



Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства

© Лейди Татьяна Гевара Рада, Виталий Владимирович Пешков,
Владимир Иванович Мартьянов, Екатерина Алексеевна Радионова,
Фаина Григорьевна Бужеева, Елена Витальевна Сайбаталова

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
Автор, ответственный за переписку: Гевара Рада Лейди Татьяна, tatis.guevara92@gmail.com

Аннотация. Цель работы – повысить эффективность деятельности хозяйствующих субъектов в строительстве путем применения новых подходов к совершенствованию организационных структур и методов управления строительством, таких как информационное моделирование (BIM) и бережливое строительство (БС). В данном исследовании представлен обзор методов БС, описываются конкретные разработанные инструменты и методологии, такие как долгосрочное планирование, обязательства по планированию, минимизация перерасхода ресурсов, надежность рабочего процесса и управление проектами. Также были рассмотрены стратегии и вспомогательные инструменты для реализации эффективных процессов на строительных объектах для компаний с функциями генерального подрядчика. Применение бережливого строительства, в частности pull-планирования, позволяет повысить эффективность коммуникации между участниками строительного процесса, а при объединении методов БС и информационного моделирования можно сократить расходы в строительном производстве. Технология информационного моделирования (BIM) на основе БС может применяться в проектировании, строительстве и управлении проектом на протяжении всего жизненного цикла строительного объекта.

Ключевые слова: технологии информационного моделирования, бережливое строительство, управление проектами, производственная система Toyota, методы и инструменты БС, последний планировщик (LPS), точно в срок, экономическая эффективность

Для цитирования: Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В., Мартьянов В. И., Радионова Е. А., Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>.

Original article

Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction

Leydy T. Guevara Rada, Vitaliy V. Peshkov, Vladimir I. Mart'yanov,
Ekaterina A. Radionova, Faina G. Buzheeva, Elena V. Saibatalova

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Corresponding author: Leydy T. Guevara Rada, tatis.guevara92@gmail.com

Abstract. This article considers the problem of increasing the efficiency of construction companies by implementing new approaches to improving organizational structures and construction management methods, such as building information modelling (BIM) and lean construction (LC). A review of existing LC methods is carried out, describing such specific methodologies, as long-term planning, planning obligations, minimizing resource overruns, workflow reliability and project management. Strategies and supporting mechanisms for the implementation of efficient processes on construction sites for companies with the functions of general contractor are also considered. The application of lean construction, pull planning in particular, increases the efficiency of communication between the participants of the construction process. The concurrent use of LC and BIM methods allows construction costs to be reduced. The LC-based BIM technology can be applied in design, construction and project management throughout the entire life cycle of a construction project.

Keywords: information modeling technologies, lean construction, project management, Toyota production system, LC methods and tools, the latest planning system (LPS), just-in-time, economic efficiency

For citation: Guevara Rada L. T., Peshkov V. V., Mart'yanov V. I., Radionova E. A., Buzheeva F. G., Saibatalova E. V. Building Information Modelling (BIM) technology as a basis for lean construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):70-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>.

Введение

В середине XX в. председатель совета директоров японской компании *Toyota* (*Toyota Production System*) Тайити Оно применил новую концепцию Lean Production («бережливое производство»), которая нашла широкое применение во всем мире. Данная концепция строится на рациональном использовании имеющихся ресурсов (строительных материалов, времени и рабочей силы, транспорта), а также стремится убрать из этой цепи действия, которые относятся к простому и приносят убытки [1–3]. В данной публикации подробно анализируются основные виды потерь в строительном производстве, так как использование концепции бережливого производства – это возможность сократить жизненный цикл производства в несколько раз и в результате снизить конечную стоимость построенных

зданий и сооружений. Главная идея бережливого производства заключается в том, что определенные действия повышают ценность продукции, создаваемой в процессе строительства, а другие, наоборот, уменьшают. Концепция бережливого производства располагает большим количеством методов, инструментов и подходов к управлению.

Lean Construction (с англ. – «бережливое строительство») – это адаптация к процессам строительства, концепция из философии предприятия, созданной *Toyota* (рисунок). Философия управления производством, ориентированная на строительные работы, возникла в исследовании 1992 г. финского ученого Лаури Коскела под названием «Технический отчет № 72. Применение новой производственной философии в строительстве» [4].



