

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 338

DOI: 10.22227/1997-0935.2023.10.1647-1660

Цепочки создания ценности в строительстве на основе концепции бережливого производства в условиях цифровой трансформации

Кирилл Юрьевич Кулаков, Александр Константинович Орлов,
Вадим Сергеевич Канхва

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В современных условиях фундаментальной основой строительства является процесс создания ценности для пользователя объекта капитального строительства (ОКС) для потребителя. Рассматривается процесс создания ОКС как цепочка создания ценности, обосновывается влияние цифровой трансформации на развитие и динамику этой цепочки. Проведен анализ современных исследований по проблематике влияния цифровизации на цепочки создания ценности, результаты анализа спроецированы на процессы цифровой трансформации экосистемы строительства. Выявлены основные существующие проблемы эффективности реализации проектов в строительстве, в том числе с позиции актуальной задачи повышения производительности труда, а также перспективы цифровизации строительства с позиции цепочек создания ценности с использованием инструментов концепции бережливого производства. Предложен механизм внедрения концепции бережливого производства в строительстве с использованием инструментов цифровизации. На основе результатов финансово-экономического анализа рассчитаны эффекты от внедрения предлагаемых мероприятий, влияющих на сроки реализации инвестиционно-строительных проектов (ИСП), стоимостные и качественные параметры. Предлагаемый подход способствует созданию базы данных о возникновении и путях решения проблем в бизнес-процессах, а также формирует возможности постоянного обучения и мотивирования сотрудников, что полностью соответствует необходимости постоянных улучшений в бережливом строительстве.

Материалы и методы. Методической основой исследования является концепция бережливого строительства применительно к аспектам трансформации цифровой экосистемы строительства. Также использованы системный и ситуационный подходы, методы качественного, сравнительного и факторного анализа результатов зарубежного и отечественного опыта. Для анализа результатов внедрения инструментов бережливого строительства в рамках реализации ИСП применены инструменты инвестиционного анализа и финансово-экономического моделирования.

Результаты. Предложен практический подход к внедрению концепции бережливого производства с использованием инструментов цифровизации в деятельность строительной компании. Проведенный авторами анализ результатов и итогов внедрения цифровых инструментов на базе концепции бережливого строительства в российских условиях позволил количественно определить потери в рамках реализации ИСП, а также рассчитать эффекты от внедрения предлагаемых решений.

Выводы. Рекомендуется участникам экосистемы строительства внедрять концепцию бережливого строительства в интеграции с цифровыми технологиями согласно предложенному практическому подходу для повышения производительности труда и роста эффективности реализуемых инвестиционных проектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бережливое производство, строительство, цифровая трансформация, конкурентное преимущество, ценность, единая информационная система

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кулаков К.Ю., Орлов А.К., Канхва В.С. Цепочки создания ценности в строительстве на основе концепции бережливого производства в условиях цифровой трансформации // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. Вып. 10. С. 1647–1660. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.10.1647-1660

Автор, ответственный за переписку: Вадим Сергеевич Канхва, KanhvaVS@mgsu.ru.

Value chains in construction based on the concept of lean manufacturing in the conditions of digital transformation

Kirill Yu. Kulakov, Aleksandr K. Orlov, Vadim S. Kankhva

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. In modern conditions, the fundamental basis of construction is the process of creating value of the capital construction object for the consumer. The article examines the process of creation of capital construction projects as a value

chain and substantiates the influence of digital transformation on the development and dynamics of this chain. The analysis of modern research on the impact of digitalization on value chains is carried out, the results of the analysis are projected onto the processes of digital transformation of the construction ecosystem. The main existing problems of project implementation efficiency in construction, including from the position of the actual task of increasing labour productivity, as well as the prospects for digitalization of construction from the position of value chains using the tools of the lean manufacturing concept are identified. A mechanism for implementing the concept of lean manufacturing in construction using digitalization tools is proposed. Based on the results of the financial and economic analysis, the effects of the implementation of the proposed measures that affect the timing of the implementation of the ICP, cost and quality parameters are calculated. The proposed approach contributes to the creation of a database on the occurrence and ways to solve problems in business processes, as well as creates opportunities for continuous training and motivation of employees, which is fully consistent with the need for continuous improvement in lean construction.

Materials and methods. The methodological basis of the study is the concept of lean construction in relation to aspects of the transformation of the digital construction ecosystem. In addition, systematic and situational approaches, methods of qualitative, comparative and factor analysis of the results of foreign and domestic experience were used in the study. The tools of investment analysis and financial and economic modelling were used to analyze the results of the implementation of lean construction tools within the framework of investment and construction projects.

Results. The authors propose a practical approach to the implementation of the concept of lean production using digitalization tools in the activities of a construction company. The analysis of the results of the introduction of digital tools based on the concept of lean construction in Russia made it possible to quantify the losses in the framework of the implementation of investment and construction projects, as well as to calculate the effects of the implementation of the proposed solutions.

Conclusions. The study recommends participants of the construction ecosystem to implement the concept of lean construction in integration with digital technologies in accordance with the proposed practical approach to increase labour productivity and the efficiency of investment projects implemented.

KEYWORDS: lean manufacturing, construction, digital transformation, competitive advantage, value, unified information system

FOR CITATION: Kulakov K.Yu., Orlov A.K., Kankhva V.S. Value chains in construction based on the concept of lean manufacturing in the conditions of digital transformation. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(10):1647-1660. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.10.1647-1660 (rus.).

Corresponding author: Vadim S. Kankhva, KanhvaVS@mgsu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Исследуя феномен современного строительства, следует постулировать в качестве его фундаментальной основы понимание строительного производства как процесса создания ценности [1]. Воспринимая строительство как экосистему, необходимо также учитывать современную динамику исследований относительно цепочек создания ценности и обоснования влияния цифровой трансформации (ЦТ) на эффективность этих цепочек¹ [2].

В ходе анализа научной литературы по проблематике цифровизации цепочки создания ценности в целом, цифровизации принципов и инструментов экономики и управления строительством, можно сделать вывод о наличии определенного дуализма мнений. Ряд ученых [3] считает, что кривая распределения добавленной стоимости в цепочках создания ценности в условиях ЦТ показывает повышательную динамику при сочетании инвестиционно-строительного проектирования с цифровыми инструментами изучения потребительского спроса. Другие исследователи склонны разделять строительное производство и цифровизацию, считая фиксирование процессов их оцифровкой не только неэффективным, но и приводящим к потерям финансовых и временных ресурсов. Говоря об эффективности реализации проектов в строительстве, стоит отметить, что вопросы создания ценности на-

прямую связаны с вопросами повышения эффективности реализации проектов в строительстве.

Эффективность проектов, согласно исследованиям [4–6], определяется уровнем производительности труда в строительстве. Превышение бюджета проекта и срыв сроков реализации строительных работ, вызванные недостаточной производительностью труда и проблемами в этой сфере, могут привести к значительным финансовым потерям как для подрядчиков, так и для инвестора проекта [5]. Соответственно, динамика и повышение производительности труда являются важнейшим фактором эффективности инвестиционных проектов (ИП) [4, 5, 7].

Большинство факторов повышения производительности труда связано с организацией и управлением строительным проектом и производством [5, 7, 8]. Поэтому важно рассмотреть меры и концепции повышения производительности труда и создать комплексную стратегию, включающую принципы бережливого строительства и инновационные технологии, в частности BIM [9]. Применение адекватных мер и построение правильной стратегии повышения производительности труда будет способствовать снижению затрат на реализацию проекта, а также получению фирмами конкурентных преимуществ и большей прибыли от реализации ИП [4].

