимуществ. При этом стоит отметить, что технологии BIM не могут рассматриваться как нечто заданное раз и навсегда. Они постоянно находятся в развитии, которое, как правило, только увеличивает преимущества их применения. Одной из отличительных особенностей строительной отрасли является то, что она требует совместных усилий нескольких участников из разных областей для эффективной реализации строительных проектов. Ключевую роль в этом играет применение BIM. При этом следует отметить, что основные преимущества использования BIM-технологий с точки зрения экономических затрат дадут наибольший экономический эффект после завершения инвестиционной стадии инфраструктурных проектов и перехода к стадии эксплуатации. Это связано с тем, что в жизненном цикле объекта капитального строительства, стадия эксплуатации объекта является наиболее продолжительной, а потому именно на этой стадии может быть достигнут наибольший экономический эффект за счет использования BIM-технологий. Важное обстоятельство использования BIM - технологий на этапе эксплуатации связано с управлением активами.

Ключевые слова— BIM, TИM, цифровая стройка.

Статья получена 15 августа 2022. Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финансового университета при Правительстве РФ
Шахраманьян М.А. - Финансовый университет при Правительстве РФ (email:7283763@mail.ru)
Куприяновский В.П. - РУТ (МИИТ); ВИШ МИФИ (email: v.kupriyanovsky@rut.digital).

I. ВВЕДЕНИЕ. КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ И ИННОВАЦИИ.

Сегодня главной заботой политиков в разных странах является национальная конкурентоспособность и пути ее повышения. В этой статье рассматривается возможное влияние ключевых инновационных факторов вокруг BIM решений для строительных инфраструктурных проектов как на конкурентоспособность на национальном уровне, так и на уровне компаний, и мы стремимся продемонстрировать, как конкурентоспособность в разных странах по-разному определяется взаимодействием между инновационной деятельностью и макроэкономическими факторами в эпоху 4-й промышленной революции.

Сегодня BIM не только устраняет двусмысленность, связанную с информацией о проекте, но и увеличивает потенциальную ценность, позволяя встраивать больше данных о строительных активах. Однако, объем доступной информации в моделях прямо сейчас экспоненциально растет и становится более сложным, что позволяет предполагать усиления фактора «большого BIM» на конкурентоспособность строительных инфраструктурных проектов.

Сегодня компании и страны/регионы живут в динамичной бизнес-среде, которая постоянно меняется. Конкуренция и инновации являются одной из главных целей каждого предприятия и народного хозяйства. Когда мы рассматриваем мощное влияние глобализации и продолжающейся Четвертой промышленной революции, стремление к конкурентному преимуществу становится особенно важным. С помощью данных собираемых Мировым экономическим форумом появилась возможность рассчитывать региональные рейтинги конкурентоспособности [1].

На рис. 1, отражающем, с региональной точки зрения, 20 ведущих стран рейтинга GCI 4.0 почти полностью принадлежат Западной Европе (10 стран), Северной Америке (2) и Восточной Азии и Тихоокеанскому региону (7). Фактически, Восточная Азия и Тихоокеанский регион имеют самые высокие средние баллы среди всех регионов (72,6), что немного выше, чем в Европе и Северной Америке (70,8). С

другой стороны, из 34 изученных стран Африки к югу от Сахары 17 входят в число 20 худших стран мира. Медиана региона составляет 45,2, что составляет менее половины границы. Разрыв между каждым регионом

огромен. Наконец, широта GCI 4.0 и ее 12 столпов отражают степень и сложность экосистемы конкурентоспособности [1].

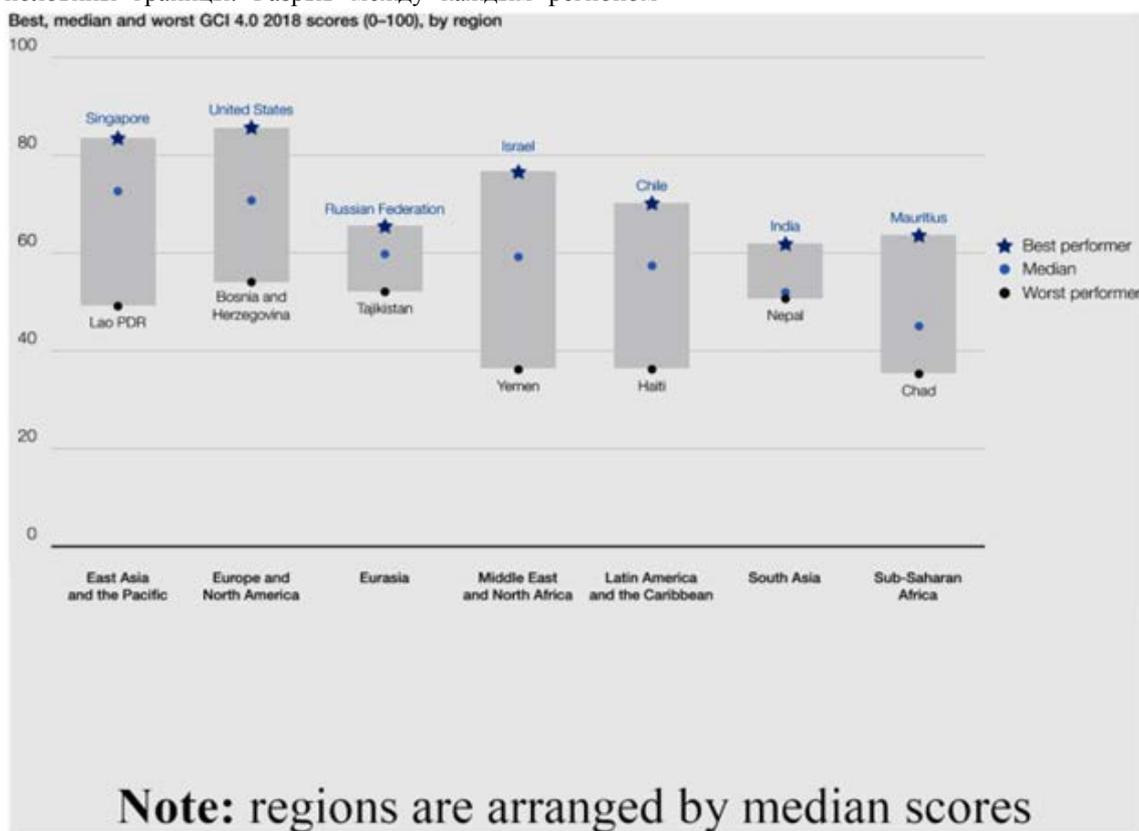


Рис. 1. Разрыв конкурентоспособности внутри регионов. (Отчет о глобальной конкурентоспособности 2018 г. [1]).

Различные макроэкономические переменные являются ключевыми факторами, влияющими на развитие инновационной деятельности в разных странах, которая является базой конкурентоспособности. Чтобы оценить конкурентоспособность страны, необходимо понимать концепцию конкурентоспособности [1]. В [1] определили конкурентоспособность на трех разных стадиях экономического развития: (1) ресурсно-ориентированная, (2) ориентированная на эффективность и (3) инновационная; два переходных подэтапа между этими этапами.

В настоящее время не существует единого определения понятия "конкурентоспособности". Основными факторами, которые обуславливают возможность множественности трактовок этого понятия, являются различные исходные позиции экономистов, а также и то, что в качестве производителя рассматривается лишь отдельное предприятие, отрасль или вся экономика в целом. Конкурентоспособность - понятие относительное, поскольку успешно конкурирующий на одних рынках товар или услуга будут совершенно неконкурентоспособным на других. Это порождает необходимость разграничения конкурентоспособности на внешнем и внутреннем рынках.

Но, мы считаем [93, 95-99], что рост и, следовательно, конкурентоспособность, основанный на

инновациях - это не только способность и привилегия стран, например, с высоким уровнем дохода. Развивающиеся страны и страны с формирующейся рыночной экономикой также склонны формулировать соответствующую политику для улучшения своего инновационного потенциала. Инновационная политика формулируется в различных формах в соответствии с потребностями страны; даже на одном уровне развития их воздействие различно. Инновации сегодня являются ключевым аспектом процесс создания цифровой экономики [93, 95-99]. Они также помогают распространять знания, повышать производительность и создавать возможности для трудоустройства [102]. Инвестиции в исследования и разработки помогают изменить модель роста компании, позволяя ей продвигать новые продукты, новые процессы и новые организационные методы, которые, как было показано, меняют структуру рынка. При этом чистое воздействие на конкурентоспособность, связанное с взаимодействием инноваций и макроэкономических показателей, является положительным, что указывает на то, что макроэкономические показатели могут использоваться для усиления положительного воздействия инноваций на конкурентоспособность [1,93, 95-99].

В 2022 году известное издательство в научно-технической области Springer опубликовало подробную книгу под названием «Инноваций в строительстве. Практическое руководство по преобразованию строительной отрасли» [100].

В этой книге рассматривается сложная тема внедрения инноваций и успешного применения передовых технологий в строительной отрасли. Она представляет собой практическое руководство по преобразованию отрасли с подробным описанием соответствующих и эффективных методов внедрения, требуемых наборов навыков и структурных изменений, необходимых для облегчения практического и инновационного применения технологий.

Эта работа включает в себя реальные тематические исследования инновационных проектов, которые выходят за рамки текущих современных академических исследований и позволили, как утверждается в этой работе, повысить производительность, качество и производительность в строительном секторе. Авторский коллектив этого издания считает, что эта книга предоставляет читателям, как с промышленным, так и с академическим образованием исчерпывающее руководство по преобразованию строительной отрасли с эффективным и действенным внедрением технологий и современных методов строительства.

Статьи в этой книге разбиты по темам и иногда работы очень удачно рассматривают их совместно, а именно такие реализации позволяют существенно увеличивать преимущества и конкурентоспособность инноваций в строительстве. Так, в работе [52] о генеративном проектировании (это направление автоматизирует дизайн) решения опираются на краевые вычисления, интернет вещей и цифровые двойники. Модернизации через инновации известного параметрического подхода в строительном проектировании рассматривает статья [53]. О том, как инновационные материалы (на основе цемента) и методы (дополненное производство или 3D печать) могут быть заложены на этапе проектирования, повествует работа [54]. Строительные роботы, применение которых резко выросло в период пандемии, являются темой очень подробной статьи [55]. Заметим, что именно роботы это существенная часть успехов в увеличении экономических успехов Индустрии 4.0, и все ожидают, что такой же эффект будет при их применении в развитии Строительства 4.0 (об этом ниже). Работа [56], завершающая эту книгу подводит хороший итог содержанию всех статей этого сборника. В ней говорится о необходимости подготовки новых кадров для строительства в условиях, когда производственная деятельность этой отрасли перемещается со строительной площадки на решения вне ее и для этого необходимо подготовить новое поколение работающих в строительных организациях, чтобы реализовать уже имеющийся потенциал инноваций.

Невероятная скорость изменений, вызванных природой и человеческими поведенческими явлениями в цифровой экономике, заставляет организации быть более гибкими и живыми (agile) [1-3]. В реальном бизнес-ландшафте, в основном характеризуемом

моделью гиг-экономики [3, 101], организации должны разрабатывать и реализовывать стратегии максимально эффективным и результативным способом, иначе они рискуют исчезнуть и следовательно вопросы конкурентоспособности необходимо обсуждать.

Способ, который является одновременно интригующим, плодотворным и опасным, заключается в том, чтобы воздействовать на внутриорганизационное и межсотрудническое измерение, чтобы помочь организациям эффективно разрабатывать и реализовывать свои стратегии. Это интригует, потому что по своей природе это сложная, трудная для понимания и до сих пор очень малоизученная тема. Это плодотворно, потому что при правильном подходе дает уникальные и конкурентные преимущества [2].

В человеческом измерении организации должны стремиться к внедрению эффективных способов работы, которые одновременно повышают производительность и эффективность при одновременном снижении затрат, путем изменения внутреннего поведения и эффективного лидерства. Эффективное лидерство, также известное как «неподходящий для всех подход», в основном, направлено на разработку и внедрение клиент ориентированного подхода и обеспечение лучшего обслуживания клиентов (устранение разногласий с клиентами), включенного в миссию, видение, ценности, бренд организации, обещание и служебное кредо [1,2].

Согласно Институту управления проектами (PMI), проект можно определить как временное предприятие с четко определенным началом и окончанием, направленное на создание уникальной ценности, продукта или услуги [2]. Именно благодаря эффективному выполнению проектов организации создают ценность и реализуют свои стратегии [2]. Такие инструменты и методы обычно включают в себя набор передовых методов, основанных на извлеченных уроках, которые были собраны на основе многолетнего опыта и в основном поддерживаются математикой и статистикой. Управление проектами можно определить как применение знаний, навыков, инструментов и методов к проектной деятельности для удовлетворения требований проекта на всех этапах жизненного цикла проекта [2].

Оценка стоимости проектов является ключевой частью жизненного цикла проекта и часто участники принимают решения о проекте, основываясь на своих знаниях о сметной стоимости. Эта стоимость основана на расчетной оценке прибыли и возврата инвестиций. Именно поэтому для того, чтобы начать проект, необходима оценка стоимости. Первоначальная оценка стоимости производится во время пилотного исследования и имеет высокий уровень неопределенности. Утверждается [19], что уровни неопределенности могут варьироваться от менее 25% до более 50% для крупных проектов, и от менее 10% до более 15 % для более мелких проектов.

Когда смета расходов позже сравнивается с окончательной стоимостью проектов, они не соответствуют экономическим критериям. Было обнаружено несколько причин, которые могли повлиять

на затраты в проекте. Этими причинами были: нечеткие требования к баллам и качеству; забытые требования во время подсчета; потребности/пожелания, которые всплыли без учета бюджета; проект, который был отложен и обстоятельства изменились; рыночные силы были выведены из игры; много изменений и добавленных работ; из-за плохого планирования/дизайна/закупки уровень неопределенности был неверно оценен; отсутствие учета изменений курсов индексов и изменений курса валют. Кроме того, часто оказывается, что то, что представлено в своде знаний по управлению проектами, рассматривается только как часть управления процессом оценки стоимости [19].

Кроме того, важна экономическая парадигма, довлеющая политически в той или иной стране. Так, например, сегодня значительные усилия предпринимаются в ряде стран (в том числе и в России) в экономике замкнутого цикла (CE) для строительной отрасли, которая обеспечивается рядом инструментов поддержки принятия решений на основе информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) [17]. Строительная отрасль играет решающую роль в переходе к экономике замкнутого цикла из-за ее значительной ресурсоемкости и очевидного влияния на успешность CE. Информационные технологии нашли широкое применение в строительстве и обслуживании объектов гражданской инфраструктуры, но аспекты их применения могут быть различны в зависимости от перечисленных выше обстоятельств. Тем не менее, преимущества информационных технологий обеспечили более широкий набор методов для инфраструктуры и повысили уровень ее обслуживания. Среди множества информационных технологий (рисунок 2) на всех

этапах жизненного цикла проекта особую роль играет BIM, как сквозное информационно-семантическое хранилище данных (нефти 21 века) и ареал связанных с ним технологий, в том числе, и в вопросах конкурентоспособности проектов. На рисунке 2 также показаны изменения в применении этих технологий в зависимости от этапов жизненного цикла инфраструктурных объектов.

В последнее время применение технологии BIM для управления жизненным циклом инфраструктуры быстро увеличилось, чтобы повысить эффективность систем управления инфраструктурой [20]. Были проведены исследования по управлению жизненным циклом инфраструктуры, от планирования и проектирования до строительства и управления. Поэтому проводится систематический обзор литературы по последним исследованиям для анализа текущего состояния техники BIM. Также рассматриваются современные методы управления жизненным циклом инфраструктуры, такие, как беспилотные роботы, датчики и методы обработки, искусственный интеллект и т. д. Методология управления жизненным циклом после создания инфраструктуры сегодня завершается и разрабатывается с использованием самых современных технологий - беспилотных роботов, сканирования в BIM, сетей глубокого обучения и т. д., Управление жизненным циклом инфраструктуры возможно за счет систематического управления, такого, как анализ временной истории, прогнозирование роста повреждений, решение о ремонте и сносе и т. д., с использованием базы данных регулярных проверок на основе инфраструктурной платформы BIM [20].

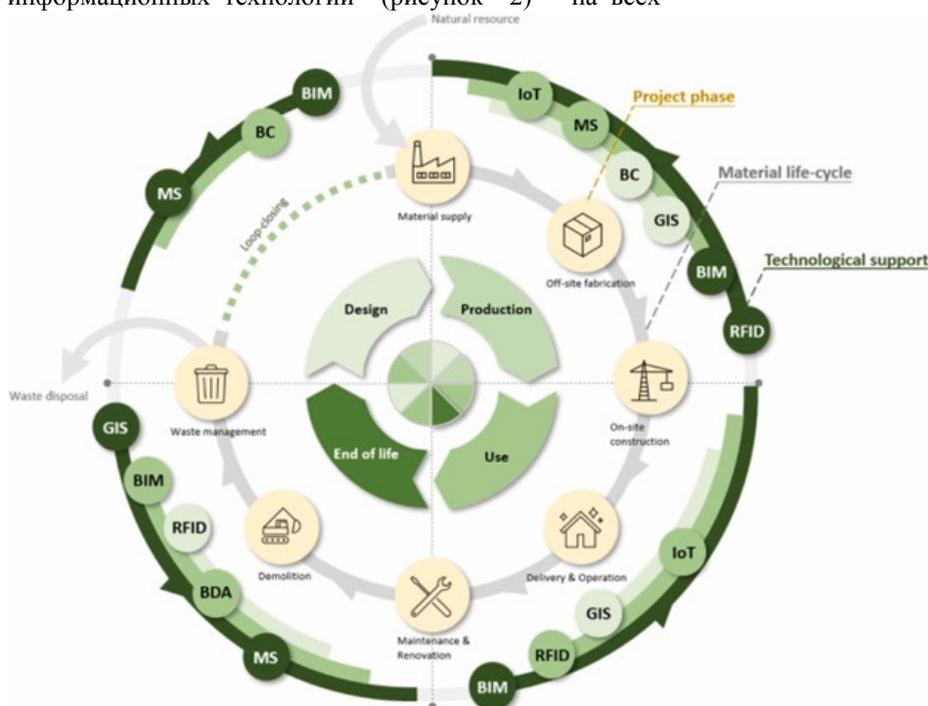


Рис. 2. Согласование решений на основе ИКТ с этапами жизненного цикла строительства в направлении CE в трехорбитной системе, охватывающей технологическую поддержку, жизненный цикл материалов и этап проекта

(условные обозначения: BIM — информационное моделирование зданий, ГИС — географические информационные системы, RFID — радиочастотная идентификация, BDA — анализ больших данных, IoT —

интернет вещей, BC — блокчейн, MS — моделирование и симуляция [17].

Все возрастающее влияние на конкурентоспособность оказывает внутреннее построение информационных BIM систем в части использования открытых и машиночитаемых стандартов BIM, наиболее ярким представителем является IFC. Так, в работе [20] сообщается, что количество времени, необходимое для оценки стоимости, сильно различается в зависимости от используемой технологии. Цифры, которые ней приводятся, составляют, примерно, 160 часов традиционной работы с ручными вычислениями, примерно 100 часов работы при использовании Bluebeam (цифровые чертежи) и 15 часов при использовании модели IFC, которая составлена на основе машиночитаемых и онтологических стандартов.

II Роль технологий BIM в конкурентоспособности строительной отрасли в инфраструктурных проектах

Принятие и внедрение информационного моделирования зданий (BIM) в качестве технологий и процессов в отрасли архитектуры, проектирования и строительства (АЕС) ознаменовало собой значительный шаг вперед в продвинутой цифровой трансформации в сторону экономических и иных преимуществ. При этом стоит отметить, что технологии BIM не могут рассматриваться как нечто заданное раз и навсегда. Они постоянно находятся в развитии, которое, как правило, только увеличивает преимущества их применения. Так, одной из отличительных особенностей отрасли АЕС является то, что она требует совместных усилий нескольких участников из разных областей для эффективной реализации строительных проектов, и их состав может разным, в зависимости от характера этапов. Ключевую роль в этом играет применение BIM. Участвующие в этом компании используют различные платформы и инструменты BIM, которые лучше всего подходят для выполняемой ими задачи. Кроме того, участники полагаются друг на друга в получении информации для успешного выполнения своих задач, что указывает на исключительную важность цифрового сотрудничества и обмена информацией между вовлеченными участниками, что также сильно влияет на конкурентоспособность.

Гражданская инфраструктура включает здания, дороги, мосты, туннели, трубопроводы и другие транспортные сети. Хотя гражданская инфраструктура рассчитана на долгие годы, ее можно расширять, обновлять и обслуживать каждое десятилетие по мере развития общества и необходимости изменений [18]. Поскольку население продолжает расти, а инфраструктурные структуры стареют, существует острая необходимость в более эффективных и экономичных технологиях для строительства,

обслуживания, мониторинга и ремонта этих инфраструктурных структур [18, 94]. Информационные технологии нашли широкое применение в строительстве и обслуживании объектов гражданской инфраструктуры. Преимущества информационных технологий обеспечили более широкий набор методов для инфраструктуры и повысили уровень ее обслуживания, определяя во многом конкурентоспособность строительной отрасли.

По сравнению со зданиями большая часть ресурсов расходуется на этапах после передачи всего жизненного цикла гражданской инфраструктуры. Этот вывод означает, что приложения информационных технологий склонны к этапам обслуживания в гражданской инфраструктуре, особенно в процессах мониторинга состояния или здоровья инфраструктур (SHM). SHM — это автоматическое получение информационных данных об инфраструктуре, таких как технология сбора информации. Информация от датчиков используется для обнаружения любых аномальных проблем, которые могут привести к серьезным последствиям, таким как повреждение конструкции. SHM может помочь инженерам-строителям отслеживать информацию о конструкции и принимать ранние решения, что имеет решающее значение для надежной работы инфраструктуры [18,94].

Многие из общих требований к конкурентоспособности, перечисленные выше, совпадают с общими утверждениями характерными для технологий BIM. Вместе с тем существуют и специальные исследования конкурентоспособности для распространения интеллектуальных технологий в строительной отрасли в эпоху 4-й промышленной революции на базе BIM [4].

Внедрение BIM в инфраструктурные проекты по типам показано на рисунке 3. Мы взяли данные из источника [5], которые относятся к 2009 – 2013 годам, так как в России сегодня наблюдаются с некоторым запозданием примерно такие же тенденции и следует ожидать примерно таких же оценок. В целом, выгоды и соответствующие конкурентные преимущества, которые дает BIM, приведены в работах [5-7,94]. Так как выгоды применения технологии и BIM, в том числе, явно закладывают основу конкурентоспособности, то мы решили привести иллюстрации этого факта на рисунках 4, 5,6.

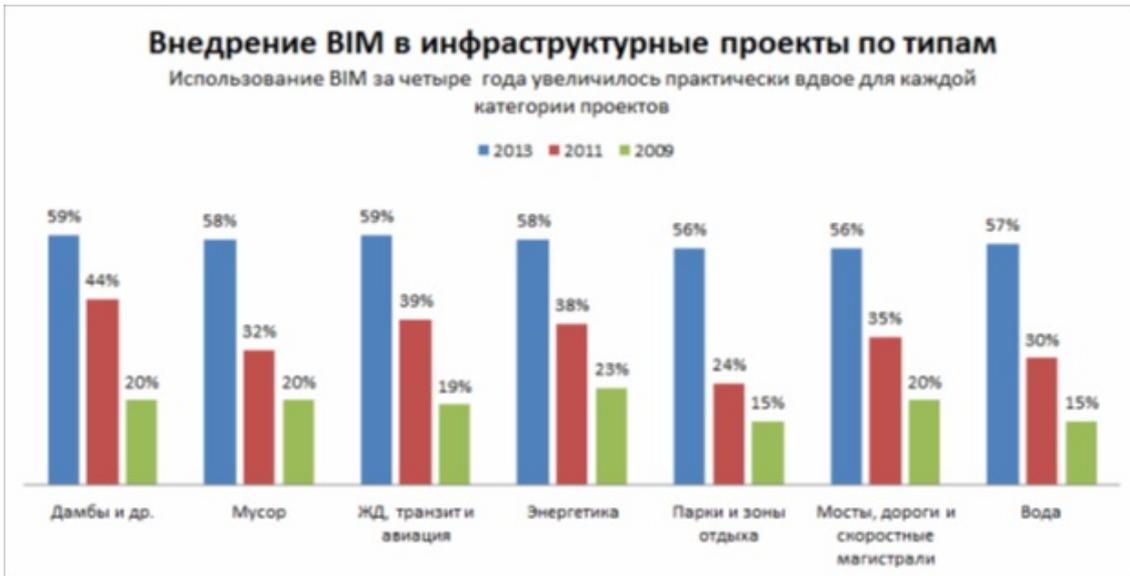


Рис. 3. Внедрение BIM в инфраструктурные проекты по типам [5]

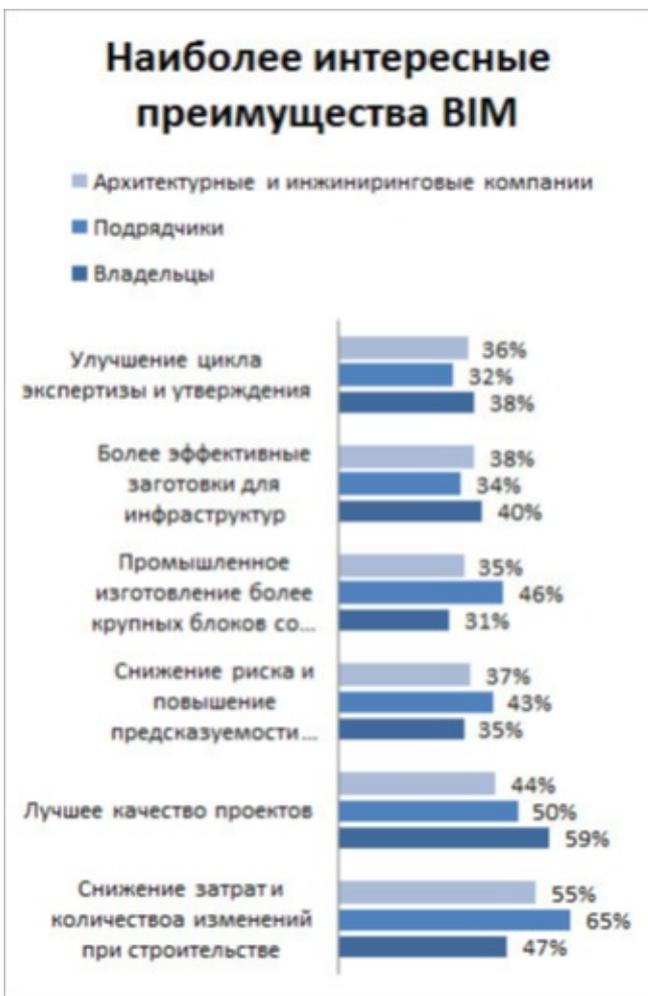


Рис. 4. Наиболее интересные преимущества BIM [5].

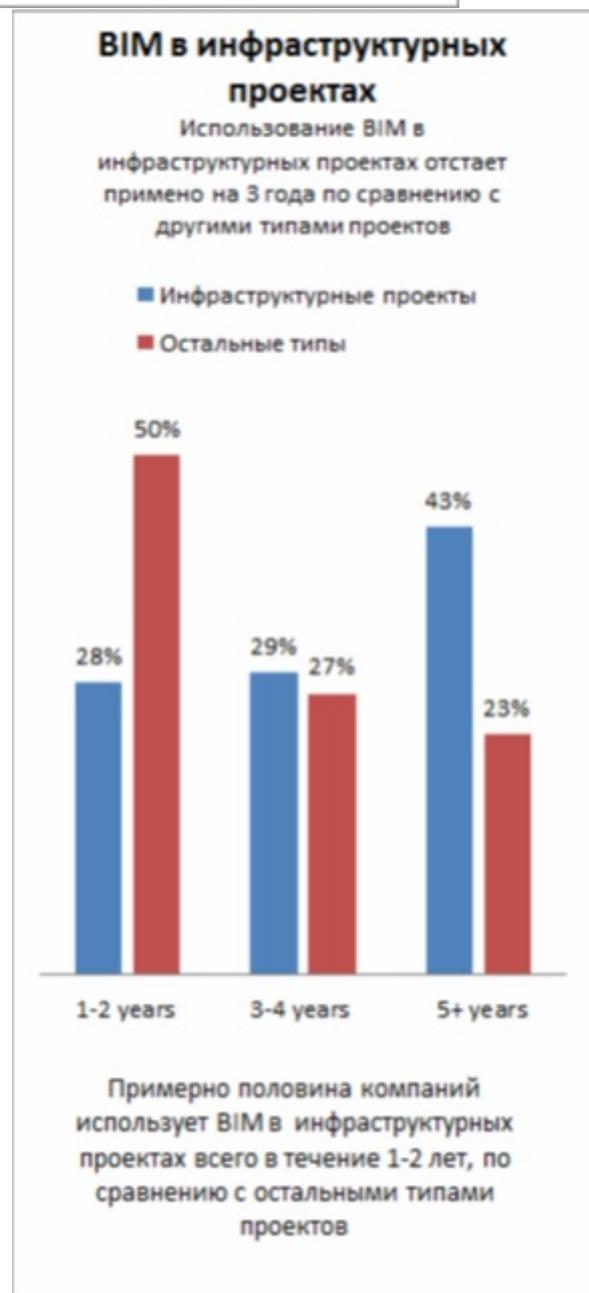


Рис. 5. BIM в инфраструктурных проектах [5].

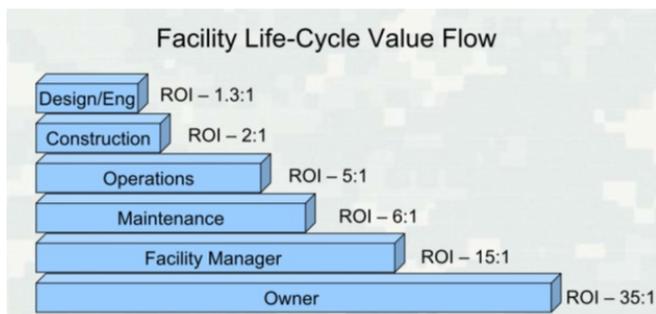


Рис 6. Возвратность инвестиций (ROI) в BIM в зависимости от потребителя услуг [7].

Однако, эффективность и, следовательно, конкурентоспособность строительных проектов (в том числе, и инфраструктурных) существенно зависит от географических и нормативных условий мест их реализации и, соответственно, политики государств.

