ОБЗОРЫ

УДК 658.5:65.011.5

ПЕРСПЕКТИВЫ ГИБКОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ (BIM)

Игнатова Е.С.

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), Москва, e-mail: knyaz-2003@yandex.ru*

Выявлена необходимость гибкого управления строительным производством (СП) уникальных объектов как альтернативы каскадной методологии, применяемой при создании типовых строительных объектов. Обоснована актуальность исследования возможностей применения гибкой методологии в СП и ее реализации с применением BIM. Целью исследования является обоснование возможностей гибкого управления СП с применением BIM. Задачи: определить особенности гибкой методологии СП уникальных объектов; выявить возможности применения BIM на различных стадиях жизни объекта; установить перспективы использования BIM для гибкого управления СП. Материалами при подготовке обзора служили труды российских и зарубежных авторов в части гибкой методологии управления СП, особенностей применения BIM и потенциала BIM для гибкого управления СП уникальных объектов. Методами исследования являлись теоретико-эмпирические методы. Выявлено, что цифровизация СП, в частности использование технологии BIM на всех стадиях жизни объекта, позволяет оптимизировать коммуникационный процесс, получать и учитывать обновляющиеся данные при внешних и внутренних изменениях за счет доступа к информационному пространству различных участников СП. Гибкое СП с применением BIM приводит к повышению производительности и качества процессов создания и эксплуатации уникальных объектов за счет оперативности и точности передачи данных, кооперационных взаимодействий и обратной связи всех организаций, участвующих в СП. Показано, что принципы гибкого СП позволяют оперативно осуществлять итерационные взаимодействия для снижения затрат и сроков принятия эффективных альтернативных решений. Установлено, что на стадии эксплуатации необходима интеграция BIM с цифровыми ресурсами управления недвижимостью для получения уточненной и обновленной BIM-модели, которая будет служить основой для планирования всех видов ресурсов при создании и эксплуатации аналогичных объектов в будущих периодах.

Ключевые слова: строительное производство, гибкое управление, BIM, жизненный цикл, итерация

PROSPECTS FOR AGILE CONSTRUCTION PRODUCTION USING BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Ignatova E.S.

*Moscow State University of Civil Engineering (MGSU) National Research University,
Moscow, e-mail: knyaz-2003@yandex.ru*

The necessity of Agile management of construction production (CP) of unique objects, as an alternative to the Waterfall methodology used in the creation of typical construction projects, is revealed. The urgency of the study of the possibilities of applying the Agile methodology in the CP and its implementation using BIM has been substantiated. The aim of the study is to substantiate the possibilities of Agile CP management using BIM. Objectives: to determine the features of the Agile methodology to CP of unique objects; to identify the possibilities of using BIM at various stages of the object's life; to establish perspectives of using BIM for Agile CP management. The materials for the preparation of the review were the works of Russian and foreign authors on the Agile methodology of CP management, the features of BIM application and the potential of BIM for Agile CP management of unique objects. The research methods were theoretical and empirical methods. It was revealed that the digitalization of the CP, in particular the use of BIM technology at all stages of the object's life, makes it possible to optimize the communication process, receive and take into account updated data during external and internal changes due to access to the information space of various CP participants. An Agile CP using BIM leads to an increase in the productivity and quality of the processes of creating and operating unique objects due to the efficiency and accuracy of data transfer, cooperation and feedback from all organizations participating in the CP. It is shown that the principles of Agile CP make it possible to carry out iterative interactions quickly and reduce the costs and timing of making effective alternative decisions. It has been established that at the operational stage, the integration of BIM with digital real estate management resources is required to obtain an updated BIM model, which will serve as the basis for planning all types of resources for the creation and operation of similar objects in future periods.