Цифровизация отрасли может стать тем драйвером развития, который сможет решить актуальную задачу повышения производительности труда при одновременном создании дополнительной ценности для основных стейкхолдеров инвестиционно-строительного проекта (ИСП).

¹ World Development Report 2020 // The World Bank. URL: <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2020>

Одним из инструментов создания ценности является инструментарий концепции бережливого производства, которая реализуется на практике во многих отраслях, в том числе и в строительстве.

Концепция бережливого производства представляет собой подход к управлению организацией/отдельным проектом, направленный на повышение качества работы за счет сокращения потерь при реализации того или иного процесса. Этот подход возможно распространить на все этапы девелоперской деятельности — от проектирования и строительства до эксплуатации. Рассматриваемая система, иначе называемая Lean manufacturing, позволяет буквально каждому сотруднику видеть и выявлять потери, действовать так, чтобы ценность выпускаемого продукта неизменно росла.

Развивается применение бережливого производства и принципов в строительных проектах для повышения эффективности. Однако большая часть этих принципов и инструментов не интегрирована с современными цифровыми технологиями, такими как BIM [9, 10]. Комплексное применение Lean-BIM в строительном проекте значительно повысит ценность строительной продукции и процесса [10]. Повышение производительности и эффективности, снижение затрат и потерь в результате интегрированного применения BIM и Lean подтверждено многими трудами [9–11]. Внедрение Lean и BIM при реализации проекта становится новой областью исследований в сфере развития информационных технологий в архитектуре, проектировании и строительстве [9–11].

Согласимся, что возможность анализа больших данных, применения цифровых платформ, интернета вещей приводит к повышению рентабельности сегмента реализации продукции в цепочке создания ценности при одновременном росте производительности труда [12]. Эта тенденция, считаем, характерна и для строительной продукции, учитывая ограниченность информации о потребностях и соответствующие высокие риски, компенсируемые высокой рентабельностью данных звеньев цепочки создания ценности. Применение цифровых технологий для сбора и анализа информации о потребителях позволит снизить риски реализации строительной продукции наряду со снижением количества посредников путем применения цифровых платформ и сервисов для коммуникации производителей с потребителями (аналогично другим цепочкам создания ценности [13]).

Активное обсуждение влияния различных цифровых технологий на цепочки создания ценности зачастую сосредоточено на анализе влияния цифровизации на занятость и мировую торговлю, игнорируя отношения и коммуникации участников цепочек создания ценности [14]. Относительно цифровизации цепочек создания ценности исследователи отмечают ключевую возможность отслеживания движения продукта по всей цепочке с контролем всех материальных потоков и финансовых расчетов, что

приводит к росту прозрачности процессов, а также позволяет повысить эффективность строительного производства на различных этапах цепочки создания ценности и повысить одновременно производительность труда [15]. Согласимся с мнением ряда ученых, считающих, что на современном этапе ЦТ должен осуществляться выход поставщиков цифровых решений за рамки соперничества за потребителя этих решений в направлении переориентации на сотрудничество с такими потребителями за ведущие позиции на рынках конечной продукции, т.е. выхода цепочки создания ценности. Некоторые исследователи уверены, что в условиях цифровой экономики управление дает возможность при существовании средств для онлайн-информирования и привязки к единой модели объекта получать достоверную информацию о действиях каждого из участников в целях координации действий и принятия правильных управленческих решений [16].

Еще одним важнейшим моментом, причем ключевым для реализации цифровых технологий, является высокая турбулентность социально-экономической и политической среды, которая существует с начала пандемии 2020 г. Исследователи отмечают необходимость повышения адаптированности цепочек создания ценности к различного рода шокам; в данном контексте цифровизация создает возможности анализа мониторинга всей цепочки поставок в режиме реального времени, позволяя оперативно реагировать на изменения предпочтений потребителей и динамику внешней среды. Проблема адаптации цепочек создания ценности к различного рода рисковому ситуациям сегодня является первостепенной в соответствующих направлениях исследований². Инструменты цифровизации строительства позволили компаниям, входящим в цепочки создания ценности, повысить эффективность деятельности, устранить потери и снизить потребности в оборотном капитале, что в современных условиях экономической турбулентности следует сбалансировать с необходимостью резервирования и дублирования по ряду позиций в целях поиска оптимального баланса между «точно вовремя» и «на всякий случай». Отметим, что наряду с вышеперечисленными вызовами современная методология ЦТ строительства должна не забывать учитывать климатическую повестку и повестку устойчивого развития³ [2, 17].

² Risk, resilience, and rebalancing in global value chains // McKinsey Global Institute. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/risk-resilience-and-rebalancing-in-global-value-chains>

³ ГОСТ Р 70339–2022. «Зеленые» стандарты. Финансирование строительной деятельности в целях устойчивого развития. Рамочные основы и принципы : утв. и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07.09.2022 № 885-ст.

В определенной мере это позволяют реализовать новые цифровые технологии, параллельно являющиеся инструментом поддержки принятия решений по оперативному реагированию на изменение потребительских предпочтений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно авторской позиции, требуется обеспечение устойчивого развития экосистемы строительства в цифровой экономике с учетом необходимости комплексных преобразований всех подсистем и их взаимосвязей, определяющих сущностную позицию ЦТ как изменения бизнес-процессов. Устойчивое развитие экосистемы строительства в процессе ЦТ должно опираться на создание новой основы цепочки создания ценности в строительстве, т.е. включение нового уникального ценностного предложения (UVP), формирующего уникальное торговое предложение (USP)⁴. Подобная трансформация бизнес-процессов имеет в своей основе замену ключевой компетенции каждого из участников экосистемы строительства. Согласно характеристикам ключевой компетенции, к ним относятся ценность, уникальность и доступность [18]. Соответственно, ключевая компетенция формирует через концепцию цепочки ценностей М. Портера уникальные или устойчивые конкурентные преимущества. Взаимодействия участников экосистемы строительства формируют цепочку или сеть создания ценности, в том числе за счет сокращения потерь, если речь идет об использовании концепции бережливого производства, что позволяет вывести новое уникальное торговое предложение с рынка PropTech на рынок

строительства и включить его в цепочку создания объекта капитального строительства (ОКС) как рыночной ценности.

Отправным пунктом ЦТ экосистемы строительства служит мировоззренческое представление автора о цифровой трансформации в целевой фокусировке уникального результата данных преобразований, эксклюзивного конкурентного преимущества, способного обеспечить лидерство в условиях цифровой экономики (рис. 1).

Таким образом, можно заключить, что общей целью ЦТ экосистемы строительства является комплексная цифровая трансформация экосистемы с переводом ее на новый устойчивый аттрактор.