Страны пытаются проводить различную политику с превентивной точки зрения, чтобы отреагировать на четвертую промышленную революцию. В Великобритании стратегия «Строительство 2025» направлена на сокращение сроков строительства на 50% за счет исследований и разработок в области цифрового проектирования, передовых материалов и инноваций в новых технологиях, сокращения выбросов углерода на 50% и снижения общей стоимости срока службы и затрат цикла на 33% [4-7]. Правительство Германии объявило о своей стратегии «Индустрия 4.0», выбрало девять ключевых технологий, таких, как большие данные, роботы с самосознанием и моделирование, в качестве будущих движущих сил своей обрабатывающей промышленности и продвигает свою эволюционную стратегию [4-7]. Японское правительство настаивает на «I-Construction», чтобы справиться со снижением производительности, вызванным ожидаемой нехваткой рабочей силы в строительной отрасли в будущем. Это политика, которая использует новые технологии, такие как ИКТ, на протяжении всего производственного процесса и направлена на повышение производительности строительной отрасли к 2025 году [4-7]. Правительство Китая объявило о своей стратегии «Производство в Китае до 2025 года», в которой основное внимание уделяется 10 ключевым областям, таким как ИТ-технологии, цифровое управление и роботы, посредством инноваций, качества и «зеленого» развития [4-7]. Эти направления политики рассматриваются как центр ключевой стратегии развития национальной промышленности в будущем.

Строительная отрасль также переживает огромные технологические инновации, затронутые Индустрия 4.0 (4IR). Строительная отрасль обычно считается застрявшей в строительстве, ориентированном на труд, низко технологичных образах, низкой производительности и низким качестве [4-7]. Кроме того, эта отрасль, как правило, медленно адаптируется к новым технологиям и имеет условия, в которых трудно внедрять инновации [10,11]. Это уникальная характеристика строительной отрасли, и задача инноваций заключается в применении технологий,

используемых в других отраслях, к строительной отрасли [12,13]. Между тем, 4IR может создать для строительной отрасли возможность добиться гораздо более высокой эффективности, чем когда-либо прежде, с точки зрения производительности, бизнес-модели и цепочки создания стоимости. Эта возможность появилась благодаря сближению существующих технологий и новых технологий 4IR, и это изменение называется Строительством 4.0 [13-15]. В тренде 4IR конструкция 4.0 представляет собой изменение структуры промышленности, начиная от автоматизированного строительства на этапе строительства и заканчивая цифровизацией высокого уровня, путем соединения виртуального пространства и реальных строительных объектов [14,15]. Инновационные технологии, возникающие при переходе на Строительство 4.0, также называют умными технологиями [12,16], которые повышают производительность, безопасность и качество строительного проекта [11,17-20]. Таким образом, технологические инновации приводят к улучшению результатов различных проектов и являются ключевым фактором, сильно влияющим на развитие строительной отрасли [21,22].

Рассмотрению темы преимуществ BIM для инфраструктур железных дорог посвящена работа [14], для автомобильных дорог - статья [12], для метрополитенов и туннелей - работа [12,13]. Поэтому мы добавим к этим трудам работы, которые были опубликованы после выхода в свет этих публикаций, или работы, относящиеся к новым аспектам конкурентоспособности технологий BIM.

Количественному и качественному анализу применения информационного моделирования зданий (BIM) для процесса проектирования инфраструктуры посвящена работа [21]. Это исследование было разработано на примерах железнодорожного строительства, чтобы понять преимущества и проблемы использования BIM в процессе проектирования. В частности, проекты аналогичного масштаба были выбраны для использования BIM и без BIM. Как показали результаты анализа, BIM может обеспечить определенные преимущества в процессе проектирования. Средние результаты показывают, что проекты, внедрившие BIM, потратили примерно на 65 800 долларов США меньше, чем их аналоги, увеличив производительность примерно на 2,9%. Что еще более важно, разница между BIM- и не-BIM-проектами заключалась в человеко-часах. Проекты, использующие BIM, тратили в среднем на 103,5 дня меньше, чем проекты, не использующие BIM, и требовали на треть меньше профессиональных рабочих в течение всего процесса проектирования.

Следует сказать, что для разных элементов транспортных инфраструктур эффекты применения BIM для оптимизации различны. В статье авторов из Австрии [22] рассматриваются проекты туннелей на примере нескольких конкретных проектов с разными целями и задачами. Экономическая устойчивость проектов с применением BIM основана, по мнению [22], на

улучшенном использовании ресурсов. Согласованные, структурированные рабочие процессы обеспечивают более эффективные подходы к сотрудничеству. Это приводит к сокращению времени координации и лучшему планированию и использованию ресурсов. В результате, проекты выполняются быстрее от начала до

завершения, т. е. в результате получаются оптимизированные проекты в их жизненном цикле. Жизненный цикл проекта туннелирования, показывающий распределение проектов по фазам проекта приводится на рисунке 7.

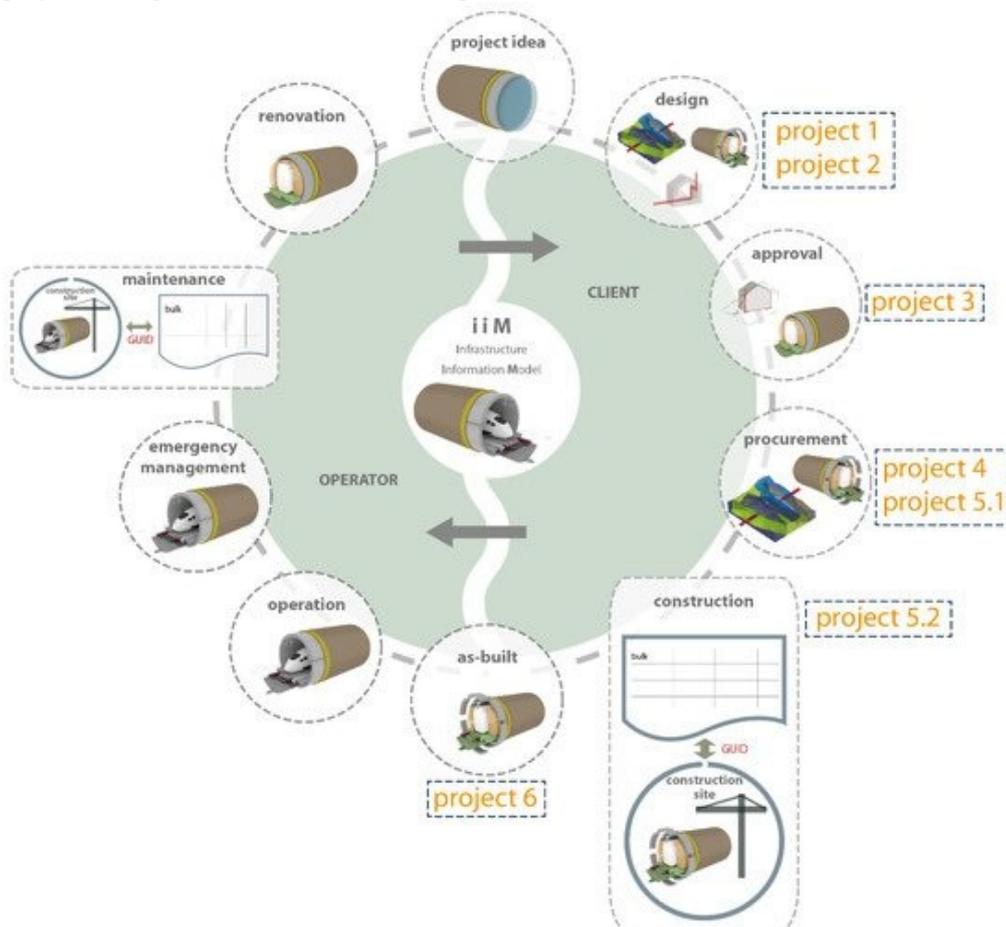


Рис. 7. Жизненный цикл проекта туннелирования, показывающий распределение проектов по фазам проекта [22].

Для достижения цели рационализации проектов туннелей с помощью BIM необходимы следующие требования, с точки зрения социальной и экономической устойчивости [22]:

«Раннее создание «зоны комфорта» для участников проекта посредством скоординированных и гармонизированных структур в управлении данными и проектами приводит к более коротким коммуникационным и рабочим путям. Взаимная оценка и осознание границ собственных компетенций незаменимы в этом контексте. Это позволяет разрабатывать целевые решения, обеспечивая при этом обзор дальше кончика носа. Следует избегать мешающих переводу задач между дисциплинами, так как это приводит к задержкам проекта. Короткие расстояния внутри проектной команды с точки зрения общения, технического обмена, координации и обзора приводят к быстрому решению проблем и эффективному выполнению проекта. Любые возникающие конфликты могут быть разрешены более безвредно в рамках этих сбалансированных структур.

Другими важными аспектами являются необходимость обеспечения того, чтобы цифровизация не приводила к постоянному увеличению затрат без одновременного повышения эффективности, а также наличие достаточных ресурсов — как человеческих, так и технических — для предоставления необходимых услуг. Раннее внедрение BIM при строительстве тоннелей и правильное использование всех инструментов (CDE и т. д.) повышает социальную и экономическую устойчивость проектов тоннелей. В конечном счете, это также требует изменения хода официальных процедур».

Немецкому опыту и потенциалу экономии при планировании, строительстве и обслуживании автомобильных дорог с использованием BIM посвящена работа [23]. Представленный в этой статье проект был удостоен звания buildingSMART Champion 2021 в области строительного исполнения на международном конкурсе buildingSMART в Германии.

Рассматриваются работы на федеральной автомагистрали А7, которая является самой длинной автомагистралью в Германии и одним из важнейших соединений север-юг между Скандинавией и центральной и южной Европой.



Рис. 8. Строительная площадка А7 [23].

Проект А7 включает шести полосное расширение ранее четырёх полосного участка общей протяженностью 60 км, а также эксплуатацию и техническое обслуживание проектного маршрута в течение 30 лет (см. рис. 8).

Модели BIM в этом проекте используются при планировании, строительстве и техническом обслуживании [23]. Они построены в 5D и содержат временную последовательность для

- 1) цифрового двойника (исполнительная модель),
- 2) модели планирования (ЦЕЛЬ) и
- 3) модели построения (ФАКТИЧЕСКАЯ), которая представлена в виде сборки.

Вся информация вводится только один раз (единственный источник правды) и динамически обновляется. Благодаря стремлению создавать и поддерживать результаты проекта более 30 лет, были реализованы независимые от программного обеспечения открытые структуры данных XML, и предпочтение отдается открытым собственным и стандартизированным интерфейсам (рис.9).

На строительной площадке вся ЦЕЛЕВАЯ

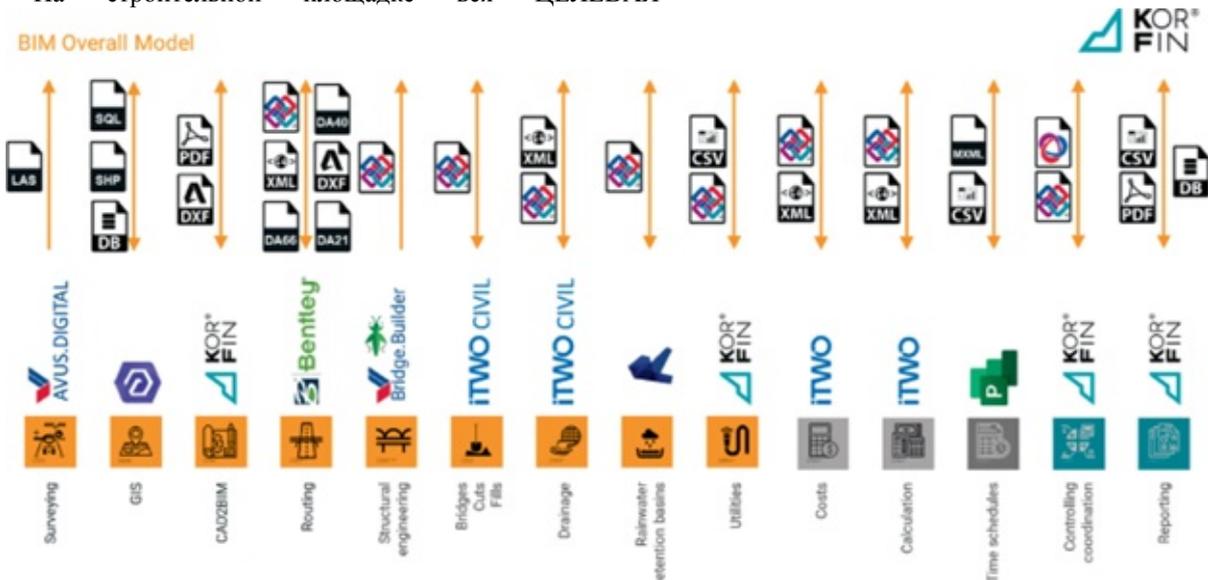


Рис. 8а. Экосистема программного обеспечения - программные системы [23].

Исследованию стоимости и преимуществ применения BIM среди специалистов по строительству в китайской провинции Сучжоу посвящена статья [24], которая, хоть

информация становится видимой для руководства строительством, а ФАКТИЧЕСКАЯ отображается в отчете о производительности в общей модели [23]. Это означает, что строительную логистику, ход строительства и объемы можно просматривать напрямую и оптимизировать, а все управленческие решения основаны на фактах. Все данные о строительной площадке, такие, например, как результаты контроля качества, также интегрированы туда.

Открытые интерфейсы и форматы обмена данными позволяют использовать экосистему, учитывающую различные программные решения и разнообразные интерфейсы. Эта экосистема собрана из лучших решений для соответствующего рабочего процесса, что также оптимизирует затраты. Управление информацией позволяет всем заинтересованным сторонам иметь надлежащий уровень доступа, от обзоров информационных панелей до средств управления экспертной системой. Мобильные приложения в сочетании с облачными решениями, проверочные полеты с дронами — все это обеспечивает качество отчетности [23]. Благодаря связыванию с моделью ранее децентрализованных источников данных, таких как планирование (4D) и калькуляция затрат (5D), все участники проекта имеют доступ ко всей информации, на основе которой можно выполнять дальнейшее моделирование и анализ. Наибольшая выгода от обработки на основе моделей, как отмечают в [23], может быть достигнута только в том случае, если с самого начала будут сделаны четкие определения для конкретного проекта в отношении геометрической и семантической детализации моделей и компонентов.

и базируется на региональных проектах (включая инфраструктуру), содержит выводы, интересные с точки зрения конкурентоспособности.

В этой работе отмечается, что исследователи [24] рассматривают выгоды от применения BIM, которые определяются как чистые выгоды, которые могут быть

получены национальной экономикой и проектами за счет внедрения BIM. Другими словами, это относится к разнице между входными данными (например, сборами, рабочей силой и ресурсами) и выходными данными (например, финансовыми и управленческими аспектами) приложения BIM. На производительность приложений BIM могут влиять многие факторы, в том числе уровень опыта специалистов-строителей по внедрению BIM и степень развития технологии BIM в соответствующих приложениях [23]. После тщательного изучения литературы преимущества BIM были разделены на пять категорий (т. е. технические преимущества, финансовые преимущества, управленческие преимущества, организационные преимущества и преимущества для высшего руководства) с пятнадцатью факторами, влияющими на применение BIM. Среди них исследования технических преимуществ, финансовых преимуществ и управленческих преимуществ достигли замечательных результатов [23]. Например, проведенный сравнительный анализ и обнаружил, что 3D-проектирование, обеспечиваемое BIM, позволяет сократить время проектирования на 15–41 % по сравнению с традиционными 2D-проектами. Исследователи [23] подчеркнули, что, благодаря применению систем управления информацией, менеджеры по строительству могут повысить эффективность своего управления на 11,6%. Они обнаружили, что с помощью виртуального проектирования и строительства, окупаемость внедрения BIM сильно варьировалась от 16% до 1654%. Проведенное сравнительное исследование обнаружило, что внедрение BIM может сократить количество заказов на изменение до 89% и добиться экономии средств на 9%. Они также провели тематическое исследование и пришли к выводу, что оценка риска задержки на основе BIM может значительно сократить задержки и сократить время проекта на 16,88% [23].

Влияние стратегии экологических инноваций на зеленую конкурентоспособность посвящено еще одно исследование из Китая [28]. Целью данного исследования является изучение того, как китайские производственные и строительные предприятия могут улучшить качество окружающей среды и уменьшить загрязнение путем реализации экологических инновационных стратегий, основанных на теории экологической модернизации, и в то же время выяснить, как повысить зеленую конкурентоспособность предприятий с помощью экологических инновационных стратегий и пути критического пути. В этом исследовании изучается влияние стратегий экологических инноваций на зеленую конкурентоспособность на основе теории экологической модернизации, а также опосредующее влияние обмена зелеными знаниями и организационного зеленого обучения на влияние стратегии экологических инноваций и зеленой конкурентоспособности с точки зрения теории, основанной на знаниях. По результатам авторы [27] обнаружили три аспекта: во-первых, стратегии экологических инноваций положительно

вливают на зеленую конкурентоспособность. Во-вторых, они определили два важных пути к зеленой конкурентоспособности с помощью стратегий экологических инноваций. Обмен зелеными знаниями и организационное зеленое обучение могут частично опосредовать взаимосвязь между стратегиями экологических инноваций и зеленой конкурентоспособностью. Наконец, они [27] совместно опосредуют взаимосвязь между экологическими инновационными стратегиями и зеленой конкурентоспособностью. Обмен зелеными знаниями может не только позволить предприятиям получать прямые, явные знания и повышать добавленную стоимость экологически чистых сооружений, но также помогает предприятиям формировать свои собственные невидимые зеленые знания путем организации зеленого обучения, которое может влиять на производственные технологии и процессы и еще больше улучшать их зеленую конкурентоспособность [27].

Изучению нематериальных преимуществ использования информационного моделирования зданий в сфере проектирования и строительства посвящена работа [25]. Эта статья направлена на то, чтобы подчеркнуть связь между предполагаемыми преимуществами BIM в строительной отрасли и навыками BIM, чтобы повысить осведомленность о преимуществах ее принятия и внедрения. Результаты этого исследования предоставляют заинтересованным сторонам визуальный метод количественной оценки воспринимаемых значений BIM для планирования и адекватного внедрения технологии BIM. На политическом уровне это исследование подчеркивает сложность внедрения BIM и необходимость ширококомасштабных скоординированных усилий предприятий для достижения всех преимуществ, предоставляемых должным образом. Таким образом, политики BIM могут использовать циклы критических значений, обсуждаемые в этом исследовании, для повышения успешности и темпов внедрения BIM на уровне всей компании [25].

Управлению информацией о строительстве и преимуществам для строительной отрасли посвящена статья [26]. Это исследование было направлено на оценку преимуществ систематического управления информацией о строительстве для успешного выполнения строительных проектов. Для этого был проведен количественный опрос, а первичные данные были получены от специалистов строительной отрасли Южной Африки. Первичные данные, полученные от респондентов, показали, что факторы, классифицированные как «рост фирмы», были наиболее полезными элементами управления информацией о строительстве. Респонденты считают, что систематическое управление строительной информацией дает возможность обеспечить четкость информации, необходимой в определенный момент времени на строительной площадке, помогает улучшить взаимодействие между строительными специалистами и помогает создать приверженность строительному проекту [26]. Систематическое управление

информационной моделью результатов строительства, а также конкурентные преимущества его внедрения показаны на рисунке 9.

Приведенное выше исследование [26] показало, что возможности управления информацией о строительстве можно измерить. Важность внедрения эффективной системы управления информацией была признана жизненно важной частью достижения успеха и завершения проектов в строительной отрасли. По словам респондентов, общение между заинтересованными сторонами, участвующими в строительном проекте, будет оптимизировано за счет управления информацией. При наличии надлежащей

системы управления информацией специалисты в области строительства могут иметь доступ к нужной информации в нужное время. Таким образом, в этом исследовании рекомендуется, чтобы менеджеры по строительству тщательно изучили проект, чтобы определить информационную систему, которая будет подходить для этого проекта на этапе выполнения. В дополнение к внедрению правильной трудовой этики на практике, специалисты в области строительства сталкиваются с энергичным улучшением условий труда, впоследствии работая над своей производительностью в соответствии с предоставлением и развитием стандартных информационных систем.

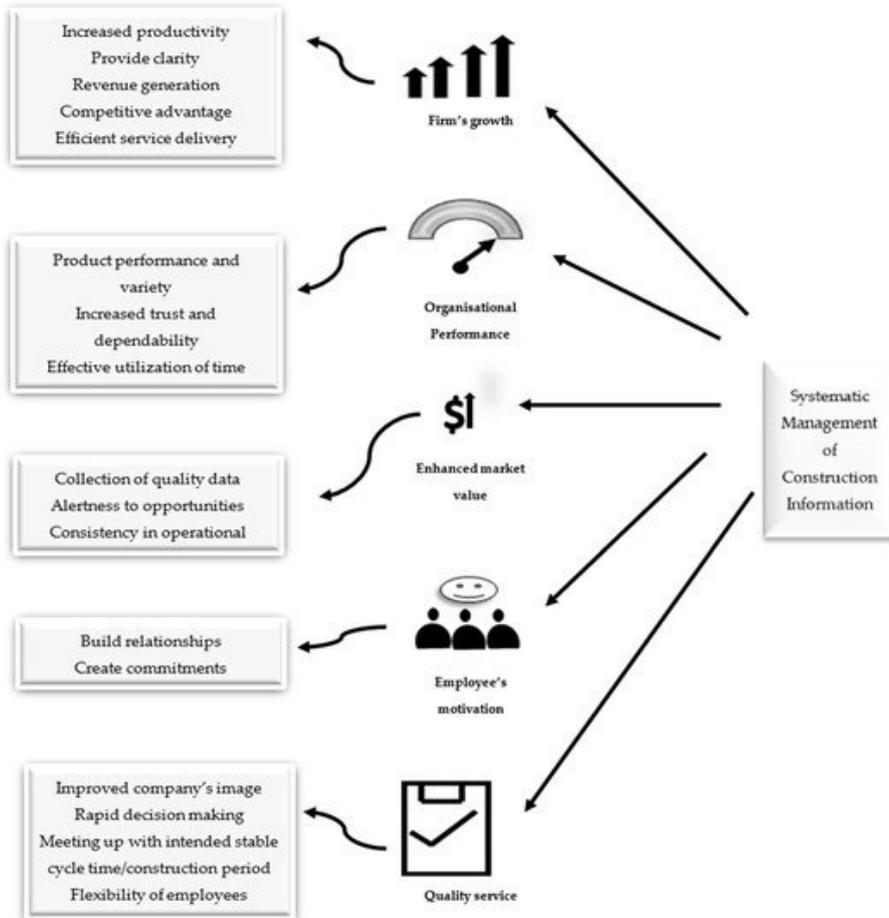


Рис. 9. Систематическое управление информационной моделью результатов строительства и его выгоды [26].

Расчету стоимости на основе BIM путем создания системы подключаемых модулей для экономии времени и управления количеством посвящена статья [27]. Эти расчеты базируются на недавних достижениях в области технологий BIM. Они обеспечивают огромные преимущества для фирм в масштабе бизнеса, а также для пользователей на командном и индивидуальном уровнях. Основываясь на потребностях проекта, рабочие группы BIM могут улучшить свою методологию BIM, создавая плагины, используя интерфейсы кодирования и сценариев, такие как Dymato, Python [27]. Из-за неадекватности общих платформ BIM для конкретных целей, производство плагинов, ориентированных на спрос, неизбежно [27]. В отличие от обычных пользователей BIM, крупным компаниям, как правило,

участвующим в инфраструктурных проектах, необходимо создавать собственные решения для эффективной работы. Этот подход был проиллюстрирован в упомянутой работе как расчет стоимости для процессов BIM при изучении процесса производства подключаемых модулей поверхности, связанной с помещением. Очевидно, как указано в [27], что каждый шаг следует за этапами разработки ценности. Как показано в тематическом исследовании [27], ориентированный на потребности подход строительной компании Ronesans к производству подключаемых модулей соответствует эффективному использованию BIM. Принимая во внимание потенциальную экономию от задач VE, фирма реализовала потенциал VE на этапах разработки проекта, рабочего чертежа и строительной документации с помощью плагинов, ориентированных на потребности. Экономия времени – главное

достижение фирмы при таком индивидуальном подходе [27].

Производители строительных материалов являются одними из важных участников отрасли АЕС, и оцифровка способов совместного использования и обмена данными о строительных продуктах является важным фактором успеха цифровых процессов BIM. Классы Industry Foundation Classes (IFC) — это широко используемая схема данных для представления информации о здании в нейтральном формате для поддержки обмена информацией между различными цифровыми инструментами. В настоящее время IFC поддерживается несколькими приложениями BIM, используемыми в отрасли, и может успешно обмениваться геометрической информацией о продукте [30].

Однако схема данных IFC не охватывает явных семантических определений для предметно-ориентированных, инновационных или многофункциональных описаний данных о продуктах, что затрудняет семантическое обогащение данных о продуктах. Кроме того, семантические запросы, проверка непротиворечивости, рассуждения и автоматическая обработка данных сложны для применения в моделях IFC. Таким образом, целью исследования [30] является изучение того, как семантические веб-технологии могут поддерживать информационную совместимость и процессы интеграции данных между производственной и строительной отраслями. В качестве доказательства концепции в диссертации [30] разрабатывается прототип для исследования и демонстрации возможности использования семантических веб-технологий для обмена информацией. Подробности этого решения мы изложим по статье [29] того же автора.

Интеграция данных о продуктах из многочисленных источников является одной из проблем в отрасли АЕС и интеграция данных о продукции производителей в BIM-платформы с использованием семантических веб-технологий посвящена работа [29]. Данные о продуктах часто собираются из различных источников в разнородных форматах. В результате, применение унифицирующего языка Semantic Web для однородного описания данных, поступающих из разных источников, становится все более новой важной областью оптимизации в исследованиях в отрасли строительства инфраструктур. В этом исследовании [29] изучалось, как данные о продукте могут быть интегрированы в BIM с использованием технологий Semantic Web в сочетании с визуальным языком программирования на основе BIM. Авторы статьи [29] представили метод, облегчающий автоматическую интеграцию данных о продукте в программное обеспечение BIM из внешней базы данных. Унифицированное семантическое представление данных о продуктах, связанных со стандартом CEN/TS 17623:2021, на которое опирается исследование [29], выражается с использованием формального языка веб-онтологий (OWL). Реализуя это представление, авторы используют Dypato, визуальный язык программирования в Revit, который используется

для предоставления пользователям интерфейса для доступа к семантически представленным данным о продуктах, связанных с глобальным стандартом и хранящимися в базе данных Triplestore на базе Интернета.

Реализованный метод в [29] позволяет пользователям находить точные и своевременные данные о продуктах из базы данных производителей на основе их конкретных запросов, в отличие от использования объектов BIM, которые обычно содержат неточную информацию, которая не соответствует определенным конкретным требованиям конкретного варианта использования. Этот метод устраняет трудоемкий и подверженный ошибкам процесс ручного ввода данных о продукте в программное обеспечение BIM. Кроме того, поскольку описание продукта основано на онтологиях и глобальном стандарте, производители смогут предлагать свои продукты на международном уровне понятным для машин образом (машиночитаемом). Кроме того, можно легко и регулярно обновлять данные о продуктах, когда происходят изменения. Поскольку Semantic Web специально разработан для динамического моделирования данных и объединения всех видов данных в веб-масштабе, такая альтернативная интеграция данных о продуктах с использованием веб-приложений может избавить производителей от необходимости создавать свои данные в нескольких форматах для удовлетворения потребностей своих клиентов и увеличить конкурентоспособность инфраструктурных проектов [29].

Как отмечалось ранее, реализуемые в настоящее время инфраструктурные проекты в первую очередь связаны с развитием и реконструкцией транспортной инфраструктуры, в частности, автомобильных дорог. Учитывая это обстоятельство, представляет интерес оценить преимущества, которые дают технологии BIM для развития транспортной инфраструктуры.

Материалы [57] содержат пример реконструкции улицы Пекос через мост в Денвере (США). Объект был построен в 1965 году, но впоследствии было определено, что необходима реконструкция данной транспортной развязки (начало реконструкции сентябрь 2012 г.). Реконструкция завершилась в октябре 2013 г. (13 месяцев). Погода не была определяющим фактором в продолжительности проекта.

BIM-модель улицы Пекос была построена над мостом и пешеходной эстакадой (рис. 10 и 11).



Рис. 10 – BIM-модель улицы Пекос над мостом и пешеходной эстакадой [57].

Новая надстройка построена с использованием BIM-технологий, с помощью которых сразу была выявлена необходимость использования кольцевых развязок (рис. 11)



Рис. 11 – Графика модели BIM, показывающая сходящиеся улицы и необходимость кольцевых развязок [57].

BIM использовался в проекте от концептуального проектирования до строительства. В частности, процессы BIM использовались для определения того, как определенные точки подъема могут быть затронуты из-за связанных с ними напряжений и давлений. Общая продольная структура, сдвиг, кручение и максимальное кручение, а также влияние, которое это может оказать на прогиб конструкции, были исследованы с использованием модели BIM. Используя модель BIM, было определено, что необходим допуск 0,25 дюйма, чтобы уменьшить вероятность значительного повреждения конструкции. Моделирование также позволило определить, как вновь созданная конструкция будет перемещаться на самоходных модульных транспортных средствах с помощью домкратов, которые они использовали для подъема конструкции прямо вверх, чтобы не повредить эти точки на мосту. Так же для реализации данного проекта возникла необходимость в определении наиболее удобного способа для выравнивания наклона, чтобы обеспечить движение надстройки. Это было сделано, чтобы свести к минимуму прогиб моста и гарантировать, что при катании моста по автостраде максимальный уклон не будет превышен. Модель BIM позволила решить ряд дополнительных задач, учитывая тот факт, что мост представляет собой городскую территорию с минимальным количеством рабочей площади и после

завершения строительства пересекает интенсивно используемую автомагистраль.

В работе [57] было проведено сравнение двух проектов аналогичных объемов строительства, связанных со строительством транспортной инфраструктура: в одном проекте по строительству моста на улице Пекос с использованием технологии BIM, а во втором проекте по строительству моста через канал Форт Лион без использования технологии BIM. Затраты, связанные с внесением изменений в процесс строительства моста на улице Пекос, привели к увеличению стоимости проекта всего на 1%.

В отчете [58] исследуется вопрос об эффектах, которые можно получить за счет использования BIM. Было выявлено шесть факторов, на которые существенное влияние BIM оказывает [58]:

1. Оптимизация площади при проектировании объекта капитального строительства. По сравнению с 2D-планированием это может привести к экономии незастроенного пространства примерно на 6% от общей стоимости проекта.

2. Сокращение объема работ по техническому обслуживанию. Вторым по важности фактором является сокращение объема работ по техническому обслуживанию при эксплуатации здания. BIM сокращает предпроизводственные проверки и проверки на месте для технического обслуживания благодаря актуальным и полным техническим данным, доступным на ходу. Экономия времени может составить до 50%.

3. Снижение операционных затрат: наличие актуальных, структурированных и полных представленных данных и актуальной исполнительной документации, отсутствие дополнительных затрат на последующие запросы от клиента и первоначальных затрат на действующий бизнес со стороны управляющей компании. Поддержка мобильных устройств делает отчетность быстрее и проще, повышая при этом качество документации. Этот эффект можно дополнительно усилить за счет использования таких технологий, как диагностическое обслуживание и датчики, основанные на данных модели BIM.

