



Интеграция бережливого производства и BIM-технологий как основа эффективного проектного управления и организации производственных процессов на этапе строительства

Р.Н. Козлов¹, А.В. Пешков²✉

^{1,2}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. В современном бизнесе наблюдается рост сложности и объема проектов, требующих эффективного управления и планирования производственных процессов. Это вызывает потребность в развитии новых теоретических подходов, способных справиться с вызовами и требованиями к современным проектам. В связи с этим все большее влияние на управление проектами и планирование производственных процессов оказывают современные технологии, такие, как BIM (*Building Information Modeling*), *Lean Construction* и *Agile*. Разработка теоретических подходов, учитывающих новые технологии и методологии их реализации, позволяет организациям использовать имеющийся потенциал для повышения эффективности и достижения лучших результатов. Интеграция цифровых технологий и автоматизации способствует оптимизации процессов производства и сокращению времени выполнения проектов. Например, интеграция бережливого строительства и BIM-технологий является ключевым фактором в достижении эффективного управления проектами и планирования производственных процессов в строительстве. Путем объединения принципов бережливости и применения современных BIM-технологий организации получают возможность повысить производительность труда и оптимизировать использование своих ограниченных ресурсов, включая время, трудовые ресурсы, материалы и финансы. Такая интеграция позволяет улучшить планирование проектов, увеличить прозрачность и точность информации, снизить издержки и риски, а также улучшить коммуникацию и сотрудничество между участниками проекта. Все эти факторы способствуют достижению эффективности и успеха в современных проектах.

Ключевые слова: бережливое строительство, производительность труда, BIM-технологии, информационное моделирование, проектирование, управление строительным процессом

Для цитирования: Козлов Р.Н., Пешков А.В. Интеграция бережливого производства и BIM-технологий как основа эффективного проектного управления и организации производственных процессов на этапе строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 271–284. <https://elibrary.ru/tttkej>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-271-284>.

Original article

Integration of lean management and BIM technologies for effective project management and production processes at a construction stage

Roman N. Kozlov¹, Artem V. Peshkov²✉

^{1,2}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract. As modern businesses face increasingly complex and voluminous projects, the need for efficient management and planning of production processes becomes paramount. To meet these challenges, it is necessary to develop new theoretical approaches. In this regard, advanced technologies such as BIM (*Building Information Modeling*), *Lean Construction*, and *Agile* are becoming increasingly powerful for project management and process planning. By combining these technologies and methodologies, companies can use the available potential to increase efficiency and achieve better

outcomes. The integration of digital technology and automation facilitates the optimization of production processes and reduces project time. For example, the integration of lean construction and BIM technologies is a pivotal factor in achieving efficient project management and planning for production processes in the construction industry. By combining lean principles with modern BIM technology, it is possible for companies to increase performance and optimize the use of their limited resources, including time, labor, materials, and capital. This integration leads to improved project planning, enhanced transparency and accuracy of information, cost and risk reduction, as well as better communication and collaboration among project participants. All these factors contribute to the efficiency and success of modern projects.

Keywords: lean construction, labor productivity, BIM technologies, information modeling, design, construction process management

For citation: Kozlov R.N., Peshkov A.V. Integration of lean management and BIM technologies for effective project management and production processes at a construction stage. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2023;13(2):271-284. (In Russ.). <https://elibrary.ru/tttkej>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-271-284>.

ВВЕДЕНИЕ

Цель данной статьи заключается в исследовании возможностей интеграции бережливого строительства и BIM (*Building Information Modeling*) технологий повышения эффективности проектного управления и планирования производственных процессов в строительстве.

Методы исследования: теоретический анализ и обобщение научной литературы, анализ эволюции теорий и методологий управления проектами, сравнение применимости традиционного и гибкого подходов, анализ проблем и примеров внедрения Lean и BIM-технологий на этапе строительства.

Определено, что бережливое строительство способствует сокращению потерь ресурсов, повышению производительности труда и качества проектов. BIM-технологии, в свою очередь, предоставляют возможность виртуального моделирования и координации различных проектных аспектов, что способствует оптимизации планирования и управления производственными процессами.

Интеграция бережливого строительства и BIM-технологий позволяет достичь синергетического эффекта, улучшая процессы проектного управления, снижая затраты, сокращая риски и повышая качество в строительной отрасли.

Рекомендуется дальнейшее исследование в области адаптации и оптимизации интегрированного подхода в различных типах инвестиционно-строительных проектов.

Роль и значение планирования производственных процессов в строительстве

Планирование производственных процессов играет ключевую роль в строительстве, так как оно предоставляет системный подход

к организации и координации всех этапов проекта. Важность планирования производственных процессов в строительстве определяются несколькими факторами [1].

Во-первых, планирование позволяет определить последовательность и продолжительность каждого этапа проекта, что обеспечивает логичное и эффективное выполнение работ, предотвращает перекрытие задач и снижает риск возникновения задержек или конфликтов в ходе строительства.

Во-вторых, планирование производственных процессов позволяет оптимизировать использование ресурсов. Путем определения точного объема и времени необходимых ресурсов, например, материалов, оборудования и трудовых ресурсов. Можно уменьшить излишнюю трату и повысить эффективность их использования.

В-третьих, планирование способствует управлению рисками и предотвращению проблемных ситуаций. Оно позволяет заранее идентифицировать потенциальные проблемы, такие как недостаток ресурсов, технические сложности или непредвиденные обстоятельства, и разработать стратегии и резервные планы для их решения.

Также, планирование производственных процессов обеспечивает своевременную коммуникацию и сотрудничество между различными участниками проекта. Четкое определение задач и сроков выполнения дает участникам эффективно взаимодействовать, обмениваться информацией и выполнять свои действия скоординировано.

В целом, роль планирования производственных процессов в строительстве заключается в обеспечении структурированного и

систематического подхода к управлению проектами, оптимизации использования ресурсов, снижении рисков и обеспечении согласованности и эффективности работы всех участников проекта.

Эволюция теорий и методологий управления проектами

Эволюция теорий и методологий управления проектами является результатом постоянного развития практического опыта и научных исследований. Начиная с простых методов и инструментов управления проектами, с течением времени появлялись новые теории и подходы, позволявшие более эффективно управлять проектами и планировать производственные процессы.