Позиционируемый новый устойчивый аттрактор должен характеризоваться сменой ключевой компетенции как каждого фактора, так и всей цепочки создания ценности, приводящей к формированию уникального ценностного, затем торгового предложения, порождающего новое качество ЦЭСС, способной обеспечить лидерство в условиях цифровой экономики. Уникальное ценностное предложение должно представлять качественное преобразование экосистемы строительства в цифровую экосистему строительства, включая в ключевую компетенцию системные изменения структурных элементов и взаимосвязей между ними в проекции увеличения прозрачности информационных потоков, релевантности информации, повышения качества процесса и результата инвестиционно-строительного проектирования и всей инвестиционно-строительной деятельности в комплексе. Поэтому создание комплексного представления о будущей архитектуре ЦЭСС, ее конфигурации является не только искомым уникальным результатом процесса ЦТ, но и устойчивым конкурентным преимуществом, создающим область

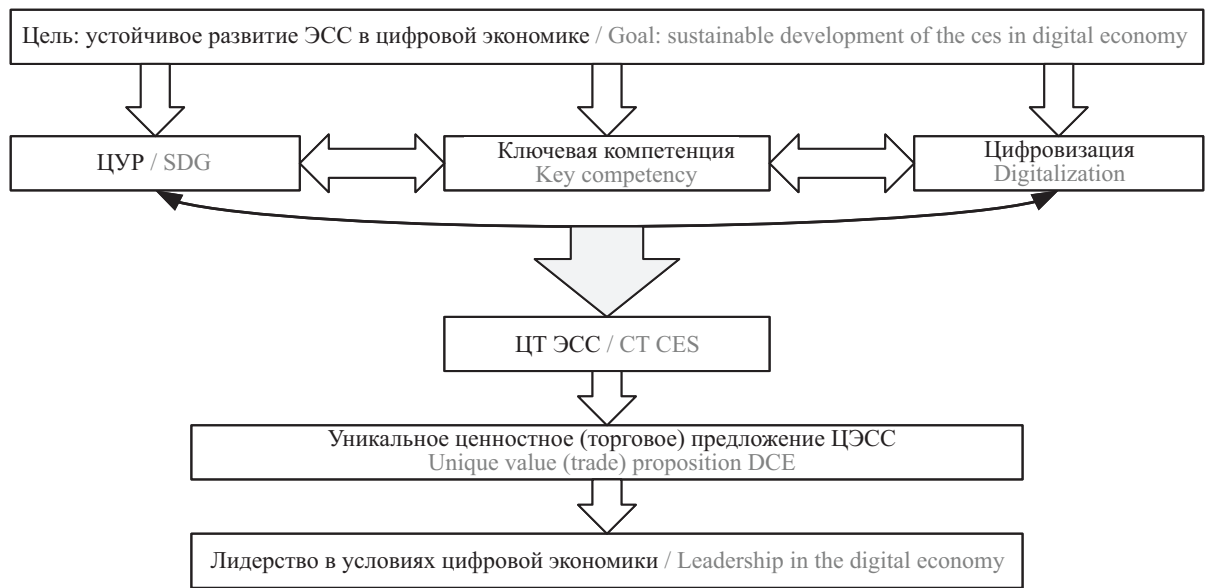


Рис. 1. Мировоззренческое представление о цифровой трансформации экосистемы строительства (ЦЭСС)

Fig. 1. A worldview view of the digital transformation of the construction ecosystem

притяжения с качественным скачком в обеспечении лидерства в цифровой экономике (рис. 2).

Согласимся с мнением исследователей о необходимости цифровизации всего жизненного цикла инвестиционного строительного проекта [16, 19, 20]. Безусловно, наиболее эффективной является цифровизация на основе ТИМ-моделей, однако их достаточно высокая стоимость приводит к необходимости выбора альтернативных решений для ряда предприятий, особенно малых и средних подрядных строительных организаций. Исторически доказано, что внедрение компаниями инноваций в кризисных условиях позволяет получить устойчивые конкурентные преимущества в долгосрочном периоде, в том числе в период восстановления устойчивой экономической динамики [21]. Однако ограниченность ресурсов, во время кризиса ощущаемая на различных уровнях экономики, приводит к необходимости отбора таких инструментов цифровизации, которые позволят оптимизировать соотношение «затраты – эффект» в целевой фокусировке ответа на вызовы, диктуемые современной динамикой среды.

Соответственно, в условиях практической невозможности быстрой комплексной трансформации экосистемы строительства в целевой образ ЦЭСС необходимо выявление тех цифровых инструментов и технологий, которые будут способствовать повышению эффективности строительства в современных условиях экономической турбулентности и приводить не только к повышению уровня устойчивости реализации ИСП, но и устойчивости реализующих эти проекты участников цепочки создания ценности. В этом случае считаем целесообразным осуществление постепенного перехода к цифровизации путем внедрения локальных цифровых инструментов, позволяющих, например, выполнять

онлайн-контроль хода строительного-монтажных работ в соответствии с графиком производства работ, сметной и бухгалтерской документации, либо осуществлять проектирование с переводом модели из 2D в 3D-формат с целью минимизации коллизий [22]. В структуре экосистемы такой подход коррелирует с новой бизнес-моделью S2B2C⁵, обеспечивающей эффективное функционирование малого бизнеса (как строительного, так и по разработке программного обеспечения) на цифровых платформах. Цифровые платформы при этом предоставляют инструменты SaaS, обеспечивают определенную стандартизацию и качество продукта, аналитику данных.

Однако в стратегическом горизонте важно построение общей единой модели ЦТ строительства как в горизонтальной проекции, т.е. в проекции жизненного цикла ИСП, так и в вертикальной проекции, создавая единую информационную систему и соответствующую среду общих данных для взаимодействия всех участников экосистемы строительства в целом, включая государственные органы власти и контрольно-надзорные органы. То есть основой любой бизнес-модели будет создание цифровой платформы единой информационной системы, соответствующей бизнес-модели «плоскости» в трактовке Ц. Мина⁶, продуктом которой является рынок, в данном случае рынок строительной продукции, а деятельностью — управление группами

⁵ Модели бизнеса по Цзэн Минью: C2B и S2B2C. URL: <https://dialog.guide/modieli-bizniesa-po-tszen-miniu-c2b-is2b2c/#gsc.tab=0>

⁶ Четыре конфигурации бизнеса по Цзэн Минью. URL: <https://dialog.guide/chietyrie-konfighuratsii-bizniesa-po-tszen-miniu/#gsc.tab=0>

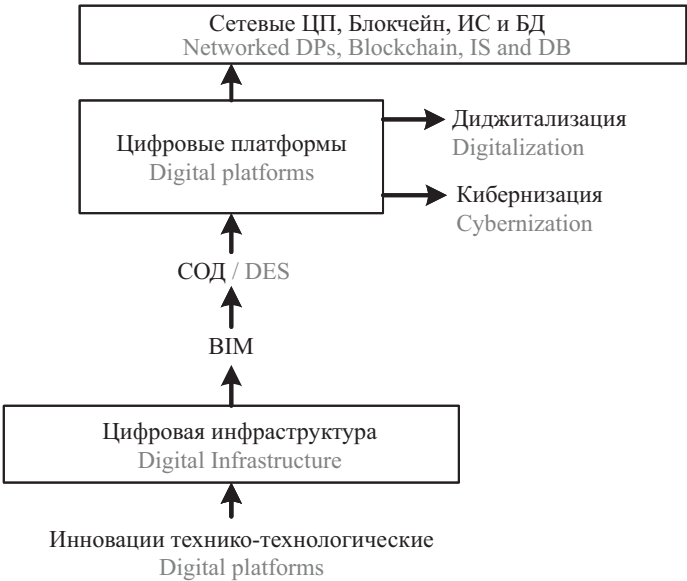


Рис. 2. Целевая архитектура цифровой экосистемы строительства
Fig. 2. Target architecture of the digital construction ecosystem (DCE)

пользователей системы, т.е. участниками и стейкхолдерами строительства, создание правил и институтов для оптимизации системы. В дальнейшем симбиоз единой информационной системы и отдельных составляющих ее функциональных цифровых систем или платформ (реализующих бизнес-модель «плоскости»), компаний — участников цепочки создания ценности в строительстве, ключевым ценностным предложением которых является качественное выполнение своих производственных функций в сегменте ProTech (реализующих бизнес-модель «точки» по Ц. Мину), и компаний — участников цепочки создания ценности в строительстве в плане коммуникаций (например, генподрядчики, девелоперы, риелторы, реализующие бизнес-модель «линии» по Ц. Мину), образуют структуру совместного развития, трактуемую нами как цифровую экосистему строительства.