Алгоритм внедрения элементов бережливого строительства в систему управления проектами компании от Высшей школы экономики, Москва, 2014 [5]

Algorithm for introducing lean construction elements into the company's Project management System from the Higher School of Economics, Moscow, 2014 [5]

В разных странах проводятся исследования по использованию новых концепций в области современного строительства. В России в том числе этим вопросом занимался профессор Олег Игоревич Пакидов. Он предложил проект «Российского объединения стандартизации информационного моделирования в строительстве» (РоСИМС) [6]. В Колумбии в университете *EAFIT* (г. Медельин) пробуют объединить технологии BIM и Lean construction. При соединении моделирования и улучшения организации процессов строительных работ можно получить более эффективные результаты с сокращением потерь ресурсов [7–10].

Основными видами потерь являются:

- потери перепроизводства (избыточного производства продукции);
- транспортировки (избыточного перемещения сырья, продукции, материалов);
- ожидания (в рабочее время не осуществляется производственная деятельность);
- излишней обработки (обработка, не приносящая ценности или добавляющая ненужную функциональность);
- из-за производства продукции с дефектами (брака);
- из-за лишних движений (не связанных напрямую с осуществлением производственной деятельности);
- лишние запасы (хранение избыточного количества сырья, материалов, полуфабрикатов);
- потери творческого потенциала (неполное использование интеллектуальных возможностей сотрудников)¹.

В РФ метод бережливого строительства активно применяется. Например, его использует Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ) в коллаборации с Московским государственным строительным университетом (МГСУ). Кроме того, на ближайшие 30 лет принята концепция Стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ, главная задача внедрения которой – уменьшение и устранение ненужной траты ресурсов в строительстве через широкое распространение BIM-технологий и технологий бережли-

вого строительства во всей строительной отрасли. Все эти вопросы затрагивают интересы широкого круга людей – от девелоперов до инвесторов, а также меняют подход к работе проектировщиков, подрядчиков, архитекторов и др. Ведущие строительные компании, научные организации, университеты, союзы архитекторов стремятся найти широкое применение данной концепции в строительной отрасли нашей страны².

В 2014 г. в Москве проходил семинар по разработке концепции Стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ на период до 2030 года, в котором принимали участие ведущие специалисты МГСУ, НОСТРОЙ, «Газпром ВНИИГАЗ», «Атомэнергопроект», Союза строителей железных дорог, Главстроя, *ACCELERATION*, Рабочей группы *BIM IPD*, «Киберсистемы» и др. На семинаре выступил с докладом Н. Ф. Селезнев, председатель Комитета инновационных технологий в строительстве НОСТРОЙ. Был рассмотрен ряд актуальных вопросов, таких как: организационные схемы эффективной реализации комплексных инвестиционных строительных проектов (EPC, EPC (M)), типы договоров и организация взаимодействия их участников (IPD, интегрированный договор и др.); применение методов и инструментов информационного моделирования (BIM) на основных этапах инвестиционных строительных проектов (офис управления проектами, проектирование, подготовка строительства, закупки, строительство, эксплуатация объектов строительства); методы и инструменты реализации принципов Lean на всех этапах в строительстве; инновационные подходы к контролю качества и диагностике в строительстве; подготовка специалистов для предприятий, работающих по новым технологиям³.

Методами и инструментами БС являются:

- выявление и оценка основных видов потерь и реализация мероприятий по их устранению;
- внедрение метода проектирования с учетом целевой ценности объекта (TVD – Target Value Design);
- внедрение технологий информационного моделирования зданий (BIM – Building

¹Свеженцев А. Г. Организационно-экономическое обеспечение развития атомной промышленности: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Нижний Новгород, 2012. 175 с.

²Бережливое строительство и информационное моделирование [Электронный ресурс] // Официальный сайт НИУ МГСУ. URL: <https://mgisu.ru/news/Nauka/Berezhlivoe-str-informa-modelirovanie/> (27.03.2020).

³МГСУ совместно с Комитетом инновационных технологий в строительстве «НОСТРОЙ» провел семинар «Бережливое строительство и информационное моделирование – инновационные стратегические направления в современном строительстве» // Официальный сайт «НОСТРОЙ» [Электронный ресурс]. URL: https://nostroy.ru/articles/detail.php?ELEMENT_ID=3078/ (19.12.2014).