Один из ранних подходов к управлению проектами – классический подход, основанный на методе критического пути (*Critical Path Method, CPM*) [2] и методе определения резервов времени [3]. Этот подход акцентировал внимание на управлении временем и последовательности задач и в настоящее время является основой для многих современных методологий управления проектами. В последующие десятилетия развивались и появлялись новые теории и методологии, такие как методология управления проектами по Гарету (*Management by Objectives, MBO*), принципы управления качеством (*Total Quality Management, TQM*), гибкие методы управления проектами (*Agile Project Management*) и др. Они предоставляют новые инструменты и подходы к управлению проектами с учетом изменяющихся требований рынка и технологических возможностей. Современные тенденции в управлении проектами включают использование интегрированных информационных систем, таких как BIM и ERP (*Enterprise Resource Planning*) [4], для улучшения планирования и координации производственных процессов. Эти системы позволяют управлять всеми аспектами проекта, включая ресурсы,

временные рамки, качество и бюджет, в едином централизованном интерфейсе. Это снижает риски ошибок, повышает прозрачность и эффективность управления проектом, а также обеспечивает более точное планирование производственных процессов.

Кроме того, современные тенденции включают активное использование принципов и инструментов бережливого строительства (*Lean Construction*). Бережливое строительство базируется на принципах эффективного использования ресурсов, минимизации отходов и повышении производительности. Применение принципов бережливого строительства в управлении проектами и планировании производственных процессов позволяет сократить издержки, улучшить качество и снизить время выполнения проекта. Эволюция теорий и методологий управления проектами продолжается и в настоящее время. С появлением новых технологий и изменениями в бизнес-окружении появляются новые подходы и инструменты, помогающие компаниям эффективно управлять проектами и планировать производственные процессы. Формирование теоретических подходов к управлению проектами и планированию производственных процессов является непрерывным процессом, направленным на поиск и внедрение новых методов и инструментов. Это необходимо для повышения эффективности управления проектами, сокращения затрат и достижения высокого уровня качества выполненных работ.

Традиционное управление проектами и каскадный подход

Традиционное управление проектами и каскадный подход представляют собой один из основных подходов к управлению проектами, который использовался на протяжении многих лет [5]. В этом подходе проект разбивается на последовательные фазы, каждая из которых зависит от успешного завершения предыдущей фазы (рис. 1).

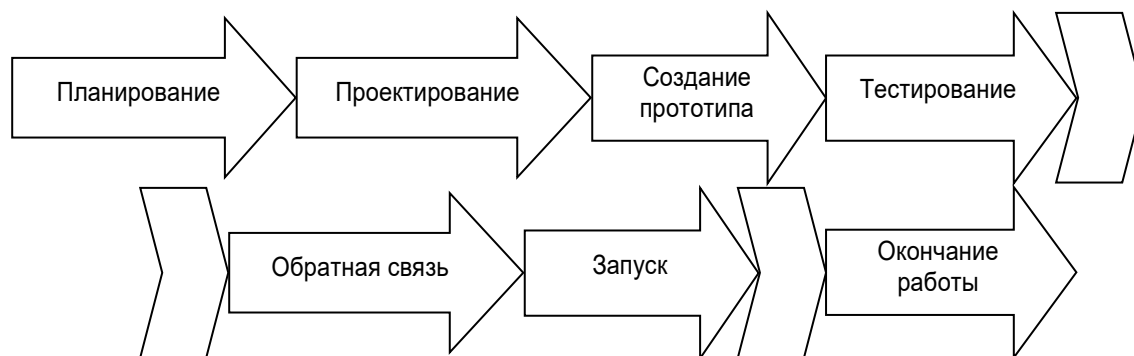


Рис. 1. Традиционное управление проектами
Fig. 1. Traditional project management

Традиционное управление проектами, также известное как «водопадная» модель, предполагает линейное выполнение этапов проекта, начиная с определения требований и заканчивая завершением проекта и его сдачей заказчику. Каждая фаза имеет определенные результаты и осуществляется последовательно.

Каскадный подход основывается на идее, что все требования и детали проекта должны быть определены и утверждены в начале проекта. Затем проект выполняется шаг за шагом в строго определенной последовательности. Этот подход предполагает жесткую структуру и планирование, а также строгое соблюдение предопределенных сроков и бюджета.

Однако традиционное управление проектами и каскадный подход имеют свои ограничения. Они предполагают, что все требования и детали проекта могут быть определены заранее, что не всегда является реалистичным. Кроме того, жесткая структура и последовательность этапов могут затруднить адаптацию к изменениям в проекте или изменению требований заказчика.

В современном управлении проектами все

большее внимание уделяется гибким методологиям, таким как Agile, Scrum и Lean, и принципу синхронизации интересов участников проекта [6]. Эти подходы позволяют более гибко реагировать на изменения и требования заказчика, а также активно вовлекать заинтересованные стороны в процесс принятия решений.

Разработка гибких методологий и их влияние на управление проектами

Разработка гибких методологий и их влияние на управление проектами представляют собой значительную эволюцию в области управления проектами. Гибкие методологии, такие как Agile, Lean и другие, были разработаны с целью обеспечить более гибкое, адаптивное и эффективное управление проектами [7].

Одним из ключевых принципов гибких методологий является итеративный и инкрементальный подход к выполнению проекта. Вместо того чтобы разбивать проект на жесткие фазы и последовательные шаги, гибкие методологии предлагают работать в коротких циклах, называемых спринтами или итерациями. Каждый спринт фокусируется на выполнении определенного объема работы и приводит к конкретным достижениям (рис. 2).