Keywords: construction production, agile management, BIM, life cycle, iteration

Управление строительным производством (СП) преимущественно осуществляется с использованием каскадной (поэтапной) методологии и включает этапы проектирования, возведения и эксплуатации зданий и сооружений. Каскадный метод реализации строительных проектов предпола-

гает, что каждый этап СП начинается только по завершении предыдущего этапа [1]. Такой подход эффективен при возведении типовых зданий и сооружений, по которым накоплен достаточный опыт строительства и имеется информационная база по результатам проектирования, строительства и экс-

плуатации ранее возводимых аналогичных объектов [2]. Традиционным в каскадной методологии строительства является составление календарных планов и сетевых графиков выполнения работ с установлением их длительности, последовательности и стоимости выполнения [3], что при наличии объекта сравнения обеспечивает минимизацию отклонений плановых и реальных показателей.

В настоящее время цифровые технологии, например Building Information Modeling (BIM, с англ. Информационное моделирование здания), позволяют не только произвести трехмерное моделирование объекта СП, но и увязать архитектурно-планировочные решения с технико-технологическими, эколого-экономическими требованиями к СП на протяжении жизненного цикла объекта [4, 5]. BIM позволяют в режиме реального времени следить за ходом СП и принимать оперативные решения при выявлении отклонений от плановых показателей стоимости, качества и сроков строительства [6].

Однако необходимо учитывать, что современное СП отличается достаточным числом возводимых уникальных зданий и сооружений как в архитектурном, так и в инженерном плане, что затрудняет долгосрочное планирование СП ввиду отсутствия аналогов для сравнения. Известно, что эффект от использования программных продуктов, в частности от применения BIM, зависит, в том числе, и от наличия базы моделей и типовых решений в программном продукте. В случае же уникальных зданий и сооружений возможны нарушения временных, качественных, стоимостных параметров СП при воплощении модели в реальный объект [7].

Для уникальных проектов СП, где вероятность изменений порядка выполнения работ, их сроков и стоимости гораздо выше, чем для типовых проектов, использование каскадной методологии нецелесообразно, поскольку изменения в процессе возведения объекта при завершённой стадии проектирования либо необходимость корректировок на этапе эксплуатации при завершённом строительстве требуют привлечения значительного объема всех видов ресурсов и существенных затрат [8]. Соответственно, необходимо внедрение гибких принципов [9] строительства инновационных уникальных объектов. Одновременно уже в 2015 г. А. Мень указал на приоритетное использование BIM в проектировании типовых решений Минстроя [10], следовательно, важным остается установление возможностей использования BIM в СП нетиповых объектов.

В связи с этим актуальными являются исследования возможностей применения

гибкой методологии в СП и ее реализации с использованием BIM при возведении уникальных объектов.

Целью исследования является обоснование возможностей гибкого управления СП с применением BIM. Задачи: определить особенности гибкой методологии СП уникальных объектов; выявить возможности применения BIM на различных стадиях жизни объекта; установить перспективы использования BIM для гибкого управления СП.

Материалы и методы исследования

Материалами при подготовке данного обзора служили труды российских и зарубежных авторов в части гибкой методологии управления СП, особенностей применения BIM и потенциала BIM для гибкого управления СП уникальных объектов.

Возможности гибкого управления, в частности в ходе СП, представлены в публикациях S. Azhar; H. Frank Cervone; P. Measey; R. Tomek; К.В. Гугаева; С.А. Жильцова; В.Ю. Маркина; А.Е. Перцева и др. Перспективы применения BIM, в том числе на различных стадиях жизни объекта строительства, отражены в трудах А.Н. Дмитриевой, К.А. Барешенковой, С.В. Марченковой; А.Д. Плотникова, Ю.О. Кустиковой; Л.Г. Селютиной; С.А. Синягова с соавторами и многих других.