Согласился с мнением Минстроя РФ, что основу единой информационной системы, подобную вертикаль на федеральном уровне должна создавать государственная информационная система обеспечения градостроительной деятельности (ГИСОГД) [23]. Отметим, что и в горизонтальной проекции, т.е. при управлении жизненным циклом ИСП, предпроектная стадия является наименее проработанной и характеризуется необходимостью анализа многих нормативных документов, большая часть из которых на сегодняшний день, особенно в регионах, не существует в машиночитаемом формате или в каком-либо оцифрованном варианте. Многочисленность и разрозненность информации о регионе, участках строительства, их характеристиках приводит к большим проблемам как в плане пространственного развития страны и регионов, так и в плане предпроектной стадии ИСП. Несмотря на то что каждый из уровней градостроительства (федеральный, муниципальный и региональный) имеет свои стратегии пространственного развития, нормативную документацию по территориальному планированию и программам инфраструктурного развития, системные документы, требующие уровней взаимодействия, разрозненны и имеют массу несостыковок как в горизонтах планирования, так и в связях между различными планами и программами⁷. Подобная ситуация в управлении территориальным развитием приводит не только к невозможности качественной разработки предпроектной стадии инвестиционного строительного проекта, но и к возникновению большого количества спорных и даже судебных рассмотрений каждой конкретной ситуации, в ряде случаев, приводящих к приостановке и пересмотру правил землепользования и застройки, разрешений на строительство и т.д.⁷.

⁷ Пространственное развитие страдает без цифры // Строительный эксперт. URL: <https://ardexpert.ru/article/24173>

Соответственно, переосмысливая ряд исследований [2, 16, 24] в проекции произошедших изменений как требований к цифровизации строительства, так и достигнутых этапов ЦТ [23], нами предложена концептуальная схема целевой архитектуры цифровой экосистемы строительства (рис. 3).

Считаем, что построение цифровой экосистемы строительства на основе предложенной концептуальной схемы будет способствовать не только оптимизации всех бизнес-процессов в рамках создаваемой среды общих данных, но и построению в целом нормативно-правовой основы градостроительства не только с учетом реализуемых изменений бизнес-процессов, таких как программа комплексного инфраструктурного развития, мастер-планы, индекс качества городской среды, но и с возможностью быстрой адаптации бизнес-процессов строительства и механизма взаимодействия участников экосистемы строительства к возможным прогнозируемым вариантам развития территорий на основе потребностей экономической системы.

Обзор литературы, проведенный в статье, и выводы исследования показали целесообразность интеграции Lean-цифровые технологии (Lean Construction 4.0) в строительстве для улучшения коммуникаций участников и увеличения создаваемой ими ценности, а также снижения потерь.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Опрос, проведенный среди профессионалов строительной сферы России, показал наличие многих проблем именно во взаимодействиях участников проекта, приводящих к операционным и межоперационным потерям [9, 25]. Низкое применение BIM в России говорит о необходимости использования цифровых технологий, облегчающих взаимодействия и позволяющих получать оперативную информацию в проекте [23, 25]. Результаты обзора литературы и опроса также показали наличие ряда эффектов в виде снижения потерь от минимальной цифровизации (применения СЭД в проекте), а также от BIM.

Компании, которая приняла решение внедрить концепцию бережливого производства с использованием инструментов цифровизации для повышения эффективности своей деятельности, необходимо начинать внедрение параллельно в трех направлениях [26, 27]:

1. Создание культуры непрерывных улучшений — кайдзен.
2. Развитие персонала в области бережливого производства.
3. Организация коммуникаций участников ИП в строительстве на основе концепции бережливого производства с помощью инструментов цифровизации.

Для того чтобы создание культуры непрерывных улучшений, развитие персонала в области бережливого производства и организация коммуникаций успешно внедрялись в деятельность стро-

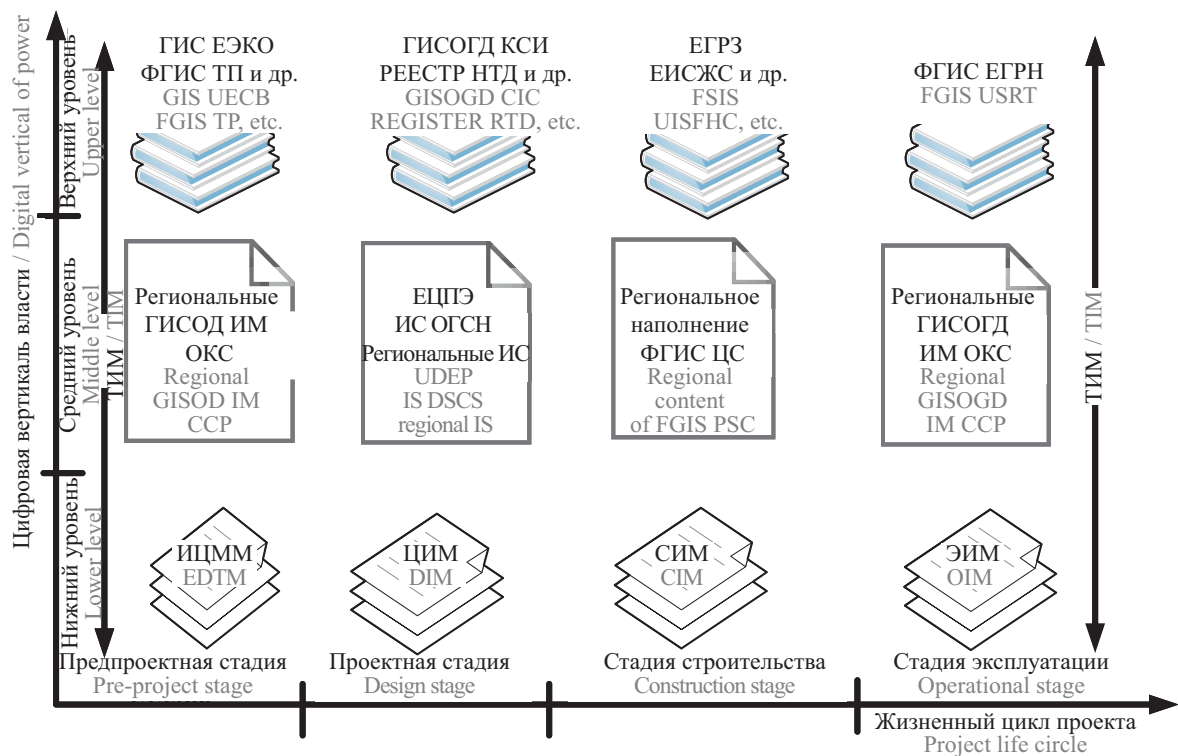


Рис. 3. Схема целевой архитектуры цифровой экосистемы строительства: НТД — нормативно-техническая документация; ИМ ОКС — информационная модель объекта капитального строительства; ИЦММ — инженерная цифровая модель местности; ЦИМ — цифровая информационная модель; СИМ — ЦИМ на стадии строительства (строительная и исполнительная модель); ЭИМ — эксплуатационная информационная модель

Fig. 3. Schematic diagram of the target architecture of the digital construction ecosystem: RTD — regulatory and technical documentation; IM CCP — information model of the capital construction object; EDTM — engineering digital model of the terrain; DIM — digital information model; CIM — DIM at the construction stage (construction and executive model); OIM — operational information model

ительных компаний, необходимо следовать четкой методологии предлагаемого практического подхода. На рис. 4 показан получившийся практический подход к внедрению концепции бережливого производства с использованием инструментов цифровизации в деятельность строительной компании.