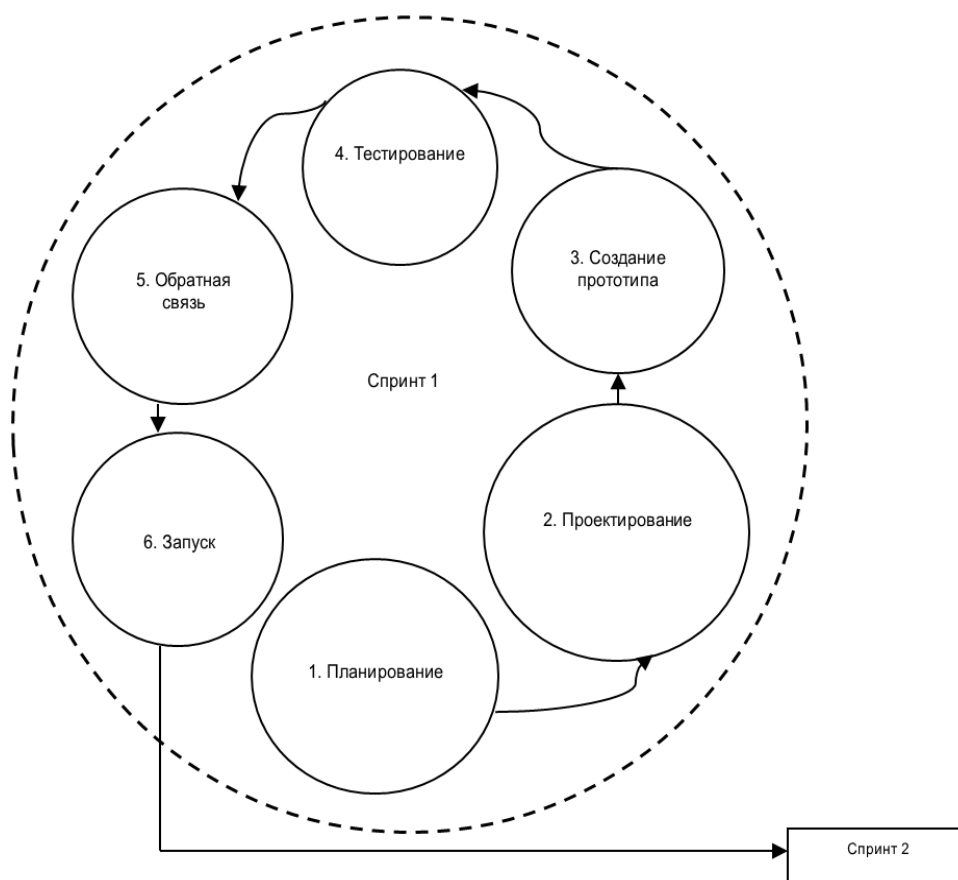


Рис. 2. Гибкие методологии
Fig. 2. Flexible methodologies

Гибкие методологии также ставят упор на вовлечение заинтересованных сторон в процесс управления проектом. Они активно взаимодействуют с заказчиком и другими участниками проекта, чтобы понять их требования и ожидания, а также принимать быстрые решения на основе обратной связи.

Гибкие методологии также признают, что требования и условия проекта могут меняться со временем. Вместо попытки заранее определить все требования, гибкие методологии предлагают гибкий и итеративный подход, позволяющий адаптироваться к изменениям и вносить коррективы в процессе выполнения проекта.

Влияние гибких методологий на управление проектами проявляется в нескольких аспектах. Во-первых, они способствуют более быстрой и эффективной доставке продукта или результата проекта, позволяя выполнять работу в более короткие сроки. Во-вторых, гибкие методологии повышают гибкость и адаптивность команды проекта, позволяя быстро реагировать на изменения требований и условий проекта. В-третьих, гибкие методологии стимулируют активное взаимодействие и коммуникацию внутри команды проекта и с заинтересованными сторонами, способствуя более эффективному сотрудничеству и выработке взаимопонимания. В-четвертых, гибкие методологии способствуют повышению качества проекта, так как они обеспечивают регулярную проверку и оценку промежуточных результатов, а также возможность вносить коррективы и улучшения в процессе выполнения проекта.

Гибкие методологии также содействуют улучшению управления рисками в проекте. Благодаря итеративному и инкрементальному подходу проблемы и риски могут быть выявлены и решены на ранних этапах проекта, минимизируя их влияние на итоговый результат.

Однако, несмотря на все преимущества гибких методологий, они также имеют свои ограничения и не подходят для всех типов проектов. Например, в проектах, где требуется строгое соблюдение бюджета и графика, традиционные подходы могут быть более подходящими. Кроме того, гибкие методологии требуют активного участия и открытой коммуникации со стороны всех участников проекта, что может быть вызовом в некоторых организационных и культурных контекстах.

Разработка явных и нелинейных теорий управления проектами для лучшей адаптации структуры

В рамках современной парадигмы управления проектами возникает необходимость

разработки явных и нелинейных теорий, которые позволят более эффективно адаптировать структуру управления проектами к динамической и неопределенной среде. Рассмотрим ключевые аспекты разработки таких теорий и их влияние на управление проектами.

1. Учет нелинейности. Явные и нелинейные теории управления проектами принимают во внимание нелинейные взаимосвязи и взаимодействия внутри проекта. Они осознают, что изменение в одной области проекта может привести к неожиданным эффектам и изменениям в других областях. Подходы, такие как *Agile* и *Scrum*, акцентируют внимание на итеративности, инкрементальности и способности быстро реагировать на изменения [8].

2. Адаптивность и гибкость. Разработка явных и нелинейных теорий управления проектами направлена на создание более адаптивных и гибких структур управления. Эти теории предлагают методы и подходы, которые позволяют быстро адаптироваться к изменениям в проекте и внешней среде. Например, методологии гибкого управления проектами предоставляют рамки для эффективной коммуникации, сотрудничества и принятия решений в условиях неопределенности.

3. Интеграция функциональных областей. Разработка явных и нелинейных теорий управления проектами стремится к более тесной интеграции различных функциональных областей и участников проекта. Это позволяет снизить риск возникновения проблем при взаимодействии и повысить эффективность работы команды проекта. Например, методология интегрированного управления проектами (*Integrated Project Management*) обеспечивает совместную работу между различными функциональными группами, чтобы достичь общих целей проекта.

4. Учет контекстуальных факторов. Явные и нелинейные теории управления проектами так же учитывают контекстуальные факторы проекта. Они признают, что каждый проект имеет свои особенности, цели, ограничения и внешнюю среду, которые необходимо учитывать при разработке и применении управленческих подходов. Это позволяет создавать более точные и адаптированные модели управления проектами, которые удовлетворяют конкретным требованиям проекта.

5. Инновационный подход. Разработка явных и нелинейных теорий управления проектами способствует стимулированию инноваций и творчества в проектных командах. Они пропагандируют гибкие методы работы, способствующие появлению новых идей, экспериментированию и постоянному улучшению.