Методами исследования служили теоретико-эмпирические методы: анализ, сравнение, обобщение, противопоставление, аналогия, синтез, ретроспективные исследования научно-практических результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности гибкой методологии СП уникальных объектов

Гибкая методология (англ. Agile) управления развивалась как альтернатива каскадному подходу (англ. Waterfall) в сфере разработки IT-решений [11], постепенно распространяясь на другие сферы, в частности на СП, с целью повышения эффективности выполнения строительных проектов в условиях неопределенности [12]. Действительно, динамичность изменения макрофакторов и требований со стороны микроокружения уникального строительного проекта предопределяет необходимость постоянного учета и внесения изменений в ходе СП посредством итерационного возвращения на предыдущие стадии исполнения СП. Различия гибкой и каскадной методологии показаны на рис. 1, где укрупненно приведены стадии СП.

Рис. 1. Схема каскадной (а) и гибкой (б) методологии СП (составлено автором)

Необходимость гибкого СП уникальных объектов обусловлена требованием учета множества влияющих факторов. Так, массу, пространственное расположение, ориентацию, соотношение площади и объема здания [13], а также энергообеспечение традиционными и возобновляемыми ресурсами, природно-климатические, инфраструктурные и иные факторы [14] необходимо учитывать на ранних стадиях СП с созданием альтернативных проектных решений [15]. Однако в традиционном каскадном подходе на стадии проектирования рассчитывается эффективность одного выбранного проекта, но практически отсутствует учет запросов будущих потребителей (пользователей объекта), что приводит к проблемам при эксплуатации зданий (например, к повышенным тепловым нагрузкам) [16].

Гибкое управление СП, напротив, осуществляется на принципах: приоритетного участия заказчика в создании и формировании конкурентных преимуществ объекта; систематического кооперационного взаимодействия всех участников проекта (проектных, инвестиционных, строительных, управляющих и иных организаций); высокой мотивации участников СП и эффективно выстроенных коммуникаций между ними; технического совершенствования и достижения качественных и количественных показателей СП. Это позволяет за счет частых итерационных взаимодействий [17], например на стадии проектирования, возвращаться к стадии проектного анализа и своевременно вносить и рассчитывать альтернативные варианты СП с улучшенными техническими, нормативными, финансовыми, эстетическими, энергосберегающими и иными характеристиками.

В случае нетиповых уникальных объектов, не имеющих аналогов для сравнения в виде возведенных и эксплуатируемых зда-

ний и сооружений, гибкое СП обеспечит: сокращение ошибок и отклонений на поздних стадиях жизненного цикла; повышение ценности конечного объекта; рост адаптивности хода СП к быстро изменяющимся и сложно прогнозируемым внешним и внутренним факторам [18].

Необходимо отметить, что практический опыт гибкого СП уникальных объектов недостаточен для получения статистических данных успешности проектов, однако имеются публикации об эффективности гибких принципов возведения ядерного объекта [19], целесообразности внедрения гибкой методологии строительства объектов энергетики [20], в частности объектов обеспечения удаленных потребителей возобновляемой энергией [21], а также возможности использования гибкого СП в сочетании с BIM [22].

Возможности применения BIM на различных стадиях жизни объекта

В России все более успешно используется опыт многомерного проектирования в создании жилых застроек, где преимущества внедрения BIM реализуются в повышении точности проектирования, 3D-визуализации модели объекта, сокращении времени и стоимости проектирования, возведения и эксплуатации объектов. План использования BIM утвержден Минстроем России, происходит стандартизация использования BIM [10].

В отличие от традиционного двумерного проектирования – с выработкой строительных планов, чертежей, технической документации, BIM объединяет в едином информационном пространстве взаимозависимые конструктивные, эксплуатационные, архитектурно-планировочные, экономико-технологические данные об объекте. В результате при создании конструктором

модели здания или сооружения в программном продукте все параметры элементов здания рассчитываются автоматически с выдачей чертежей, ведомостей, спецификаций, расчетов, сметы СП. Далее модель обогащается инженерными сетями и их характеристиками в виде тепловых расчетов, оценки освещенности и пр. Затем формируются проекты организации и производства строительных работ, календарные планы, логистика обеспечения СП материалами, техникой и персоналом. По завершении строительства модель может использоваться в ходе эксплуатации объекта [23].