4. Тепловое моделирование зданий на основе BIM. Еще одним фактором снижения затрат в строительстве является тепловое моделирование зданий на основе BIM. Оптимизированные данные с помощью теплового моделирования, интегрированного в планирование, обеспечивают уверенность в затратах, соблюдение графика и снижение капитальных и эксплуатационных затрат на крышу и навес, что оказывает значительное влияние на фасад. Доказанное влияние теплового моделирования зданий на основе BIM связано с инвестиционными затратами на этапе строительства. Кроме того, эксплуатационные расходы ниже, когда здание находится в эксплуатации, что также является фактором повышения рентабельности за счет BIM.

5. Моделирование систем на основе BIM: предварительное моделирование для конкретных проектов позволяет целенаправленно инвестировать в системы отопления, охлаждения и вентиляции и, таким образом, экономить общие затраты. Подобно тепловому

моделированию зданий, информационное моделирование зданий также приводит к экономии эксплуатационных расходов на отопление, охлаждение и вентиляцию, а также к снижению инвестиционных затрат.

Таким образом, использование BIM-технологий при реализации инфраструктурных проектов, как правило, связанных со строительством объектов капитального строительства (зданий, мостов, железных дорог, автомобильных дорог и т.д.), позволяет повысить конкурентоспособность инфраструктурных проектов, как на российском, так и на зарубежных рынках в первую очередь за счет сокращения сроков строительства и, как следствие этого, удешевления строительства. При реализации инфраструктурных проектов, если в них используется многогранная проектная документация, применение BIM-технологий также позволит сократить сроки подготовки проектной документации объектов капитального строительства.

При этом следует отметить, что основные преимущества использования BIM-технологий с точки зрения экономических затрат дадут наибольший экономический эффект после завершения инвестиционной стадии инфраструктурных проектов и перехода к стадии эксплуатации. Это связано с тем, что в жизненном цикле объекта капитального строительства стадия эксплуатации объекта является наиболее продолжительной (несколько десятков лет), а потому именно на этой стадии может быть достигнут наибольший экономический эффект за счет использования BIM-технологий. Важное обстоятельство использования BIM - технологий на этапе эксплуатации связано с управлением активами.

Интеграция и функциональная совместимость на основе BIM могут быть достигнуты с помощью серверных технологий моделирования, единых интегрированных/распределенных баз данных, Интернета вещей (IoT), сенсорных систем и т. д. Таким образом, BIM и его интеграционные свойства становятся чрезвычайно ценными для управления активами на этапе эксплуатации и обслуживания, целью которого является достижение долгосрочной ценности и повышение эффективности за счет внедрения интеллектуальных технологий и подходов.

III УРОВНИ ЗРЕЛОСТИ И РАЗМЕРНОСТИ BIM ДЛЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ. ТОТАЛЬНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ.

Методы, процессы и инструменты, принятые в соответствии с потребностями перехода на основе Строительства 4.0, должны основываться на уровне цифровизации компаний, проверке и мониторинге их цифровизации с течением времени, а также с учетом отношений внутри общества. BIM в цифровизации обещает не только более высокое качество планирования строительных проектов, например, с точки зрения сроков и достоверности затрат, но и повышение эффективности управления, выбора

информации и представления/визуализации, а также обмена информацией, связанной со строительством, в течение всего жизненного цикла объектов инфраструктурного строительства.

Модели зрелости оценивают преобладающий уровень возможностей и предлагают необходимые возможности для эффективного внедрения в систематической дорожной карте. Это считается необходимым для обеспечения распространения новых технологий.

Согласно [31], среда BIM недостаточно развита в скандинавской строительной отрасли, особенно для полного применения BIM (еще одно название – тотальный BIM). Тотальный, большой или полный BIM, о котором речь пойдет далее, позволяет в максимальной степени достигнуть экономических и иных выгод и конечно конкурентоспособности. Как следствие, для того, чтобы дойти до этого состояния, были разработаны различные модели зрелости для анализа и оценки масштабов развертывания BIM внутри организаций. Уровень зрелости BIM можно оценить с помощью этих моделей зрелости путем оценки одновременного применения и социальных аспектов с социотехнической точки зрения [31]. Кроме того, в [31] указано, что это означает, что концепция зрелости BIM используется для определения набора улучшений процессов, которые позволяют достичь определенных результатов, что приводит к лучшему пониманию использования BIM и его потенциала для развития и разнообразия. Мощность BIM определяется как способность предоставлять результаты и услуги, а зрелость BIM определяется как степень, глубина, качество, предсказуемость и воспроизводимость этой способности при выполнении задачи или предоставлении услуги BIM. Таким образом, зрелость BIM означает, насколько далеко компания продвинулась в использовании BIM [31]. Модель BIM — это выбор, согласно [31], который зависит от решений участников проекта, который выбирает определенный уровень детализации информации в проектной документации. Следовательно, уровень зрелости является отражением состояния проектной документации [31].

BIM предоставляет множество альтернативных процессов, и желание организации адаптироваться к ним является критическим компонентом. В результате, очень важно, чтобы компания предлагала обучение, чтобы помочь своим сотрудникам повысить свои навыки. Организации должны обучать и обучать своих сотрудников создавать и интегрировать технологию BIM в свою деятельность, либо путем найма новых сотрудников, либо путем обучения и обучения существующих сотрудников. Согласно [31], организации могут подготовиться к удовлетворению растущего спроса на процессы и методологии BIM, включив в свою учебную программу только что получивших высшее образование по BIM. Кроме того, согласно [31], подходы к обучению BIM должны планироваться и расставляться по приоритетам для прохождения этапов зрелости BIM.

В [31] упомянуто несколько параметров, которые включены в матрицу зрелости. Для более высокого

уровня зрелости организация должна поддерживаться тремя полями BIM. Каждый строительный домен имеет свои собственные наборы заинтересованных сторон, требований и результатов. Во-первых, это область технологий, которая связана с программным обеспечением, аппаратным обеспечением, оборудованием и сетевыми системами, которые необходимы для обеспечения или поддержки этапов проектирования, строительства и эксплуатации строительной отрасли. Эти услуги и поддержка, которые способствуют эффективности, прибыльности и производительности, предоставляются субъектами, принадлежащими организациям, с прямым или косвенным приложением к различным фазам развития.

Поле процесса, представляющее собой взаимодействие актёров, которые проектируют, строят, производят, эксплуатируют здания и управляют ими, является вторым измерением. Владелец здания, инженеры, подрядчики, консультанты, управляющие объектами и другие лица, занимающиеся владением, доставкой и эксплуатацией сооружения, являются практиками в этом измерении [31].

Измерение политики — это третье поле. Цель состоит в том, чтобы объединить участников отрасли АЕС, которые работают над обучением профессионалов,

проводят исследования, распределяют выгоды, распределяют риски и уменьшают конфликты, чтобы получать выгоду и избегать конфликтов между заинтересованными сторонами. Правительство, образовательные учреждения и страховые компании являются действующими лицами в этом третьем поле. И хотя ни один из этих субъектов не производит никаких строительных материалов, все они играют важную роль на этапах планирования, регулирования и заключения контрактов по проекту [31]. Кроме того, эти три области иногда пересекаются, поскольку они имеют общих действующих лиц и результаты.

Для фирмы и организации важно понимать, как цифровое развитие влияет на бизнес, и отправной точкой должно стать единое понимание того, что такое цифровая трансформация и почему она важна. Компании обычно проходят три этапа на пути к цифровым технологиям, поэтому развитие матрицы цифровой зрелости, находит свое отражение во временной динамике развития (см. рис. 12). Важно учитывать, что требуемое время варьируется в зависимости от компании, тем не менее, наиболее важным аспектом для руководства является получение контроля организации с помощью этой матрицы [31].

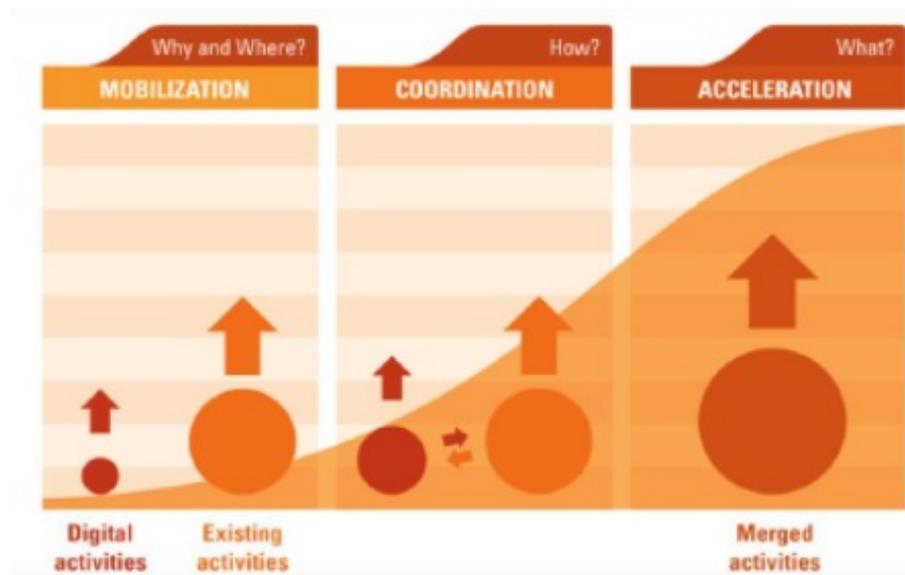


Рис. 12. Матрица цифровой зрелости и ее развитие во времени [31].

Первым шагом в этом процессе является фаза мобилизации, которая разделяет цифровую и существующую деятельность в компании. Кроме того, внимание должно быть сосредоточено на мобилизации и развитии интереса и принятии трансформационной необходимости, а не на специфике. Компания должна быть в состоянии сообщить, почему это важно [31]. Хотя цель и основное внимание на этом этапе состоит в том, чтобы создать ощущение срочности во всей компании, в нем обычно участвует меньшее количество людей в компании, занимающихся решением проблемы, которые иногда ограничены или полностью независимы от существующей деятельности [31].

Цифровая деятельность начинает развиваться на

следующем этапе координации, и внимание смещается на то, как компания должна внедрять цифровые технологии. Следовательно, выделяется больше ресурсов, и обычно создается специализированное подразделение для управления новой цифровой деятельностью. Начинается взаимодействие между существующей и цифровой деятельностью, поэтому конфликты между этими видами деятельности являются обычным явлением и должны быть разрешены, прежде чем можно будет достичь желаемого эффекта [31]. Кроме того, все уроки, извлеченные на этапе мобилизации, применяются, и разрабатываются долгосрочные инициативы, чтобы побудить людей изменить свои привычки самоуспокоенности с убедительной целью и видением. Это может быть самый сложный этап с точки зрения зрелости, поэтому

требуется компетентные руководители, поскольку взаимодействие между отделами должно быть эффективно скоординировано [31].

Наконец, фаза ускорения наступает, когда существующая и цифровая деятельность больше не разделены. Кроме того, стратегия и видение пронизывают всю компанию, обеспечивая более прочную основу для инвестиций в реализацию и позволяя вносить изменения без особых усилий. Обычно это означает, что организация может обнаруживать цифровые изменения за пределами своей компании и легче адаптироваться к ним. Теперь компания лучше понимает комплексность цифровой трансформации, а также более высокий уровень цифровой зрелости [31].

Кроме того, инновации, управление изменениями и цифровая зрелость являются тремя важными составляющими успешного перехода между фазами матрицы цифровой зрелости [31]. В результате технологических достижений общества были обнаружены новые решения, которые ранее были невообразимы, поэтому компаниям необходимо бросить вызов самим себе, чтобы принять инновации.

Цифровая зрелость бизнеса и ее значение для открытых инноваций очень важная часть, например, европейской технической политики и изучения конкурентоспособности [32].

В статье [32] представлены результаты исследования, направленного на оценку уровня цифровой зрелости бизнеса в Европе и анализ сходства между компаниями с точки зрения внедренных технологий Индустрии 4.0. В ней отмечается, что цифровая трансформация производственных и сервисных предприятий стала единым направлением развития для всех отраслей экономики. Сама идея Индустрии 4.0 стала синонимом инноваций и является основой для развития бизнеса [32]. Роль и важность этих преобразований признают и в ЕС, который уже много лет продвигает и поддерживает развитие инновационной цифровой экономики.

Как мы уже говорили выше, модели зрелости BIM в эпоху цифровизации - это отдельная и хорошо разработанная тема, напрямую связанная с измерением конкурентных возможностей компаний в тех или иных строительных доменах.

Согласно обзору [33], было разработано несколько структур для оценки и улучшения зрелости BIM в нескольких организациях и проектах. Эти модели были разработаны с учетом строительной среды, в которой они должны были применяться. Следовательно, были приняты разные критерии и конструкции. Некоторые из этих моделей зрелости BIM рассматриваются ниже, для понимания того, что в строительной отрасли существуют разнообразные инструменты и модели зрелости BIM.

1. Эталонная модель оценки возможностей BIM (CAREM)

Эта модель зрелости была разработана [33] и, по-видимому, является последней из опубликованных работ по моделям зрелости BIM. Его разработка глубоко

укоренилась в метамодели семейства ISO/IEC 330xx. В ней использовалась 4-балльная шкала оценок. Цель состояла в том, чтобы разработать модель зрелости BIM, подходящую для BIM-оценки процессов AEC/FM на этапах жизненного цикла объекта. Она неоднократно обновлялась на основе обзоров экспертов и пояснительного тематического исследования. Согласно [33], она состоит из двух частей: BIM PRM (включает определение процессов AEC/FM, в частности цель процесса, базовую практику, результаты процесса и рабочие продукты) и BIM MF. С другой стороны, BIM MF позволяет оценивать возможности BIM, включая схему, включающую уровни возможностей BIM, связанные атрибуты BIM и рейтинговую шкалу [33].

2. Модель зрелости BIM (BIM3)

Матрица зрелости информационного моделирования зданий (BIM3) это одна из наиболее цитируемых моделей BIM [33]. Она была разработана для оценки организационных возможностей индивидуальных/командных компетенций.

BIM3 является гибким и может использоваться организациями или проектами. Согласно [33], она была разработана для преодоления недостатков NBIS BIM и матрицы навыков BIM. Эти два метода подвергались критике за высокую субъективность, ограниченный объем измерений в технических аспектах и недостаточную надежность и согласованность [33]. BIM3 имеет три основных области процесса и пятиуровневую шкалу. Примечательно, что BIM3 претерпела несколько улучшений с момента ее первой разработки и постоянно тестируется в организациях и странах.

BIM3 считается всеобъемлющей по сравнению с предыдущими моделями, но считается слабой в аспектах управления информацией [33]. Эта выявленная слабость является основной проблемой внедрения и использования BIM [33]. Ее пять определенных этапов: Ad-hoc, Определенный, Управляемый, Интегрированный и Оптимизированный. Уровни зрелости отражают степень способностей, результатов и требований BIM, в отличие от минимальных способностей, представленных стадиями возможностей [33].

3. Быстрое сканирование BIM

Эта модель зрелости была разработана и запущена в Голландии в 2011 году, впрочем, некоторые источники утверждали, что она была создана в 2009 году [33]. Это инструмент сравнительного анализа BIM для компаний, в котором используются как качественные, так и количественные оценки. Она была построена и испытана в Нидерландах.

Модель использовалась как отдельными лицами, так и компаниями, как внутри компаний, так и в Интернете. Первоначально она не была предназначена для оценки отдельных лиц (консультантов) [33]. В ней было четыре области или главы и 44 вопроса.

4. Профиль организационной оценки BIM

Этот Профиль оценки BIM был создан Университетом штата Пенсильвания в области компьютерного интегрированного строительства (CIC)

[33]. Он предоставляет руководство для владельцев объектов, но основное внимание уделяется организационной оценке BIM. Он включает 20 показателей и шесть уровней зрелости. Однако его использование в отрасли AEC/FM неполное [33].

5. Система показателей VDC BIM

Система показателей виртуального и проектного строительства (VDC) была создана в Стэнфордском университете. Цель состояла в том, чтобы обеспечить целостный, практичный и адаптивный подход к оценке BIM. Оценка, используемая системой показателей VDC, охватывает четыре основные области VDC: планирование, принятие, технология и производительность [33]. Она состоит из 27 вопросов и использует пять уровней возможностей. Согласно [33], VDC имеет десять подразделений, пятьдесят шесть мер и уровень достоверности, измеряемый семью факторами для оценки зрелости при оценке зрелости реализации BIM в проектах. Инструмент имеет несколько отличительных особенностей, таких как установление уровня достоверности, который анализирует входные данные и количественные измерения степени объективного соответствия [33]. Однако прогрессивная оценка достижения целевых показателей эффективности затруднена из-за большого количества используемых количественных и качественных показателей [33].

6. Многофункциональная модель зрелости BIM

Многофункциональная модель зрелости BIM была разработана в Азии с акцентом на экспертов из Гонконга и материкового Китая, предоставляющих необходимую

обратную связь на этапе Delphi и собеседования. Она имеет три домена и 21 поддомен и 4 (0–3) уровня зрелости (этапа). Основное внимание уделяется областям технологии, процесса и протокола. Она была разработана для оценки зрелости BIM в проектах, компаниях и отрасли. Другие детали, такие как методы проверки, четко не определены; таким образом, информация об этой модели зрелости BIM ограничена [33].

Однако, вероятно наиболее популярная модель зрелости BIM создана британской стандартизацией и далее мы ее изложим, следуя [34]. Она начинается с базового уровня, где нет совместной работы для выполнения рабочих действий, и до последнего уровня, характеризующегося бесшовной интеграцией информации и использованием облачных платформ и моделей BIM.

Так британский стандарт PAS 1192 вводит 4 уровня цифровой зрелости:

L0 — низкое сотрудничество — вы работаете в двух измерениях с помощью программного обеспечения для автоматизированного проектирования (САПР) или над документами;

L1 — частичное сотрудничество — работа в 2-х или 3-х мерном программном обеспечении для автоматизированного 3D-проектирования с цифровыми файлами;

L2 — полное сотрудничество — работает в 3-х измерениях

L3 — полная интеграция.

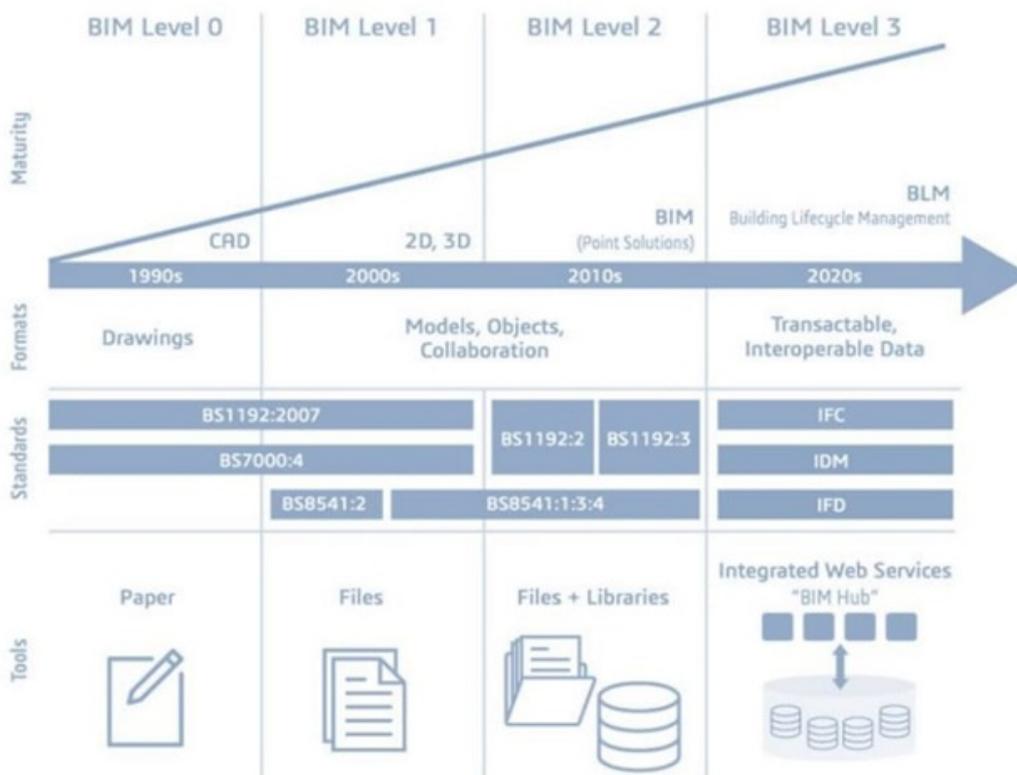


Рис. 13. Уровни зрелости BIM - 4 уровня зрелости BIM в привязке к открытым и британским стандартам [34].

На рисунках 13,14 и 15 показаны 4 уровня зрелости

BIM в привязке к открытым и британским стандартам и соответствующие разным взглядам на эту модель зрелости. Далее мы приводим описание этих уровней, следуя [33].

Уровень BIM 0 (низкое сотрудничество)

Это самый простой этап процесса генерации информации, уровень сотрудничества практически отсутствует.

На этом этапе производство и обмен информацией происходят с несовместимыми бумажными документами: используются чертежи САПР, но информация о модели не передается.

В настоящее время большинство технических специалистов находится на этом этапе: хотя они используют программное обеспечение, ориентированное на BIM, они обмениваются бумажной информацией, которая не может передаваться друг другу.

BIM уровень 1 (частичное сотрудничество)

На этом этапе многие студии и компании адаптируют свою работу. В этом случае используется общая среда данных (CDE).

CDE — это общедоступный онлайн-репозиторий, в котором собираются и управляются все данные проекта. Другими словами, уровень BIM 1 фокусируется на переходе от информации САПР к 2D и 3D. Несмотря на наличие общей информационной среды, сгенерированные модели не распределяются между разными заинтересованными сторонами.

Этот уровень касается управления информацией посредством стандартизации модели среди членов команды.

BIM уровень 2 (полное сотрудничество)

Этот уровень фокусируется на том, как информация

распределяется между различными участниками проекта.

На этом этапе вводятся два новых измерения проекта: 4D, управление временем и 5D, расчет бюджета. Стандарт PAS 1192 регламентирует этапы достижения уровня BIM 2.

Хотя совместная работа находится в центре уровня BIM 2, не обязательно, чтобы все члены команды работали с одними и теми же 3D-моделями САПР. Фактически, каждый участник может использовать отдельную модель САПР в файле общего типа (например, файл IFC, используемый для обмена данными BIM), который содержит всю информацию о проектировании.

Таким образом, все заинтересованные стороны, участвующие в проекте, имеют обзор всей доступной информации и могут соответствующим образом изменять ее. Это обеспечивает полное взаимодействие между многочисленными частями проекта и создание единой модели BIM.

Для достижения этой цели программное обеспечение САПР, которое использует каждый участник, должно экспортировать в распространенные типы файлов, такие как файл IFC, файл COBie и т. д.

Подводя итог, можно сказать, что на данном этапе все члены команды работают скоординированно, чтобы получить единую модель, которая поддерживает специфические характеристики каждой дисциплины проектирования.

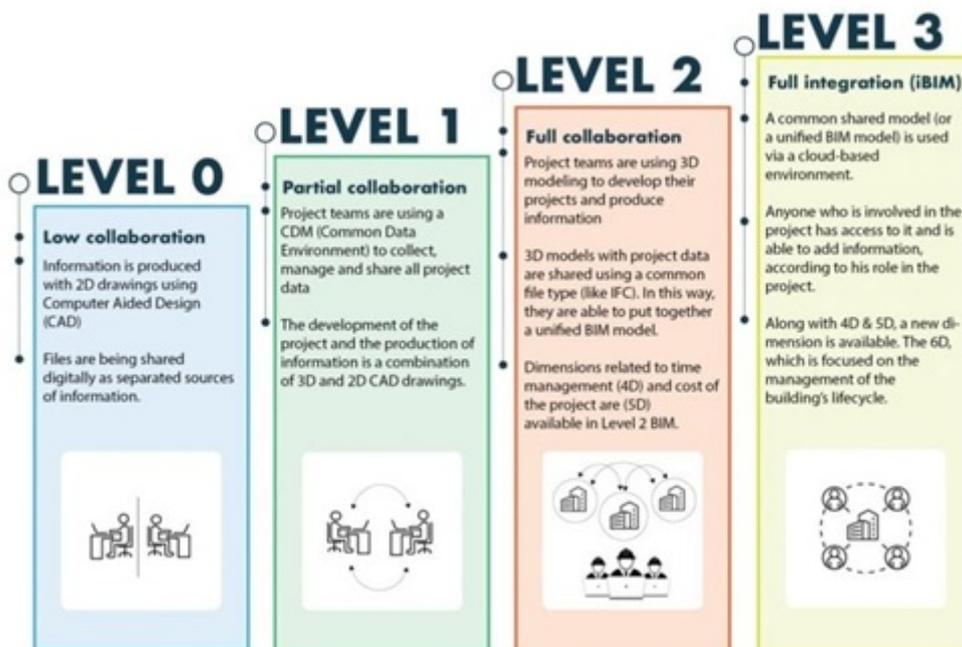


Рис. 14. Уровни зрелости BIM как вербальное описание [34].

BIM уровень 3 (полная интеграция)

Уровень 3 BIM является конечной целью для строительного сектора.

Основной целью этого уровня является получение полной интеграции информации в облачной среде. Это возможно с использованием общей модели, доступной всем заинтересованным сторонам проекта, которые

могут добавлять или изменять свою информацию.

Эта модель в формате IFC является важной вехой, которую можно использовать и хранить в облаке, чтобы все агенты могли иметь доступ к одной и той же информации. Команда проекта в режиме реального времени проверяет влияние одного действия на модель.

Таким образом, можно управлять всем жизненным циклом здания, от его проектирования до строительства и обслуживания.

Это реализация в будущем, но большинство рынков

АЕС по всему миру продолжают фокусироваться на возможностях уровня зрелости BIM 2. поддержке, формировании и обучении для получения

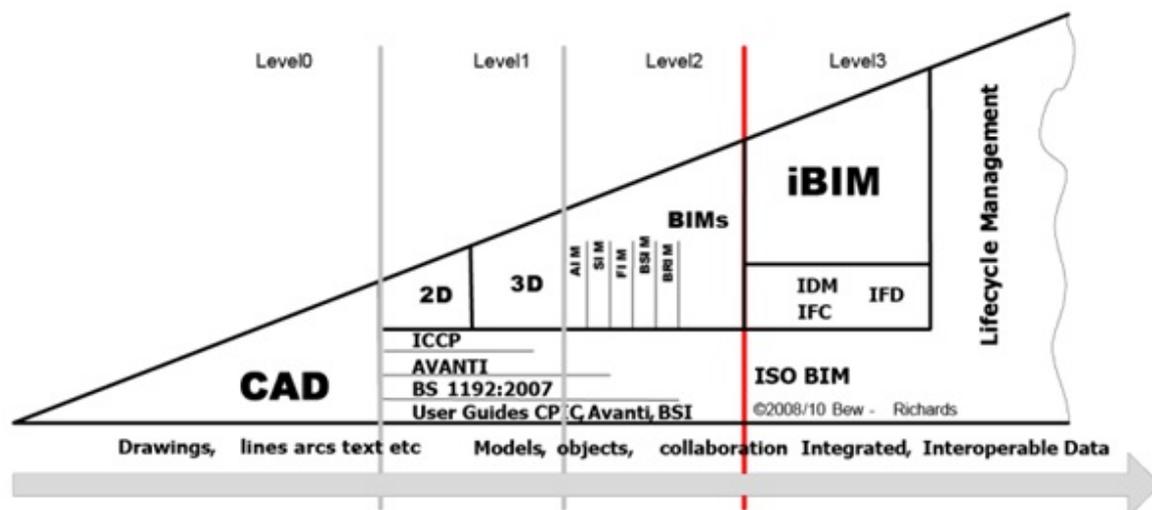


Рис. 15. Стадии зрелости BIM — диаграмма Bew-Richards [34].

В [31] также сообщается, что рассматриваются уровни BIM 4, 5 и 6, которые относятся к добавлению данных о времени, стоимости и устойчивости в модель BIM. Последнее означает развитие темы конкурентоспособности в исследованиях по уровням зрелости BIM.

Уровень 4 BIM включает в модель измерение времени, которое содержит данные о планировании, временной последовательности различных действий и распределении времени между этапами.

BIM Level 5 включает в себя интеграцию оценки стоимости и составления бюджета в модели BIM. На этом уровне пользователи могут определять и отслеживать затраты, которые будут возникать на протяжении всего проекта.

Информация уровня 6 BIM касается оценки энергопотребления здания на более ранних этапах проекта, то есть до начала строительства здания [31].

Стадии цифровой зрелости в ISO 19650

С публикацией ISO 19650 (части 1 и 2) в 2018 году появились новые сценарии регулирования на международном уровне, уровне ЕС и отдельных государств. В настоящее время этот стандарт является основным справочным материалом для всех других существующих стандартов.

В частности, ISO 19650-1:2018 повторно предлагает и актуализирует концепцию зрелости BIM со схематизацией, аналогичной треугольнику модели

зрелости BIM Bew-Richards (рисунок 13).

По сути, он выделяет 3 стадии Зрелость BIM [31]:

ЭТАП 1 BIM, на котором результаты 2D CAD и 3D модели BIM (информационные модели) объединяются в соответствии с национальными нормативными требованиями для управления проектом.

BIM STAGE 2, в котором информационные модели отдельных дисциплин (структурные, архитектурные, инженерные системы и т. д.), объединены и соответствуют международным стандартам ISO 19650, обеспечивая интегрированное управление строительным проектом.

BIM STAGE 3, в котором структурированные базы данных систем информационных моделей, непосредственно запрашиваемых, позволяют внедрить OPEN BIM в качестве системы управления проектом и его последующим вводом в эксплуатацию.

Кроме того, предусмотрена деятельность по управлению активами, понимаемыми как объект недвижимости, т.е. система реальных и/или виртуальных объектов здания.

При переходе от этапа 1 к этапу 3 увеличивается интеграция данных, как на технологическом, так и на информационном уровне.

В частности, обмен данными на этапе 2 основан на обмене моделями и файлами, а этап 3 направлен на управление моделями через структурированные платформы, которые позволяют оптимизировать все процессы BIM и напрямую запрашивать модели. Матрица, которая схематизирует уровни зрелости BIM в соответствии с ISO, представлена на рисунке 16.