Information Modeling);

- внедрение системы «Последний планировщик»;
- построение системы вытягивания и создание строительного конвейера;
- информационное обеспечение ежедневных рабочих совещаний участников строительного проекта;
- внедрение системы 5S и инструментов визуализации;
- стандартизация методов выполнения отдельных видов строительного-монтажных работ;
- внедрение методологии непрерывного совершенствования;
- внедрение методов, обеспечивающих качество и защиту от непреднамеренных ошибок;
- внедрение методологии «точно в срок» (Just In Time);
- внедрение отчетности в формате А3 [11].

Внедрение инструментов и методов бережливого строительства в строительной компании решается следующими задачами:

1. Оперативные – направленные на улучшение отдельных процессов.

Зона ответственности – инженерно-технический работник (ИТР) на строительной площадке.

Бережливые инструменты – 5С, стандартизация, картирование, подача оптимизационных предложений, «вытягивающее» планирование.

2. Стратегические – направленные на улучшение потока ценности всего проекта.

Зона ответственности – команда управления проектами (УП).

Бережливые инструменты – информационное моделирование, поставки «точно в срок», всеобщее управление качеством (Total Quality Management – TQM), гистограмма потока добавленной ценности [12–14].

Методы

Техники 5С

Общеизвестно, что в строительстве существует риск больших потерь, и многие руководители проектов к этому привыкли и относятся, как к норме. Например, на строительной площадке больше половины времени рабочая сила используется нерационально. Инструменты lean и 5S призваны существенно уменьшать потери в строительстве, техноло-

гии кайдзен и канбан нашли эффективное применение в крупнейших мировых строительных компаниях [15].

Пять S (5S) – это система организации и рационализации рабочего места (рабочего пространства) в lean-производстве, эффективное планирование процессов и др.

Канбан («метка») является инструментом для обработки и обеспечения производства «точно в срок», это один из важных инструментов системы *Toyota*. По существу, канбан – это простая и прямая форма общения, всегда находящаяся там, где это необходимо. В большинстве случаев канбан представляет собой небольшой листок бумаги, вставленный в прямоугольный виниловый конверт. На этом листе бумаги написано, сколько каждой детали нужно убрать или сколько деталей нужно собрать [16].

Кайдзен – японская философия или практика, которая фокусируется на непрерывном совершенствовании процессов производства, разработки, вспомогательных бизнес-процессов и управления, а также всех аспектов жизни⁴.

Например, подрядчик одной из малых российских компаний отмечает⁵, что проведение кайдзен-событий в мастерских привело к экономии на эксплуатации оборудования в размере 3 млн руб.

В поисках оперативности, экономичности и качества при выполнении работ как профессионалы гражданского строительства мы всегда должны быть связаны с новыми технологиями и тенденциями. Однако часто некоторые старые практики могут обеспечить всю необходимую оптимизацию, если они адаптированы для использования в нашей рабочей среде. Методология 5S не всегда применяется в области гражданского строительства, поэтому данное исследование направлено на трактовку данной методологии и других инструментов бережливого строительства, а также на освещение преимуществ применения этих инструментов и методов на строительной площадке.

Содержание понятия 5S

Методика 5S возникла в Японии во второй половине XX в. После Второй мировой войны Япония переживала процесс восстановления и реструктуризации промышленности, направленный на улучшение ее экономики и

⁴Кайдзен [Электронный ресурс] // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki?curid=1489925/> (09.09.2021).

⁵Бережливое строительство – скрытый потенциал Lean-технологий [Электронный ресурс]. URL: https://scmconsult.ru/publishing/insight/functional_analytics/operational_consulting/berezhlivoe-stroitelstvo/ (09.01.2022).

возвращение японской продукции на рынок. Возникла потребность в реорганизации старых предприятий, и появилась методология 5S, созданная Каору Исикава, инженером по контролю качества.

Этот метод стал основой управления качеством и был направлен на поддержание хорошего производственного потока со здоровой и организованной рабочей средой. Несмотря на то, что он был разработан для промышленного сектора, метод был адаптирован и в настоящее время применяется в компаниях в самых различных отраслях промышленности, в том числе в строительстве.

Понятие «5S» включает в себя пять японских слов: сэйри, сейтон, сейсо, сэйкэцу и сицукэ.

Сэйри («использование») обозначает стремление проанализировать использование оборудования и материалов. Если они больше не нужны, их необходимо правильно расположить.

Сейтон («организация») – чувство организации, которое касается хранения и утилизации материалов и оборудования. Таким образом, при более организованной среде повышается производительность труда.