Методические наработки, представленные в данной работе, рассмотрены на примере реализации жилого комплекса бизнес-класса «Береговой-2». В ходе реализации проекта компания столкнулась с рядом проблем, которые тем или иным образом влияют на срок сдачи объекта в эксплуатацию, где основной причиной являлась низкая производительность труда на строительной площадке и долгий процесс протекания офисных бизнес-процессов. Руководством компании было принято решение реализовать ряд проектов бережливого производства, интегрированных с цифровыми инструментами, в соответствии с практическим подходом, который представлен на рис. 4.

Реализованы следующие инструменты, перечисленные в табл. 1, и получены соответствующие эффекты.

Необходимо уточнить принятый в работе методический инструментарий для оценки эффектов. В публикациях [28] на основании обширного обзора литературы отмечаются такие эффекты внедрения бережливого строительства и цепочек создания ценности, как производительность, сокращение сроков и затрат, сокращение потерь от безбумажного документооборота.

При расчете эффектов использовался методический инструментарий, предложенный авторами в работах [9, 25, 26]. Суть расчета эффекта следующая. Непроизводительные затраты труда, возникающие из-за простоев, бумажного документооборота, нарушения коммуникаций, наличия запросов на изменения в проекте и т.п., снижающие производительность труда в строительстве, приводят к возникновению транзакционных издержек, которые увеличивают фактические затраты по проекту и время его реализации:

$$TC = \sum_{j=1}^n t_j \cdot Cv_j + \sum_{j=n+1}^m Kt_j \cdot Ct_j + \sum_{j=m+1}^l Ce_j, \quad (1)$$

где TC — суммарные транзакционные издержки; t_j — затраты времени на выполнение j -го вида транс-

Вестник МГСУ • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) • Том 18. Выпуск 10, 2023
Vestnik MGSU • Monthly Journal on Construction and Architecture • Volume 18. Issue 10, 2023

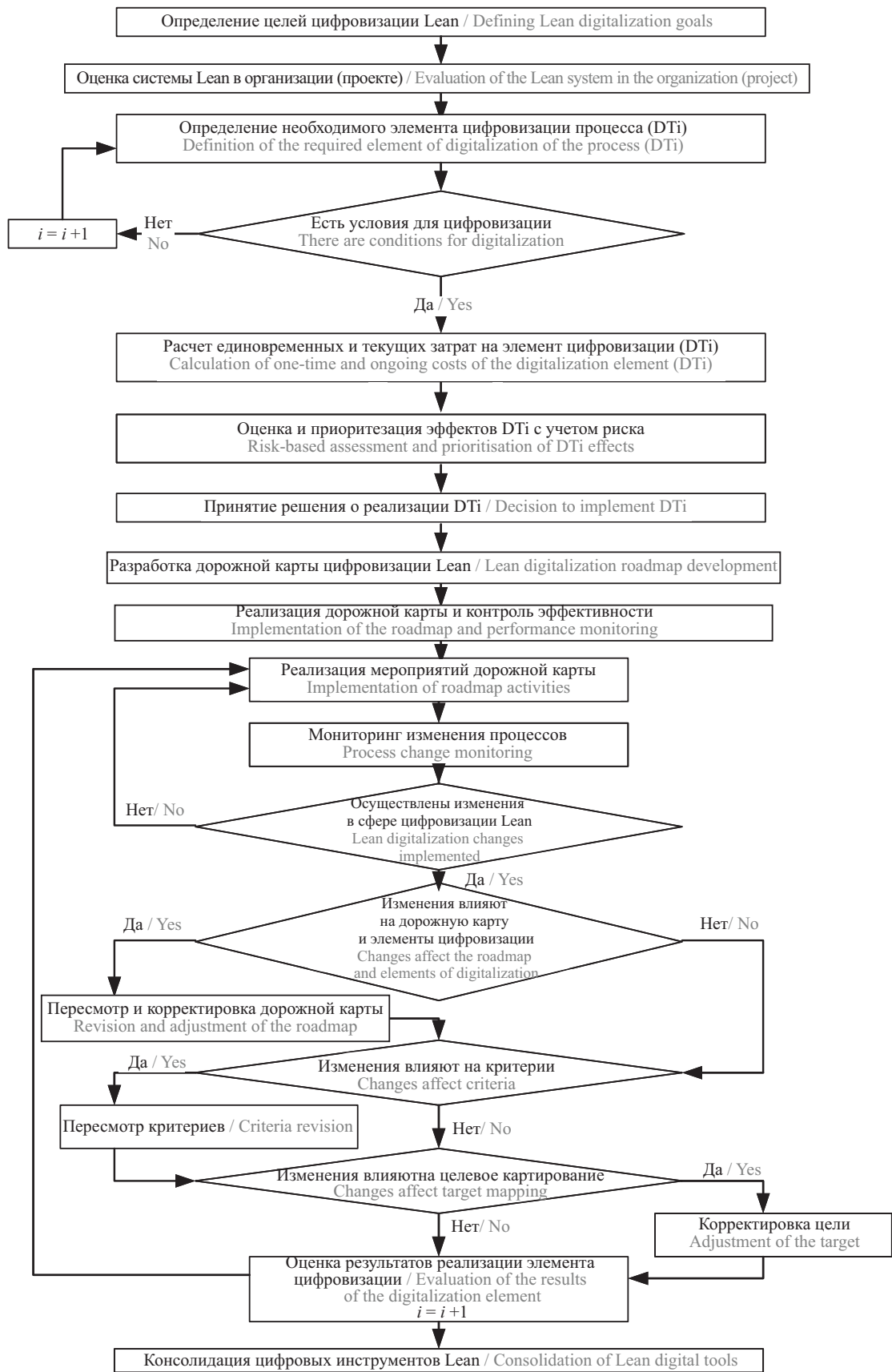


Рис. 4. Практический подход к внедрению концепции бережливого производства с использованием инструментов цифровизации в деятельность строительной компании

Fig. 4. Practical approach to implementing the concept of lean manufacturing using digitalization tools in the activities of a construction company

Табл. 1. Результаты внедрения в проекте «Береговой-2» инструментов бережливого строительства и цифровизации (фрагмент)

Table 1. Results of implementing lean construction and digitalization tools in the Beregovoy-2 project (excerpt)