Применение таких подходов, как *Design Thinking* или *Lean Startup*, позволяет активно включать команду проекта в процесс итеративного и инновационного развития.

Разработка явных и нелинейных теорий управления проектами открывает новые горизонты для эффективного управления проектами в современных динамических и неопределенных условиях. Они предоставляют более гибкие, адаптивные и инновационные подходы, способствующие лучшей адаптации структуры управления к особенностям каждого проекта.

Сравнение применимости традиционного и гибкого подходов в различных производственных сценариях

Традиционный подход к управлению проектами основывается на жестком планировании и последовательном выполнении проекта (таблица). Он обычно включает в себя определение всех задач и этапов проекта заранее, разделение работы на подзадачи, создание иерархической структуры команды, а также применение линейных моделей и методов управления, таких как каскадная модель.

В традиционном подходе основное внимание уделяется контролю сроков, бюджета и

выполнению задач по плану.

Гибкий подход к управлению проектами ориентирован на адаптивность, итеративность и способность быстро реагировать на изменения (таблица).

В гибком подходе основное внимание уделяется сотрудничеству, коммуникации и гибкости в планировании и выполнении проекта. Он подразумевает непрерывную коммуникацию с заказчиком, активное вовлечение команды проекта в процесс принятия решений, а также использование гибких методологий, таких как *Scrum*, *Kanban* или *Agile*, которые позволяют быстро адаптироваться к изменениям требований и внешней среды [9, 10].

Традиционный подход ориентирован на строгий контроль и планирование, с фокусом на выполнении задач по заранее определенному плану. Он предполагает предварительное определение требований и спецификаций проекта, а также строгое следование последовательности этапов. Гибкий подход, напротив, подразумевает гибкость и адаптивность в выполнении проекта. Он основан на итеративности, постоянной коммуникации и способности быстро реагировать на изменения и новые требования.

Сравнение подходов Comparison of approaches

Традиционный подход	Жесткое планирование и последовательное выполнение проекта	Обычно лучше применим в сценариях с четкими и стабильными требованиями, когда задачи и их последовательность могут быть четко определены заранее
Гибкий подход	Адаптивность, итеративность и способность быстро реагировать на изменения	Предпочтителен в сценариях с изменчивыми требованиями, высокой степенью неопределенности и быстро меняющейся внешней средой

Важно отметить, что выбор между традиционным и гибким подходом зависит от конкретных особенностей проекта, его целей, рисков и контекста. Некоторые проекты могут требовать комбинации обоих подходов, при которой используются элементы традиционного планирования и контроля, а также гибкие методологии для адаптации к изменениям.

Проблемы, связанные с принятием и адаптацией теоретических основ в реальных сценариях

Ряд проблем, с которыми сталкиваются организации при принятии и адаптации теоретических основ управления проектами и планирования производства в реальных сценариях:

1. Сопротивление изменениям. Внедрение новых теоретических подходов может вы-

зывать сопротивление со стороны сотрудников и руководства организации. Это может быть связано с привычкой к существующим методам работы, страхом перед неизвестностью или недостаточным пониманием преимуществ, которые может принести новый подход. Необходимо разработать стратегии коммуникации и обучения, чтобы преодолеть сопротивление и создать понимание и поддержку новых теоретических основ.

2. Недостаток ресурсов. Внедрение и адаптация новых теоретических основ требует времени, финансовых ресурсов и экспертного знания. Организации могут столкнуться с ограничениями в доступных ресурсах, что затрудняет проведение необходимых изменений. Необходимо провести оценку ресурсов и

разработать планы внедрения, учитывая ограничения и эффективное использование доступных ресурсов.

3. Несоответствие культуры организации. Каждая организация имеет свою уникальную корпоративную культуру и стиль управления. Внедрение новых теоретических подходов может потребовать изменения культурных аспектов, что может вызвать сопротивление и проблемы. Важно анализировать существующую культуру организации, определять соответствие новым подходам и при необходимости внедрять изменения постепенно, с учетом особенностей культуры.

4. Сложность интеграции с существующими системами и процессами. Организации часто уже имеют установленные системы и процессы управления проектами и планирования производства. Внедрение новых теоретических основ может требовать интеграции существующих систем и процессов, что может оказаться сложной задачей. Различные системы могут иметь разные структуры данных, форматы отчетности и методы анализа. Интеграция новых теоретических основ с существующими системами и процессами может потребовать дополнительной работы по адаптации, обновлению или замене систем [11]. Это может включать настройку программного обеспечения, обучение сотрудников и обновление рабочих процессов. Необходимо провести тщательный анализ существующих систем и процессов, чтобы определить необходимые изменения и планировать их внедрение.

5. Недостаток экспертизы и опыта. Внедрение новых теоретических основ может потребовать специализированной экспертизы и опыта, которые могут отсутствовать в организации.

Недостаток квалифицированных сотрудников или специалистов может затруднить успешное принятие и адаптацию новых подходов. В таких случаях организации могут обратиться к внешним консультантам или провести внутреннее обучение и развитие персонала, чтобы заполнить пробелы в экспертизе.

Все эти проблемы могут встречаться при принятии и адаптации теоретических основ управления проектами и планирования производства в реальных сценариях. Важно учитывать эти проблемы при разработке стратегий и планов внедрения, а также обеспечивать поддержку и обучение сотрудников для успешной адаптации новых подходов.

BIM-технологии в строительстве

В настоящее время, строительная отрасль сталкивается с необходимостью ускорения процессов и оптимизации затрат. В этом кон-

тексте, технология BIM становится все более популярной в бережливом строительстве. Технология BIM (*Building Information Modeling*) – это метод проектирования, строительства и эксплуатации объектов инфраструктуры, основанный на использовании цифровых моделей зданий и сооружений.

При оценке выгод, которые технология может принести организации, выделяют следующие пункты [12, 13]:

- возможность создания виртуальной модели здания;
- установка индивидуальных параметров объекта;
- получение высококачественной проектной документации;
- быстрое обнаружение и устранение ошибок и неточностей через изменение параметров;
- экспериментирование с моделью в разных условиях;
- управление и контроль строительства объекта на всех этапах;
- использование информационной модели разными организациями;
- выполнение ремонта и реконструкции объекта с учетом требований эксплуатации.