Сейсо, или сёхо («очистка»), – чувство чистоты, проявляющееся двояко: есть гигиеническая сторона, направленная на оздоровление рабочего места, но чувство чистоты также относится к честности и ясности в рабочих отношениях.

Сэйкэцу («стандартизация» и «здоровоохранение») предполагает, что с внедрением методологии 5S устанавливаются новые стандарты как в сфере труда, так и в области охраны здоровья и безопасности работников. Сэйкэцу пытается типизировать эту ситуацию.

Сицукэ («дисциплина») предполагает, что рабочая среда состоит не только из машин и принадлежностей, и необходимо прививать команде чувства дисциплины и готовности следовать созданным руководящим принципам.

Чтобы применить методологию 5S на строительной площадке, следует создать комитет по ее внедрению. Нужно выбрать ответственных за внедрение данной методики в работу – нескольких профессионалов, так как предстоит выполнить много шагов – от анализа текущей ситуации на строительной площадке до практики 5S.

Необходимо принимать множество решений, исходя из разных ситуаций.

Прежде всего, нужно выяснить, кто из членов команды больше всего знаком с организа-

ционным менеджментом, и обучить их этой дисциплине.

Во-вторых, следует оценить «горячие точки» – провести обследование оборудования, материалов и процессов, которые выполняются при реализации проекта. Только так можно определить и оценить, какие моменты являются критическими на строительной площадке, то есть, где больше всего перерасходов, задержек и потерь. С помощью этой оценки можно получить более широкое представление о возникающих проблемах. Таким образом, все измерения, которые будут проводиться, станут более точными и эффективными.

В-третьих, необходимо планировать, работа должна выполняться по заранее разработанному плану. Этот шаг также выполняется при применении методологии 5S на строительной площадке. Таким образом, у каждого из ответственных за внедрение данной методологии есть обязанности и сроки работы, и становится проще предъявлять требования в отношении обязательств и проверять, идет ли реализация в соответствии с планом [17].

В-четвертых, нужно расширить возможности своей команды – организовать обучение и повышение квалификации рабочих до вступления в силу новых правил, что будет являться гарантией их готовности к этим изменениям [18, 19]. Таким образом, рабочие будут технически подготовлены, особенно в отношении здоровья и безопасности.

В-пятых, после того, как вся эта подготовка сделана, нужно фактически внедрить 5S.

Заметим, чтобы гарантировать ожидаемый результат этого процесса, нужно, чтобы все пять факторов были учтены. Поначалу это может быть сложно, однако по мере внедрения этих новых практик эффект от них появляется и усиливается, поскольку их собственное развитие приводит к улучшениям.

Чтобы проверить, какие проблемы можно исправить и правильно ли выполняется работа, всегда следует проводить периодические оценки, анализировать рабочий процесс для выявления точки улучшения в применении рассматриваемой методологии.

Таким образом, при обнаружении проблем любого типа ход работы можно видоизменить, сохранив положительные моменты и исправив возможные недостатки. При проведении этой оценки следует отметить два момента: количественное определение отработанного материала (количество использований материалов) и образование и удаление отходов.

Если количество материалов или ресурсов велико, можно заметить несоответствие рабо-

ты принципам методологии. При большом количестве отходов и неадекватной утилизации ресурсов следует изучить вопросы, связанные с чистотой, дисциплиной и организацией.

Преимущества методологии 5S на строительной площадке:

1. Уменьшение отходов (поиск способов сэкономить) – это практическое правило для всех, кто хочет преуспеть в бизнесе. Применяя 5S, можно выявить перерасход как материалов, так и рабочей силы, и инвестировать только в то, что необходимо.

2. Оптимизация ресурсов. Когда есть организованная, здоровая и функциональная среда, обнаруживается, что уже существующие ресурсы приносят гораздо больше пользы, чем предполагалось. Таким образом, можно производить больше, тратя меньше.

3. Предотвращение несчастных случаев. При обучении профессионалов и улучшении организации и охраны здоровья на строительной площадке вероятность несчастных случаев снижается. Помимо обеспечения здоровья рабочих, повышается производительность труда, устраняются штрафы и судебные иски.

4. Повышение качества конечного продукта. Все действия по внедрению 5S на строительной площадке направлены на то, чтобы извлечь максимум из сотрудников, методов и материалов. Таким образом, можно не только быстро и экономично выполнять работы, но и повышать качество строительства.