Проект Lean 4.0 в соответствии с практическим подходом Lean 4.0 project according to the practical approach	Результаты / Results		
	Срок / Time	Качество / Quality	Стоимость / Cost
Устранение коллизий в проекте в результате цифровизации Elimination of project conflicts as a result of digitalization	–58 календарных дней –58 cdays	Замечания сократились с 15 до 0 шт. Remarks reduced from 15 to 0 pcs.	Сократилась на 41,43 млн руб. Cost reduced by 41.43 mln. rub.
Проведение строительного контроля в СЭД Carrying out construction control in EDMS	–68 календарных дней –68 cdays	Замечания сократились с 8 до 2 шт. Remarks reduced from 8 to 2 pcs.	Сократилась на 62,13 млн руб. Reduced by 62.13 mln. rub.
Замена документооборота исполнительной документации на СЭД Replacement of executive documentation workflow in EDMS	–53 календарных дня –53 cdays	—	Сократилась на 5,69 млн руб. Reduced by RUB 5.69 mln.
Оптимизация закупочных процедур с СЭД и ФГИС ЦС Optimization of procurement procedures with EDMS and FGIS CS	–92 календарных дня –92 cdays	Замечания подрядчика сократились с 26 до 2 шт. Contractor’s remarks reduced from 26 to 2 pcs.	—
Внедрение онлайн чек-листов операционного контроля качества Implementation of online operational quality control checklists	–18 календарных дней –18 cdays	Замечания сократились с 12 до 0 шт. Remarks reduced from 12 to 0 pcs.	Сократилась на 1,41 млн руб. Reduced by 1.41 mln. rub.
Обнаружение неучтенных материалов в результате оптимизации ГПП на базе цифровизации Detection of unaccounted materials as a result of digitalization-based optimization of work shedule	–52 календарных дня –52 cdays	—	Сократилась на 11,4 млн руб. Reduced by 11.4 mln. rub.
Удаленная работа на основе СЭД с иностранным архитектурным бюро Remote EDMS-based work with a foreign architectural firm	–113 календарных дней –113 cdays	—	Сократилась на 64,2 млн руб. Reduced by 64.2 mln. rub.
Итого Total	–454 календарных дней –454 cdays	Замечания сократились с 61 до 4 шт. Remarks reduced from 61 to 4 pcs.	Сократилась на 186,26 млн руб. Reduced by 186.26 mln. rub.

акций; Cy_j — стоимость единицы времени j -го вида транзакций; Kt_j — количество транзакций j -го вида; St_j — стоимость одной транзакции j -го вида; Se_j — издержки вида j , определяемые экспертным путем.

Соответственно, внедрение концепции бережливого производства с использованием инструментов цифровизации, снижая непроизводительные потери и повышая производительность труда [27, 28], снижают транзакционные издержки, уменьшают сроки и стоимость проекта.

Логика влияния следующая: «бережливое строительство и цифровизация → снижение непроизводительных затрат → рост производительности труда → сокращение сроков строительства → снижение стоимости → рост эффективности NPV».

Для проекта «Береговой-2» окончательный эффект составил рост NPV на 70 млн руб., рост IRR

на 5,6 %, снижение срока окупаемости проекта более чем на год.

Полученный результат проверен авторами на выборке, состоящей из ряда проектов строительства.

На текущем этапе в рамках рассмотрения возможностей внедрения концепции бережливого производства с использованием инструментов цифровизации авторами был проведен анализ внедрения цифровых инструментов и сервисов на разных стадиях ЖЦ ИСП (за исключением стадии эксплуатации). Цифровые инструменты и технологии затрагивали вопросы предпроектных работ, проектирования и строительства, включая как технические аспекты, связанные с организацией строительного производства, так и с оптимизацией бизнес-процессов на уровне девелопмента ИСП.

Используя инструменты финансового моделирования и бизнес-планирования, выстроены укрупненные финансово-экономические модели ИСП на концептуальной стадии (с использованием укрупненных стоимостных показателей).

Внедрение инструментов бережливого производства ориентировано на обеспечение ценности для потребителя и стейкхолдеров через сокращение потерь, в первую очередь временных. Это, с одной стороны, приводит потенциально к увеличению производительности труда, но одновременно с этим может негативно повлиять на итоговые показатели эффективности проекта в случае, если будет наблюдаться значительный рост затрат на внедрение современных цифровых инструментов.

Для оценки совокупного эффекта от внедрения цифровых инструментов на базе концепции бережливого производства применены традиционные показатели, используемые в инвестиционном анализе, такие как NPV, IRR, PP. В рамках концептуального финансового моделирования были рассмотрены ситуации до внедрения цифровых инструментов и по-

сле. Рассмотрены 15 ИСП в сфере коммерческого строительства в разных сегментах (жилищное строительство, строительство коммерческих объектов, включая торговые и офисные объекты).

Проведен сравнительный анализ, результаты которого приведены в табл. 2. Результаты показывают изменение показателей эффективности при внедрении цифровых инструментов относительно базового варианта.

Полученные результаты подтверждают расчетные параметры, полученные на базе проекта «Береговой-2», разница в результатах финансового моделирования между проектами обусловлена различным масштабом внедрения концепции бережливого строительства и цифровых инструментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Соответственно, предложенный методический инструментарий и практический подход, основанный на комплексном внедрении бережливого строительства и целесообразных при этом инструментов цифровизации, может широко использоваться при

Табл. 2. Результаты финансового моделирования ИСП

Table 2. Results of ICP financial modelling

Описание проекта Project Description	Изменение срока окупаемости PP, % Change in payback period PP, %	Относительное изменение IRR, % Relative change in IRR, %	Относительное изменение NPV, % Relative change in NPV, %	Изменение ставки дисконтирования, абсолютное*, % Change in discount rate, absolute*, %
ЖК бизнес-класса, Москва Business Class Residential Complex, Moscow	-9	+15	+18	-2
ЖК бизнес-класса, Москва Business Class Residential Complex, Moscow	-8,7	+14,3	+17,5	-2
ЖК комфорт-класса, Москва Comfort-class Residential Complex, Moscow	-7,3	+11,5	+18,2	-1,8
ЖК комфорт-класса, Москва Comfort-class Residential Complex, Moscow	-6,8	+10,9	+17,7	-1,8
ЖК комфорт-класса, Москва Comfort-class Residential Complex, Moscow	-6,5	+10,5	+17,5	-1,8
ЖК комфорт-класса, Москва Comfort-class Residential Complex, Moscow	-5,5	+9,8	+16,9	-1,8
ЖК эконом-класса, Москва Economy-class Residential Complex, Moscow	-5,2	+9,3	+16,5	-1,9
ТЦ, г. Москва Shopping centre, Moscow	-4,3	+8,9	+15,1	-1,3
ТЦ, г. Москва Shopping centre, Moscow	-4,5	+9,1	+15,6	-1,3
ТЦ, г. Москва Shopping centre, Moscow	-3,8	+8,7	+14,7	-1,3

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Описание проекта Project Description	Изменение срока окупаемости PP, % Change in payback period PP, %	Относительное изменение IRR, % Relative change in IRR, %	Относительное изменение NPV, % Relative change in NPV, %	Изменение ставки дисконтирования, абсолютное*, % Change in discount rate, absolute*, %
Офисный объект, класс A Class A office building	–5,1	+9,3	+16,1	–1,3
Офисный объект, класс A+ Class A+ office building	–5,3	+9,5	+16,3	–1,3
Офисный объект, класс B+ Class B+ office building	–4,1	+8,8	+15,4	–1,2
Офисный объект, класс B+ Class B+ office building	–3,5	+8,1	+14,9	–1,2
Офисный объект, класс B Class B office building	–3,2	+8,0	+13,9	–1,2

Примечание: * — ставка дисконтирования определялась экспертно с использованием метода кумулятивного построения.

Note: * — the discount rate was determined by experts using the cumulative construction method.

проектировании и строительстве как в проектах жилищного строительства, так и в проектах других видов строительства, применяя и адаптируя различные проекты Lean Construction 4.0 в зависимости от выявленных проблем на стадии проектирования и строительства объекта.

В исследовании рекомендуется участникам экосистемы строительства внедрять концепцию бережливого строительства в интеграции с цифровыми технологиями согласно предложенному практическому подходу для повышения производительности труда и роста эффективности реализуемых ИП. Можно сделать вывод, что существует

ряд ключевых эффектов: сокращение трудозатрат, повышение производительности труда, высвобождение персонала, сокращение сроков реализации ИП, повышение качества строительства (за счет сокращения замечаний и изменений в проекте), сокращение стоимости строительства и повышение NPV инвестиционного проекта. Предлагаемый подход также способствует формированию базы данных о возникновении и путях решения проблем в бизнес-процессах, возможности постоянного обучения и мотивирования сотрудников, что полностью соответствует необходимости постоянных улучшений в бережливом строительстве.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Канхва В.С. Феномен современного строительства: от производственного комплекса к экосистеме // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 12–2. С. 280–284. DOI: 10.17513/vaael.1995. EDN MDRXJM.