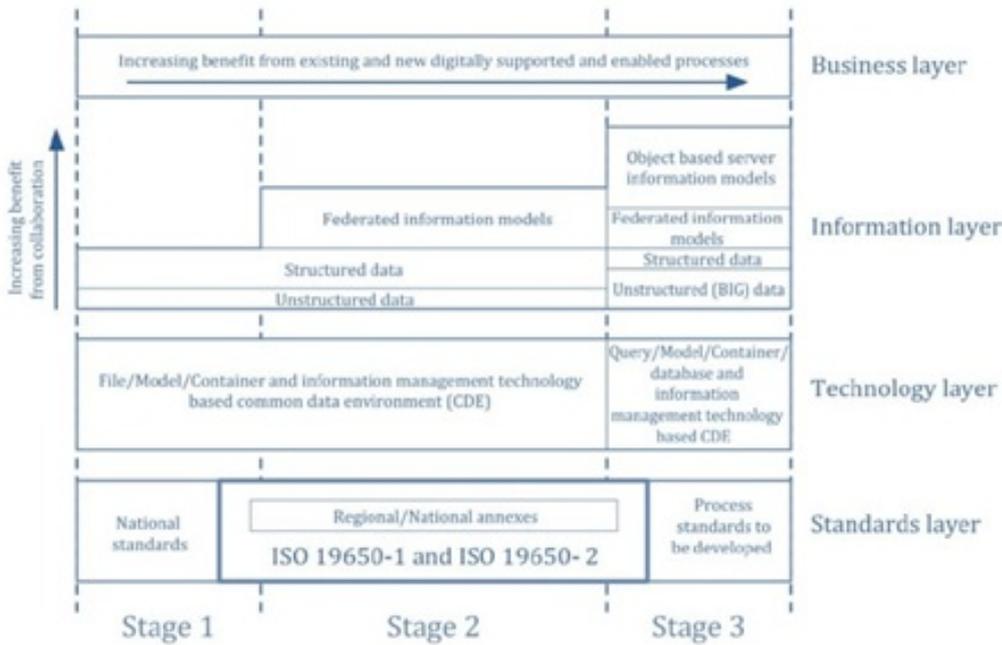


Рис. 16. Матрица, которая схематизирует уровни зрелости BIM в соответствии с ISO [34].

A. Уровни зрелости BIM и параметры измерения BIM

Уровни зрелости BIM часто путают с так называемыми измерениями BIM. На самом деле это разные понятия. Размерность BIM определяют все аспекты и информацию, которые вступают в игру в

процессе оцифровки строительного проекта. BIM — это больше, чем просто трехмерное (3D) моделирование, которым оно известно. BIM может охватывать другие «измерения», которые служат для добавления полезной информации к работе, которую нужно построить, или которой нужно управлять. Последнюю версию о составе размерностей BIM мы нашли в [34], а рисунок 17 отражает состояние этой версии.

DIMENSIONS OF BIM

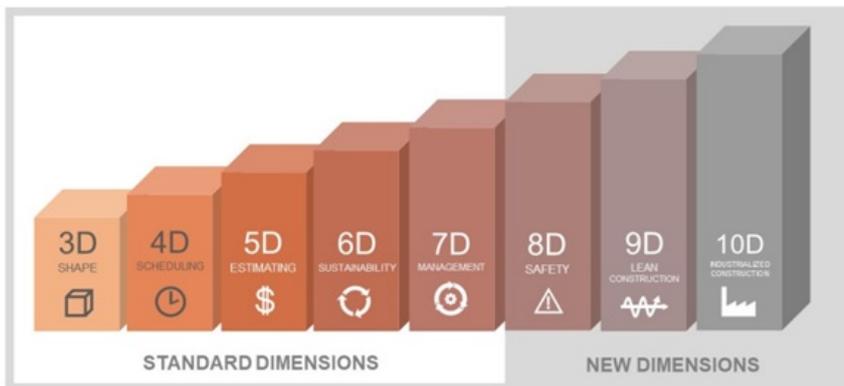


Рис. 17. Размерности BIM [34].

- 3D – трехмерное восстановление артефакта
 - 4D – анализ времени, необходимого для выполнения работ
 - 5D – анализ затрат
 - 6D – оценка устойчивости
 - 7D – управление объектами.
- В дополнение к 7 стандартным размерам ведутся открытые дебаты по трем «новым измерениям BIM»:
- 8D – безопасность на этапе проектирования и строительства
 - 9D – бережливая конструкция

10D – индустриализация строительства.
Все эти элементы можно найти в модели BIM уровня 2 или уровня 3.

Информационное моделирование зданий (BIM) — это методология, основанная на достижениях технологического развития, и состоит из набора процессов и инструментов, позволяющих создавать цифровую трехмерную модель. Модель централизует информацию в организованной базе данных, облегчая доступ к данным и обмен между сотрудниками и предприятиями на протяжении всего жизненного цикла

здания. Для того, чтобы подвести итоги представление преимуществ BIM уровня 3, создающих конкурентоспособность мы решили воспользоваться исследованием [45].

Уровень 3 BIM дает важные преимущества для конкурентоспособности строительного сектора. Вот некоторые из них [45]:

Повышенная производительность. Простой и быстрый обмен информацией позволяет значительно повысить производительность. Совместная работа сокращает время на добавление и изменение новой информации. Более высокая производительность означает более низкие затраты и большую эффективность с точки зрения планирования проекта.

Большие данные. Технология BIM предлагает помощь в управлении огромным количеством данных. Более эффективное управление большими данными изменит то, как многие профессионалы работают в строительном секторе.

Новые возможности на небольших рынках. Технология BIM может оптимизировать процесс строительства. Этот элемент позволяет открывать и развивать новые рынки, которые до сих пор не имели нужных инструментов для расширения. Благодаря полностью или частично интегрированной модели сотрудничества они смогут справиться с трудностями, с которыми сталкиваются в данный момент.

Здания более высокого качества. Возможность более точного управления большим количеством данных позволяет значительно улучшить качество зданий. Другими словами, в будущем будут проектироваться и строиться более сложные здания, которые могут предложить своим жильцам гораздо больше. Окружающая среда и модернизация спроектированных конструкций могут быть легко учтены в процессе строительства.

Улучшено обнаружение коллизий. Благодаря BIM процесс обнаружения коллизий значительно улучшается. Столкновение относится к потенциальным ошибкам, возникающим при проектировании и строительстве здания. Этим процессом можно управлять с помощью технологии BIM и файлов IFC для повышения эффективности проекта.

Поэтому ясно, что BIM представляет собой новую парадигму в строительном секторе, поощряющую интеграцию ролей всех заинтересованных сторон в проекте и совместимость.

Технология BIM представляет концепцию функциональной совместимости в строительном секторе, чему способствует использование лучшего программного обеспечения BIM, сертифицированного buildingSMART International.

Есть очень важный вопрос о том, что даст использование BIM во всей его полноте, то есть к решительному изменению правового поля в части применения BIM как одного источника правды для всех участников процессов. Концепция Total BIM нашла своих горячих сторонников среди очень практичных скандинавов, и ее внедрение показало очень значительные экономические и иные конкурентные

преимущества [36,37].

Информационное моделирование зданий (BIM) часто в основном ограничивается этапом проектирования, где существуют два параллельных процесса, то есть создание 2D-чертежей и BIM. К концу процесса проектирования BIM устаревает, поскольку акцент смещается на создание статических 2D-чертежей, что приводит к отсутствию доверия к BIM. В Скандинавии появилась концепция, известная как Total BIM, которая представляет собой новый комплексный подход, при котором BIM является единственным источником информации на протяжении всего проекта. Целью данной статьи является исследование общей концепции и целостного подхода к проекту Total BIM для поддержки реализации и разработки стратегии, связанной с BIM [36].

Концепция Total BIM зависела от сильной взаимозависимости между часто встречающимися изолированными применениями BIM. Были определены четыре основных фактора успеха: BIM, ориентированный на производство, как основной контрактный и юридически обязывающий строительный документ, управление моделями на основе облачных вычислений, удобное мобильное программное обеспечение BIM на месте и сильное лидерство [36].

Совсем недавно в Швеции была защищена диссертация на тематику тотального BIM [37], посвященная оценке затрат в строительстве в обычном применении BIM по сравнению с Total BIM. В этой работе сказано, что перерасход средств является проблемой в строительной отрасли, а в отрасли с такой небольшой нормой прибыли всегда есть желание сократить расходы. Для облегчения и повышения эффективности и качества процессов оценки затрат в строительной отрасли продвигается внедрение информационного моделирования зданий (BIM). Недавно в Скандинавии появилась концепция «Total BIM», где BIM становится юридически обязывающим строительным документом [37]. Этот подход исключает традиционные 2D-чертежи и предъявляет больше требований к фактической BIM, что должно способствовать более широкому использованию при оценке затрат. Этот тезис [37] исследует проблемы, проблемы и потенциал в рамках процесса оценки затрат. Было проведено 10 интервью с участниками недавних проектов, связанных с параллельным использованием BIM и традиционной строительной документации. Во-вторых, было проведено углубленное исследование проекта Total BIM в отношении качества модели, расчетов количества и оценки стоимости. Результаты показывают, что даже в проектах, где присутствует BIM, для оценки стоимости по-прежнему использовались традиционные 2D-методы. Общие причины включают недоверие к BIM, неясный правовой статус и качество BIM, а также то, что существование традиционных 2D-чертежей позволяет по-прежнему использовать «проверенные и проверенные» методы. Используя Total BIM, время, затрачиваемое на оценку затрат, может быть сокращено до 90% по сравнению с традиционными методами, но необходимо решить вопросы, касающиеся

обучения, управления данными и информацией и образования. Большие инвестиции также необходимы на ранних стадиях проекта [37], которые составляют лишь малую часть общих затрат в жизненном цикле зданий и сооружений инфраструктур.

Мы полагаем также, что у направления Total BIM – логичный этап развития уровней зрелости. Total BIM в своем развитии позволяет по нашему мнению достичь и очень значительные экономические и иные конкурентные преимущества [36,37].

Организационное выделение в общей структуре экономической стратегии подсистемы стратегии повышения цифровой зрелости проектного управления позволит в автоматическом режиме осуществлять мониторинг состояния внешней и внутренней среды строительного кластера, позволяющий обеспечивать своевременную оптимизацию соотношения предельных издержек, обусловленных рыночными транзакциями и сложившейся иерархической организацией проектирования.

IV СТРОИТЕЛЬСТВО 4.0 И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ПРОЕКТОВ

Современная ценностно-сетевая концепция конкуренции и парадигма устойчивой конкурентоспособности предприятия базируется на понимании особенностей новой экономической реальности, обусловленной закономерностями перехода на цифровой технологический уклад, Четвертой промышленной революции.

В настоящее время строительный сектор подошёл к стадии, когда ему требуется «цифровая» реконструкция. Она должна быть достигнута за счет внесения изменений в методологию строительства и использования новых инструментов и технологий, таких как технология BIM и это еще один путь достижения высоких с уровней выгод для инфраструктурных проектов.

В основе четвертой промышленной революции как следует из самого ее названия лежит трансформация способов производства известная как Индустрия 4.0. Известное издательство в научно-технической области Springer выпустило в 2022 году книгу из 28 глав целиком посвященную Индустрии 4.0 для искусственной среды, то есть применению подходов Индустрии 4.0 для строительной сферы [103].

В этой книге обсуждается, как меняется роль традиционных строителей, и предоставляется полезные руководства, на некоторые из которых мы предоставим ссылки. В последнее время представлены основные концепции и методологии для искусственной среды, предоставляющие определения и приложения для информационного моделирования зданий [66], вычислительного проектирования [67], искусственного интеллекта [68], больших данных [69], облачных вычислений, анализа и визуализации данных [70], бережливого строительства, расширенного управления проектами, устойчивого развития, географических

информационных систем, передовых бизнес-моделей, управления стихийными бедствиями, управления качеством, здоровьем, безопасностью и юридическим перспективам. В книге также представлены новейшие технологии и инновации для искусственной среды, включая цифровые двойники [59], захват реальности [60], расширенную реальность [61], геймификацию [62], вычислительное строительство и производство [63], мониторинг состояния конструкций [64], интеллектуальные транзакции и кибербезопасность [65]. Представлены тенденции в области мягких навыков для искусственной среды, охватывающие навыки цифровой работы, общения, управления собой и отношениями, а также критическое мышление. Мы описали часть публикаций в книге Индустрия 4.0 для строительной сферы, чтобы дать представление читателю о том, из чего уже складывается Строительство 4.0 или его быстро развивающаяся часть - умное строительство [71-74].

Благодаря воздействию современных информационных технологий строительство транспортной инфраструктуры вступило в «интеллектуальную эру». Традиционная технология строительства также претерпевает изменения парадигмы. Основные элементы интеллектуального строительства включают в себя восприятие, анализ, принятие решений и выполнение. Большие данные, машинное обучение и экспертная система применяются для предоставления практических технических решений для интеллектуального строительства. Также это направление строительства включает процесс интеллектуального принятия решений и управления машиной с автоматической обратной связью. Наконец, будущее развитие интеллектуального строительства, как мы полагаем, будет глобально скоординировано усилиями Международного общества интеллектуального строительства (ISIC).

Термин «интеллектуальное строительство инфраструктуры» уже несколько лет используется промышленностью и учеными без четкого определения. Ниже приводится определение, данное в статье [71]:

«Интеллектуальное строительство инфраструктуры — это сочетание науки о моделях и инновационных строительных технологий. Оно включает в себя приложения интеллектуального восприятия/зондирования, интеллектуальных вычислений/анализа, интеллектуального принятия решений и интеллектуального управления с обратной связью на протяжении всего жизненного цикла инфраструктуры: от обследования, проектирования, строительства, эксплуатации и обслуживания/восстановления путем адаптации к изменениям окружающей среды и минимизации рисков».

Чтобы улучшить строительство инфраструктуры, нельзя просто полагаться на обычную строительную технику и технологии. Одним из важнейших выводов исследований качества строительства является то, что 80% преждевременных отказов инфраструктуры связано с качеством изготовления [71]. Поэтому

промышленность начинает инвестировать в технологии, отличные от традиционных методов. Одной из доминирующих технологий, которую начинает внедрять отрасль, являются информационные технологии. Информационные технологии начинаются с небольших компьютерных микросхем, включая микросхемы в печатных платах, затем печатные платы интегрируются в строительную технику и системы управления (рис. 18).

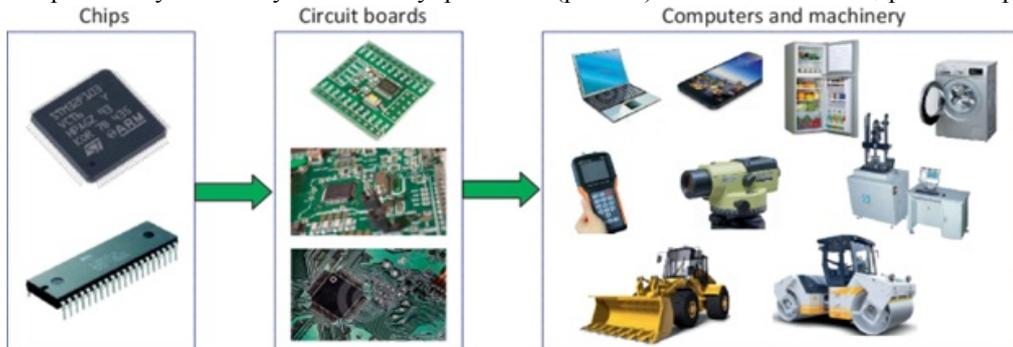


Рис. 18. Информационные технологии, используемые в компьютерах и строительной технике [71]

Такое приложение позволяет обычным методам и оборудованию с дополнительными возможностями воспринимать и собирать данные, преобразовывать данные в информацию и использовать информацию для принятия более эффективных решений. Заявка на контроль качества всего процесса строительства (от материала пр. до окончательного уплотнения) постепенно внедряется в промышленность (рис. 19).



Рис. 19. Пример контроля качества всего процесса строительства автодороги [71].

А. Характеристики интеллектуального строительства

Интеллектуальным строительством можно считать интеграцию традиционных методов строительства, техники с современными информационными технологиями. Однако следует помнить, что автоматизация — это не разумное строительство. Настоящая интеллектуальная конструкция должна состоять из четырех важнейших элементов: восприятия, анализа, принятия решений и исполнения (рис. 20). Восприятие заключается не только в восприятии и сборе данных, но и в получении значения данных. Анализ и принятие решений будут неотъемлемым интеллектуальным алгоритмом с помощью определенного уровня искусственного интеллекта (ИИ). Наконец, выполнение требований интеллектуальности будет включать определенный уровень обратной связи или системы автоматической обратной связи.



Рис. 20. Основные элементы интеллектуального строительства дорог, интегрированные с ИИ [71].

В настоящее время информационное моделирование зданий (BIM) превратилось в цифровую основу архитектуры, проектирования и строительства. Кроме того, в последние десятилетия наблюдается быстрое

развитие различных методов искусственного интеллекта для надежной обработки огромного объема данных в сложных и неопределенных условиях. Поскольку как BIM, так и искусственный интеллект (ИИ) привлекают к себе устойчивое внимание, интеграция BIM и ИИ может продемонстрировать новую добавленную стоимость в управлении строительными проектами с присущей им

сложностью и неопределенностью. Обзору этой очень важной части интеллектуального строительства посвящена работа [72].

Хотя машинное обучение, как часть ИИ, широко используется во многих отраслях, оно только начинается в исследованиях и разработках в области строительства. Однако ожидается, что строительные технологии с машинным обучением появятся в отрасли в ближайшем

будущем. Примером такой инновации [71] будет настоящий интеллектуальный каток уплотнения, который может интегрировать технологии катков, систему интеллектуального измерения показателей уплотнения (ICMV) самого высокого уровня и машинное обучение (рис. 21).

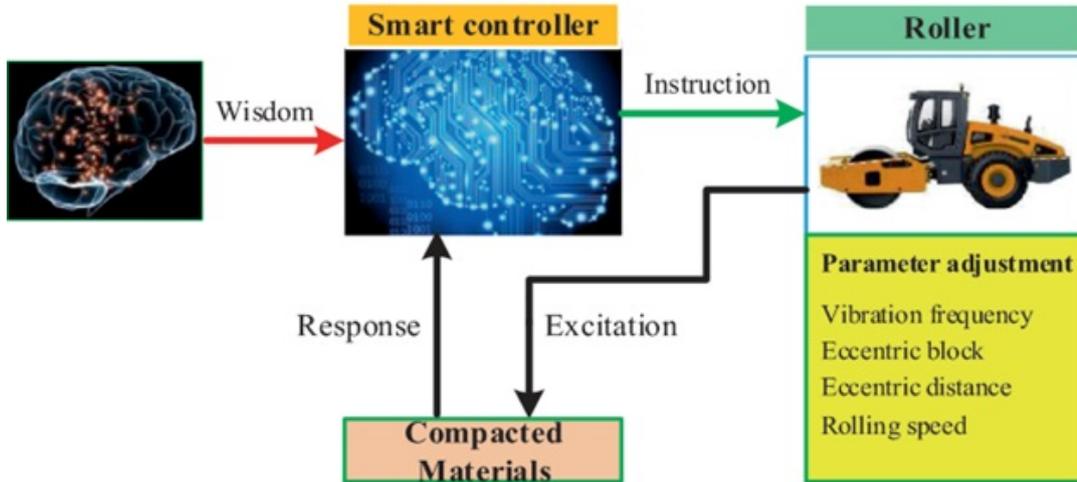


Рис. 21. Настоящая интеллектуальная система уплотняющих катков [71].

В настоящее время BIM играет ведущую роль в революции в строительной отрасли, которая включает в себя технологические, агентские и управленческие компоненты для постоянной оцифровки процесса представления здания [72]. То есть BIM может служить многофункциональным набором инструментов для конкретных целей, которые становятся все более интегрированными [72]. Помимо 3D-модели, BIM может предложить пул информации для поддержки управления проектами и оказания существенного влияния на аспекты экономики, социальной сферы и окружающей среды. Согласно опросу [72], BIM приносит пользу проекту на этапах планирования и проектирования, строительства и эксплуатации и обслуживания, что составляет примерно 55%, 35% и 10% внедрения BIM, соответственно. Другими словами, BIM вышел далеко за рамки этапа проектирования. Поскольку BIM помогает оцифровать каждый аспект жизненного цикла здания, большое количество данных будет накапливаться за один этап. Считается, что интеграция BIM и AI будет все более распространенной [72].

Благодаря природе BIM, обеспечивающей трехмерную визуализацию с большим объемом данных и достоверные данные о проектах, ИИ является идеальным решением, которое можно легко

интегрировать с BIM, чтобы облегчить быстрый поиск и анализ информации на протяжении всего жизненного цикла строительных проектов. Стоит отметить, что большой потенциал ИИ заключается в том, чтобы предложить более разумное и информативное понимание цифровой среды, созданной с помощью BIM, что позволяет проводить интеллектуальное исследование и оптимизацию на разных этапах проекта на основе BIM для достижения более высокой эффективности проекта, качества, сотрудничества и устойчивости [72]. Кроме того, сводка потенциала ИИ на рис. 22 определяется в соответствии с двумя доказательствами. Один из них — это три основных этапа использования BIM, включая планирование/проектирование, строительство и эксплуатацию/техническое обслуживание. Другой — это три выделенных кластера в сети ключевых слов на рис. 22. Кластер 1, выделенный красным цветом, указывает на то, что ИИ обладает выдающейся способностью к самообучению для управления безопасностью строительства. Кластер 2 зеленого цвета показывает, что ИИ полезен для интеллектуального проектирования. Кластер 3 синего цвета показывает, что ИИ способствует устойчивому развитию [72]. Подводя итог, потенциал ИИ на трех этапах проекта, которые заслуживают особого внимания, кратко представлен следующим образом:

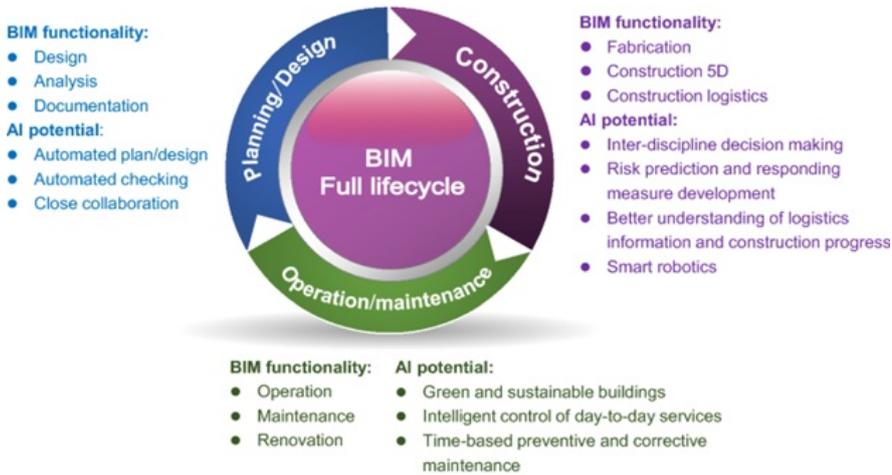


Рис. 22. Потенциал интеграции BIM-AI на трех этапах жизненного цикла проекта [72].

Применение глубокого обучения в интеллектуальном строительстве тема отдельной статьи [73]. В целях повышения уровня строительства инженерных объектов и снижения аварийности была предложена концепция умной строительной площадки [73]. Умная строительная площадка – это конкретное воплощение концепции умного города в строительной отрасли. Она обеспечивает всестороннее трехмерное наблюдение за строительными площадками в режиме реального времени с помощью интеллектуальных систем контроля, данных и визуализации. В настоящее время разработка умной строительной площадки все еще находится в начальной стадии, т. е. стадии восприятия. Она использует передовые технологии обнаружения для наблюдения за рабочими, механизмами и конструкциями, а затем выявляет и локализует потенциальные опасности. Информационное моделирование зданий (BIM) использует трехмерную графику зданий в качестве носителя для дальнейшей интеграции всех типов информации о здании.



Рис. 23. Идентификация работника [73].

Умной строительной защитной каске как части умной строительной площадки и инструмента безопасности строительства со встроенным мониторингом здоровья и функцией удержания заработной платы посвящена статья [74]

Умные технологии строительства, базирующиеся на BIM, расположенные в центре технологических инноваций, могут изменить парадигму производительности в строительной отрасли

Параметризованную модель можно использовать для моделирования строительства, обнаружения столкновений и других приложений [73].

Большое количество рабочих на строительных площадках и сквозное выполнение работ являются основными причинами более высокого уровня несчастных случаев в строительной отрасли, чем в любой другой отрасли. На строительных площадках существует много потенциальных опасностей, и рабочие должны быть бдительны в отношении своего окружения. Поэтому желательно отслеживать количество и статус рабочих на стройке в режиме реального времени. Алгоритмы обнаружения объектов, такие как Faster R-CNN, могут идентифицировать и определять местонахождение рабочих в различных сценах и позах [73], как показано на рис. 23. Он может быстро подсчитывать количество и местоположение рабочих в большой сцене, предоставляя новую возможность для обнаружения строителей.

инфраструктурных проектов, поэтому строительные фирмы все чаще пытаются использовать умные технологии для достижения преимуществ. Чтобы внедрить интеллектуальные технологии в строительную отрасль в целом, различные факторы отрасли инфраструктур должны соответствовать условиям приемлемости технологии [4]. Строительная отрасль инфраструктур как государственный подряд более чувствительна к государственной политике, чем другие отрасли. Политика экономического стимулирования,

основанная на строительной отрасли инфраструктур, привела к увеличению объемов и бюджета строительных проектов, что влияет на экономический стимул на строительном рынке и влияние смежных для инфраструктур отраслей. Кроме того, существуют различные заинтересованные стороны, которые составляют строительную отрасль. В частности, интеллектуальные технологии инфраструктур обладают уникальными характеристиками, в которых исходные технологии различных отраслей применяются к строительным технологиям на этапах проекта [4] и относительно давно называется Строительством 4.0 (Construction 4.0) [38-43].

Принято считать, что первое упоминание о Construction 4.0 относится к 2016 году, и, в первую очередь, было основано на осознании строительными компаниями важности оцифровки в строительной отрасли [39]. Таким образом, можно сказать, что Construction 4.0 является конвергенция промышленного производства, CPS и цифровых технологий с конечной целью создания цифровой строительной площадки [38, 39]. Таким образом, ожидается, что Construction 4.0 фундаментально повлияет на организационные и проектные структуры, поскольку структура Construction 4.0 позволяет планировать, проектировать и доставлять построенные активы более эффективно и действенно, с

акцентом на преобразование физического состояния в цифровое и затем с цифрового на физический [39]. Construction 4.0 можно определить как парадигму, которая включает CPS и Интернет вещей, данных и услуг, с основной целью соединения цифрового уровня, который состоит из BIM и среды общих данных (CDE), с физическим уровнем, который состоит из актива и его жизненного цикла.

BIM в Construction 4.0 преобразуется в активную среду обмена данными в Интернете, то есть становится BIM 4.0. Из-за размеров строительной отрасли даже небольшие улучшения принесут значительные выгоды обществу, поскольку строительство является определяющим фактором того, где и как большинство людей живут и работают [39].

Считается, что строительная отрасль находится в стадии непрерывного реинжиниринга, причем последние инновации демонстрируют огромный вклад таких важных аспектов, как безопасность, устойчивость, эффективность проекта, бережливое производство, мониторинг объекта, проектирование, автоматизация строительства и т. д., т.е. Строительства 4.0 [38-40].

Принципиальная схема основных опор Строительства 4.0. показана на рисунке 24.

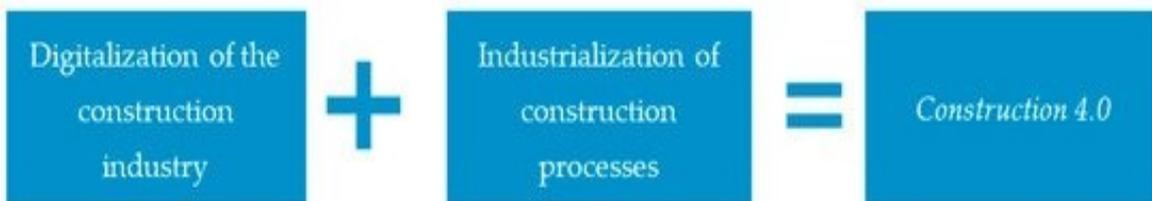


Рис. 24. Схема опор Строительства 4.0. [40].

Одной из ключевых концепций Строительства 4.0 являются киберфизические системы. Строительная отрасль все чаще создает ценные цифровые активы, но также постепенно использует цифровые технологии для планирования, проектирования, строительства, мониторинга и контроля физических объектов [43].

Исходные технологии Строительства 4.0., такие как датчики, дроны, IoT и роботы, разрабатываются в электронике, телекоммуникациях и машиностроении, но эти технологии по-разному используются в строительной отрасли для обследования объектов, в качестве датчиков безопасности и в строительстве роботов для инфраструктур. Более того, поскольку на выполнение проекта влияют различные структурные аспекты, такие как системы, контракты, правила и т. д., следует также учитывать институциональные перспективы технических инноваций в строительной отрасли инфраструктур [4,10-14].

Чтобы рассмотреть промышленную конкурентоспособность для строительства инфраструктур, необходимо понять текущий статус страны в отношении принятия инноваций. Это связано с тем, что конкурентоспособность промышленности динамично меняется в связи с усилиями страны по повышению конкурентоспособности [4]. В связи с этим

необходимо понимать национальный фон технологических инноваций в отношении распространения инноваций пользователями в строительной отрасли, а также политической деятельности страны. Другими словами, экспертов, занимающихся технологиями, следует рассматривать как сторонников инноваций, а национальную политику, касающуюся интеллектуальных технологий, необходимо подробно проанализировать [4,10-14].

Одним из методов помогающих понять состояние конкурентоспособности является теория диффузии инноваций (DIT), которая описывает процесс принятия и внедрения инноваций в отношении новизны, которую ощущает акцептор, и изучалась в самых разных областях [4,10-14]. В частности, кривая принятия инноваций позволяет классифицировать тех, кто внедряет инновации, и показывает, что размер группы меняется в зависимости от периода, прошедшего с момента внедрения инновации. Это важно тем, что позволяет перейти в первую очередь от концептуального изучения свойств и процесса распространения инноваций к точке зрения акцептора, которая принимает инновации с течением времени [4]. Кривая принятия инновации описывается в виде пяти этапов с точки зрения акцептора, который принимает инновацию (рис. 19). Во-первых, новаторы агрессивны в инновациях, предприимчивы и готовы активно принимать

неопределенность. Во-вторых, ранние последователи образуют решающий кластер больших групп, поскольку не распространяется, что оказывает значительное влияние на инновации, поскольку группы обсуждают до принятия. В-третьих, раннее большинство относится к слоям, в которых инновации принимаются и внедряются до того, как они распространятся и достигнут своих средних значений. В-четвертых, большинство проявляет осторожность и пассивность, проявляя склонность к принятию инноваций после того, как они достигают среднего уровня. В-пятых, маловероятно, что люди, не являющиеся новаторами, примут новшество, потому что они негативно относятся к нему и предпочитают быть в безопасности. С точки зрения принятия инноваций кривая принятия инноваций показывает, что продажи инновационных продуктов распределяются по колоколообразной кривой, когда инновация выпускается на рынок. Эта кривая отделяет процесс освоения рынка от момента появления на рынке инновационной технологии, что позволяет легко понять текущее состояние отрасли, в которой внедряется инновационная технология. Таким образом, в данной статье изучается текущий статус внедрения интеллектуальных технологий в КСИ через кривую принятия инноваций [4].