Благодаря использованию BIM-технологий, различные участники проекта могут работать над одной и той же версией модели, обмениваясь информацией и координируя свои действия, что позволяет улучшить процесс взаимодействия между различными участниками проекта и снизить вероятность ошибок.

В целом, BIM-технологии являются одним из наиболее перспективных направлений в области проектирования и строительства, позволяющим улучшить качество проектирования и строительства, сократить затраты на строительство и эксплуатацию объектов и повысить эффективность использования имеющихся ресурсов.

Проблемы внедрения BIM-технологий

В работе [14] отмечается, что в Йемене замедляется развитие BIM-технологий из-за ограничений в финансировании, нехватки знаний и неумения персонала, неправильного использования потенциала BIM, а также отсутствия государственной поддержки [15].

В статье [16] говорится о том, что в России выявлено две главные проблемы внедрения BIM-технологий. Первая проблема заключается в том, что российские строительные компании не проявляют достаточного интереса к реализации этой технологии. Вторая проблема связана с отсутствием единых правил для оформления проектной и рабочей документации в соответствии с нормативными докумен-

тами (ГОСТ, СПДС).

С.Г. Абрамян и другие исследователи [17] выделили несколько проблем внедрения BIM-технологий в России. К ним относятся отсутствие полного набора нормативных документов, низкий интерес и недостаточная информированность строительных организаций, высокая стоимость внедрения и сложность совместимости с другими компьютерными технологиями, финансовые ограничения, трудоемкость создания BIM-модели и нехватка знаний и компетентности персонала.

Н.А. Козлов и К.А. Попова [18] также выделяют проблемы, связанные с привлечением молодых специалистов, необходимостью модернизации существующей системы, переобучением сотрудников, дороговизной программного обеспечения и временным снижением работоспособности.

Одна из основных проблем применения BIM-технологий заключается в необходимости изменения существующих рабочих процессов и подготовке персонала к работе в новых условиях. Требуется обучение специалистов работе с новыми программными средствами и методами проектирования и строительства [19]. Кроме того, использование BIM-технологий требует значительных инвестиций в программное обеспечение и оборудование. Некоторые компании могут не быть готовы к таким затратам. Еще одной проблемой [20] является необходимость установления единых стандартов для работы с BIM-моделями, что может вызвать затруднения при совместной работе различных участников проекта.

По мнению М.И. Сергеевой [21], существует недостаточное количество предметов, связанных с современными технологиями в строительстве, которые преподаются в высших учебных заведениях. Она также подчеркивает, что большинство проектировщиков не заинтересованы во внедрении новых технологий и материалов.

Бережливое строительство

Концепция менеджмента, известная как бережливое производство, заключается в стремлении к устранению любых потерь в производственном процессе. Эта концепция включает в себя участие каждого сотрудника в оптимизации бизнеса и ориентацию на потребности потребителя. Бережливое производство применяется многими компаниями в различных отраслях и в разных странах [22].

Процесс строительных работ в бережливом строительстве отличается от традиционного процесса строительства. Основные принципы бережливого строительства — это

максимизация добавленной стоимости и минимизация потерь. Это достигается за счет следующих этапов и принципов [23, 24]:

1. Планирование процесса строительства: в бережливом строительстве особое внимание уделяется планированию. Каждый этап процесса должен быть подробно проработан заранее, определены его сроки и ресурсы, а также способы сокращения потерь. Для этого используются методы Lean-планирования, такие как *Last Planner System* и *Pull Planning*.

2. Сокращение потерь: бережливое строительство предполагает минимизацию потерь на всех этапах строительства. В качестве потерь выступают любые ненужные операции, движения, ожидания и простои. Для сокращения потерь применяются методы Lean-производства, такие как 5S, *Kaizen*, *Value Stream Mapping* и пр.

3. Использование BIM: использование BIM-технологий помогает уменьшить потери и повысить эффективность работы команды строителей. BIM-модель позволяет совершенствовать проект и управлять процессом строительства.

4. Работа в команде: в бережливом строительстве особое внимание уделяется работе в команде. Каждый участник команды должен знать свою роль и задачи, а также уметь взаимодействовать с другими участниками процесса. Работа в команде позволяет повысить эффективность и снизить потери на всех этапах процесса строительства.

5. Контроль и улучшение процесса: бережливое строительство предполагает постоянный контроль и улучшение процесса. Для этого используются методы Lean-производства, такие как PDCA-цикл, DMAIC и др.

Таким образом, процесс строительных работ в бережливом строительстве отличается тщательным планированием, сокращением потерь, использованием BIM-технологий, работой в команде и постоянным контролем и улучшением процесса.

Проблемы внедрения концепции бережливых технологий

Профессор Т. Нетланд, исследуя проблемы, связанные с внедрением бережливых технологий в компаниях, выделил три главных фактора успеха, которые он обозначил как «три L»: лидерство (*Leadership*), долгосрочный фокус (*Long-term focus*) и обучение (*Learning*). Следовательно, для успешной реализации бережливых технологий в организации необходимо обеспечить эффективное и непрерывное повышение квалификации со-

трудников [25].

В работе Е.Н. Дыриной [26] подчеркивается, что российские компании сталкиваются с серьезными трудностями при внедрении принципов бережливого производства, что обусловлено несколькими причинами, такими как отсутствие у специалистов, занимающихся преобразованием к бережливому производству, глубокого понимания методологии, неадаптированность методологии к особенностям конкретной организации, отсутствие системного подхода к преобразованиям, формальность проекта с формальными целями и результатами, отсутствие специальных знаний и навыков, отсутствие заинтересованности собственников и топ-менеджеров, сложность понимания всей архитектуры системы бережливого производства и сопротивление изменениям со стороны сотрудников из-за страха несоответствия новым требованиям и нежелания повышать нагрузки при сохранении прежней заработной платы. Также отмечается недостаточный интерес со стороны сотрудников, как отмечает К.Е. Мельникова [27].

Примеры успешных практик интеграции BIM-технологий и бережливого строительства

В статье [28] А.В. Казаринов, В.П. Куприяновский и В.В. Талапов рассматривают международный опыт BIM-технологий применительно к жизненному циклу объектов железнодорожной инфраструктуры. Так в проекте *Crossrail* с реализацией BIM отмечают следующие преимущества:

- Совместное управление всеми типами данных.
- Улучшенная производительность (связывание моделей с картографированием через ГИС).
- Интеграция данных для всех этапов жизненного цикла и др.