Цифровизация предпроектной, проектной, строительной, эксплуатационной стадий жизненного цикла СП позволяет быстро произвести изменения в модели при необходимости внесения корректировок (например, при изменении вида изделия, поставщика, стоимости инженерных коммуникаций) как при строительстве и эксплуатации, так и при капитальном ремонте. BIM дает возможность быстро оценить альтернативные варианты проекта строительства

ся нехваткой или низкой квалификацией рабочей силы, сопротивлением внедрению инноваций, сложностью принятия новых технологий [25]. При этом в практике применения BIM, где 3D-модель используется во взаимосвязи с временными (4D) и стоимостными (5D) параметрами СП, а также взаимосвязана со стадиями жизненного цикла (6D), подчеркивается возможность минимизации отклонений в содержании, расписании, стоимости, сроках СП относительно плановых значений [26].

Дискуссионным остается вопрос применимости BIM к управлению недвижимостью на стадии эксплуатации [27], являющейся наиболее длительной в жизненном цикле объекта и вносящей весомый вклад в его стоимость. Стоимость эксплуатации объекта будет в 3 раза выше инвестиций в строительство и в 5–7 раз выше первоначальных инвестиций. Эксплуатация как стадия жизни объекта может охватывать период 10–50 лет (рис. 2) и предполагает оценку технического состояния, техническое обслуживание и ремонт.

Предпроектный анализ 1-2 года	Проектирование 1-3 года	Строительство 2-3 года	Эксплуатация 30-50 лет	Реконструкция/ ликвидация 1-3 года
----------------------------------	----------------------------	---------------------------	---------------------------	--

Рис. 2. Длительность отдельных стадий жизненного цикла СП (составлено по данным [27])

с автоматическим внесением изменений в модель и ее информационное описание. Соответственно, модель может претерпевать изменения в течение жизненного цикла здания или сооружения. Применение BIM обеспечивает сквозной информацией заказчика, подрядчиков, инвесторов, контролирующие органы, потребителей, сокращает временные, коммуникационные, стоимостные потери при согласовании изменений и уменьшает сроки сдачи объекта. Так, опыт внедрения BIM демонстрирует сокращение на 40 % незапланированных расходов, рост точности исполнения сметы и сокращение времени ее разработки на 80 %, а общего времени СП – на 7 %, повышение уровня возврата инвестиций на 25 % [24].

Современное СП становится все более масштабным, с ростом числа уникальных объектов, и характеризуется географической распределенностью участников проекта, что в отсутствие цифровизации приводит к превышению времени строительного проекта на 20 %, а бюджета на 80 % от запланированных значений. Также традиционно строительный сектор характеризуется

Важным является перенос модели объекта с инженерным описанием (детализация водо-, тепло-, электросетей, поставщиков материалов и услуг) в программные продукты по управлению недвижимостью [28], которые, в свою очередь, будут служить основой для внесения изменений в модель в ходе эксплуатации и ремонта объекта [29].

BIM-модели позволяют эффективно и безопасно принимать наиболее качественные и наименее затратные решения с оперативной выработкой графиков исполнения работ [30] на всех стадиях жизненного цикла [31] при обеспечении обмена данными между программными продуктами BIM и цифровыми решениями управления недвижимостью [32]. BIM позволяют более чем на 35 % сократить стоимость эксплуатации объекта [33] и минимизировать влияние человеческого фактора [34].