5. Методология 5S из-за своего промышленного происхождения все еще находится в стадии разработки в области гражданского строительства. Ее использование может стать для бизнеса отличным способом выделиться. Самое главное – понять и спланировать, как будет применяться методология.

Последний планировщик

Институт бережливого строительства (*Lean Construction Institute (LCI)*) – некоммерческая организация, образованная в 1997 г., которая считается передовой в трансформации промышленной отрасли) предложил один из наиболее важных методов бережливого строительства – LPS (*Last Planner System*, с англ. – «последний планировщик»). LPS – это инновационный инструмент для управления проектами в сфере строительства. Данный метод основан на заинтересованности членов команды выполнять работу в определенные сроки при определенных условиях [20].

LPS – это метод, который организует рабочий процесс и учитывает изменение проекта в ходе строительства. Последним плани-

ровщиком является лицо или группа людей, ответственных за оперативное планирование. LPS можно увидеть на производстве, где отдельные задачи выполняются на операционном уровне, облегчая оптимизацию рабочего процесса и контроль производственного подразделения.

Интеграция нескольких уровней планирования путем приглашения соответствующих заинтересованных сторон на специальные совещания позволяет обеспечить соответствие между тем, что должно быть сделано, что может быть сделано, и тем, что на самом деле будут делать работники на местах [21, 22]. Это метод, основанный на твердых обещаниях и преданности делу.

Кроме того, LPS обеспечивает процесс обучения, основанный на анализе показателя PPC (*Plan Percent Complete* – «процент выполнения плана») – это процент от объема работ, выполненный по факту за некоторый отрезок времени. Метод позволяет анализировать неудачи и корректировать рабочий процесс, то есть вывести показатель в виде процента от принятой ответственности с указанием доли работы, выполненной вовремя, и причин изменения плана.

В строительстве система реализована в виде назначения руководителем заданий бригадам непосредственно на строительной площадке.

Преимущества метода LPS:

- снижение уровня нестабильности процесса – переход к следующей задаче только после выполнения предыдущей (если при прохождении проверки генподрядчик обнаружил неправильно выполненную работу, ответственное лицо может попросить что-либо доработать);

- подготовка условий для эффективного и бесперебойного выполнения работы строительными бригадами;

- еженедельные совещания по согласованию графика работы различных рабочих групп и специалистов;

- мониторинг показателя PPC (либо *Plan Percent Complete* – «процент выполнения плана», либо *Project Plan Completion* – «коэффициент выполнения плана») – это измерение выполнения объема работ (в процентах).

В одной из публикаций Института бережливого строительства за 2001 г. были приведены данные о том, что в текущих проектах с показателем PPC (процент выполнения плана) более 50 % коэффициент производительности достигал 85 %. При этом там, где PPC был ниже отметки 50 %, производительность

возросла всего на 15 %. Почему в качестве критерия был установлен уровень 50 %, не объясняется, но вывод очевиден: чем больше объем уже завершенных работ, тем выше производительность труда строительных бригад⁶.

Последовательность внедрения плана хода работ можно разделить на несколько фаз:

1. Первая фаза – «графики обратной фазы», прогноз на шесть недель вперед в обратном порядке, начиная с главной цели.

2. Вторая фаза – Weekly Work Plan (WWP) – «недельный рабочий план».

3. Третья фаза – Percent Plan Complete (PPC) – «процент выполнения плана». Это базовая мера того, насколько хорошо работает система планирования, она рассчитывается как количество обещаний/действий, выполненных в указанный день, деленное на общее количество обещаний/действий, выполненных/запланированных на неделю.

Последовательность и скорость выполнения плана прогресса зависит от потока работы, а также потенциала и эффективности рабочих групп.

Выполнение плана работ по «краткосрочному графику» является одним из методов бережливого строительства, который улучшает взаимодействие между подрядчиками и руководителями проектов для эффективного выполнения работ на строительной площадке (таблица).

Важная роль инструмента «последний планировщик» состоит в том, чтобы заменить оптимистическое планирование реалистичным, оценивая производительность работников на основе их способности безошибочно выполнять свои обязательства. Цели Last Planner состоят в том, чтобы осуществлять действия путем планирования обратной фазы через групповое планирование и оптимизировать ресурсы в долгосрочной перспективе [4].