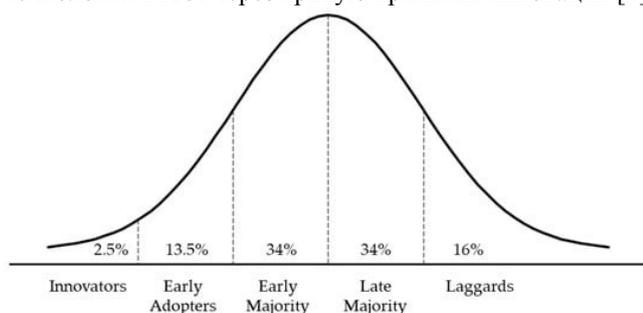


Рис. 25. Классификация пользователей на основе инновационности [4].

Теория промышленной конкурентоспособности (в том числе Строительства 4.0) в значительной степени классифицировалась как теория национальной конкурентоспособности, и со временем появились различные теории. В 1930-х годах американские экономисты разработали модель «структура-поведение-производительность» (SCP), чтобы понять причинно-следственную связь между окружающей средой, поведением и производительностью компании в попытке устранить факторы, препятствующие конкуренции в отрасли. Начиная с этого, исследования конкурентоспособности с отраслевой точки зрения продолжали развиваться [4]. Основанная на модели SCP, наиболее влиятельная модель представлена как для анализа корпоративной точки зрения используется модель пяти сил, разработанная Майклом Портером [4]. Однако ограниченность модели заключается в том, что она не описывает конкретные конкурентные стратегии между компаниями, поскольку описывает отраслевую структуру как статическую аналитическую составляющую изменений отраслевых тенденций. Поэтому предлагаемой моделью для преодоления этих ограничений является алмазная модель [4].

Алмазная модель объясняет, что конкурентоспособность страны обусловлена условиями окружающей среды, в том числе характеристиками отрасли. Эти условия окружающей среды включают Факторное состояние, Состояние спроса, Стратегию фирмы, Структуру и соперничество, а также Связанную и поддерживающую отрасль в качестве эндогенных переменных, а также Управление и Шанс в качестве экзогенных переменных [4]. Для каждого фактора эндогенные и экзогенные переменные делятся следующим образом. Фактор состояния представляет собой все в человеческой, технологической, ресурсной и логистической цепочке, что имеет основополагающее значение для производства. Он разделен на основные элементы, такие как природные ресурсы, рабочие, и передовые элементы, такие как технологии. Состояние спроса относится к наличию местных и важных потребителей в рыночных условиях, которые облегчают непрерывные исследования и разработку продуктов и предприятий.

В целом, размер рынка и спрос можно рассматривать как взаимосвязанные факторы. «Стратегия фирмы», «Структура» и «Соперничество» определяют общую структуру и стратегию создания, организации и функционирования предприятия в стране, показывая, в какой степени оно может продолжать получать конкурентное преимущество. Связанные и поддерживающие отрасли указывают на наличие конкурирующих на международном уровне смежных или вспомогательных отраслей. Эти отрасли поддерживают целевые отрасли или конкурентоспособность и заставляют производственную деятельность работать хорошо. Правительство влияет на национальную конкурентоспособность извне, регулируя торговлю, промышленную конкуренцию и т. д., и шанс может стать неожиданной возможностью для смежных отраслей благодаря таким событиям, как война, изменение климата и социальные события. Портер предположил, что модель алмаза состоит из этих эндогенных и экзогенных переменных, которые влияют друг на друга, а на эндогенные элементы влияют экзогенные переменные.

Алмазная модель позволяет эффективно анализировать конкурентоспособность отраслей [4], и было проведено множество исследований с применением этой модели в различных отраслях, в том числе в строительной отрасли [4]. Таким образом, модель обеспечивает хорошую основу для анализа концепции конкурентоспособности на национальном уровне и дает указания для представления элементов, которые диагностируют конкурентоспособность отрасли строительства [4].

Завершая раздел статьи о Строительстве 4.0. и дополняя статью [56], о которой шла речь выше, стоит сказать о книге 2022 года издательства Springer «Переподготовка кадров для Строительства 4.0. Последствия для промышленности, научных кругов и правительства» [105]. В этой книге рассматривается зарождающаяся революция в строительной отрасли, известная как «Строительство 4.0», сопутствующая

потребность в переподготовке человеческих ресурсов и роли ключевых заинтересованных сторон в развитии необходимых навыков для «Строительства 4.0». Он рассматривает отсутствие навыков 21-го века и дефицит навыков в отрасли как серьезные проблемы, ограничивающие внедрение и внедрение технологий «Строительство 4.0», особенно в развивающихся странах. Чтобы определить необходимые навыки, в этой книге рассматриваются важнейшие технологии строительства 4.0, такие как информационное моделирование зданий (BIM), роботизированное строительство, 3D-печать и дроны, которые изменили строительную отрасль, тем самым создав цифровое, интеллектуальное и устойчивое строительные решения. Кроме того, в книге рассматриваются преимущества, риски и соответствующие навыки, необходимые для внедрения технологий Construction 4.0.

В статье «Переподготовка для строительства 4.0» [75], которую мы выбрали из этой книги, описаны причины и направления этого направления в Строительстве 4.0. В этой статье говорится о том, что строительная отрасль нанимает несколько категорий работников для успешного завершения проекта. К ним относятся профессионалы (архитекторы, инженеры, геодезисты и т. д.), квалифицированные (сантехники, электрики, плотники, каменщики и т. д.) и полуквалифицированные рабочие (курьер, дворник, водитель грузовика) [75]. Оглядываясь назад, можно сказать, что строительная отрасль постоянно сталкивалась с нехваткой квалифицированной рабочей силы, и внедрение строительства 4.0, вероятно, увеличит разрыв в навыках [75]. Кроме того, было несколько прогнозов о том, что внедрение этих новых технологий может привести к потере работы. По данным Всемирного экономического форума (2018 г.), благодаря новому разделению труда между людьми, машинами и алгоритмами будет создано примерно 133 млн. новых ролей [75]. В последнее время некоторые работники не знают, что делать, поскольку машины и роботизированные устройства заменили их навыки. Организациям с такими работниками следует полностью переобучить их новым технологическим системам и инструментам, чтобы сохранить свою рабочую силу и поддерживать ее работоспособность. Однако наилучший способ решения этих проблем и развития новых навыков — это переподготовка и повышение квалификации человеческих ресурсов. В свете применения 4IR в строительной отрасли, что предполагает использование новых технологий, необходимо подчеркнуть важность переквалификации и повышения квалификации рабочей силы в этом секторе [75].

Инженерное управление умным строительством, о котором мы говорили выше навыков для понимания международного опыта. Мы выбрали статью китайских авторов «Тестирование влияния цифрового лингвистического ландшафта на инженерное образование для умного строительства» [76] (не входящую в книгу Springer), в которой эта тема рассматривается.

Это исследование [76] направлено на изучение и проверку механизма цифрового лингвистического ландшафта в обучении студентов инженерных специальностей, подходящих для интеллектуального строительства, посредством использования образовательной модели «ASK» (т. е. способностей, навыков и знаний), основанной на платформе цифрового лингвистического ландшафта. Соответствующих исследований цифрового лингвистического ландшафта для развития инженерных талантов в стране и за рубежом не проводилось, и это исследование определяет инженерное образование для умного строительства: (1) определение цифрового лингвистического ландшафта; (2) расширение теоретических возможностей инженерного образования умного строительства с точки зрения лингвистики и обеспечение теоретической основы языковой ландшафтной атмосферы образования; (3) изучение нового пути обучения студентов инженерных специальностей умному строительству и дальнейшее обогащение исследований в области образования студентов инженерных специальностей, связанных с умным строительством [76].

В ИЗМЕНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПОДРЯДА – ПУТЬ К БЛОКЧЕЙНУ И УМНЫМ КОНТРАКТАМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Цифровая экономика трансформирует очень многие процессы, протекающие в современном мире, заставляя его меняться. Государства переводят свои функции в цифровую среду, постепенно становясь «цифровыми» [44]. Однако цифровизация сама по себе не дает никакого экономического эффекта, а в худшем случае может приносить убытки, поглощая все большую часть государственных бюджетов. Так, государственные тендеры на разработку программных продуктов или реализацию сложных высокотехнологичных инфраструктурных проектов, проведенные без привлечения специалистов, могут привести к неэффективному расходованию бюджетных средств. Анализ и распространение знаний о том, как эффективно перевести конкретный вид деятельности человека (экономической, управленческой и т.п.) в цифровую среду, как выглядят новые стандарты этой среды, и как экономически выгодно работать в цифровом пространстве, связанном новыми отношениями с физическим миром, представляет собой важную и актуальную задачу, решаемую средствами формализованной онтологии [44, 104].

Необходимо отметить, что инновации происходят не только в цифровой сфере, но и в иных областях. Соединяясь, цифровые и нецифровые инновации изменяют ландшафт экономики. Поэтому мы решили наряду с техническими аспектами конкурентоспособности BIM решений привести данные о том, как инновации меняют представления о типе строительного подряда, и как они могут быть связаны с данными BIM, в целях улучшения экономических и иных преимуществ инфраструктурных проектов.

Внедрение любого нового процесса сопряжено с множеством юридических проблем, особенно в такой

многогранной отрасли, как строительство [45]. Цены предложений обычно являются единственным основанием для выбора подрядчика по всему миру; например, в Северной Америке и Франции выбирается участник, предлагающий самую низкую цену, а ненормальные цены исключаются. И наоборот, в Италии, Перу, Португалии и Южной Корее исключаются две заявки с самой высокой и две с самой низкой ценой [45]. В любом случае, это не единственный существующий критерий отбора тендеров. Правовые режимы государственных закупок также допускают критерий наиболее экономически выгодного тендера (МЭТ) [45]. Это касается, например, таких стран, как Италия, где МЭТ можно считать стандартным критерием отбора тендеров. При использовании этого критерия оценочная комиссия (группа экспертов) должна учитывать одновременно несколько качественных и количественных критериев оценки: это качество, цена, стоимость обслуживания, стоимость жизненного цикла, технические характеристики, время, а также объем и срок гарантии [45].

В таких странах, как Канада, достигнут значительный прогресс в эффективном использовании BIM на этапе закупок. В других странах, таких как Великобритания, стратегия BIM показывает, что она может иметь прямое и ощутимое влияние на этапе торгов. Клиент получает преимущества этой технологии, в том числе сокращение отходов и избежание проблем, которые могут привести к огромным штрафам как для подрядчика, так и для других участников проекта. Однако при внедрении BIM в тендерном процессе возникают определенные трудности, такие как регулирование и юридические соображения [45]. Существующие обычные контракты не справляются с методологией BIM. Тот факт, что они не имеют отношения к совместному подходу BIM,

может привести к возникновению договорных споров или конфликтов, которые становятся препятствием для эффективного использования и продвижения его преимуществ [45].

Тендерная стадия проекта может быть сложной в жизненном цикле актива. Модели BIM можно использовать для различных целей, таких как оценка объемов и бюджетов или для обнаружения потенциальных конфликтов, помех и столкновений. Кроме того, методология может структурировать поставки и избежать потери информации во время разработки проекта, обеспечивая скоординированное выполнение требований владельцев и предвидя влияние их решений на оперативную работу инфраструктуры на ранних стадиях проекта. Использование BIM может способствовать сотрудничеству и общению в процессе тендера, снижая неопределенность и помогая повысить конкурентоспособность [45].

Обычной фигурой в испанских административных закупках являются документы спецификации контракта. Они содержат все пункты, которые будут регулировать административный договор, а также права и обязанности, соответствующие каждой стороне. Файлы закупок объединены двумя типами документов спецификации: документом конкретных административных положений и документом технической спецификации (рис. 26). Использование методики должно быть указано в документе конкретной административной оговорки как предмет договора, а не как его дополнительное положение или улучшение [45], поскольку улучшения обязательно должны быть связаны с предметом договора.

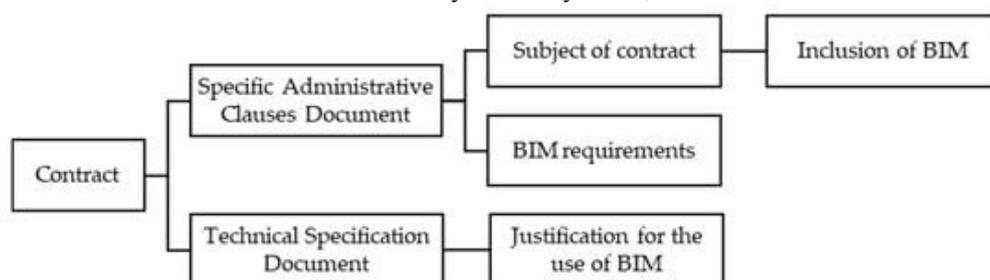


Рис. 26. Включение BIM в государственные закупки Испании [45].

Контракт также должен учитывать требования BIM, ожидаемые от подрядчика. Их должен решать собственник, учитывая не только свои возможности, но и возможности своих общих поставщиков. Если уровень спроса слишком высок, тендеры могут остаться без присуждения или без компетенции [45].

В [44] достаточно подробно изложены достижения в организации правил общеевропейских тендеров, что позволяет нам сосредоточиться на цифровой трансформации строительных договоров в сторону блокчейна и умных договоров. Общий прогресс такого преобразования договоров достаточно разнообразен, но нацелен на создание и управление преимуществами.

Так, в [46] описывается исследование, задачей которого является полуавтоматизация процесса создания формальных спецификаций из юридических контрактов в текстовой форме на естественном языке. С этой целью в статье представлен инструмент под названием *ContrattoA*, который полуавтоматически выполняет семантическую аннотацию текста юридических контрактов, используя онтологию для юридических контрактов. Технологиям блокчейн и смарт-контрактам в децентрализованных системах управления, которые часто бывают сутью инфраструктурного строительства посвящена работа [47].

Децентрализованная и общедоступная бухгалтерская книга на основе блокчейн и смарт-контрактов

рассматривается как основа для организации будущих организационно-финансовых процессов в строительстве и поэтому мы решили остановиться на них более детально.

Одной из наиболее важных особенностей децентрализованной и общедоступной бухгалтерской книги является устранение любых сторонних посредников, поскольку они требуют от клиентов полного и безоговорочного доверия им. Это особенно верно, когда бухгалтерская книга также отвечает за управление юридическими контрактами на цифровой платформе. Блокчейн [48] был введен, чтобы позволить сторонам сети взаимодействовать распределенным образом без требования доверенных лиц. Блокчейн — это открытый одноранговый реестр, поддерживаемый распределенной сетью вычислительных узлов. Технологии блокчейна открывают новые перспективы в нескольких ключевых аспектах, таких как Интернет вещей (IoT), здравоохранение, страхование, энергетика, связь и робототехника [48], учитывая широкий спектр преимуществ, которые они предоставляют. Например, блокчейн гарантирует право собственности, прозрачность, отслеживаемость, публичную доступность, непрерывность и неизменность цифровых активов в эффективной и ненадежной среде, где цензура недостижима. Одним из самых популярных приложений блокчейна является самоисполняемый контракт, также называемый смарт-контрактом (SC) [48]. SC — это способ представления контрактов в виде строк неизменяемых программных кодов, которым разрешено самостоятельно выполняться в публичном реестре.

Смарт-контракты на блокчейне эквивалентны хранимым процедурам баз данных, а значит, имеют прямой доступ к низкоуровневым механизмам. Абстракции смарт-контрактов могут дать несколько преимуществ. Среди них, напомним, легче публиковать контракты, которые интегрируются и работают с несколькими типами цифровых и нецифровых активов,

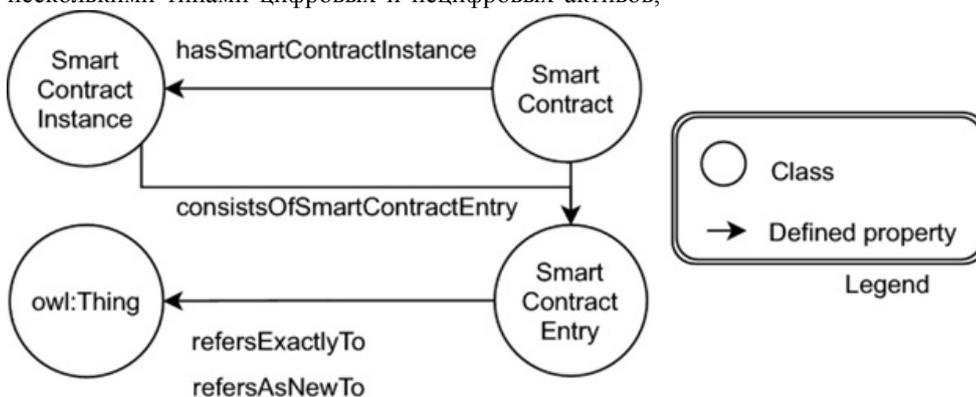


Рис. 27. Схема онтологии смарт-контракта [48].

Несмотря на препятствия, BIM в настоящее время является наиболее подходящим решением для совместного и структурированного производства, проверки и управления информацией в строительстве инфраструктур. Блокчейн в союзе с BIM может стать возможным ответом на проблему асимметрии и надежности информации на этапах проектирования,

когда обеспечивается более высокое и формальное представление их ограничений и соглашений. Кроме того, высокоуровневые представления смарт-контрактов легко читаются агентами-людьми, что позволяет четко понимать соглашения и проверять нарушения за пределами цифровых границ приложения, например, в контексте судебного процесса. Наконец, такие контракты не зависят от платформы, и, следовательно, они могут использоваться и совместно использоваться несколькими типами приложений и систем, например, в межцепочечных приложениях.

Семантические веб-инструменты и языки нацелены на достижение полной совместимости машин, продвижение общих форматов данных и обмен протоколами в Интернете, совместное использование и повторное использование данных в приложениях, а также за пределами предприятия и сообщества. В семантическом видении Интернета, программные агенты могут запрашивать и манипулировать информацией от имени агентов-людей с помощью машиночитаемых данных, несущих явное значение. Таким образом, данные могут автоматически обрабатываться и интегрироваться агентами, а также могут быть доступны и изменены на более высоком уровне таким образом, чтобы повысить согласованность и распространение информации. Кроме того, при вмешательстве семантических рассуждений неявная информация обрабатывается и выводится, чтобы получить более глубокое знание предметной области. Кроме того, автоматизированные системы рассуждений позволяют также проверять согласованность данных и запрашивать их. Определение конкретной области широко называют онтологией [48]. Консорциум World Wide Web (W3C) рекомендует язык веб-онтологий 2 (OWL 2), язык представления знаний для веб-онтологий, основанный на логике описания SROIQ(D) [48]. Схема онтологии смарт-контракта представлена на рисунке 27.

тендера, строительства и обслуживания [49]. Кроме того, развертывание смарт-контрактов обеспечивает программирование и автоматическое выполнение определенных действий.

Прогрессивная цифровая трансформация управления информацией приводит к революции в процедурах всего процесса строительства. В этом контексте как государственные, так и частные клиенты проявляют интерес к инновационным методам, которые

используют управление информацией для улучшения коммуникации, эффективности, безопасности и производительности застроенной среды. Цифровизация стимулирует большую автоматизацию этапов проектирования, тендеров, строительства и технического обслуживания, оптимизирует жизненный цикл здания и повышает удовлетворенность клиентов и опыт конечных пользователей [49]. В этом контексте информационное моделирование зданий можно считать методологией, лежащей в основе цифровой трансформации. Как подход, основанный на управлении цифровой информацией, он действительно может иметь решающее значение для лучшего принятия решений, предсказуемости и уверенности в получении ожидаемых результатов. Это существенно влияет на систему создания, сбора, использования и обмена цифровой информацией на протяжении всего жизненного цикла актива с участием всех заинтересованных сторон.

Серия ISO 19650, как международные стандарты, определяющие процедуры управления цифровой информацией в течение жизненного цикла активов, поощряет внедрение BIM и единообразно направляет экспертов в ее использовании [49]. ISO 19650 определяет BIM как полезный метод, основанный на лучшей спецификации и цифровой доставке необходимого объема информации о проектировании, строительстве, эксплуатации и обслуживании актива с использованием соответствующих технологий [49]. Процесс управления информацией охватывает деятельность по определению требований к информации, а также производство, доставку и анализ информации. В рамках такого процесса каждый участник несет ответственность за выполнение определенных функций управления информацией. Таким образом, каждая задействованная сторона участвует и взаимодействует с управлением информацией в соответствии со своей ролью и обязанностями. Действительно, ISO 19650 определяет основных участников процесса, определяемых как назначающая сторона, ведущая назначенная сторона и назначенная сторона (стороны) [49]. Первым, обычно представленным клиентом, является тот, кто определяет требования к информации. Вторая сторона отвечает за координацию обмена информацией, а третья отвечает за производство информации. Согласно ISO 19650, для успешного управления информацией с использованием BIM каждый вовлеченный участник должен выполнить три основные задачи. Во-первых, это четкое определение требований к информации, а также стандартов их производства и рассмотрения. Второе — это надлежащее производство количества и качества требуемой информации, а третье — эффективный и действенный обмен информацией между вовлеченными сторонами. В частности, назначающая сторона является тем, кто начинает процесс, заявляя требования к информации и обеспечивая их четкое определение. Это утверждение определяет тип информации и поясняет, как следует структурировать и обмениваться различными типами информации. Затем каждая предполагаемая ведущая назначенная сторона отвечает

на заявленные требования к информации путем разработки плана выполнения BIM (BEP), который рассматривается назначающей стороной при выборе ведущей назначенной стороны. После этого этапа все участники сотрудничают, чтобы согласовать ключевые роли и обязанности и разработать план предоставления информации, в котором излагаются схемы координации и доставки. Это позволяет настроить и надлежащее управление информацией, обеспечивающее и учитывающее требования вовлеченных сторон, процесс доставки и использование соответствующих технологий. В конце каждого этапа проекта требуется анализ полученной информации для подтверждения надлежащего выполнения требований к информации. Этот процесс обзора обычно выполняется с помощью сочетания ручных и автоматизированных методов и приложений.

Вышеупомянутое определение информационных требований основано на структурированном управлении информацией, позволяющем четко определять требования, их доступность для разных сторон и постоянный контроль их выполнения [49]. Каждая полученная информация должна быть рассмотрена для перепроверки на соответствие информационным требованиям и, следовательно, принята (или отклонена). В этом контексте серия ISO 19650 [49] определяет клиента как лицо, ответственное за определение целей проекта и требований к информации, а также за анализ информации, предоставленной для каждой фазы жизненного цикла актива. Однако, поскольку ISO 19650 не содержит сведений об организации или конкретном проекте и учитывает высокий уровень участия клиента, начиная с рекомендуемых общих стандартов, становится все более очевидной необходимость в руководствах по BIM, содержащих персонализированные требования клиента. Настройка стандартов позволяет клиенту создавать собственные руководства BIM для структурированного определения требований к информации и регулирования последующих процедур на основе конкретных потребностей. Настройка процедур для организации потребностей клиента способствует контролируемой и постепенной интеграции BIM в строительную отрасль. В частности, чтобы помочь крупным клиентам в подготовке эффективных руководств по BIM [20], ISO/TS 12911 поддерживает определение персонализированных методов управления информацией [24]. Действительно, ISO/TS 12911 представляет собой структурированную и многократно используемую основу для управления процессом разработки BIM [49]. Предлагаемая структура позволяет создать общую структуру для применения BIM и делает рекомендации по BIM управляемыми и тестируемыми. Руководящие принципы BIM готовятся и используются для: (i) определения желаемых выходных данных и их ожидаемого качества, (ii) настройки структурированного внедрения проектной информации, (iii) определения ресурсов и инструментов и их надлежащего управления, (iv) получения и поддержание общих знаний в рамках проекта и (v) поддержка

технологий, лежащих в основе BIM. Подготовка собственных руководств по BIM до начала этапа проектирования позволяет клиенту разработать требования к информации в структурированном виде, и крайне важно обеспечить, чтобы договаривающиеся стороны имели четкое определение всех типов информации, которая должна быть произведена и управляемый [49]. Поскольку проприетарные руководства по BIM разрабатываются конкретным клиентом, они позволяют стандартизировать процессы и управлять ими в соответствии с конкретными потребностями. По этим причинам существующие проприетарные руководства могут сильно отличаться друг от друга по своим целям, подходу к стандартизации, технологическим требованиям и уровню необходимой информации [49]. Тем не менее, они являются мощным инструментом для продвижения и руководства внедрением управления информацией с использованием BIM. Поскольку создание стоимости в строительной отрасли зависит от выявления, обработки и выполнения требований клиента, наличие конкретных руководящих принципов может способствовать развитию процесса и гарантировать выполнение требований. Руководящие принципы BIM, регулирующие запрос структурированной информации, производство, обзор и управление в среде BIM, позволяют создавать согласованную информацию между различными участниками, улучшая прозрачный и совместный рабочий процесс и уменьшая случаи информационной асимметрии или непонимания требований.

Создание и поддержание доверия гарантируется дизайном технологии. Уровень прозрачности, доступности и отслеживаемости информации, совместно используемой и хранимой с использованием технологии, определяется ее архитектурой. Среди DLT блокчейн предлагает уникальные функции, в том числе значительное количество вариантов использования и возможность реализации смарт-контрактов. Как указывалось ранее, смарт-контракты станут важной темой исследования и применения в представленном исследовании. Бесспорно, по мнению некоторых исследователей, просроченные платежи в строительной отрасли привели к нескольким искам, но принятие смарт-контрактов могло бы значительно уменьшить фактические негативные опасения [49]. Выбор и настройка подходящей сети блокчейна позволяют составлять и исполнять смарт-контракты.

Благодаря основным преимуществам, предлагаемым технологией, таким как прозрачность и неизменность информации, которые позволяют ограничить

возникновение недоразумений, а также автоматизация процесса, гарантирующая выплату платежей и соблюдение поставок, предлагаемый исследование помещено среди других новых исследований и экспериментов, связанных с интеграцией управления информацией на основе BIM и блокчейна на этапе проектирования. Действительно, возможность разрабатывать и поддерживать информацию внутри BIM-моделей с использованием блокчейна позволяет записывать любую деятельность, тем самым контролируя в любое время реальный ход рассматриваемого этапа и ответственных сторон. Интеграция блокчейна в процесс BIM обеспечивает уверенность и синхронизацию передаваемой, производимой, просматриваемой и хранимой информации. Информация хранится на распределенной платформе, совместно используемой всеми участниками, что позволяет нотариально заверять каждую часть информации, созданную, измененную и обновленную по ходу процесса. Таким образом, ход процесса и мониторинг соответствия целям проекта известны как клиенту, так и всем вовлеченным назначенным сторонам. В существующей литературе можно найти несколько различных исследований, связанных с внедрением блокчейна в управление цифровой информацией на этапе проектирования.

Клиент использует семантический язык для определения требований к информации для проекта, и для их интеграции в приложение для автоматической проверки они должны быть переведены на машиночитаемый язык, который может быть интерпретирован выбранным программным обеспечением (например, Autodesk Model Checker Configurator). Посредничество между двумя языками происходит через предметно-ориентированный язык, термины которого позволяют просто и сразу определить предметную область, в которой работают профессионалы. Идентифицированное приложение не изменяет анализируемую информационную модель, однако на основе наборов правил оно сообщает о любых сообщениях об ошибках, если модель демонстрирует несоответствия в отношении предметной области. Наборы правил состоят из перевода требований к информации руководства и представляют область проверки. Процессный подход к автоматической проверке представлен на рисунке 28.

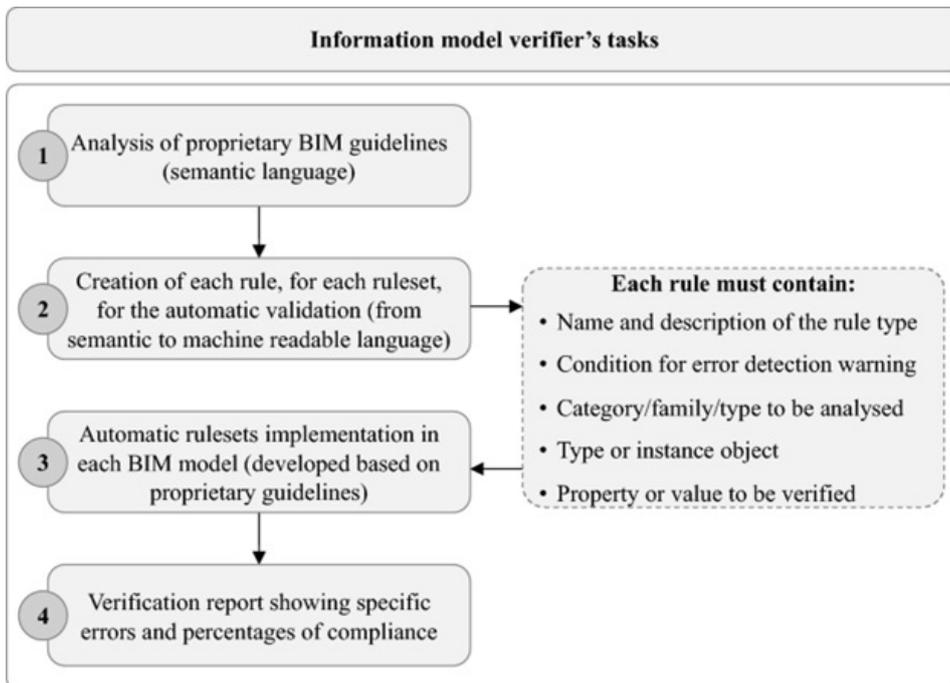


Рис. 28. Процессный подход к автоматической проверке [49].

Следовательно, логика функционирования автоматической проверки основана на создании домена проверки (т. е. содержания руководящих принципов), используемого в качестве ссылки для проверки того, что модель попадает в этот домен. Реализация наборов правил в моделях BIM генерирует результат «утверждено» или «отклонено» для каждого

проверенного требования. Наборы правил фактически реализованы и выполняются в каждой модели BIM (т. е. архитектурной, структурной, механической и электрической), завершая исчерпывающий цикл проверки.

Поскольку объем предлагаемой структуры представляет собой комбинацию автоматической проверки BIM и смарт-контрактов, архитектура требует реализации оракулов.

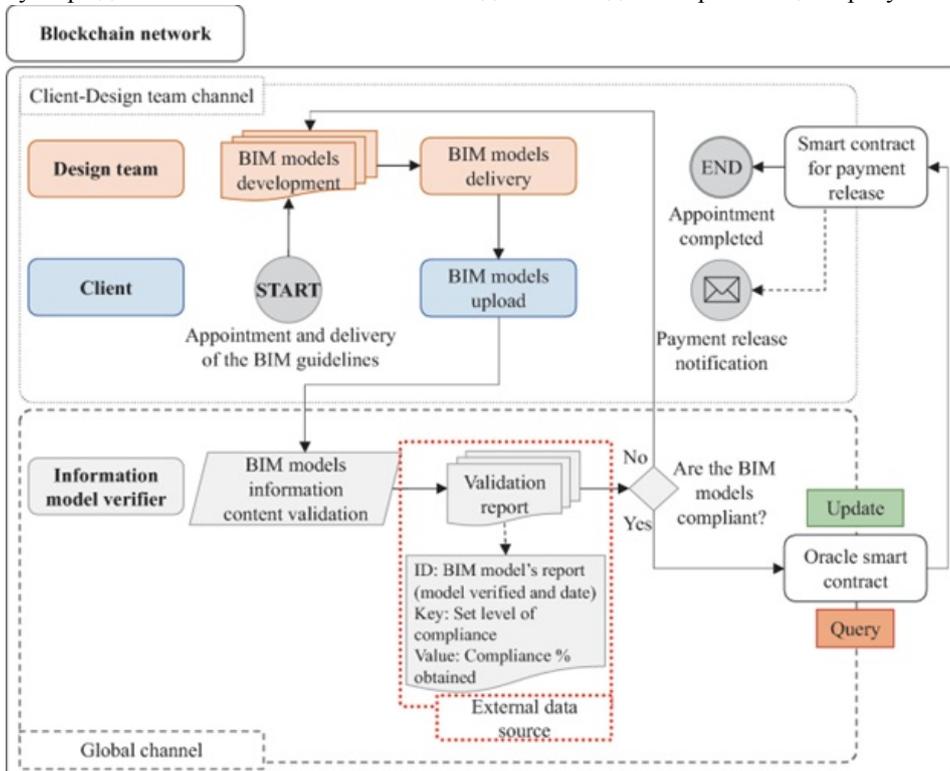


Рис. 29. Структура интеграции высокого уровня [49].