Перспективы использования BIM для гибкого управления СП

Гибкое управление имеет значительное влияние на этапе предварительного анализа проекта строительства уникальных зданий

и сооружений, поскольку позволяет выявить альтернативы и риски, разнообразить творческие решения в совместном итерационном взаимодействии участников СП с выработкой высококачественных сложных решений при минимальных затратах временных, человеческих, финансовых ресурсов [8]. Сбор и анализ исходных данных производится заказчиком в кооперации с проектными организациями и завершаются разработкой технического задания для проектировщиков. Организация-проектировщик устанавливает роли в проекте, готовит исполнительный план, среду, шаблоны, библиотеки для BIM-модели [35]. Гибкая методология СП реализуется в эффективных постоянных коммуникациях, включая учет запросов потребителей, для выработки альтернативных вариантов решений и выбора наиболее эффективных, с точки зрения качества, сроков и стоимости.

Проектирование осуществляется организацией-проектировщиком и предполагает информационное моделирование, формирование разделов проектной и рабочей документации. Гибкое СП на данном этапе предполагает оперативный учет в BIM-модели возможных корректировок со стороны заказчика с привлечением ко взаимодействию строительных организаций и использованием их опыта для возможных изменений. Участие подрядчика необходимо для уточнения графиков работ и моделирования временного описания в BIM. Гибкие итерационные взаимодействия с организацией, производящей экспертизу проекта, требуются для своевременного учета и внесения корректировок со стороны экспертов и изменений в модель, спецификации, сметные расчеты и ведомости работ [35].

Важным является использование гибких принципов СП на начальных этапах строительства, когда полученная модель с применением BIM соотносится с фактическим выносом точек в натуру; происходит взаимоувязывание подрядчиком объемов материалов и графика СП; организуется исполнительная съемка. Итерационные взаимодействия будут целесообразны как с заказчиком, так и с проектировщиком при дополнении модели и изменении проектных решений и при итоговой разработке исполнительной цифровой модели.

Наиболее сложным считается использование преимуществ гибкой методологии на стадии эксплуатации [8], где требуются итерационные взаимодействия эксплуатирующей организации, подрядчиков и потребителей. Однако именно в процессе гибкой эксплуатации в модель объекта вносятся данные по плановым и капитальным ремон-

там, замене расходных материалов, амортизации и иному, а также сведения об удовлетворении запросов со стороны пользователей уникальным объектом. Также входящей информацией в BIM будет регистрация данных различными детектирующими системами здания (контроль состояния инженерных систем, конструкций, энергопотребления и пр.). Получаемая в результате BIM обновленная эксплуатационная модель служит основой для прогнозирования затрат на эксплуатацию и ремонтные работы в аналогичных объектах.

В результате гибкого СП модель обогащается новыми данными, а цифровое информационное описание в BIM значительно упрощает и сокращает время коммуникаций при итерационных взаимодействиях, позволяя оперативно вырабатывать альтернативные решения. Для распределенных участников СП доступ к BIM целесообразно осуществлять по децентрализованным протоколам обмена данными, аналогичным технологиям Blockchain. Необходимо учитывать, что гибкость и удаленная командная работа в рамках BIM требуют высокой квалификации и мотивации участников СП [25].

Заключение

Стадии проектного анализа и проектирования в жизненном цикле уникального объекта являются наиболее ответственными и требуют оценки не одного проекта, как в традиционном каскадном подходе, а нескольких альтернатив на основе гибких итерационных взаимодействий. Показано, что принципы гибкого СП позволяют оперативно осуществлять итерационные взаимодействия для снижения затрат, стоимости и сроков принятия эффективных альтернативных решений.

Выявлено, что цифровизация СП, в частности использование технологии BIM на всех стадиях жизни объекта, позволяет оптимизировать коммуникационный процесс, получать и учитывать обновляющиеся данные при внешних и внутренних изменениях за счет доступа к информационному пространству различных участников СП. Гибкое СП с применением BIM приводит к повышению производительности и качества процессов создания и эксплуатации уникальных объектов за счет оперативности и точности передачи данных, кооперационных взаимодействий и обратной связи всех организаций, участвующих в СП.