Для проекта *High Speed 2* в Великобритании BIM-моделирование является ключевым фактором, поэтому особое внимание уделяется прикладным исследованиям применения BIM технологий.

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» использует информационно-ситуационную карту (ИСК, ISC), которая описывает траекторию плана действий и помогает обеспечить ее интерактивное выполнение в меняющихся условиях [29].

Примером успешного применения принципов бережливого строительства в Германии можно назвать Эльбфилармонию в Гамбурге, которая является ярким примером. В ходе этого проекта возникли проблемы, связанные с перерасходом средств и задержками. Однако благодаря применению принципов береж-

ливости ситуация была изменена. Проект использовал совместный подход и постоянное стремление к улучшению, что помогло достичь правильного курса и завершить строительство в срок и в рамках бюджета.

Жилой комплекс «Полянка/44» в г. Москве отличается использованием передовых технологий и материалов, таких как панели с утеплителем из минеральной ваты, двухкамерные стеклопакеты с низкоэмиссионным покрытием, водосберегающие краны и другие инновации. В результате этих мер удалось снизить затраты на коммунальные услуги и повысить уровень комфорта для жильцов.

Офисный комплекс «Башня Федерации» в г. Москве является еще одним проектом, основанным на принципах бережливости. В процессе строительства были использованы экологически чистые материалы, такие как стекло с низкоэмиссионным покрытием, вентиляционные системы с рекуперацией тепла, энергоэффективные системы освещения и другие инновации. Благодаря этому удалось снизить энергопотребление на 40% по сравнению с аналогичными зданиями [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что гибкие методологии нашли применение в строительстве вместе с развитием информационных технологий, таких как BIM, который позволяет создавать виртуальные модели зданий и инфраструктуры, интегрировать данные и обеспечивать совместное управление ими всеми заинтересованными сторонами. Это помогает улучшить координацию, снизить ошибки и конфликты, а также повысить эффективность и качество проекта.

Принципы бережливого строительства также нашли широкое применение в планировании производственных процессов в строительстве. Они направлены на максимизацию добавленной стоимости и минимизацию потерь. Бережливое строительство стремится устранить ненужные операции, сократить время выполнения задач, улучшить качество и снизить издержки. Оно предлагает методы, такие как *Last Planner System*, *Pull Planning* и *Value Stream Mapping*, которые помогают повысить эффективность планирования, снизить потери и улучшить управление проектами.

В международном опыте с интеграцией BIM-технологий и принципов бережливого строительства были реализованы успешные проекты, такие как Эльбфилармония в Гамбурге, «Полянка/44» в Москве и «Башня Федерации» в Москве. Эти проекты демонстрируют преимущества использования современных методов планирования и управления, та-

ких как интеграция данных, совместное управление и активное участие всех участников проекта. По результатам исследования можно сделать вывод, что планирование в строительстве должно включать в себя применение современных методологий управления проектами, таких как *Agile* и *Lean*, а также использование информационных технологий, включая BIM. Эти подходы помогают повысить эффективность, снизить риски и улучшить качество на этапе строительства.

Таким образом, интеграция BIM-технологий и принципов бережливого строительства как основ эффективного управления и планирования позволяют суще-

ственно повысить эффективность и качество строительного процесса, сократить затраты на проектирование, строительство и эксплуатацию объектов, а также уменьшить вероятность ошибок и несоответствий. Кроме того, обучение персонала данным методам и технологиям является важным фактором для успешной реализации проектов в строительстве.

Дальнейшие исследования в данной области позволяют разработать новые методы и инструментов, адаптировать бережливый подход и BIM-технологии под специфику строительной отрасли.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Аюпова Г.М. Пути улучшения процесса планирования производственной деятельности предприятия // Молодежь и XXI век – 2018: материалы VIII Междунар. молодежной науч. конф. (г. Курск, 21–22 февраля 2018 г.). В 5-ти т. Т. 1. Курск: Университетская книга, 2018. С. 20–23. EDN: YSNNPC.
2. Радковская Е.В. Применение метода критического пути в управлении производственными процессами // Глобальный научный потенциал. 2018. № 9 (90). С. 66–68. EDN: YLZOXJ.
3. Огородникова Т.С. Резервы использования рабочего времени и повышения производительности труда рабочих промышленного предприятия // Human Progress. 2017. Т. 3. № 12. С. 1. EDN: YUTJNI.
4. Иванов В.В., Черкасов Д.Ю. Enterprise Resource Planning // Аллея науки. 2018. Т. 1. № 4 (20). С. 600–604. EDN: XOHNGH.
5. Смирнов В.А. Традиционный и сетевой методы управления в проектах // Философия: материалы 54-й Междунар. науч. студ. конф. МНСК-2016 (г. Новосибирск, 16–20 апреля 2016 г.). Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2016. С. 37–38. EDN: OULTMX.
6. Матвеева М.В. Синхронизация деятельности участников реализации инвестиционно-строительных проектов в жилищном строительстве // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 2 (25). С. 31–41. EDN: XRTQNN. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-2-31-41>.
7. Чуланова О.Л. Технология управления проектами и проектными командами на основе методологии гибкого управления проектами Agile // Вестник евразийской науки. 2018. Т. 10. № 1. С. 37. EDN: XNHVZB.
8. Лозгачева Т.М., Табекина О.А., Федотова

- О.В. Agile и научная организация труда: практика применения гибких методов в России // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление. 2019. Т. 5. № 2. С. 48–59. EDN: OCMGEV.
9. Сафонов А.А. Управление проектами с помощью гибких подходов // Вектор экономики. 2019. № 1 (31). С. 22. EDN: ZPOXXZ.
10. Лысенко О.А., Савин А.Г. Методы управления проектами. Гибкий Agile подход // XV Королёвские чтения: материалы Междунар. молодежной науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Д.И. Козлова (г. Самара, 08–10 октября 2019 г.). Т. 2. Самара: Автономная некоммерческая организация «Изд-во Самарского Научного Центра», 2019. С. 696. EDN: CCZMGS.
11. Матвеева М.В. Генезис управленческих концепций управления расширенным производством // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014. № 6 (11). С. 30–39. EDN: THNUDH.
12. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченко В.П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия Наук. 2017. № 10. С. 529–549. EDN: YLPAZJ.
13. Пешков А.В., Матвеева М.В., Безруких О.А., Рогов Д.С. 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. С. 90–97. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>. EDN: AIHCLW.
14. Gamil Y., Rahman I.A.R. Awareness and challenges of building information modelling (BIM) in the Yemen construction-industry // Journal of Engineering Design and Technology. 2019. Vol. 17. Iss. 5. P. 1077–1084.