Внедрение оракула требует создания выделенного канала, а именно глобального канала, в котором участник сети выступает в качестве доверенного лица,

ответственного за ведение и обновление реестра с помощью внешних источников. Этот канал снабжен смарт-контрактом оракула, который обновляет сеть и может запрашивать обновленные данные (рис. 29).

Стоит отметить, что тематика, о которой мы говорили выше, в странах-лидерах внедрения BIM уже стала практикой. Так, смарт-контракты и платежи по ним в строительстве Великобритании уже рассматриваются с точки зрения правовой базы [50].

Так как экономические преимущества и конкурентоспособность проектов объективно высоки, то изыскиваются возможности расширения технологий блокчейн и BIM, например, с помощью цифровых двойников. Приведем конкретный пример из [51] одной из решаемых таким способом проблем, начав с ее описания:

«Несмотря на усилия правительства по снижению энергопотребления и выбросов, эта тенденция их увеличения продолжает расти [51]. Одной из неиспользованных возможностей сокращения выбросов является строительство более экологичных зданий с лучшими характеристиками жизненного цикла [51]. Однако эти здания страдают от так называемого разрыва в энергоэффективности зданий, когда фактические энергетические характеристики жизненного цикла здания не соответствуют прогнозам [51]. Несмотря на стремление к более инновационным и энергоэффективным конструкциям, фактическое потребление энергии может быть на 250% выше, чем прогнозируемое [51]».

Хотя некоторые коренные причины разрыва в энергоэффективности здания могут возникнуть на этапе проектирования (например, недопонимание между заинтересованными сторонами, низкая производительность технологий или неправильные имитационные модели [51]), ошибки также возникают на этапах строительства и эксплуатации. Энергоэффективность может страдать от низкого качества первоначального строительства и/или плохой эксплуатации здания [51] в результате организационных и поведенческих факторов [51]. Окончательное качество строительства здания может не соответствовать спецификации (например, недостаточное внимание к изоляции и воздухопроницаемости) [51]. Специальные строительные решения могут отклоняться от указанных конструкций и приводить к непредвиденным последствиям, снижающим производительность. Дальнейшие проблемы возникают во время фактической эксплуатации здания. Например, поведение пассажиров и уровни теплового комфорта могут отклоняться от предположений, а настройки управления могут быть вручную изменены управлением объектом (FM). Общие эксплуатационные характеристики могут страдать от отсутствия непрерывности в мониторинге, анализе и контроле на протяжении всего жизненного цикла здания [51].

Решением для описанной выше проблемы было предложение бизнес-модели «продукт как услуга», которая оказалась успешной в обрабатывающей промышленности [51]. Адаптируя эту модель (рис. 30), работа [51] концептуализирует разницу между традиционной и сервисизированной бизнес-моделью в искусственной среде.

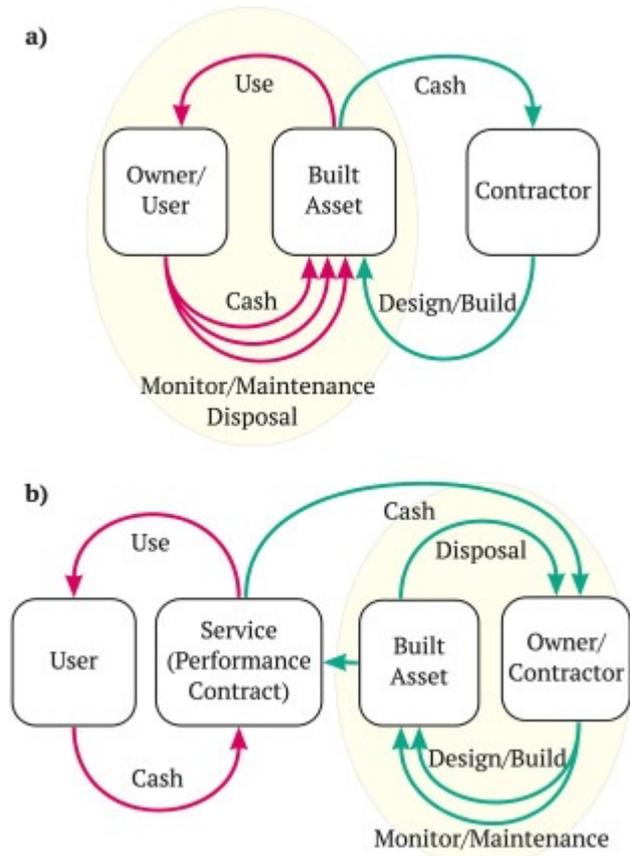


Рис. 30. (a) Традиционная выплата капитальной суммы за здание по окончании строительства. Пользователь несет ответственность за эксплуатацию, техническое обслуживание и утилизацию. (b) В построенной среде как услуге пользователь приобретает согласованные услуги, предоставляемые построенным активом. Владелец/подрядчик занимается производством, эксплуатацией, техническим обслуживанием и утилизацией [51].

В традиционном строительстве, владелец обычно платит капитальную сумму за доставку построенного актива, такого, как здание. В эту цену входит строительство и первоначальный ввод объекта в эксплуатацию. В течение жизненного цикла актива владелец несет ответственность за финансирование эксплуатации, технического обслуживания и выбытия актива (рис. 30, a)). Это дает подрядчикам мало стимулов к проектированию и строительству с максимальной возможной производительностью жизненного цикла, поскольку они не участвуют в более поздних этапах, и их вознаграждение не зависит от производительности жизненного цикла [51].

В здании, основанном на производительности, пользователь будет платить только за предоставленные услуги. Право собственности и ответственность за операции, техническое обслуживание, а также утилизация остается у производителя (рис. 30, b)). Это увязывает интерес к проектированию и созданию для достижения наилучших возможных характеристик с интересом к минимизации затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание и утилизацию (например, за счет переработки и повторного использования) с целью

максимизации прибыли.

Сочетание смарт-контрактов на основе блокчейна с цифровыми строительными близнецами обещает: 1) оцифровывать контракты на производительность надежным способом и масштабировать варианты использования, основанные на производительности, в искусственно созданной среде, а также 2) создавать новые бизнес-модели с помощью криптоэкономических стимулов, связанных с производительностью жизненного цикла, которая может побудить большее количество заинтересованных сторон изучить построенную среду как услугу [51].

Осуществимость вышеизложенного была продемонстрирована с помощью первого полного подтверждения концепции образцового смарт-контракта, основанного на тепловых характеристиках, с использованием блокчейна Ethereum и платформы цифровых двойников Siemens, подключенной к датчикам реального здания, как сообщается в [51].

Блокчейн для строительства тема отдельной книги издательства Springer - Blockchain for Construction [106]. Часть статей [49,50] из этой книги мы уже использовали выше и поэтому мы ограничимся небольшим обзором.

В этой книге рассказывается о разработке, использовании и структуре систем блокчейна и технологий децентрализованного реестра (B/DLT) для использования в строительной отрасли. Строительство остается фрагментированной, устойчивой к изменениям отраслью с хроническими проблемами непроизводительности и очень низким коэффициентом цифровизации по сравнению с другими отраслями. Параллельно с этим конвергенция, внедрение и координация цифровых технологий в физическом мире предоставляет строительной отрасли уникальную возможность сделать шаг вперед и внедрить технологии четвертой промышленной революции, считают авторы этого манускрипта. В этом контексте, как подчеркивается, B/DLT отлично подходят для цифровизации строительной отрасли. B/DLT эффективны в этом, поскольку они организуют и согласовывают цифровые и физические цепочки поставок, обеспечивают стигмергическую (косвенную) координацию за счет децентрализации, позволяют управлять сложными проектами для множества заинтересованных сторон, позволяя при этом создавать новый класс бизнес-моделей и правовых инструментов для строительства.

По словам [4,51], зрелость технологий позволяет расширить взаимодействие между участниками проекта. Таким образом, возникает необходимость в переоценке договорных отношений между субъектами из-за создания согласованной среды и более высокой степени сотрудничества между вовлеченными субъектами.

Согласно [4], строительный проект имеет последовательную производственную систему от планирования до технического обслуживания и реализуется посредством договорных отношений между фирмами. Таким образом, контракт служит для объединения некоторых заинтересованных сторон в

сообщество для достижения успеха проекта, поэтому отправная точка проекта начинается с контракта. В частности, контракты оказывают значительное влияние на выполнение строительного проекта, и были проведены многочисленные исследования контрактов от прошлого до настоящего [27, 52-56]. Интеллектуальные технологии, которые находятся в центре внимания технологических инноваций, также обычно используются в строительных проектах посредством этих договорных отношений. Подрядчики обычно улучшают свои технические возможности с помощью внутренних или внешних стратегий управления, особенно для строительных фирм, которые выполняют проекты, используя такие ресурсы, как оборудование, рабочая сила и строительные технологии [57-62]. Эти стратегии являются традиционными методами улучшения организационных и технологических возможностей предприятия [62-64]. На начальном этапе внедрения интеллектуальных технологий строительные фирмы, как правило, выбирают стратегии управления, которые применяют интеллектуальные технологии, разработанные в соответствии с их проектами на основе договорных отношений, а не разрабатывают собственные технологии. Эти договорные отношения создают разницу между поставщиком и пользователем с точки зрения бизнеса [65,66]. Следовательно, можно было бы разделить такие отношения на поставщиков и пользователей с точки зрения использования интеллектуальных технологий в строительных проектах, что приводит к различиям в восприятии.

Согласно интервью с экспертом, генеральный подрядчик обычно ориентирован на облегчение управления проектом за счет использования технологий в качестве потребителя интеллектуальных технологий. Напротив, субподрядчики, как правило, сосредотачиваются на прибыли от контрактов и операций по поставке технологий другим различным предприятиям, а не на выполнении проекта.

«Правительство» является экзогенной переменной модели конкурентоспособности, и Портер (1990) утверждает, что эндогенные переменные более важны, чем экзогенные переменные, которые не могут контролироваться компаниями. Тем не менее, «Правительство» было проанализировано с высокой степенью важности, что интересно, и причина в следующем. В соответствии с политикой, исследованной в этом исследовании, роль правительства в значительной степени подразделяется на следующие области. Во-первых, в [4] представлены рекомендации по поддержке различных проектов с помощью планов активации смарт-технологий. Эти планы предлагают будущие направления промышленного развития с такими ключевыми словами, как развитие технологий, создание промышленной среды, промышленное реагирование и создание рабочих мест. есть конкретные планы, связанные с этим. Во-вторых, в [4] авторы предлагают планы по поддержке вопросов, которые систематически регулируются для активации смарт-технологий. Таким образом, роль правительства может способствовать технологическому преобразованию и

развитию, ослабляя институциональные барьеры и поощряя предпринимательство или предлагая политику поощрения сотрудничества и стартапов между отечественными и иностранными компаниями [4].

В частности, конкурентоспособность «правительства» играет роль в положительном влиянии на «состояние спроса». Политика правительства, такая как объединение проектных площадок для НИОКР и пилотных испытаний, а также увеличение количества заказов, основанных на интеллектуальных технологиях, отвечает потребностям разработчиков интеллектуальных технологий. Эта политика привела к быстрому технологическому развитию за счет активного стимулирования технологических инноваций, которые применяют новые технологические тенденции к существующим технологиям [4]. Следовательно, «правительство» как промышленная конкурентоспособность смарт-технологий может рассматриваться как ключевой конкурентный аспект, который играет роль в продвижении вертикальной интеграции отраслей, связанных с смарт-технологиями, в строительной отрасли посредством институционального совершенствования.

Строительство 4.0 находится в центре внимания как технологическая инновация, способная решить проблему низкой производительности труда в строительной отрасли [4]. В центре этой инновации находятся интеллектуальные технологии, и многие страны прилагают различные усилия для разработки и активации интеллектуальных технологий. Таким образом, это исследование направлено на изучение конкурентоспособности промышленности для возрождения интеллектуальных технологий в строительной отрасли. Поскольку промышленная конкурентоспособность варьируется в зависимости от структуры и происхождения отрасли, уровень интеллектуальных технологий в корейской строительной отрасли изучался на основе теории распространения инноваций. Промышленная конкурентоспособность была получена в [4] из литературы, а приоритеты конкурентоспособности были проанализированы с использованием количественной методологии. Основные результаты этого исследования заключаются в следующем [4].

Основная конкурентоспособность — это «Условие спроса», «Правительство» для оживления технологий на ранней стадии «умных» технологий и «Правительство» как фактор, способствующий выходу на рынок смежных отраслей и стимулирующий использование технологий строительными фирмами. Это связано с тем, что «Правительство» оказывает положительное влияние, как на развитие индустрии, так и на расширение рыночного спроса в строительной индустрии. В частности, приоритетное внимание уделяется соответствующей оплате труда технического персонала и широкому расширению научно-исследовательских работ по развитию технологий. Поскольку интеллектуальные технологии имеют различия в производительности в

зависимости от квалификации пользователя, важно обеспечить профессионалов, которых можно поставить в нужное место и соответствующим образом компенсировать. Кроме того, необходим широкий спектр инвестиций в исследования и разработки, чтобы снизить риск малых компаний, разрабатывающих интеллектуальные технологии. Более того, поскольку конкурентоспособность смарт-технологий варьируется в зависимости от договорных отношений, для различных заинтересованных сторон требовались особые политики.

Вклад этого исследования заключается в следующем. Во-первых, интеллектуальные технологии строительной отрасли рассматривались с точки зрения конкурентоспособности промышленности. Большинство исследований было сосредоточено на развитии технологий, а исследований с точки зрения конкурентоспособности было очень недостаточно. Таким образом, это исследование дает последствия с макро точки зрения для технологических инноваций в строительной отрасли. Во-вторых, ограничения качественных исследований были дополнены комбинированными количественными методами. В целом промышленные исследования сосредоточены на качественных исследованиях, но в данном исследовании делается попытка объединить количественные методы. Следовательно, можно определить приоритеты конкурентоспособности и использовать их в качестве различных стратегий в краткосрочной и долгосрочной перспективе. В-третьих, его можно использовать в качестве ориентира для разработки политики с национальной точки зрения. Это было предложено в качестве фактора конкурентоспособности, необходимого для строительной отрасли на ранних этапах внедрения смарт-технологий. Таким образом, эти достижения могут стать отправной точкой для разработки политики для стран, находящихся на ранних этапах технологических инноваций в строительной отрасли.

Однако в этом исследовании [4] есть некоторые ограничения. Это исследование было посвящено строительной отрасли в Корее. Поэтому, если промышленная среда целевой страны отличается, трудно слепо доверять результатам этого исследования. Поскольку в Корее, как предмете исследований статьи [4], в основном не хватает природных ресурсов, она развила промышленную конкурентоспособность, сосредоточившись на конкурентоспособности, такой как человеческие ресурсы, чтобы дополнить их, и этот фон нельзя обобщать. Следовательно, его следует анализировать для стран с различными характеристиками посредством анализа нескольких случаев. Кроме того, необходимо изучить влияние и направление конкурентоспособности каждой отрасли. Каждая конкурентоспособность не формируется независимо, но может влиять на связанную конкурентоспособность, чтобы усиливать друг друга. Поэтому в будущем ограничения статической перспективы должны быть дополнены исследованиями влияния между конкурентоспособностями [4].

VI КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ И BIM – СОСТОЯНИЕ В РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Индустрия 4.0, является четвертой по счету, промышленной революции, для которой характерно использование цифровых технологий, от создания (проектирования), до производства (строительства), эксплуатации и использования. Однако в российских теоретических исследованиях и практике она и технологии BIM рассматриваются, зачастую, как отдельные сущности, что затрудняет переход к Строительству 4.0. как части Индустрии 4.0. К Индустрии 4.0 относятся многие современные проекты в России, для которых характерно применение инновационных технологий, стирающих границы между физической, цифровой и биологической сферами. Повсеместное применение данного решения (Индустрия 4.0) в России позволит реализовать процессы с возможностью частичной автоматизации производственных процессов и строительных процессов, тем самым повысив производительность труда и снизив эффективность, что приведет к полному

увеличению эффективности тщательного рассмотрения таких вопросов, как строительство, машиностроение, городская инфраструктура.

Программа «Индустрия-4.0» в России [77] предусматривает цифровизацию (автоматизацию) и интеграцию технологических, производственных и бизнес-процессов по вертикали в рамках всего предприятия, начиная от разработки продуктов и закупок и заканчивая производством, логистикой и обслуживанием в процессе эксплуатации. При этом горизонтальная интеграция цифрового предприятия выходит за рамки внутренних операций и охватывает поставщиков, потребителей и всех ключевых партнеров по цепочке создания стоимости. Все это вместе взятое поддерживается соответствующей интегральной цифровой платформой (под которой понимается автоматизированная информационная система, использующая всю необходимую совокупность данных, моделей, алгоритмов, методов и средств) и вместе со всей «цепочкой» составляет экосистему цифрового предприятия [77].



Рис. 31. Базовые направления реализации программы «Индустрия-4.0» [77].

Несмотря на различия в методологии оценок, действующих в настоящее время в экспертно-аналитических группах и агентствах, можно констатировать, что реализация программы «Индустрия-4.0» будет осуществляться в отраслях мировой экономики, включая и строительную промышленность, как минимум, по девяти базовым направлениям (рис. 31)

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О целевых целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» принята национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации» (распоряжение правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р), частью которой является Индустрия 4.0 и Строительство 4.0. Внедрение современных технологий и реализация задач по цифровизации должны затрагивать все важные отрасли, особое внимание уделяется промышленным отраслям экономики, таким как: атомная, химическая, военно-промышленная, аэрокосмическая, металлургическая. Особое внимание уделено развитию городской среды, строительству и топливно-энергетической системе, а также развитию

отечественного автомобилестроения, а также железнодорожного транспорта и судостроения. В первую очередь, это формирование программ и развитие по внедрению в области данных современных цифровых технологий для всех крупных предприятий, холдингов и государственных компаний.

В соответствии с задачами по внедрению цифровой экономики в России для успешной реализации ближайших целей, являются наиболее подходящими современные методы, системы и продукты для решения (проектирования) и эксплуатации, производства, использования объектов и комплексов. Данным прототипом полностью соответствует технология информационного моделирования зданий и сооружений (Информационное моделирование зданий). Заметим, что множество решений, как цифровой экономики, так и Индустрии 4.0 подразумевают новые решения искусственной среды, что делает строительный сектор непосредственным и очень важным участником всех цифровых преобразований.

Уникальная технология информационного моделирования зданий и сооружений (BIM) в том, что она позволяет создать основу, в основе которой может стоять бизнес-процесс, анализировать и настраивать информационные потоки, принимать на основе полученной информации выверенные управленческие решения. Внедрение цифровых технологий в

деятельность промышленного предприятия позволяет упростить сведение и анализ информации, для создания условий и процессов по изучению предпринимательской деятельности, сокращению издержек и затрат. Использование информационных технологий и инновационных решений (Индустрия 4.0) позволяет с большей индивидуальностью ориентироваться на пользователей и подстраиваться под его требования. Уже в настоящее время от применения современных информационных технологий в высокой степени возможности реализации промышленной продукции.

Технология информационного моделирования объекта – это процесс создания объекта (процесса), выделяющийся в виде чертежей, графиков и данных в едином информационном поле, который использует цифровые базы данных и может охватывать все объекты цикла жизни (проектирование – строительство – эксплуатация – утилизация), и именно этот процесс является основой Строительства 4.0.

Общий рост современных информационных технологий и внедрение компьютерной техники в России, создал предпосылки для перехода от классического проектирования в двумерном изометрическом пространстве к современным средствам информационного моделирования. Во всем мире, крупнейшие строительные предприятия запустили процессы трансформации и перехода к современным методам проектирования и строительства с применением технологий информационного моделирования.

Многие современные строительные проекты изначально подразумевают процесс проектирования с применением информационного моделирования, т.к. являются довольно сложными инфраструктурными объектами, при создании которых необходимо учитывать большой объем входных данных и информационных потоков, непосредственно влияющих на процесс эксплуатации объекта. Постоянно растущая сложность проектов, малое количество информации необходимой для принятия ключевых решений, малые сроки выделенные на процесс проектирования создает необходимость к созданию научно-методических подходов по внедрению и оценки эффективности по переходу от традиционных методов проектирования к технологии информационного моделирования.

В соответствии с поручением Президента Российской Федерации от 19 июля 2018 г. № 1235, постановлением Правительства Российской Федерации от 5 марта 2021 г. № 331, технологии информационного моделирования могут применяться на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства от момента проектирования и строительства и до эксплуатации и сноса.

Цифровой проект капитального строительства не сводится к использованию современных технологий. При реализации таких проектов применяются абсолютно другие принципы проектирования, строительства, эксплуатации и вывода объектов из эксплуатации.

Цифровая трансформация дает возможность

получения выгод за счет повышения безопасности, эффективности работы и значительной экономии средств — сокращение затрат на строительство на 5–10% и эксплуатационных расходов на 10–20% [78].

Основные сложности при реализации данных преимуществ связаны с привлечением финансирования, организацией человеческих ресурсов, обеспечением сотрудничества заинтересованных сторон, быстрым принятием решений и проведением необходимых изменений [78].

Для того, чтобы понять текущее состояние развития, в 2022 году было выполнено, пожалуй, последнее исследование о цифровизация строительной отрасли на всех этапах жизненного цикла ОКС в России, в котором мы нашли примечательные идеи и данные о развитии BIM в России и перспективах увеличения конкурентоспособности строительных проектов.

В ходе исследования [79] выявлено, что в строительстве требуется создание единой цифровой платформы, основанной на среде общих данных и переводе в цифровую форму документооборота между всеми стейкхолдерами инвестиционно-строительного проекта, обеспечивающей:

- осуществление мониторинга и контроля финансовых показателей строительства, в том числе планов освоения денежных средств;

- создание единой консолидированной базы данных для связанного хранения всех документов по каждому объекту строительства с четким распределением прав доступа к разным разделам информации;

- оперативное получение данных по рискам и статусу реализации инвестиционных проектов в режиме «онлайн», на основе объективных, верифицированных и машиночитаемых данных, полученных посредством электронного документооборота;

- сокращение сроков коммуникации между участниками строительства при реализации инвестиционных проектов за счет обмена информацией в цифровом виде на единой платформе;

- создание ТИМ-модели объекта на этапе строительства в целях перехода полностью в цифровой формат;

- устранение избыточной административной нагрузки на всех участников инвестиционно-строительного процесса за счет перевода большинства процедур, документов и данных в электронный вид;

- формирование объективных аналитических отчетов на основе сведений, содержащихся в едином хранилище аналитической информации, для их последующего анализа;

- обеспечение полноты и достоверности информации, необходимой для осуществления оперативной градостроительной деятельности;

- обеспечение быстрой и гибкой интеграции с государственными информационными системами.

Использование единой цифровой платформы на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства, по мнению [79], способствует повышению экономической эффективности инвестиционно-строительной

деятельности, в том числе отмечается:

1. Применение ТИМ на основе среды общих данных и цифровой платформы имеет следующие системные эффекты [79]:

- повышение точности стоимостных оценок инвестиционно-строительного проекта на 10-30 %
- сокращение коллизий, запросов информации и изменений в проекте до 25-40%
- сокращение транзакционных издержек взаимодействий стейкхолдеров инвестиционно-строительного проекта на 20-30%

2. Применение системы электронного документооборота и цифровой платформы на стадии строительства формирует следующие эффекты [79]:

- снижение затрат на сопровождение и контроль строительства в 2 раза
- сокращение сроков исправления замечаний в 2-5 раз
- сокращение сроков оформления исполнительной документации в 5 раз

Кроме отмеченных эффектов экономического

характера, в ходе исследования [79] выявлен ряд эффектов неэкономического плана, включая сокращение рисков инвестиционно-строительного проекта и рост качества, как проекта, так и объекта строительства. Разработка и применение единой цифровой платформы взаимодействия стейкхолдеров инвестиционно-строительного проекта повысит эффективность государственной инвестиционной политики и увеличит прозрачность инвестиционно-строительной деятельности [79].

Из отчета [79] мы подобрали и воспроизводим рисунки 32-35, которые, безусловно, создают полезную картину состояния движения Строительству 4.0, впрочем, не упомянутого в этом отчете. Для пояснения терминов, в этом отчете ТИМ - это технологии информационного моделирования, что, в принципе, аналогично термину BIM.

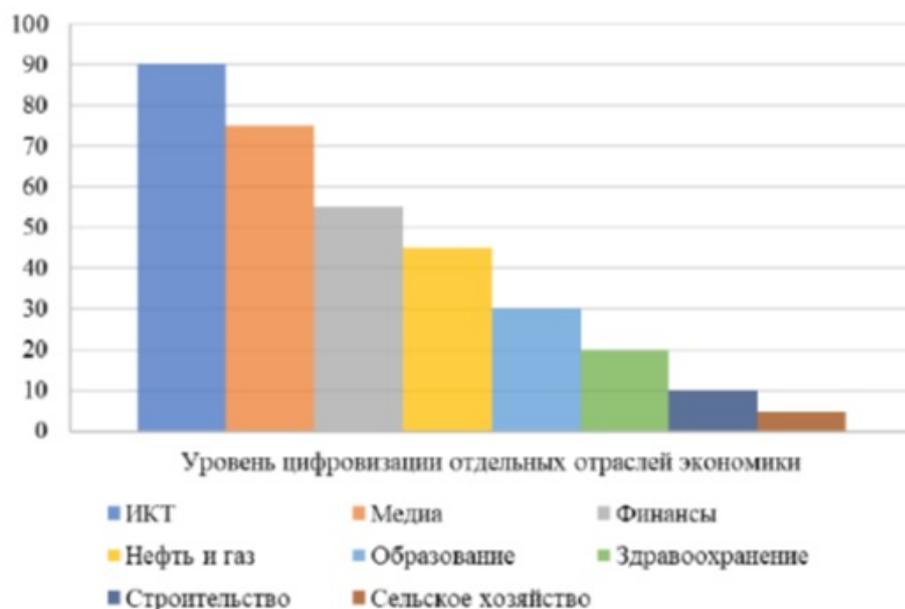


Рис. 32. Уровень цифровизации отраслей экономики России, % [79]

Еще одной работой о цифровизации строительства в России является недавно опубликованная статья [80]. К числу основных причин, считают в [80], сдерживающих процесс повышения уровня цифрового потенциала отечественного строительного кластера, по мнению авторов, возможно отнести:

— большое различие точек зрения ученых и специалистов на экономическое содержание понятийного аппарата, применяемого при исследовании и разработке методического инструментария бизнес-процессов цифровой трансформации инвестиционно-строительных проектов;

— отсутствие унифицированных требований к цифровой информационной модели объекта

недвижимости, которое находит отражение в существовании в каждой проектной организации собственного BIM-стандарта, расстыковке видения качества проектных решений в основных функциональных областях проектного управления с позиций интересов заказчика, органов экспертизы и других стейкхолдеров;

— организационную неготовность строительной отрасли к обязательному внедрению BIM, что проявляется в преобладании начальных уровней применения цифровых технологий, хотя наблюдается тенденция роста инновационной корпоративной организации PropTech при реализации проектного управления крупными уникальными объектами недвижимости.



Рис. 33. Сферы деятельности и применяемые технологии [79]

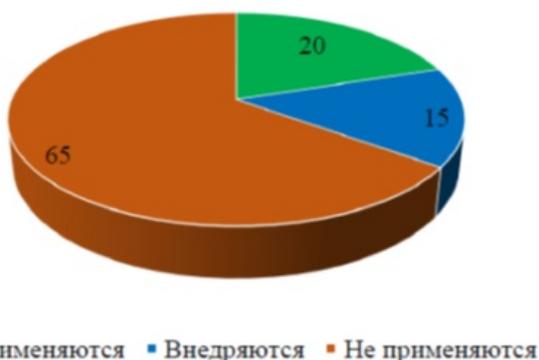


Рис 34. Внедрение ТИМ в организациях [79]

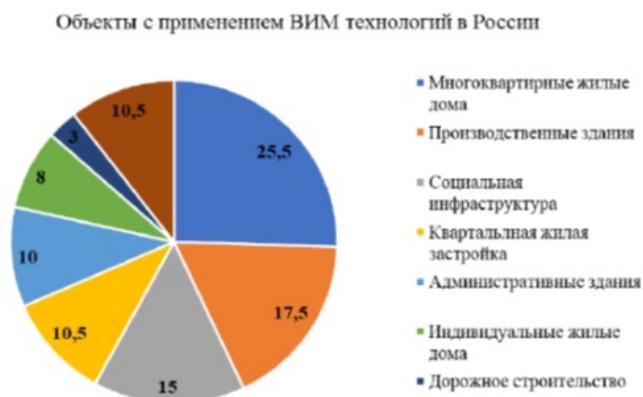


Рис. 35. Структура использования BIM-технологий в России по типам объектов [79]

По мнению авторов [80], максимальный масштаб и скорость формирования цифрового потенциала предприятий строительного кластера могут быть достигнуты при органичном сочетании широкого спектра цифровых технологий с современными моделями системного управления эффективностью и

результативностью инвестиционно-строительного проекта на всех этапах (стадиях) его жизненного цикла, в том числе: пред-инвестиционной, инвестиционной, эксплуатационной (см. таблицу I).

Вместе с тем, проведенный анализ инфраструктурных проектов, реализуемых в настоящее время в Российской Федерации, показал, что в их основе лежит проектирование и строительство объектов капитального строительства. Поэтому, возникает необходимость рассмотреть более детально основные конкурентные преимущества, которые дают технологии информационного моделирования и Строительства 4.0 по сравнению с традиционной практикой проектирования и строительства.

Одним из главных преимуществ от внедрения технологий информационного моделирования является возможность избежать ошибок и коллизий, вызванных от невозможности при классическом подходе к проектированию просчитать взаимное расположение всего оборудования на объекте, т.к. BIM проектирование видется в единой информационной среде, которая отслеживает архитектурные и проектные решения инженерных систем.

Другим важным преимуществ современных методов информационного моделирования, является возможность одновременной работы в одной модели большого количества специалистов различного профиля.