2. Уварова С.С., Андрюнина Я.А., Беляева С.В., Власенко В.А., Гамисония А.Г., Гумба Х.М. и др. Формирование инновационного базиса системной конкурентоспособности строительства и жилищно-коммунального хозяйства в цифровой экономике : монография. Воронеж : Издательско-полиграфический центр «Научная книга», 2020. 178 с. EDN DCOQJB.

3. Устюжанина Е.В., Дементьев В.Е., Евсюков С.Г. Проблемы распределения власти и экономической ренты в сетях создания стоимости // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56. № 1. С. 5–17. DOI: 10.31857/S042473880008468-3. EDN TKXUSA.

4. Lee T.Y., Ahmad F., Sarijari M.A. Current Status and Future Research Trends of Construction Labor Productivity Monitoring : a Bibliometric

Review // Buildings. 2023. Vol. 13. Issue 6. P. 1479. DOI: 10.3390/buildings13061479

5. Thomas A.V., Sudhakumar J. Factors influencing construction labour productivity: An Indian case study // Journal of Construction in Developing Countries. 2014. Vol. 19. Issue 1. Pp. 53–68.

6. Ayele S., Fayek A.R. A framework for total productivity measurement of industrial construction projects // Canadian Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 46. Issue 3. Pp. 195–206. DOI: 10.1139/cjce-2018-0020

7. Jarkas A.M., Bitar C.G. Factors affecting construction labor productivity in Kuwait // Journal of Construction Engineering and Management. 2012. Vol. 138. Issue 7. Pp. 811–820. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000501

8. Agrawal A., Halder S. Identifying factors affecting construction labour productivity in India and measures to improve productivity // Asian Journal of Civil Engineering. 2020. Vol. 21. Issue 4. Pp. 569–579. DOI: 10.1007/s42107-019-00212-3

9. Uvarova S.S., Orlov A.K., Kankhva V.S. Ensuring Efficient Implementation of Lean Construction Projects Using Building Information Modeling // Buildings. 2023. Vol. 13. Issue 3. P. 770. DOI: 10.3390/buildings13030770

10. Zhang X., Azhar S., Nadeem A., Khalfan M. Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams // International Journal of Construction Management. 2018. Vol. 18. Issue 4. Pp. 293–300. DOI: 10.1080/15623599.2017.1382083

11. Shin M.-H., Jung J.-H., Kim H.-Y. Quantitative and Qualitative Analysis of Applying Building Information Modeling (BIM) for Infrastructure Design Process // Buildings. 2022. Vol. 12. Issue 9. P. 1476. DOI: 10.3390/buildings12091476

12. Porter M.E., Heppelmann J.E. How smart, connected products are transforming competition // Harvard Business Review. 2014. URL: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>

13. Rungi A., Del Prete D. “Smile Curve”: Where Value is Added Along Supply Chains // SSRN Electronic Journal. 2017. DOI: 10.2139/ssrn.2936710

14. Гохберг Л.М., Грачева Г.А., Дитковский К.А., Евневич Е.И., Кузнецова И.А., Мартынова С.В. и др. Индикаторы инновационной деятельности: 2021 : статистический сборник. М. : НИУ ВШЭ, 2021. 280 с. DOI: 10.17323/978-5-7598-2375-9. EDN GZKEGK.

15. Абдикеев Н.М., Морева Е.Л. Основные тренды развития методов и моделей использования цифровых технологий при создании цепочек воспроизводства добавленной стоимости // Мир новой экономики. 2019. № 13 (3). С. 71–80. DOI: 10.26794/2220-64692019-13-3-71-80

16. Panenkov A., Lukmanova I., Kuzovleva I., Bredikhin V. Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: problems and prospects // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 244. P. 05005. DOI: 10.1051/e3sconf/202124405005

17. Орлов А.К., Чубаркина И.Ю. Обеспечение инновации ценности в сфере девелопмента недвижимости. М., 2021. 110 с. EDN COZKRW.

18. Портер М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. М. : Альпина Паблишер, 2008. 720 с.

19. Викторов М.Ю., Ларионов А.Н., Власенко В.А. Современная проблематика цифровизации строительства: актуальные направления и методический инструментарий // Информационные и телеком-

муникационные технологии. 2022. № 53. С. 57–64. EDN TREPRL.

20. Уварова С.С., Беляева С.В., Власенко В.А. Инновационное и цифровое развитие предприятий инвестиционно-строительной сферы на основе ценностно-ориентированного подхода // Экономика и предпринимательство. 2022. № 3 (140). С. 1314–1320. DOI: 10.34925/EIP.2022.140.03.255. EDN POGNPS.

21. Власенко В.А. Обоснование концептуальных основ формирования инновационных стратегий на микро- и мезоуровне // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2018. Т. 15. № 8. С. 71–76. EDN YMBZZZ.

22. Канхва В.С., Сонин Я.Л. Направления совершенствования инвестиционно-строительного проектирования в условиях цифровой экономики // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2021. № 6–1. С. 61–68. DOI: 10.17513/vaael.1729. EDN MVWSXV.

23. Kankhva V., Andryunina Ya., Belyaeva S., Sonin Ya. Construction in the digital economy: prospects and areas of transformation // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 244. P. 05008. DOI: 10.1051/e3sconf/202124405008

24. Владимирова И.Л., Каллаур Г.Ю., Цыганкова А.А., Папикян Л.М., Тензина П.А. Цифровизация как фактор повышения производительности труда в строительной отрасли // Экономика строительства. 2020. № 3 (63). С. 13–23. EDN SRKFLR.

25. Уварова С.С., Ларионов А.Н., Беляева С.В., Канхва В.С. Управление жизненным циклом объектов капитального строительства: аспект платформизации и цифровизации : монография. М. : Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2023. 144 с. EDN XCXNMR.

26. Orlov A.K., Kankhva V.S. Lean construction concept used to develop infrastructure facilities for tourism clusters // Buildings. 2021. Vol. 12. Issue 1. P. 23. DOI: 10.3390/buildings12010023

27. Erol H., Dikmen I., Birgonul T. Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings // Journal of Civil Engineering and Management. 2016. Vol. 23. Issue 2. Pp. 241–251. DOI: 10.3846/13923730.2015.1068846

28. Eldeep A.M., Farag M.A.M., Abd El-hafez L.M. Using BIM as a lean management tool in construction processes — a case study // Ain Shams Engineering Journal. 2022. Vol. 13. Issue 2. P. 101556. DOI: 10.1016/j.asej.2021.07.009

Поступила в редакцию 8 сентября 2023 г.

Принята в доработанном виде 24 сентября 2023 г.

Одобрена для публикации 26 сентября 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Кирилл Юрьевич Кулаков — доктор экономических наук, профессор кафедры организации строительства и управления недвижимостью; Национальный исследовательский Московский государ-

ственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 360164, ORCID: 0000-0003-2081-7045; kulakovkyu@mgsu.ru;

Александр Константинович Орлов — кандидат экономических наук, директор института экономики, управления и коммуникаций в сфере строительства и недвижимости; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 400958, ORCID: 0000-0003-1800-5478; orlovak@mgsu.ru;

Вадим Сергеевич Канхва — кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и управления в строительстве; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 587928, ORCID: 0000-0003-2611-1684; kanhvavs@mgsu.ru.