15. Мальцев В.Л. Из опыта решения проблем внедрения BIM-технологий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 29–30 марта 2018 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. С. 35–40. EDN: YUMGUL.
16. Шеина С.Г., Петров К.С., Федоров А.А. Исследование этапов развития BIM – технологий в мировой практике и России // Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14 (66). С. 7–14. EDN: QJNHWP.
17. Абрамян С.Г., Котляревская А.В., Оганесян О.В., Бурлаченко О.В., Дикмеджян А.А. Проблемы внедрения BIM-технологий в строительном секторе: обзор научных публикаций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9 (60). С. 4. EDN: NWCABR.
18. Козлов Н.А., Попова К.А. Проблемы внедрения технологий BIM-проектирования в России // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2016. № 1 (15). С. 18–21. EDN: VSEXRL.
19. Семенов А.А. Интеграция концепции BIM в учебный процесс строительных вузов // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (г. Санкт-Петербург, 29–30 марта 2018 г.). СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. С. 207–211. EDN: YVCXVU.
20. Величко Г.В. Прикладные аспекты проблем эффективности BIM-технологий объектов автотранспортной инфраструктуры // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2019. Т. 2. № 86. С. 173–183. EDN: BJOKCH. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.173>.
21. Сергеева М.И. Проблемы внедрения современных технологий в строительство // Научный электронный журнал «Меридиан». 2019. № 13 (31). С. 87–89. EDN: FDWKPU.
22. Давыдова Н.С. Бережливое производство. Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2012. 135 с. EDN: QVKLSD.
23. Жусуева Н.Ж. Системы электронного документооборота комплексной автоматизации организаций // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2019. № 4 (52). С. 82–88. EDN: JRKBOW.
24. Чернов В.Д., Ахмедова М.Р., Поддубная М.Н. Проектный подход к разработке и внедрению систем менеджмента качества // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 12-3 (70). С. 198–201. <https://doi.org/10.24411/2411-0450-2020-11159>.
25. Нетланд Т. Те, кто ожидает быстрой отдачи от бережливого производства, будут разочарованы // «Умные производственные системы»: X Междунар. юбилейный саммит. URL: <https://cup-russia.ru/2019/03/netland/04.01.2023>).
26. Дырина Е.Н. Проблемы при внедрении инструментов бережливого производства в российских предприятиях // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2014. № 1 (4). С. 225–228. EDN: TFNFXJ.
27. Мельникова К.Е. Проблемы управления персоналом при внедрении инструментов бережливого производства на промышленном предприятии // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. творческой молодежи (г. Красноярск, 10–14 апреля 2017 г.). Красноярск: Сибирский государственный университет имени академика М.Ф. Решетнева, 2017. Т. 3. № 13. С. 827–829. EDN: YQWCAA.
28. Казаринов А.В., Куприяновский В.П., Талапов В.В. Международный опыт и тенденции развития технологии информационного моделирования применительно к жизненному циклу объектов железнодорожной инфраструктуры // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 12. С. 94–112. EDN: ADAOXK.
29. Снежин А.Н. ИСК-технология планирования действий интеллектуального агента // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (г. Воронеж, 18–20 декабря 2017 г.). Воронеж: Изд-во «Научно-исследовательские публикации»; ООО «Вэлборн», 2017. С. 314–318. EDN: YRQADZ.
30. Евстигнеева С., Аразов Н. Бережливое строительство: максимизация ценности и минимизация отходов // German International Journal of Modern Science. 2023. No. 52. P. 16–19. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7747158>.

REFERENCES

1. Ayupova G.M. Ways to improve the process of planning the production activity of the enterprise. *Molodezh' i XXI vek – 2018: materialy VIII Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii. T. 1. = Youth and the XXI century - 2018: Materials of the VIII International Youth Scientific Conference.* Vol. 1. 21-22 February 2018, Kursk. Kursk: Universitetskaya kniga, 2018. p. 20-23. (In Russ.). EDN: YSNNPC.
2. Radkovskaya E.V. Application of the critical path method in the management of production process-

es. *Global'nyi nauchnyi potentsial = Global scientific potential*. 2018;9:66-68. (In Russ.). EDN: YLZOXJ.

3. Ogorodnikova T. S. Reserves of using working time and increasing labor productivity of workers of an industrial enterprise. *Human Progress*. 2017;3(12):1. (In Russ.). EDN: YUTJNI.

4. Ivanov V.V., Cherkasov D.Y. Enterprise Resource Planning. *Alley of Science = Alleya nauki*. 2018;1(4):600-604. (In Russ.). EDN: XOHNGH.

5. Smirnov V.A. Traditional and network management methods in projects. In: *Filosofiya: materialy 54-i Mezhdunarodnoi nauchnoi studencheskoi konferentsii MNSK-2016 = Philosophy: Materials of the 54th International Scientific Student Conference MNSC-2016*. 16-20 April 2016, Novosibirsk. Novosibirsk: Novosibirsk National Research State University; 2016. p. 37-38. EDN: OULTMX.

6. Matveeva M.V. Synchronization of the activity of participants during the implementation of housing construction projects. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(2):31-41. (In Russ.). EDN: XRTQNN. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2018-2-31-41>.

7. Chulanova O.L. Technology of project management and project teams based on Agile flexible project management methodology. *Vestnik evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2018;10(1):37. (In Russ.). EDN: XNHVZB.

8. Lozgacheva T.M., Tabekina O.A., Fedotova O.V. Agile and the scientific organization of labor: the practice of applying agile methods in Russia. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Ekonomika i upravlenie*. 2019;5(2):48-59. (In Russ.). EDN: OCMGEV.

9. Safonov A.A. Management of projects with the help of flexible approaches. *Vektor ekonomiki*. 2019;1(31):22. (In Russ.). EDN: ZPOXXZ.