Одновременная работа специалистов разного профиля (архитектор, расчетчик, инженер инженерных систем и др.) в информационной модели объекта позволяет значительно сократить время разработки проектной документации, избежать ошибок, исключить различные коллизии и нестыковки по сравнению с традиционной технологией проектирования, когда различные разделы проектной документации разрабатываются не в единой информационной среде, а отдельно. В таком случае, как правило, в дальнейшем при подготовке комплекта

проектной документации, возникают разного рода нестыковки между различными разделами проекта документации, требующей дополнительного

согласования, что, в конечном итоге, приводит к увеличению сроков подготовки проектной документации и, как следствие, к ее удорожанию.

Таблица I Масштабы применения инструментов цифровой трансформации на различных стадиях жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта (доля применяющих организаций в %) [80]

Стадии жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта	Инструменты цифровой трансформации			
	BIM	цифровой маркетинг	виртуальная и дополненная реальность	Интернет вещей
Преинвестиционная	5–10	20–30	10-15	5–10
Инвестиционная	10–15	40–60	35-40	50–70
Эксплуатационная	1–5	5–10	25-30	30–35

В работе об оценке экономической эффективности внедрения информационного моделирования зданий [80] приведены расчеты эффективности использования технологий информационного моделирования при проектировании объектов капитального строительства. Мы их приводим на рис. 36.

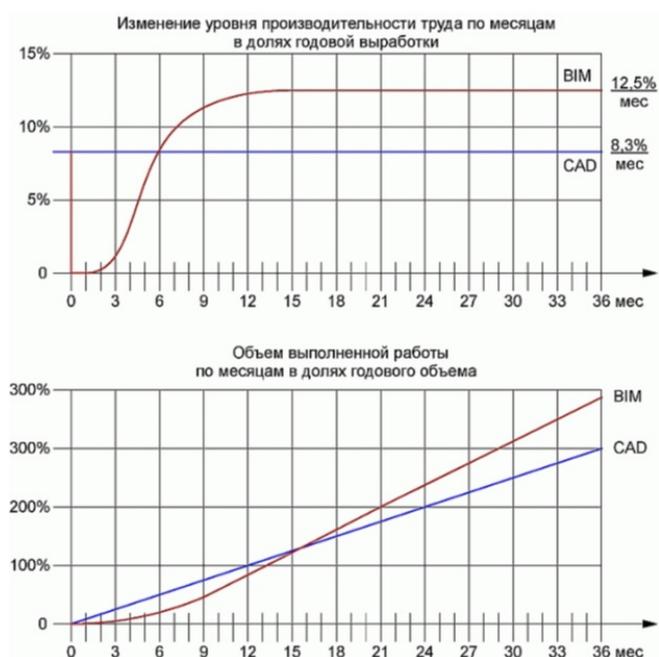


Рис. 36. Результаты расчетов изменения уровня производительности и объема выполненной работы [81].

Как видно из рисунка 28, уже через 12 месяцев после внедрения технологий информационного моделирования производительность труда проектировщиков составляет 12,5% в процентах от годовой выработки. Для сравнения, при использовании традиционной САПР с чертежами в формате 2D этот же показатель составляет 8,3%.

Еще две публикации мы предлагаем посмотреть в нашем анализе [82,83]. Первая из них - это добротный обзор, но не приводящий читателя к понятию и практике применений решений Строительства 4.0. Вторая интересна тем, что в ней термин Строительство

4.0 вынесен в заголовок, но, возможно, из-за небольшого размера работы, на наш взгляд, это понятие не раскрыто. Поэтому ниже мы предлагаем свои рассуждения на тему возможностей применения Строительства 4.0 в российских инфраструктурных проектах с целью повышения их конкурентоспособности.

На этапе строительства, по нашему мнению, основные конкурентные преимущества от использования технологий информационного моделирования достигаются за счет интеграции BIM - модели с автоматизацией строительных работ, такой вывод соответствует определению Строительства 4.0. Для реализации этого разработаны специальные цифровые технологические платформы, позволяющие объединить в едином информационном пространстве различных участников строительного процесса (заказчика, генерального подрядчика, подрядчиков, технического заказчика и др.). Они решают следующие задачи:

- учет административно-технической документации;
- контроль графика работы;
- административный документооборот
- технический документооборот;
- работа с комментариями к технической документации;
- сдача объемов выполненных строительно-монтажных работ;
- оформление актов приемки строительно-монтажных работ;
- строительный контроль;
- поддержка построения на информационной модели.

Участники строительного процесса Строительства 4.0 может связывать элементы BIM-модели с различными объектами (задачами, документами, ресурсами, оборудованием и т. д.), а также с процессами. Элементы BIM-модели могут автоматически менять цвет в зависимости от состояния объекта. Окрашивание меняется в зависимости от процента выполнения и отставания от базового графика работ. Используя 3D-модель объекта, вы можете контролировать объем работ, выполняемых над элементами конструкции и всеми инженерными системами.

Применение систем автоматизации строительного

процесса с их интеграцией с BIM-моделью строящегося объекта позволяет значительно сократить сроки строительства (по оценкам ведущих отечественных и зарубежных специалистов не менее чем на 25%) за счет сокращения времени на согласование и ведение различных строительных работ, операций, подготовка и согласование необходимой документации строительного производства и др. В свою очередь, сокращение сроков строительства позволяет удешевить строительство.

Есть еще одно важное конкурентное преимущество использования BIM-технологий по сравнению с традиционной схемой подготовки проектной документации объектов капитального строительства, применительно к проектам повторного использования. В случае реализации проектов повторного использования необходимо практически полностью переработать ранее подготовленную проектную документацию в части изменения геометрических параметров, климатических условий и т. д. Это может занять много времени. В том случае, если проектная документация выполнена в виде BIM-модели, сделать это достаточно просто, изменив в модели ряд параметров, и компьютер автоматически сможет пересчитать все необходимые характеристики для подготовки конструкторской документации для повторного использования. При этом экономится время на подготовку документации, а, следовательно, уменьшится стоимость подготовки конструкторской документации для повторного использования.

Данный подход по нашему мнению помогает также в обосновании показателей и критериев оценки инфраструктурных проектов с использованием технологий информационного моделирования и Строительства 4.0.

Можно выделить несколько основных требований, предъявляемых для количественной оценки эффективности проекта в целом:

- производительность - стоимость продукции и услуг, доставленных потребителям, за вычетом прямых затрат на приобретение товаров и услуг у сторонних поставщиков, за определенный период времени;
- объем инвестиций - все капитальные вложения и вложения в резервы всех уровней. Они включают любые затраты, которые амортизируются более чем за один финансовый год;
- эксплуатационные расходы - любые средства, затрачиваемые организацией на преобразование инвестиций в готовый продукт.

Данные критерии можно не оценивать если проект осуществляется в рамках соблюдения законодательных и иных обязательных требований.

Однако основным требованием к инвестиционному проекту, установленным Федеральным законом от 25 февраля 1999 г. № 39-ФЗ «Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме государственных капитальных вложений», является требование обязательной проверки эффективности использования средств, направляемых на капитальные вложения соответствующих бюджетов, в случаях и порядке, установленных, соответственно,

нормативными правовыми актами Правительства Российской Федерации, нормативными правовыми актами субъектов Российской Федерации, муниципальными правовыми актами. В современных условиях, особую роль играет теоретическое и практическое обоснование развития проектно-инвестиционного подхода как нового методологического решения в области оценки и управления эффективностью высокотехнологичных промышленных предприятий. Существенными характерными чертами развития проектно-инвестиционного подхода являются:

- рассмотрение действий государства в управлении закупками и предприятий - в управлении реализацией инвестиционных проектов;
- объединение всех методов и механизмов планирования, ценообразования, финансирования и управления на единой основе проектно-инвестиционного подхода.

Таким образом, рассматривая критерии оценки инфраструктурных проектов, финансируемых из средств Фонда национального благосостояния, мы должны оценивать проект с точки зрения его экономической эффективности. Государство как участник инвестиционно-финансового рынка также заинтересовано в увеличении доходов от государственных инвестиций.

Экономическая эффективность технологии BIM в процессах цифровой трансформации, по имеющимся оценкам, проявляется в ускорении запуска новых производств, снижении затрат при эксплуатации объекта и повышении окупаемости инвестиционных проектов. При этом такую оценку необходимо проводить на основе сравнения показателей (индикаторов): до внедрения технологии BIM и после ее внедрения.

Рассмотрим возможные критерии и показатели оценки экономического эффекта от использования технологии BIM и Строительства 4.0 при разработке и реализации инфраструктурного проекта.

1. По критерию сокращения времени при использовании BIM-технологии

Для оценки экономического эффекта по данному критерию можно использовать следующие показатели:

Суммарная экономия на ФОТ за счет количества сэкономленных дней на разработку и реализацию проекта;

Тотальное снижение постоянных затрат на всех этапах жизненного цикла проекта

В целом сокращение сроков строительства и ускорение ввода объекта инфраструктуры по сравнению с действующими методами проектирования и управления инвестиционными проектами, в том числе финансируемыми за счет средств Фонда национального благосостояния, позволит денежные потоки на стадии эксплуатации (производства) сближаются, что обеспечит, соответственно, рост чистой приведенной стоимости проекта (NPV).

2. По критерию экономии расходных материалов

Для оценки экономического эффекта по этому критерию можно использовать следующий показатель -

уровень снижения материалоемкости. Это достигается за счет более высокого качества проекта при использовании BIM-технологии и более точных расчетов, позволяющих точнее определить необходимые объемы материалов.

В то же время следует отметить, что запланированное масштабное внедрение технологии BIM в будущем при реализации инфраструктурных проектов также приведет к корректировке нормативов (в части сокращения продолжительности отдельных видов работ, что повысит эффективность использования средств Фонда национального благосостояния, т.е. государства, являющегося крупнейшим инвестором в реализации инвестиционно-строительных проектов.

3. По критерию экономии управленческих затрат

Для оценки экономического эффекта по данному критерию можно использовать следующий показатель - снижение затрат на этапе управления объектом в процессе разработки инвестиционного проекта.

4. По критерию повышения безопасности и улучшения условий труда

Для оценки экономического эффекта по этому критерию можно использовать следующий показатель - снижение количества инцидентов и затрат на ликвидацию последствий инцидента в расчете на одного работника.

Трехмерная цифровая модель объекта инфраструктуры, созданная с помощью программного обеспечения, позволяет проводить инструктаж работников по этой модели, что, безусловно, повысит безопасность труда и улучшит условия труда, а также снизит затраты, связанные с временной нетрудоспособностью, инвалидностью или смертью.

5. По критерию повышения эффективности использования основных средств и основных материальных ценностей

Для оценки экономического эффекта по данному критерию можно использовать следующие показатели:

Снижение затрат за счет сокращения времени простоя оборудования и затрат на его ремонт.

Эти показатели характеризуют, что эффективность ремонтно-восстановительных работ будет существенно выше, если у персонала будет полный объем информации об оборудовании и объеме восстановительных работ, а также причин, вызывающих данную аварию. Меньшие сроки восстановительных работ сократят время простоя, что также будет способствовать увеличению прибыли хозяйствующего субъекта.

6. По критерию рентабельности проекта

Для оценки экономического эффекта по данному критерию можно использовать следующие показатели: прирост чистой приведенной стоимости и индекс рентабельности инвестиций.

В принципе, указанный экономический эффект можно считать для каждого участника инфраструктурного проекта: государства, являющегося инвестором из Фонда национального благосостояния, проектировщика, генподрядчика, подрядчика, управляющей компании.

VII ЗАКЛЮЧЕНИЕ – СООБРАЖЕНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ПРЕИМУЩЕСТВАМИ

Авторы, рассмотрев ключевой, по их мнению, вопрос развития инноваций в строительстве, развитие Строительства 4.0 на базе BIM, полагают, что вопросы конкурентоспособности российских проектов и компаний в области инфраструктур необходимо продолжать исследовать, в том числе, с учетом опыта и исследований в области применения подходов Строительства 4.0. в российской практике. По нашему мнению, в этих дальнейших изысканиях стоит рассматривать два направления: анализ конкурентоспособности строительных компаний в России и меры со стороны правительственных структур по развитию конкурентоспособности инфраструктурных проектов.

При правильном разделении этих двух направлений мы предлагаем выделить некоторую общую методологическую часть, которая называется управление преимуществами или выгодами.

В работе [84], например, представили модель процесса управления выгодами с пятью элементами: (1) выявление и структурирование выгод связано с выявлением выгод и соображениями о том, как их измерить; (2) планирование реализации выгод включает в себя все действия, необходимые для реализации каждой выгоды, включая потенциальные технологические и организационные изменения; (3) выполнение плана реализации выгод, которое означает реализацию плана выгод как неотъемлемой части плана управления проектом; (4) оценка и анализ результатов, которые занимается оценкой фактически полученных выгод и определением действий по возмещению упущенных выгод; и (5) возможность получения дополнительных выгод, которая связана с дальнейшей капитализацией сделанных инвестиций. Процессная модель, согласно [84], является одной из наиболее цитируемых моделей управления выгодами и, как сообщается, единственным целостным подходом к управлению выгодами, которому уделяется значительное внимание.

Модель процесса подчеркивает жизненный цикл проекта, то есть управление выгодами является частью всех фаз проекта [84]. Модель включает пред-инвестиционную оценку, пост-инвестиционную оценку и управление выгодами в ходе реализации проекта. Динамика организации и ее окружения требуют постоянного обзора проектов на протяжении жизненного цикла, а ход реализации преимуществ необходимо постоянно отслеживать в соответствии с экономическим обоснованием [84]. Возможность непрерывно отслеживать реализацию выгод в проектах может увеличить вероятность успешной реализации выгод [84].

Конкурентоспособности строительных компаний на основе интегрированной многокритериальной модели принятия решений как части управления выгодами посвящена работа [85], на которую также стоит обратить внимание. Эта работа называется «BIM и

цифровые инструменты для современного управления затратами на строительство». В этой статье изучается проблема перерасхода средств, и она остается ключевым риском строительных проектов, который можно предотвратить за счет использования новых технологий. Эта статья направлена на выявление пробела в литературе, который потенциально может быть устранен с помощью цифровых инструментов и технологий путем обзора текущих и современных практик. В работе представлены результаты систематического и критического содержания обзоров перерасхода средств, для решения вопроса о том, какие факторы влияют на перерасход средств. В этом документе также рассматривается, как информационное моделирование зданий (BIM) в сочетании с другими инструментами, используются для оценки и мониторинга затрат [85].

Управление знаниями (KM) для обмена знаниями в организации имеет решающее значение для обеспечения того, чтобы бизнес-предприятия эффективно использовали существующие знания в организации и обеспечивали более быстрое и эффективное принятие решений в процессе управления преимуществами. В [86] статье анализируется важность KM в строительной отрасли Португалии и исследуется восприятие опытными специалистами внедрения KM в этой отрасли, его преимуществ и ограничений для его внедрения, а также способов получения и распространения знаний. Онтологии, как основному средству KM, посвящена полезная работа [87].

Хороший пример того, как правительственные решения могут управлять конкурентоспособностью через методы управления выгодами, дает, по нашему мнению практика Великобритании. Там было создано Управление инфраструктуры и проектов (IPA), которое способствовало известному значительному уровню конкурентоспособности строительных проектов и компаний этой страны.

Управление инфраструктуры и проектов (IPA) [88] является правительственным центром Соединенного Королевства по вопросам инфраструктуры и крупных проектов. IPA находится в центре правительства, подчиняясь Кабинету министров и Казначейству Ее Величества. В состав основных групп входят эксперты в области инфраструктуры, реализации проектов и проектного финансирования, которые работают с государственными ведомствами и промышленностью.

IPA поддерживает успешную реализацию всех типов инфраструктуры и крупных проектов; начиная от железных дорог, школ, больниц и жилья, заканчивая обороной, информационными технологиями и крупными программами трансформации. IPA возглавляет специалистов по реализации проектов и проектному финансированию в правительстве.

IPA была образована в 2016 году в результате слияния Infrastructure UK (IUK) и Управления крупных проектов (MPA)[88]. На такой поворот в развитии BIM в Великобритании обратила внимание статья того же года [94].

В декабре 2017 года IPA выпустило отчет

«Преобразование инфраструктуры», направленный на достижение годовой экономии в размере 15 миллиардов фунтов стерлингов в год на закупках инфраструктуры за счет расширения сотрудничества и инноваций [88]. 13 сентября 2021 г. был опубликован последующий отчет «Преобразование производительности инфраструктуры: дорожная карта до 2030 г.» вместе с Национальным проектом инфраструктуры и строительства [90], в котором прогнозируются инвестиции в размере 650 млрд. фунтов стерлингов в инфраструктуру Великобритании в течение следующего десятилетия.

Однако, мы хотели бы обратить внимание читателя на два очень важных документа, на базе которых IPA осуществляет свои действия. Это функциональный правительственный стандарт по управлению проектами в области инфраструктур [89], созданный IPA и «Руководство по эффективному управлению выгодами в крупных проектах. Принципы управления ключевыми выгодами и мероприятия по крупным проектам» [91].

Стоит также указать на то, что такое развитие интенсивно поддерживают научно-образовательные учреждения Великобритании. Это показывает, например, подробная работа (отчет) «Информационное моделирование зданий: оценка инструментов для оценки зрелости и выгод» [92].

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Khyareh, Mohsen Mohammadi, and Nasrin Rostami. "Macroeconomic conditions, innovation and competitiveness." *Journal of the Knowledge Economy* 13.2 (2022): 1321-1340.
- [2] Nunes, Marco, et al. "Achieving Competitive Sustainable Advantages (CSAs) by Applying a Heuristic-Collaborative Risk Model." *Sustainability* 14.6 (2022): 3234.
- [3] Куприяновский, Василий Павлович, et al. "Гигабитное общество и инновации в цифровой экономике." *Современные информационные технологии и ИТ-образование* 13.1 (2017): 105-131.
- [4] Lee, Baul, and Seung-Kook Park. "A Study on the Competitiveness for the Diffusion of Smart Technology of Construction Industry in the Era of 4th Industrial Revolution." *Sustainability* 14.14 (2022): 8348.
- [5] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "The economic benefits of the combined use of BIM-GIS models in the construction industry. Review of the state of the world." *International Journal of Open Information Technologies* 4.5 (2016): 14-25.
- [6] Куприяновский, В. П., С. А. Снягов, and А. П. Добрынин. "BIM-Digital Economy. How to achieve the success? A practical approach to the theoretical concept. Part 1: Approaches and the main advantages of BIM." *International Journal of Open Information Technologies* 4.3 (2016): 1-8.
- [7] Куприяновский, В. П., С. А. Снягов, and А. П. Добрынин. "BIM-Digital Economy. How to achieve the success? A practical approach to the theoretical concept. Part 2: Digital Economy." *International Journal of Open Information Technologies* 4.3 (2016): 9-20.
- [8] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "The new five-year plan for BIM-infrastructure and Smart Cities." *International Journal of Open Information Technologies* 4.8 (2016): 20-35.
- [9] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "BIM on the way to IFC5-alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways." *International Journal of Open Information Technologies* 8.8 (2020): 69-78.
- [10] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "Digital concrete: open BIM, machine-readable standards, IoT, digital twins, logistics 4.0, lean building, and other industrial approaches using the examples of transport infrastructures." *International Journal of Open Information Technologies* 9.9 (2021): 133-173.

- [11] Pokusaev, Oleg, et al. "BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways." *International Journal of Open Information Technologies* 8.6 (2020): 108-135.
- [12] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "Information modeling (BIM), subways, urban railways, and stations in the transport and urban environment in the ideology of transit orientation of urban development." *International Journal of Open Information Technologies* 9.3 (2021): 62-90.
- [13] Куприяновский, В. П., et al. "Технологии BIM для туннелей, используемых в метрополитенах, на железных и автомобильных дорогах и на Hyperloop-системы реального времени на базе IFC и подрывные инновации." *International Journal of Open Information Technologies* 8.9 (2020): 70-93.
- [14] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "BIM on the world's railways-development, examples, and standards." *International Journal of Open Information Technologies* 8.5 (2020): 57-80.
- [15] Shahramanjan, Mihail, Vasily Kupriyanovsky, and Alexander Klimov. "Open BIM and automated accounting of construction volumes: from machine-readable standards to implementation." *International Journal of Open Information Technologies* 10.10 (2022): 128-147.
- [16] *The Business Value of BIM for Infrastructure 2017*, SmartMarket Report, Copyright © 2017, Dodge Data & Analytics <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/finance/us-fas-bim-infrastructure.pdf>
- [17] Yu, Yifei, et al. "Circular economy in the construction industry: A review of decision support tools based on Information & Communication Technologies." *Journal of cleaner production* (2022): 131335.
- [18] Li, Clyde Zhengdao, et al. "The Application of Advanced Information Technologies in Civil Infrastructure Construction and Maintenance." *Sustainability* 14.13 (2022): 7761.
- [19] Pässe D. Cost Estimation in Construction BIM vs BIM Master's thesis in Design and Construction Project Management. – 2022. <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/305524/1/ACEX60%20-%20Pässe%20Daniel.pdf>.
- [20] Jang, Keunyoung, et al. "Infrastructure BIM platform for lifecycle management." *Applied Sciences* 11.21 (2021): 10310.
- [21] Shin, Min-Ho, Ji-Hyun Jung, and Hwan-Yong Kim. "Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process." *Buildings* 12.9 (2022): 1476.
- [22] Massimo-Kaiser, Ines, et al. "Streamlining Tunnelling Projects through BIM." *Sustainability* 14.18 (2022): 11433.
- [23] Appelt, V. (2022). Savings Potential in Highway Planning, Construction and Maintenance Using BIM - German Experience with PPP. In: et al. *Advances in Road Infrastructure and Mobility*. IRF 2021. Sustainable Civil Infrastructures. Springer, Cham.
- [24] Wang, J., Zhang, S., Zhao, L., Zhou, L. (2022). An Investigation on the Cost and Benefit of BIM Application Among Suzhou Construction Professionals. In: Guo, H., Fang, D., Lu, W., Peng, Y. (eds) *Proceedings of the 26th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*. CRIOCM 2021. Lecture Notes in Operations Research. Springer, Singapore.
- [25] Alassaf, Yahya, Amirsaman Mahdavian, and Amr A. Oloufa. "Investigating the intangible benefits of employing building information modeling on the design and construction industry." *Innovative Infrastructure Solutions* 6.3 (2021): 1-13.
- [26] Peter Adekunle, Clinton Aigbavboa, Opeoluwa Akinradewo, Ayodeji Oke and Douglas Aghimien ; *Construction Information Management: Benefits to the Construction Industry*; Sustainability 2022, 14(18), 11366
- [27] Kabaca, K., Yalnız, C. (2022). BIM-Based Value Engineering: Creating a Plug-In System for Time Saving and Quantity Management. In: Özener, O.Ö., Ofluoglu, S., Isikdag, U. (eds) *Advances in Building Information Modeling*. EBF 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1627. Springer, Cham.
- [28] Na Wang, Shan Jin Zhang and Wei Wang ; Impact of Environmental Innovation Strategy on Green Competitiveness: Evidence from China; *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19(10), 5879;
- [29] Kebede R. et al. Integration of manufacturers' product data in BIM platforms using semantic web technologies //Automation in Construction. – 2022. – T. 144. – C. 104630.
- [30] Kebede R. Z. Integration of building product data with BIM–Semantic representation of product data : дис. – Jönköping University, School of Engineering, 2022. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1642704&dsid=7646>
- [31] ARRHENIUS L., LINELL M. Implementation of Digital Tools in Construction-Digital Maturity and Transformation. – 2022.
- [32] Magdalena Tutak and Jaroslaw Brodny ; *Business Digital Maturity in Europe and Its Implication for Open Innovation* ; J. Open Innov. Technol. Mark. Complex. 2022, 8(1), 27;
- [33] Samuel Adeniyi Adekunle, Clinton Aigbavboa, Obuks Ejobwomu, Matthew Ikuabe and Babatunde Ogunbayo ; A Critical Review of Maturity Model Development in the Digitisation Era ; *Buildings* 2022, 12(6), 858;
- [34] BIM maturity Levels: from stage 0 to stage 3 , October 8, 2019 <https://biblus.accasoft.com/en/bim-maturity-levels-from-stage-0-to-stage-3/>
- [35] Augusto M. Gomes, Gonçalo Azevedo, Alcínia Zita Sampaio and Alberto Sánchez Lite ; BIM in Structural Project: Interoperability Analyses and Data Management ; *Appl. Sci.* 2022, 12(17), 8814;
- [36] Disney, O., Roupé, M., Johansson, M. and Domenico Leto, A. (2022), "Embracing BIM in its totality: a Total BIM case study", *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0124>
- [37] Pässe D. Cost Estimation in Construction BIM vs Total BIM Master's thesis in Design and Construction Project Management. – 2022; <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/305524/1/ACEX60%20-%20Pässe%20Daniel.pdf>
- [38] Mike Hayes; *Construction 4.0 key to sustainability*; 04 February 2022 <https://www.construction-europe.com/news/Construction-4.0-key-to-sustainability/8017935.article>
- [39] Hana Begić and Mario Galić, A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise; *Buildings* 2021, 11(8), 337; <https://doi.org/10.3390/buildings11080337>;
- [40] Eric Forcael, Isabella Ferrari, Alexander Opazo-Vega, Jesús Alberto Pulido-Arcas ; *Construction 4.0: A Literature Review* ; Sustainability 2020, 12(22), 9755; <https://doi.org/10.3390/su12229755>;
- [41] Rolando Chacón ; *Designing Construction 4.0 Activities for AEC Classrooms*; *Buildings* 2021, 11(11), 511;
- [42] Kor M., Yitmen I., Alizadehsalehi S.; An investigation for integration of deep learning and digital twins towards Construction 4.0 //Smart and Sustainable Built Environment. – 2022.;
- [43] de Soto B. G. et al. Construction cybersecurity and critical infrastructure protection: new horizons for Construction 4.0 //Journal of Information Technology in Construction (ITcon). – 2022. – T. 27. – №. 28. – С. 571-594.
- [44] Куприяновский В.П., Климов А.А., Покусаев О.Н. Онтологии и проекты электронных закупок Европы // Социальные новации и социальные науки. – Москва: ИНИОН РАН, 2020. – № 1. – С. 97–106.
- [45] Ana Pérez-García, Norena Martín-Dorta and José Ángel Aranda ; BIM Requirements in the Spanish Public Tender—A[n]alysis of Adoption in Construction Contracts ; *Buildings* 2021, 11(12), 594;
- [46] Michele, Nicola Zeni, John Mylopoulos and Luisa Mich; *Semantic Annotation of Legal Contracts with ContrattoA* ; *Informatics* 2022, 9(4), 72;
- [47] Adam P. Balcerzak, Elvira Nica, Elżbieta Rogalska, Miloš Poliak, Tomáš Klieštík and Oana-Matilda Sabie; *Blockchain Technology and Smart Contracts in Decentralized Governance Systems*; *Adm. Sci.* 2022, 12(3), 96;
- [48] Cantone, D., Longo, C.F., Nicolosi Asmundo, M., Santamaria, D.F., Santoro, C. (2022). Ontological Smart Contracts in OASIS: Ontology for Agents, Systems, and Integration of Services. In: Camacho, D., Rosaci, D., Sarné, G.M.L., Versaci, M. (eds) *Intelligent Distributed Computing XIV*. IDC 2021. Studies in Computational Intelligence, vol 1026. Springer, Cham.
- [49] Pattini, G., Di Giuda, G.M., Tagliabue, L.C. (2022). The Integration of Automatic BIM Validation and Smart Contracts for Design Compliance and Payment Reliability in the Design Process. In: Dounas, T., Lombardi, D. (eds) *Blockchain for Construction*. Blockchain Technologies. Springer, Singapore.
- [50] Christie, D.S., Mante, J. (2022). Smart Contracts and Payment in the UK Construction: The Legal Framework. In: Dounas, T., Lombardi, D. (eds) *Blockchain for Construction*. Blockchain Technologies. Springer, Singapore.
- [51] Jens J. Hunhevicz, Mahshid Motie, Daniel M. Hall ; Digital building twins and blockchain for performance-based (smart) contracts; *Automation in Construction*, Volume 133, January 2022, 103981;