Установлено, что на стадии эксплуатации необходима интеграция BIM с цифровыми ресурсами управления недвижимостью для получения уточненной и обновленной BIM-модели, которая будет служить осно-

вой для планирования ресурсов при возведении и эксплуатации аналогичных объектов в будущих периодах.

Сочетание гибкой методологии СП и ВМ обеспечивает своевременный учет информации на всех стадиях жизни объекта, приводит к росту качественных характеристик объекта и принятию эффективных решений при проектировании, организации строительства и эксплуатации объекта, сокращает документооборот, время согласований и повышает скорость выполнения работ, создает информационное обеспечение для реализации аналогичных проектов. Важной для дальнейшего развития гибкого СП с применением ВМ является интеграция программных продуктов информационного моделирования и эксплуатации зданий, а также систем детектирования конструкций, инженерных коммуникаций, энергопотребления. Также требуется решение вопросов удаленного взаимодействия организаций – участников СП посредством защищенных протоколов децентрализованного информационного обмена.

Список литературы

1. Leicht D., Castro-Fresno D., Diaz J., Baier C. Multidimensional Construction Planning and Agile Organized Project Execution – The 5D-PROMPT Method. Sustainability. 2020. Vol. 12. 6340. DOI: 10.3390/su12166340.
2. Маркин В.Ю. Эволюция методологии управления IT – проектами в современных экономических условиях // Вестник науки и образования. 2020. № 5–1(83). С. 28–35.
3. Сергеева Е.А., Сафина Г.Р. Производственный менеджмент. Казань: Казан. гос. ун-т, 2010. 334 с.
4. Перцева А.Е., Волкова А.А., Хижняк Н.С., Астафьева Н.С. Особенности внедрения BIM-технологии в отечественные организации // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». 2017. Т. 9. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/58EVN617.pdf> (дата обращения: 19.11.2020).
5. Игнатова Е.С. Методология ERP в организации и управлении строительным производством // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 3. С. 112–118. DOI: 10.17513/snt.37951.
6. Гигагури Т.Т. Внедрение BIM моделей на строительный объект // Colloquim-journal. 2020. № 2(54). С. 51–52. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-11225.
7. Разов И.О., Березнев А.В., Коркушко О.А. Проблемы и перспективы внедрения BIM технологий при строительстве и проектировании // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб., 2018. С. 27–31.
8. Sakikholes M.H., Stravrovadis S. Using Agile Project Management and BIM for Improved Building Performance. In book: Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction. Springer International Publishing, 2017. P. 65–78. DOI: 10.1007/978-3-319-50346-2_5.
9. Principles Behind the Agile Manifesto. Agile Alliance. [Electronic resource]. URL: <https://www.agilealliance.org/agile101/12-principles-behind-the-agile-manifesto/> (date of access: 19.11.2020).
10. Новости строительного комплекса // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2015. № 4 (195). С. 4–7.
11. Гугаев К.В. Эволюция методологий разработки ПО // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 8. С. 29–31.
12. Besenyői Z., Krämer M., Husain F. Building Information Modelling in Agile Environments – an Example of Event Management at the Airport of Tempelhof. IPIC-SE-2018 MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 251. 03064. DOI: 10.1051/mateconf/201825103064.
13. Smeds J., Wall M. Enhanced energy conservation in houses through high performance design. Energy and Buildings. 2007. Vol. 39. P. 273–278.
14. Жильцов С.А. Особенности инструментов управления при реализации проектов энергоснабжения удаленных потребителей // Инновации в создании и управлении бизнесом: труды Всерос. науч.-практ. конф. М.: РУДН, 2018. С. 20–24.
15. Azhar S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering. 2011. Vol. 11. no. 3. P. 241–252.
16. Jansson G., Schade J., Olofsson T. Requirements management for the design of energy efficient building. Journal of Information Technology in Construction. 2013. Vol. 18. P. 321–337.
17. Measey P., Radtac. Agile foundations. London: BCS, The Chartered Institute for IT. 2015.
18. Frank Cervone H. Understanding agile project management methods using Scrum. OCLC Systems & Services: International digital library perspectives. 2011. Vol. 27. no. 1. P. 18–22.
19. Straçusser G. Agile project management concepts applied to construction and other non-IT fields. Project Management Institute. [Electronic resource]. URL: <https://www.pmi.org/learning/library/agile-software-applied-to-construction-9931> (date of access: 19.11.2020).
20. Идиатуллина А.М. Управление проектами в области энергосбережения в России и за рубежом // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 6. С. 195–200.
21. Жильцов С.А., Велиев К.Р. Модель управления проектом энергоснабжения удаленных потребителей // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2018. № 10 (116). С. 28.
22. Tomek R., Kalinichuk S. Agile PM and BIM: A hybrid scheduling approach for a technological construction project. Procedia Engineering. 2015. Vol. 12. P. 557–564.
23. Мирзоян Э.К. Виртуальное строительство (цифровая модель здания) // Вестник современных исследований. 2018. № 12.14 (27). С. 100–104.
24. Дмитриев А.Н., Барешенкова К.А., Марченкова С.В. Концепция перехода на внедрение цифровых технологий информационного моделирования в московском строительстве // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании: материалы IX Межд. науч.-практ. конф. М., 2019. С. 208–220.
25. Constructions Digital Future [Electronic resource]. URL: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/imagining-constructions-digital-future> (date of access: 19.11.2020).
26. Синягов С.А., Куприяновский В.П., Куренков П.В., Намиот Д.Е., Степаненко А.В., Бубнов П.М., Распопов В.В., Селезнев С.П., Куприяновская Ю.В. Строительство и инженерия на основе стандартов BIM как основа трансформаций инфраструктур в цифровой экономике // International Journal of Open Information Technologies. 2017. Т. 5. № 5. С. 46–79.
27. Селютин Л.Г., Малеева Т.В. Развитие технологии информационного моделирования в строительстве в условиях цифровой трансформации экономики // Методология развития экономики, промышленности и сферы услуг в условиях цифровизации. СПб., 2018. С. 198–220.