Вклад авторов:

Кулаков К.Ю. — научное руководство, концепция исследования, нормативно-методическое обеспечение.

Орлов А.К. — методические решения, итоговые выводы.

Канхва В.С. — предоставление фактического материала, анализ статистики, написание текста статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Kankhva V.S. The phenomenon of modern construction: from an industrial complex to an ecosystem. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2021; 12-2:280-284. DOI: 10.17513/vaael.1995. EDN MDRXJM. (rus.).
2. Uvarova S.S., Andryunina Ya.A., Belyaeva S.V., Vlasenko V.A., Gamisonia A.G., Gumba Kh.M. et al. *Formation of an innovative basis for the systemic competitiveness of construction and housing and communal services in the digital economy : monograph*. Voronezh, Publishing and Printing Center “Scientific Book”, 2020; 178. EDN DCOQJB. (rus.).
3. Ustyuzhanina E., Dementiev V., Evsukov S. Distribution of power and economic rent in value networks. *Economics and Mathematical Methods*. 2020; 56(1):5-17. DOI: 10.31857/S042473880008468-3. EDN TKXUSA. (rus.).
4. Lee T.Y., Ahmad F., Sarijari M.A. Current status and future research trends of construction labor productivity monitoring : a Bibliometric Review. *Buildings*. 2023; 13(6):1479. DOI: 10.3390/buildings13061479
5. Thomas A.V., Sudhakumar J. Factors influencing construction labour productivity: An Indian case study. *Journal of Construction in Developing Countries*. 2014; 19(1):53-68.
6. Ayele S., Fayek A.R. A framework for total productivity measurement of industrial construction projects. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2019; 46(3):195-206. DOI: 10.1139/cjce-2018-0020
7. Jarkas A.M., Bitar C.G. Factors affecting construction labor productivity in Kuwait. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012; 138(7):811-820. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000501
8. Agrawal A., Halder S. Identifying factors affecting construction labour productivity in India and measures to improve productivity. *Asian Journal of Civil Engineering*. 2020; 21(4):569-579. DOI: 10.1007/s42107-019-00212-3
9. Uvarova S.S., Orlov A.K., Kankhva V.S. Ensuring efficient implementation of lean construction projects using building information modeling. *Buildings*. 2023; 13(3):770. DOI: 10.3390/buildings13030770
10. Zhang X., Azhar S., Nadeem A., Khalfan M. Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams. *International Journal of Construction Management*. 2018; 18(4):293-300. DOI: 10.1080/15623599.2017.1382083
11. Shin M.-H., Jung J.-H., Kim H.-Y. Quantitative and qualitative analysis of applying Building Information Modeling (BIM) for infrastructure design process. *Buildings*. 2022; 12(9):1476. DOI: 10.3390/buildings12091476
12. Porter M.E., Heppelmann J.E. How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*. 2014. URL: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
13. Rungi A., Del Prete D. “Smile Curve”: Where value is added along supply chains. *SSRN Electronic Journal*. 2017. DOI: 10.2139/ssrn.2936710
14. Gokhberg L.M., Gracheva G.A., Ditzkovsky K.A., Evnevich E.I., Kuznetsova I.A., Martynova S.V. et al. *Indicators of innovation activity: 2021 : statistical collection*. Moscow, National Research University Higher School of Economics, 2021; 280. DOI: 10.17323/978-5-7598-2375-9. EDN GZKEGK. (rus.).
15. Abdikeev N.M., Moreva E.L. The main trends in the development of methods and models for the use of digital technologies in the creation of value chains. *World of the new economy*. 2019; 13(1):71-80. DOI: 10.26794/2220-64692019-13-3-71-80 (rus.).
16. Panenkov A., Lukmanova I., Kuzovleva I., Bredikhin V. Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transfor-

mation of construction: problems and prospects. *E3S Web of Conferences*. 2021; 244:05005. DOI: 10.1051/e3sconf/202124405005

17. Orlov A.K., Chubarkina I.Yu. *Delivering value innovation in real estate development*. Moscow, 2021; 110. EDN COZKRW. (rus.).

18. Porter M. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Moscow, Alpina, 2008; 720. (rus.).

19. Viktorov M.Yu., Larionov A.N., Vlasenko V.A. Modern problems of digitalization of construction: current trends and methodological tools. *Information and Telecommunication Technologies*. 2022; 53:57-64. EDN TREPRL. (rus.).

20. Uvarova S.S., Belyaeva S.V., Vlasenko V.A. Innovative and digital development of investment and construction enterprises based on a value-oriented approach. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2022; 3(140):1314-1320. DOI: 10.34925/EIP.2022.140.03.255. EDN POGNPS. (rus.).

21. Vlasenko V.A. Justification of the conceptual bases of formation of innovative strategies in the micro- and mesolevel. *FES: Finance. Economy. Strategy*. 2018; 15(8):71-76. EDN YMBZZZ. (rus.).

22. Kankhva V.S., Sonin Ya.L. Ways of improving investment and construction design in the conditions of the digital economy. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2021; 6-1:61-68. DOI: 10.17513/vaael.1729. EDN MVWSXV. (rus.).

23. Kankhva V., Andryunina Ya., Belyaeva S., Sonin Ya. Construction in the digital economy: prospects and areas of transformation. *E3S Web of Conferences*. 2021; 244:05008. DOI: 10.1051/e3sconf/202124405008

24. Vladimirova I.L., Kallaur G.Yu., Tsygankova A.A., Papikian L.M., Tensina P.A. Digitization as a factor for productivity gains in the construction industry. *Construction Economy*. 2020; 3(63):13-23. EDN SRKFLR. (rus.).

25. Uvarova S.S., Larionov A.N., Belyaeva S.V., Kankhva V.S. *Management of the life cycle of capital construction projects*. Moscow, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 2023; 144. EDN XCXNMR. (rus.).

26. Orlov A.K., Kankhva V.S. Lean construction concept used to develop infrastructure facilities for tourism clusters. *Buildings*. 2021; 12(1):23. DOI: 10.3390/buildings12010023

27. Erol H., Dikmen I., Birgonul T. Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2016; 23(2):241-251. DOI: 10.3846/13923730.2015.1068846

28. Eldeep A.M., Farag M.A.M., Abd El-hafez L.M. Using BIM as a lean management tool in construction processes — a case study. *Ain Shams Engineering Journal*. 2022; 13(2):101556. DOI: 10.1016/j.asej.2021.07.009

Received September 8, 2023.

Adopted in revised form on September 24, 2023.

Approved for publication on September 26, 2023.

B I O N O T E S: **Kirill Yu. Kulakov** — Doctor of Economics Sciences, Professor of the Department of Construction Organization and Real Estate Management; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 360164, ORCID: 0000-0003-2081-7045; kulakovkyu@mgsu.ru;

Aleksandr K. Orlov — Candidate of Economic Sciences, Director of the Institute of Economics, Management and Communications in the Field of Construction and Real Estate; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 400958, ORCID: 0000-0003-1800-5478; orlovak@mgsu.ru;

Vadim S. Kankhva — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics and Management in Construction; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 587928, ORCID: 0000-0003-2611-1684; kankhvavs@mgsu.ru.

Contribution of the authors:

Kirill Yu. Kulakov — scientific guidance, research concept, regulatory and methodological support.

Aleksandr K. Orlov — methodological decisions, final conclusions.

Vadim S. Kankhva — providing factual material, analyzing statistics, writing the text of the article.

The authors declare that there is no conflict of interest.