- [52] Walmsley, K. (2022). Cutting-Edge Practical Research on Generative Design, IoT and Digital Twins. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [53] Edmonds, A., Mouris, T., Boyle, M. (2022). Parametric Design—A Drive Towards a Sustainable Future. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [54] Panda, B., Tran, J. (2022). Material Design, Additive Manufacturing, and Performance of Cement-Based Materials. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [55] Linner, T., Hu, R., Iturralde, K., Bock, T. (2022). A Procedure Model for the Development of Construction Robots. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [56] Perera, S., Ginigaddara, B., Feng, Y., Rahnamayezekavat, P. (2022). The New Generation of Construction Skills: Transition from Onsite to Offsite. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [57] Clevenger C. M. et al. Impacts and benefits of implementing building information modeling on bridge infrastructure projects. – 2014. – №. MPC 14-272.
- [58] Return-on-investment on Building Information Modelling (BIM) From a cost factor to sustainable profit growth, © 2021 TÜV SÜD. <https://www.tuvsud.com/en/-/media/global/pdf-files/whitepaper-report-e-books/tuvsud-return-on-investment-on-bim.pdf>
- [59] Halmetoja, E. (2022). The Role of Digital Twins and Their Application for the Built Environment. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [60] Xie, H.S., Brilakis, I., Loscos, E. (2022). Reality Capture: Photography, Videos, Laser Scanning and Drones. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [61] Huang, J.C. (2022). From Building Information Modeling to Extended Reality. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [62] Feng, Z., Gao, Y., Zhang, T. (2022). Gamification for Visualization Applications in the Construction Industry. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [63] Naboni, R. (2022). Cyber-Physical Construction and Computational Manufacturing. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [64] Mata, J., Santos, J., Barateiro, J. (2022). Using Emergent Technologies on the Structural Health Monitoring and Control of Critical Infrastructures. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [65] Tezel, A., Papadonikolaki, E., Yitmen, I., Bolpagni, M. (2022). Blockchain Opportunities and Issues in the Built Environment: Perspectives on Trust, Transparency and Cybersecurity. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [66] Bolpagni, M. (2022). Building Information Modelling and Information Management. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [67] de Boissieu, A. (2022). Introduction to Computational Design: Subsets, Challenges in Practice and Emerging Roles. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [68] Tarabishy, S., Kosicki, M., Tsigkari, M. (2022). Artificial Intelligence for the Built Environment. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [69] Kosicki, M., Tsiliakos, M., ElAshry, K., Tsigkari, M. (2022). Big Data and Cloud Computing for the Built Environment. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [70] Mauri, M. (2022). Information Visualization for the Construction Industry. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [71] Chang, G.K., Xu, G., Correia, A.G., Nazarian, S. (2022). Intelligent Construction for Infrastructure—The Framework. In: Tutumluer, E., Nazarian, S., Al-Qadi, I., Qamhia, I.I. (eds) *Advances in Transportation Geotechnics IV. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 166. Springer, Cham.
- [72] Pan, Y., Zhang, L. Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. *Arch Computat Methods Eng* (2022).
- [73] Zhang, Y., Yuen, K.V. (2022). Applications of Deep Learning in Intelligent Construction. In: Cury, A., Ribeiro, D., Ubertini, F., Todd, M.D. (eds) *Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques. Structural Integrity*, vol 21. Springer, Cham.
- [74] Suresh, V., Narwade, R. (2022). 'Smart Construction Safety Helmet': a Construction Safety Tool Embedded with Health Monitoring and Salary Deduction Function. In: Mahajan, V., Chowdhury, A., Padhy, N.P., Lezama, F. (eds) *Sustainable Technology and Advanced Computing in Electrical Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 939. Springer, Singapore.
- [75] Adepoju, O. (2022). Reskilling for Construction 4.0. In: *Re-skilling Human Resources for Construction 4.0. Springer Tracts in Civil Engineering*. Springer, Cham.
- [76] Xu L. et al. Testing the Effects of the Digital Linguistic Landscape on Engineering Education for Smart Construction // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2022. – Т. 2022.;
- [77] Плакиткин Ю. А., Плакиткина Л. С. Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» — возможности и перспективы в угольной промышленности // *Горная промышленность*. – 2018. – №. 1 (137). – С. 22-28.
- [78] Цифровизация проектов капитального строительства <https://www2.deloitte.com/kz/ru/pages/energy-and-resources/articles/digital-capital-projects.html>
- [79] Технический отчет по теме «Цифровизация строительной отрасли на всех этапах жизненного цикла ОКС» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ) 2022 г. <https://digital-build.ru/wp-content/uploads/2022/07/13029866.179299560164735928.1.2-1.pdf>
- [80] Кожевникова М. К., Маркова Н. И., Маврина И. Н. Цифровизация процессов реализации инвестиционно-строительных проектов // *Научные труды Вольного экономического общества России*. – 2022. – Т. 233. – №. 1. – С. 211-230.
- [81] Козлов И. М. Оценка экономической эффективности внедрения информационного моделирования зданий // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2010. – №. 1 (10). – С. 6.
- [82] Гинзбург А. В., Адамцевич Л. А., Адамцевич А. О. Строительная отрасль и концепция "Индустрия 4.0": обзор // *Вестник МГСУ*. – 2021. – Т. 16. – №. 7. – С. 885-911.
- [83] Пешков А. В. и др. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НА ВСЕХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «СТРОИТЕЛЬСТВО 4.0» // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. – 2022. – Т. 12. – №. 1 (40). – С. 90-97.
- [84] Holgeid, Knut Kjetil, et al. "Benefits management and Information Technology work distribution." *IET Software* (2022).
- [85] Samad M. E. Sepasgozar, Aaron M. Costin, Reyhaneh Karimi, Sara Shirowzhan, Ezatollah Abbasian and Jinyun Li ; BIM and Digital Tools for State-of-the-Art Construction Cost Management ; *Buildings* 2022, 12(4), 396;
- [86] Marinho A. J. C., Couto J. Contribution to improvement of knowledge management in the construction industry-Stakeholders' perspective on implementation in the largest construction companies // *Cogent Engineering*. – 2022. – Т. 9. – №. 1. – С. 2132652. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2132652>
- [87] M. A. Osman, S. A. Mohd Noah and S. Saad, "Ontology-Based Knowledge Management Tools for Knowledge Sharing in Organization—A Review," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 43267-43283, 2022
- [88] Infrastructure and Projects Authority https://en.wikipedia.org/wiki/Infrastructure_and_Projects_Authority
- [89] Government Functional Standard Version: 2.0 Date issued: 15 July 2021 Approved GovS 002: Project delivery portfolio, programme and project management © Crown copyright 2021 Produced by Infrastructure and Projects Authority https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1002673/1195-APS-CCS0521656700-001-Project-Delivery-standard_Web.pdf
- [90] Transforming Infrastructure Performance: Roadmap to 2030 sets out a vision for innovation and reform in infrastructure delivery. ©

Crown copyright 2017 Produced by Infrastructure and Projects Authority

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1016726/IPA_TIP_Roadmap_to_2030_v6_1.pdf

- [91] Guide for Effective Benefits Management in Major Projects. Key benefits management principles and activities for major projects. © Crown copyright 2017 Produced by Infrastructure and Projects Authority
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/671452/Guide_for_Effective_Benefits_Management_in_Major_Projects.pdf
- [92] Kassem, Mohamad, et al. "Building information modelling: evaluating tools for maturity and benefits measurement." Centre for Digital Built Britain: London, UK (2020): 184.
- [93] Куприяновский, В. П., et al. "Информационные технологии в системе университетов, науки и инновации в цифровой экономике на примере Великобритании." *International Journal of Open Information Technologies* 4.4 (2016): 30-39.
- [94] Kupriyanovsky, Yulia, et al. "Smart container, smart port, BIM, Internet Things and blockchain in the digital system of world trade." *International Journal of Open Information Technologies* 6.3 (2018): 49-94.
- [95] Николаев Д. Е. и др. Цифровая железная дорога-инновационные стандарты и их роль на примере Великобритании // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4. – №. 10. – С. 55-61.
- [96] Куприяновский, Василий Павлович, et al. "Правительство, промышленность, логистика, инновации и интеллектуальная мобильность в цифровой экономике." *Современные информационные технологии и ИТ-образование* 13.1 (2017): 74-96.
- [97] Куприяновский, Василий Павлович, et al. "Гигабитное общество и инновации в цифровой экономике." *Современные информационные технологии и ИТ-образование* 13.1 (2017): 105-131.
- [98] Sokolov, Igor, et al. "State, innovation, science and talents in measuring the digital economy (UK Case Study)." *International Journal of Open Information Technologies* 5.6 (2017): 33-48.
- [99] Sokolov, Igor, et al. "On breakthrough innovative technologies for infrastructures. The Eurasian digital railway as a basis of the logistic corridor of the new Silk Road." *International Journal of Open Information Technologies* 5.9 (2017): 102-118.
- [100] Ghaffar, Seyed Hamidreza, et al. "Innovation in Construction." <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-95798-8>
- [101] Куприяновский, В. П., et al. "Розничная торговля в цифровой экономике." *International Journal of Open Information Technologies* 4.7 (2016): 1-12.
- [102] Kupriyanovsky V., Namit D. (2016) Digital economy – Smart way to work. *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 2, pp. 26-33.
- [103] Bolpagni, Marzia, Rui Gavina, and Diogo Ribeiro, eds. *Industry 4.0 for the Built Environment: Methodologies, Technologies and Skills*. Vol. 20. Springer Nature, 2021.
- [104] Цифровая экономика и Интернет Вещей - преодоление силоса данных / В. П. Куприяновский, А. Р. Ишмуратов, Д. Е. Намиот [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – Т. 4. – № 8. – С. 36-42. – EDN WFWAPB.
- [105] Adepoju, Omoseni, et al. "Re-skilling Human Resources for Construction 4.0." <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-85973-2>
- [106] Dounas, Theodoros, and Davide Lombardi. "Blockchain Technologies in Construction." *Blockchain for Construction*. Springer, Singapore, 2022. 1-4.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-3759-0>

Some issues of increasing the competitiveness and maturity of infrastructure projects using information modeling technologies

Mihail Shahramanjan, Vasily Kupriyanovsky

Abstract - The digitalization of the design process in construction, the digitalization of construction in general and the transition to supporting the entire life cycle of construction objects are clearly and obviously changing established processes. But the question of evaluating these measurements is also obvious. This article is devoted to quantitative assessments of the digitalization of construction. The adoption and adoption of building information modeling (BIM) as a technology and process in the architecture, engineering and construction industry marks a significant step forward in advanced digital transformation towards economic and other benefits. At the same time, it should be noted that BIM technologies cannot be considered as something given once and for all. They are constantly in development, which, as a rule, only increases the benefits of their use. One of the hallmarks of the construction industry is that it requires the collaborative efforts of several actors from different areas in order to effectively implement construction projects. The use of BIM plays a key role in this. At the same time, it should be noted that the main advantages of using BIM technologies in terms of economic costs will give the greatest economic effect after the completion of the investment stage of infrastructure projects and the transition to the operation stage. This is due to the fact that in the life cycle of a capital construction object, the stage of operation of the object is the longest, and therefore it is at this stage that the greatest economic effect can be achieved through the use of BIM technologies. An important circumstance of using BIM technologies at the operational stage is related to asset management.

Keywords— *BIM, TBM, digital building*

REFERENCES

- [1] Khyareh, Mohsen Mohammadi, and Nasrin Rostami. "Macroeconomic conditions, innovation and competitiveness." *Journal of the Knowledge Economy* 13.2 (2022): 1321-1340.
- [2] Nunes, Marco, et al. "Achieving Competitive Sustainable Advantages (CSAs) by Applying a Heuristic-Collaborative Risk Model." *Sustainability* 14.6 (2022): 3234.
- [3] Kuprijanovskij, Vasilij Pavlovich, et al. "Gigabitnoe obshchestvo i innovacii v cifrovoj jekonomike." *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* 13.1 (2017): 105-131.
- [4] Lee, Baul, and Seung-Kook Park. "A Study on the Competitiveness for the Diffusion of Smart Technology of Construction Industry in the Era of 4th Industrial Revolution." *Sustainability* 14.14 (2022): 8348.
- [5] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "The economic benefits of the combined use of BIM-GIS models in the construction industry. Review of the state of the world." *International Journal of Open Information Technologies* 4.5 (2016): 14-25.
- [6] Kuprijanovskij, V. P., S. A. Sinjagov, and A. P. Dobrynin. "BIM-Digital Economy. How to achieve the success? A practical approach to the theoretical concept. Part 1: Approaches and the main advantages of BIM." *International Journal of Open Information Technologies* 4.3 (2016): 1-8.
- [7] Kuprijanovskij, V. P., S. A. Sinjagov, and A. P. Dobrynin. "BIM-Digital Economy. How to achieve the success? A practical approach to the theoretical concept. Part 2: Digital Economy." *International Journal of Open Information Technologies* 4.3 (2016): 9-20.
- [8] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "The new five-year plan for BIM-infrastructure and Smart Cities." *International Journal of Open Information Technologies* 4.8 (2016): 20-35.
- [9] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "BIM on the way to IFC5-alignment and development of IFC semantics and ontologies with UML and OWL for road and rail structures, bridges, tunnels, ports, and waterways." *International Journal of Open Information Technologies* 8.8 (2020): 69-78.
- [10] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "Digital concrete: open BIM, machine-readable standards, IoT, digital twins, logistics 4.0, lean building, and other industrial approaches using the examples of transport infrastructures." *International Journal of Open Information Technologies* 9.9 (2021): 133-173.
- [11] Pokusaev, Oleg, et al. "BIM, Ontology and Asset Management Technologies on European Highways." *International Journal of Open Information Technologies* 8.6 (2020): 108-135.
- [12] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "Information modeling (BIM), subways, urban railways, and stations in the transport and urban environment in the ideology of transit orientation of urban development." *International Journal of Open Information Technologies* 9.3 (2021): 62-90.
- [13] Kuprijanovskij, V. P., et al. "Tehnologii BIM dlja tunnelej, ispol'zuemyh v metropolitenah, na zheleznyh i avtomobil'nyh dorogah i na Hyperloop-sistemy real'nogo vremeni na baze IFC i podryvnye innovacii." *International Journal of Open Information Technologies* 8.9 (2020): 70-93.
- [14] Kupriyanovsky, Vasily, et al. "BIM on the world's railways-development, examples, and standards." *International Journal of Open Information Technologies* 8.5 (2020): 57-80.
- [15] Shahramanjan, Mihail, Vasily Kupriyanovsky, and Alexander Klimov. "Open BIM and automated accounting of construction volumes: from machine-readable standards to implementation." *International Journal of Open Information Technologies* 10.10 (2022): 128-147.
- [16] *The Business Value of BIM for Infrastructure 2017*, SmartMarket Report, Copyright © 2017, Dodge Data & Analytics <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/finance/us-fas-bim-infrastructure.pdf>
- [17] Yu, Yifei, et al. "Circular economy in the construction industry: A review of decision support tools based on Information & Communication Technologies." *Journal of cleaner production* (2022): 131335.
- [18] Li, Clyde Zhengdao, et al. "The Application of Advanced Information Technologies in Civil Infrastructure Construction and Maintenance." *Sustainability* 14.13 (2022): 7761.
- [19] Pässe D. *Cost Estimation in Construction BIM vs BIM Master's thesis in Design and Construction Project Management.* – 2022. <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/305524/1/ACEX60%20-%20Pässe%20Daniel.pdf>.
- [20] Jang, Keunyoung, et al. "Infrastructure BIM platform for lifecycle management." *Applied Sciences* 11.21 (2021): 10310.
- [21] Shin, Min-Ho, Ji-Hyun Jung, and Hwan-Yong Kim. "Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process." *Buildings* 12.9 (2022): 1476.
- [22] Massimo-Kaiser, Ines, et al. "Streamlining Tunnelling Projects through BIM." *Sustainability* 14.18 (2022): 11433.

- [23] Appelt, V. (2022). Savings Potential in Highway Planning, Construction and Maintenance Using BIM - German Experience with PPP. In: et al. *Advances in Road Infrastructure and Mobility*. IRF 2021. Sustainable Civil Infrastructures. Springer, Cham.
- [24] Wang, J., Zhang, S., Zhao, L., Zhou, L. (2022). An Investigation on the Cost and Benefit of BIM Application Among Suzhou Construction Professionals. In: Guo, H., Fang, D., Lu, W., Peng, Y. (eds) *Proceedings of the 26th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*. CRIOCM 2021. Lecture Notes in Operations Research. Springer, Singapore.
- [25] Alassaf, Yahya, Amirsaman Mahdavian, and Amr A. Oloufa. "Investigating the intangible benefits of employing building information modeling on the design and construction industry." *Innovative Infrastructure Solutions* 6.3 (2021): 1-13.
- [26] Peter Adekunle, Clinton Aigbavboa, Opeoluwa Akinradewo, Ayodeji Oke and Douglas Aghimien ; *Construction Information Management: Benefits to the Construction Industry; Sustainability* 2022, 14(18), 11366
- [27] Kabaca, K., Yılmaz, C. (2022). BIM-Based Value Engineering: Creating a Plug-In System for Time Saving and Quantity Management. In: Özener, O.Ö., Ofluoglu, S., Isikdag, U. (eds) *Advances in Building Information Modeling*. EBF 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1627. Springer, Cham.
- [28] Na Wang, Shan Jin Zhang and Wei Wang ; *Impact of Environmental Innovation Strategy on Green Competitiveness: Evidence from China; Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19(10), 5879;
- [29] Kebede R. et al. Integration of manufacturers' product data in BIM platforms using semantic web technologies // *Automation in Construction*. – 2022. – T. 144. – S. 104630.
- [30] Kebede R. Z. Integration of building product data with BIM—Semantic representation of product data ; dis. – Jönköping University, School of Engineering, 2022. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1642704&dsid=7646>
- [31] ARRHENIUS L., LINELL M. Implementation of Digital Tools in Construction-Digital Maturity and Transformation. – 2022.
- [32] Magdalena Tutak and Jaroslaw Brodny ; *Business Digital Maturity in Europe and Its Implication for Open Innovation ; J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 2022, 8(1), 27;
- [33] Samuel Adeniyi Adekunle, Clinton Aigbavboa, Obuks Ejohwomu, Matthew Ikuabe and Babatunde Ogunbayo ; *A Critical Review of Maturity Model Development in the Digitisation Era ; Buildings* 2022, 12(6), 858;
- [34] BIM maturity Levels: from stage 0 to stage 3 , October 8, 2019 <https://biblus.accasoft.com/en/bim-maturity-levels-from-stage-0-to-stage-3/>
- [35] Augusto M. Gomes, Gonçalo Azevedo, Alcínia Zita Sampaio and Alberto Sánchez Lite ; *BIM in Structural Project: Interoperability Analyses and Data Management ; Appl. Sci.* 2022, 12(17), 8814;
- [36] Disney, O., Roupé, M., Johansson, M. and Domenico Leto, A. (2022), "Embracing BIM in its totality: a Total BIM case study", *Smart and Sustainable Built Environment*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0124>
- [37] Pässe D. Cost Estimation in Construction BIM vs Total BIM Master's thesis in Design and Construction Project Management. – 2022; <https://odr.chalmers.se/bitstream/20.500.12380/305524/1/ACEX60%20-%20Pässe%20Daniel.pdf>
- [38] Mike Hayes; *Construction 4.0 key to sustainability; 04 February 2022* <https://www.construction-europe.com/news/Construction-4.0-key-to-sustainability/8017935.article>
- [39] Hana Begić and Mario Galić, A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise; *Buildings* 2021, 11(8), 337; <https://doi.org/10.3390/buildings11080337>;
- [40] Eric Forcael, Isabella Ferrari, Alexander Opazo-Vega, Jesús Alberto Pulido-Arcas ; *Construction 4.0: A Literature Review ; Sustainability* 2020, 12(22), 9755; <https://doi.org/10.3390/su12229755>;
- [41] Rolando Chacón ; *Designing Construction 4.0 Activities for AEC Classrooms; Buildings* 2021, 11(11), 511;
- [42] Kor M., Yitmen I., Alizadehsalehi S.; *An investigation for integration of deep learning and digital twins towards Construction 4.0 // Smart and Sustainable Built Environment*. – 2022.;
- [43] de Soto B. G. et al. Construction cybersecurity and critical infrastructure protection: new horizons for Construction 4.0 // *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. – 2022. – T. 27. – #. 28. – S. 571-594.
- [44] Kuprijanovskij V.P., Klimov A.A., Pokusaev O.N. *Ontologii i proekty jelektronnyh zakupok Evropy // Social'nye novacii i social'nye nauki*. – Moskva: INION RAN, 2020. – # 1. – S. 97–106.
- [45] Ana Pérez-García, Norena Martín-Dorta and José Ángel Aranda ; *BIM Requirements in the Spanish Public Tender—A[n]alysis of Adoption in Construction Contracts ; Buildings* 2021, 11(12), 594;
- [46] Michele, Nicola Zeni, John Mylopoulos and Luisa Mich; *Semantic Annotation of Legal Contracts with ContrattoA ; Informatics* 2022, 9(4), 72;
- [47] Adam P. Balcerzak, Elvira Nica, Elżbieta Rogalska, Miłoś Poliak, Tomáš Klieštík and Oana-Matilda Sabie; *Blockchain Technology and Smart Contracts in Decentralized Governance Systems; Adm. Sci.* 2022, 12(3), 96;
- [48] Cantone, D., Longo, C.F., Nicolosi Asmundo, M., Santamaria, D.F., Santoro, C. (2022). Ontological Smart Contracts in OASIS: Ontology for Agents, Systems, and Integration of Services. In: Camacho, D., Rosaci, D., Sarné, G.M.L., Versaci, M. (eds) *Intelligent Distributed Computing XIV*. IDC 2021. Studies in Computational Intelligence, vol 1026. Springer, Cham.
- [49] Pattini, G., Di Giuda, G.M., Tagliabue, L.C. (2022). The Integration of Automatic BIM Validation and Smart Contracts for Design Compliance and Payment Reliability in the Design Process. In: Dounas, T., Lombardi, D. (eds) *Blockchain for Construction*. Blockchain Technologies. Springer, Singapore.
- [50] Christie, D.S., Mante, J. (2022). Smart Contracts and Payment in the UK Construction: The Legal Framework. In: Dounas, T., Lombardi, D. (eds) *Blockchain for Construction*. Blockchain Technologies. Springer, Singapore.
- [51] Jens J. Hunhevicz, Mahshid Motie, Daniel M. Hall ; *Digital building twins and blockchain for performance-based (smart) contracts; Automation in Construction*, Volume 133, January 2022, 103981;
- [52] Walmsley, K. (2022). Cutting-Edge Practical Research on Generative Design, IoT and Digital Twins. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [53] Edmonds, A., Mourtis, T., Boyle, M. (2022). Parametric Design—A Drive Towards a Sustainable Future. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [54] Panda, B., Tran, J. (2022). Material Design, Additive Manufacturing, and Performance of Cement-Based Materials. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [55] Linner, T., Hu, R., Iturralde, K., Bock, T. (2022). A Procedure Model for the Development of Construction Robots. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [56] Perera, S., Ginigaddara, B., Feng, Y., Rahnamayiezekavat, P. (2022). The New Generation of Construction Skills: Transition from Onsite to Offsite. In: Ghaffar, S.H., Mullett, P., Pei, E., Roberts, J. (eds) *Innovation in Construction*. Springer, Cham.
- [57] Clevenger C. M. et al. Impacts and benefits of implementing building information modeling on bridge infrastructure projects. – 2014. – #. MPC 14-272.
- [58] Return-on-investment on Building Information Modelling (BIM) From a cost factor to sustainable profit growth, © 2021 TÜV SÜD. <https://www.tuvsud.com/en/-/media/global/pdf-files/whitepaper-report-e-books/tuvsud-return-on-investment-on-bim.pdf>
- [59] Halmetoja, E. (2022). The Role of Digital Twins and Their Application for the Built Environment. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment*. Structural Integrity, vol 20. Springer, Cham.
- [60] Xie, H.S., Brilakis, I., Loscos, E. (2022). Reality Capture: Photography, Videos, Laser Scanning and Drones. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment*. Structural Integrity, vol 20. Springer, Cham.
- [61] Huang, J.C. (2022). From Building Information Modeling to Extended Reality. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment*. Structural Integrity, vol 20. Springer, Cham.
- [62] Feng, Z., Gao, Y., Zhang, T. (2022). Gamification for Visualization Applications in the Construction Industry. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment*. Structural Integrity, vol 20. Springer, Cham.
- [63] Naboni, R. (2022). Cyber-Physical Construction and Computational Manufacturing. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment*. Structural Integrity, vol 20. Springer, Cham.
- [64] Mata, J., Santos, J., Barateiro, J. (2022). Using Emergent Technologies on the Structural Health Monitoring and Control of

- Critical Infrastructures. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [65] Tezel, A., Papadonikolaki, E., Yitmen, I., Bolpagni, M. (2022). Blockchain Opportunities and Issues in the Built Environment: Perspectives on Trust, Transparency and Cybersecurity. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [66] Bolpagni, M. (2022). Building Information Modelling and Information Management. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [67] de Boissieu, A. (2022). Introduction to Computational Design: Subsets, Challenges in Practice and Emerging Roles. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [68] Tarabishy, S., Kosicki, M., Tsigkari, M. (2022). Artificial Intelligence for the Built Environment. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [69] Kosicki, M., Tsiliakos, M., ElAshry, K., Tsigkari, M. (2022). Big Data and Cloud Computing for the Built Environment. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [70] Mauri, M. (2022). Information Visualization for the Construction Industry. In: Bolpagni, M., Gavina, R., Ribeiro, D. (eds) *Industry 4.0 for the Built Environment. Structural Integrity*, vol 20. Springer, Cham.
- [71] Chang, G.K., Xu, G., Correia, A.G., Nazarian, S. (2022). Intelligent Construction for Infrastructure—The Framework. In: Tutumluer, E., Nazarian, S., Al-Qadi, I., Qamhia, I.I. (eds) *Advances in Transportation Geotechnics IV. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 166. Springer, Cham.
- [72] Pan, Y., Zhang, L. Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions. *Arch Computat Methods Eng* (2022).
- [73] Zhang, Y., Yuen, KV. (2022). Applications of Deep Learning in Intelligent Construction. In: Cury, A., Ribeiro, D., Ubertini, F., Todd, M.D. (eds) *Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques. Structural Integrity*, vol 21. Springer, Cham.
- [74] Suresh, V., Narwade, R. (2022). 'Smart Construction Safety Helmet': a Construction Safety Tool Embedded with Health Monitoring and Salary Deduction Function. In: Mahajan, V., Chowdhury, A., Padhy, N.P., Lezama, F. (eds) *Sustainable Technology and Advanced Computing in Electrical Engineering. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 939. Springer, Singapore.
- [75] Adepoju, O. (2022). Reskilling for Construction 4.0. In: *Re-skilling Human Resources for Construction 4.0. Springer Tracts in Civil Engineering*. Springer, Cham.
- [76] Xu L. et al. Testing the Effects of the Digital Linguistic Landscape on Engineering Education for Smart Construction // *Computational Intelligence and Neuroscience*. – 2022. – T. 2022.;
- [77] Plakitkin Ju. A., Plakitkina L. S. Programmy «Industrija-4. 0» i «Cifrovaja jekonomika Rossijskoj Federacii»—vozmozhnosti i perspektivy v ugol'noj promyshlennosti // *Gornaja promyshlennost'*. – 2018. – #. 1 (137). – S. 22-28.
- [78] Cifrovizacija proektov kapital'nogo stroitel'stva <https://www2.deloitte.com/kz/ru/pages/energy-and-resources/articles/digital-capital-projects.html>
- [79] Tehnicheskij otchet po teme «Cifrovizacija stroitel'noj otrasli na vseh etapah zhiznennogo cikla OKS» Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovanija "Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet" (NIU MGSU) 2022 g. <https://digital-build.ru/wp-content/uploads/2022/07/13029866.179299560164735928.1.2-1.pdf>
- [80] Kozhevnikova M. K., Markova N. I., Mavrina I. N. Cifrovizacija processov realizacii investicionno-stroitel'nyh proektov // *Nauchnye trudy Vol'nogo jekonomicheskogo obshhestva Rossii*. – 2022. – T. 233. – #. 1. – S. 211-230.
- [81] Kozlov I. M. Ocenka jekonomicheskoy jeffektivnosti vnedrenija informacionnogo modelirovanija zdaniy // *Architecture and Modern Information Technologies*. – 2010. – #. 1 (10). – S. 6.
- [82] Ginzburg A. V., Adamevich L. A., Adamevich A. O. Stroitel'naja otrasl' i koncepcija "Industrija 4.0": obzor // *Vestnik MGSU*. – 2021. – T. 16. – #. 7. – S. 885-911.
- [83] Peshkov A. V. i dr. OBESPECHENIE PROCESSOV KONTROLJa KACHESTVA NA VSEH JeTAPAH ZhIZNENNOGO CIKLA OB"EKTOV KAPITAL'NOGO STROITEL'STVA V RAMKAH KONCEPCII «STROITEL'STVO 4.0» // *Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. – 2022. – T. 12. – #. 1 (40). – S. 90-97.
- [84] Holgeid, Knut Kjetil, et al. "Benefits management and Information Technology work distribution." *IET Software* (2022).
- [85] Samad M. E. Sepasgozar, Aaron M. Costin, Reyhaneh Karimi, Sara Shirrowzhan, Ezatollah Abbasian and Jinyun Li ; *BIM and Digital Tools for State-of-the-Art Construction Cost Management ; Buildings* 2022, 12(4), 396;
- [86] Marinho A. J. C., Couto J. Contribution to improvement of knowledge management in the construction industry-Stakeholders' perspective on implementation in the largest construction companies // *Cogent Engineering*. – 2022. – T. 9. – #. 1. – S. 2132652. <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2132652>
- [87] M. A. Osman, S. A. Mohd Noah and S. Saad, "Ontology-Based Knowledge Management Tools for Knowledge Sharing in Organization—A Review," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 43267-43283, 2022
- [88] Infrastructure and Projects Authority https://en.wikipedia.org/wiki/Infrastructure_and_Projects_Authority
- [89] Government Functional Standard Version: 2.0 Date issued: 15 July 2021 Approved GovS 002: Project delivery portfolio, programme and project management © Crown copyright 2021 Produced by Infrastructure and Projects Authority https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1002673/1195-APS-CCS0521656700-001-Project-Delivery-standard_Web.pdf
- [90] Transforming Infrastructure Performance: Roadmap to 2030 sets out a vision for innovation and reform in infrastructure delivery. © Crown copyright 2017 Produced by Infrastructure and Projects Authority https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1016726/IPA_TIP_Roadmap_to_2030_v6_1.pdf
- [91] Guide for Effective Benefits Management in Major Projects. Key benefits management principles and activities for major projects. © Crown copyright 2017 Produced by Infrastructure and Projects Authority https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/671452/Guide_for_Effective_Benefits_Management_in_Major_Projects.pdf
- [92] Kassem, Mohamad, et al. "Building information modelling: evaluating tools for maturity and benefits measurement." Centre for Digital Built Britain: London, UK (2020): 184.
- [93] Kuprijanovskij, V. P., et al. "Informacionnye tehnologii v sisteme universitetov, nauki i innovacii v cifrovoj jekonomike na primere Velikobritanii." *International Journal of Open Information Technologies* 4.4 (2016): 30-39.
- [94] Kuprijanovsky, Yulia, et al. "Smart container, smart port, BIM, Internet Things and blockchain in the digital system of world trade." *International Journal of Open Information Technologies* 6.3 (2018): 49-94.
- [95] Nikolaev D. E. i dr. Cifrovaja zheleznoj doroga-innovacionnye standarty i ih rol' na primere Velikobritanii // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – T. 4. – #. 10. – S. 55-61.
- [96] Kuprijanovskij, Vasilij Pavlovich, et al. "Pravitel'stvo, promyshlennost', logistika, innovacii i intellektual'naja mobil'nost' v cifrovoj jekonomike." *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* 13.1 (2017): 74-96.
- [97] Kuprijanovskij, Vasilij Pavlovich, et al. "Gigabitnoe obshhestvo i innovacii v cifrovoj jekonomike." *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* 13.1 (2017): 105-131.
- [98] Sokolov, Igor, et al. "State, innovation, science and talents in measuring the digital economy (UK Case Study)." *International Journal of Open Information Technologies* 5.6 (2017): 33-48.
- [99] Sokolov, Igor, et al. "On breakthrough innovative technologies for infrastructures. The Eurasian digital railway as a basis of the logistic corridor of the new Silk Road." *International Journal of Open Information Technologies* 5.9 (2017): 102-118.
- [100] Ghaffar, Seyed Hamidreza, et al. "Innovation in Construction." <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-95798-8>
- [101] Kuprijanovskij, V. P., et al. "Roznichnaja torgovlja v cifrovoj jekonomike." *International Journal of Open Information Technologies* 4.7 (2016): 1-12.
- [102] Kuprijanovsky V., Namit D. (2016) Digital economy – Smart way to work. *International Journal of Open Information Technologies*, vol. 2, pp. 26-33.

- [103] Bolpagni, Marzia, Rui Gavina, and Diogo Ribeiro, eds. *Industry 4.0 for the Built Environment: Methodologies, Technologies and Skills*. Vol. 20. Springer Nature, 2021.
- [104] Cifrovaja jekonomika i Internet Veshhej - preodolenie silosa dannyh / V. P. Kuprijanovskij, A. R. Ishmuratov, D. E. Namiot [i dr.] // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2016. – T. 4. – # 8. – S. 36-42. – EDN WFVAPB.
- [105] Adepoju, Omoseni, et al. "Re-skilling Human Resources for Construction 4.0." <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-85973-2>
- [106] Dounas, Theodoros, and Davide Lombardi. "Blockchain Technologies in Construction." *Blockchain for Construction*. Springer, Singapore, 2022. 1-4. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-19-3759-0>