28. Селютина Л.Г. Преимущества применения технологии информационного моделирования в строительной практике // Актуальные вопросы экономики, менеджмента и инноваций: материалы межд. науч.-практ. конф. ученых, специалистов, преподавателей вузов, аспирантов, студентов. М., 2018. С. 245–249.
29. Букунов А.С. Управление жизненным циклом объекта строительства на основе технологии информационного моделирования // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXII Межд. науч.-практ. конф. 2018. С. 324–330.
30. Плотников А.Д., Кустикова Ю.О. Перспективные направления применения BIM-технологий в эксплуатации зданий и сооружений // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник материалов VI Межд. науч. конф. 2018. С. 108–111.
31. Чжо З.А. Новые возможности и перспективы в проектировании мостов при использовании информационного моделирования // Аспирантские чтения: сборник научных статей аспирантов ИПСС РУТ (МИИТ). М., 2018. С. 99–106.
32. Demenev A.V., Lopatko R.N. Operation of buildings and structures based on BIM standards. Science and Technology. 2019. № 1. С. 43–53.
33. Кручер И.Л., Колокольчикова В.Е. Перспективы внедрения BIM на этапе эксплуатации зданий и сооружений гостиничного бизнеса // Современные проблемы туризма и сервиса: сборник статей научных докладов по итогам Всероссийской науч.-практ. конф. 2019. С. 75–81.
34. Шатохина Ю.А., Мотвейко Р.Б. Применение BIM-технологий в жилищном строительстве // Актуальные проблемы науки и техники. 2019: материалы национальной науч.-практ. конф. 2019. С. 345–346.
35. Аришков Д.В. Применение BIM технологий на различных этапах жизненного цикла объекта недвижимости // Аллея науки. 2020. Т. 2. № 1 (40). С. 755–761.