10. Lysenko O.A. Project management methods. Flexible Agile approach. In: *XV Korolevskie chteniya: materialy Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya D.I. Kozlova = "XV Korolev Readings": International Youth Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of D.I. Kozlov*. 08-10 October 2019, Samara. Vol. 2. Samara: Autonomous non-profit organization "PH of the Samara Scientific Center"; 2019. p. 696. (In Russ.). EDN: CCZMGS.

11. Matveeva M.V. Origin of administrative concepts in the management of wide reproduction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2014;6(11):30-39. (In Russ.). EDN: THNUDH.

12. Dronov D.S. Problems of introduction of BIM-technologies in Russia. *Sinergiya nauk*. 2017;10:529-549. (In Russ.). EDN: YLPAZJ.

13. Peshkov A.V., Matveeva M.V., Bezrukh O.A., Rogov D.S. Ensuring quality control processes at

all stages of the life cycle of capital construction projects under the Construction 4.0 concept. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):90-97. (In Russ.). EDN: AIHCLW. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-90-97>.

14. Gamil Y., Rahman I.A.R. Awareness and challenges of building information modelling (BIM) in the Yemen construction-industry. *Journal of Engineering Design and Technology*. 2019;17(5):1077-1084. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2019-0063>.

15. Maltsev V.L. From experience of the problems of implementation of BIM technologies. In: *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = BIM-modeling in construction and architecture tasks: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. 29-30 March 2018, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2018. p. 35-40. (In Russ.). EDN: YUMGUL.

16. Sheina S.G., Petrov K.S., Fedorov A.A. Research of the stages of development of BIM-technologies in world practice and Russia. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost' = Construction and industrial safety*. 2019;14:7-14. (In Russ.). EDN: QJNHWP.

17. Abrahamyan S.G., Kotlyarevskaya A.V., Oganessian O.V., Burlachenko O.V., Dikmedzhyan A.A. Problems of implementing BIM-technologies in the construction sector: overview of scientific publications. *Inzhenernyi vestnik Dona = Engineering journal of Don*. 2019;9:4. (In Russ.). EDN: NWCABR.

18. Kozlov N.A., Popova K.A. Problems of introduction of the BIM-technologies of design in Russia. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2016;1:18-21. (In Russ.). EDN: VSEXRL.

19. Semenov A.A. Integration of the BIM concept into the educational process of construction universities. In: *BIM-modelirovanie v zadachakh stroitel'stva i arkhitektury: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = BIM-modeling in the tasks of construction and architecture: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*. 29-30 March 2018, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2018. p. 207-211. (In Russ.). EDN: YVCXVU.

20. Velichko G.V. Applied aspects of problems with efficiency of bim technologies of motor transport infrastructure objects. *Vestnik Khar'kovskogo natsional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta = Bulletin of Kharkov national automobile and highway university*. 2019;2(86):173-183. (In Russ.). EDN: BJOKCH. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.173>.

21. Sergeeva M.I. Problems of introduction of mod-

ern technology in construction. *Nauchnyi elektronnyi zhurnal "Meridian"*. 2019;13:87-89. (In Russ.). EDN: FDWKPU.

22. Davydova N.S. Lean manufacturing. Izhevsk: Udmurt State University; 2012. 135 p. (In Russ.). EDN: QVKLSD.

23. Zhusueva N.Zh. Electronic document management systems for complex automation of organizations. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova*. 2019;4:82-88. (In Russ.). EDN: JRKBOW.

24. Chernov V.D., Akhmedova M.R., Poddubnaya M.N. Project approach to the development and implementation of quality management systems. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika = Journal of Economy and Business*. 2020;12-3:198-201. (In Russ.).

25. Netland T. Those who expect quick returns from lean manufacturing will be disappointed. In: *"Smart Production Systems": Xth International Anniversary Summit*. Available from: <https://cup-russia.ru/2019/03/netland> [Accessed 04th January 2023]. (In Russ.).

26. Dyrina E.N. Problems in the introduction of lean production tools in Russian enterprises. *Innovatsionnaya ekonomika: perspektivy razvitiya i sovershenstvovaniya*. 2014;1(4):225-228. (In Russ.). EDN: TFNFXJ.

27. Melnikova K.E. Human resource management problems in case of implementation of instruments of economical production at the industrial enter-

prise. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavtiki: materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii tvorcheskoi molodezhi = Actual problems of aviation and cosmonauts: materials of the III interfaith Conference of palace goods*. 10-14 April 2017, Krasnoyarsk. Krasnoyarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology; 2017. Vol. 3. No. 13. p. 827-829. EDN: YQWCAA.

28. Kazarinov A.V. International experience and trends in the development of information modeling technology in relation to the life cycle of railway infrastructure facilities. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020;8(12):94-112. (In Russ.). EDN: ADAOXK.

29. Snezhin A.N. ISK-technology of planning actions of an intellectual agent. *Aktual'nye problemy prikladnoi matematiki, informatiki i mekhaniki: sbornik trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Actual problems of applied mathematics, computer science and mechanics: proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. 18-20 December 2017, Voronezh. Voronezh: PH "Scientific research publications"; LLC "Valborn"; 2017. C. 314-318. (In Russ.). EDN: YRQADZ.

30. Evstigneeva S., Arazov N. Lean construction: maximizing value and minimizing waste // *German International Journal of Modern Science*. 2023;52:16-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7747158>.

Информация об авторах

Козлов Роман Николаевич,
инженер-технолог,
Иркутский авиационный завод,
664020, г. Иркутск, ул. Новаторов, 3, Россия,
e-mail: seranaz@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-5597-7259>

Пешков Артем Витальевич,
к.э.н., доцент, доцент кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Roman N. Kozlov,
Process engineer,
Irkutsk Aviation Plant,
3 Novatorov St., Irkutsk 664020, Russia,
e-mail: seranaz@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0006-5597-7259>

Artem V. Peshkov,
Cand. Sci. (Econ.), Assistant Professor,
Assistant Professor of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research
Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: artempeshkov@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5027-5120>

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

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

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

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

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.02.2023.
Одобрена после рецензирования 30.03.2023.
Принята к публикации 31.03.2023.

Information about the article

The article was submitted 28.02.2023.
Approved after reviewing 30.03.2023.
Accepted for publication 31.03.2023.