От «планирования сверху» к «вытягиванию»
From "planning from above" to "pulling"

Теория строительного потока	Бережливое строительство
Организация работ поточным методом	–
Оптимизация всех работ	Максимизация ценности и минимизация потерь
«Планирование сверху»*	«Вытягивание»** планирования
Определенные нормативами трудозатраты	Учет доступности ресурсов
Принятие решений на верхнем уровне	Децентрализация принятия решений
Централизованные поставки	Поставки «точно в срок»
Контроль исполнения	Доведение работы до конца

Примечания:

*push-планирование – директивный график, разработанный командой проекта, спущенный «сверху» без учета ресурсов подрядчиков и готовности фронта работ;

**pull-планирование – краткосрочный график на 5–6 недель, разрабатываемый совместно ответственными представителями подрядчиков [5].

Результаты и их обсуждение

На строительных площадках могут применяться такие методы, как анализ добавленной/не добавленной стоимости и сопоставление потоков стоимости, выявление и оценка основных видов потерь в полевых условиях, 5S, SMED и канбан.

Остановимся подробнее на таком методе бережливого производства, как SMED (Single-

Minute Exchange of Dies – «быстрая переналадка», т.е. быстрая смена пресс-форм) – это метод сокращения отходов в производственной системе, основанный на обеспечении однозначного времени смены инструмента в минутах. Данная концепция вводит идею о том, что в целом смена рабочего места и инициализация процесса производства должны длиться не более 10 минут (single minute) [23, 24].

⁶Бережливое строительство – скрытый потенциал Lean-технологий [Электронный ресурс]. URL: https://scmconsult.ru/publishing/insight/functional_analytics/operational_consulting/berezhlivoe-stroitelstvo/ (09.01.2022).

Бережливые действия на месте доказали свою эффективность в сокращении различных видов перерасходов (данные приводятся из бразильского исследования бережливого строительства [25]):

- повышение безопасности хода строительства с помощью программ 5S приводит к снижению аварийности и увеличению положительных показателей проверки на 3,4 %;

- повышение качества: улучшение качества стальной балки от 50 до 10 % от скорости дефекта и сокращение времени обработки стальной балки на 37 % с использованием 5S и Just-In-Time delivery («доставка точно в срок»);

- оптимизация надежности доставки строительных материалов (т.е. доработка в связи с материальными проблемами, временем ожидания рабочей силы, поиском материала/оборудования, несколькими периодами обработки), повышение производительности рабочей силы на строительной площадке до 25 минут на человека в день.

Существует определенная стратегия по внедрению программы мероприятий БС. В первую очередь, анализируют основные виды потерь, затем происходит систематизация потока ценности (Value Stream Maps) и начинается разработка инструментов по устранению недостатков в проекте строительства. Существенная роль отводится контролю качества процесса выполнения этих работ (относится к дополнительным услугам). Проведение всех этих мероприятий уже на данной стадии является неоспоримым преимуществом для заказчика.

В настоящее время на каждом этапе строительства активно применяются информационные технологии, что позволяет создать на основе проектно-сметной документации информационные базы данных и построить соответствующую 3D-модель проекта. Использование систем «последний планировщик» и «строительный конвейер» позволяет заказчику управлять строительным производством и достигать поставленных целей в намеченный срок при эффективном использовании ресурсов и минимальных затратах.

Для ежедневных задач используют систему KPI (Key Performance Indicators – с англ. «ключевые показатели эффективности») для оценки эффективности каждого участника компании, решение рабочих вопросов происходит максимально быстро. Также осуществляется процесс непрерывного совершенство-

вания с использованием бенчмаркинга (benchmarking – с англ. «эталонное оценивание») – сопоставительного анализа на основе эталонных показателей как процесса определения, понимания и адаптации имеющихся примеров эффективного функционирования предприятия с целью улучшения собственной работы⁷. Всё это дает возможность проекту выйти на международный уровень и соответствовать мировым показателям качества. Использование концепции «точно в срок» (Just In Time) оптимизирует процесс движения строительных материалов, а внедрение ежедневной отчетности в формате АЗ позволяет эффективно выстраивать коммуникации с участниками проекта с использованием передовых технологий [23].

Заключение

В данной работе подробно исследована концепция бережливого строительства (Lean construction). БС является результатом применения новой формы управления строительным производством. Эта японская философия управления выгодна для промышленности, поскольку сводит к минимуму потери и повышает производительность.

К существенным особенностям бережливого строительства относится четкий набор задач, правильное распределение строительных материалов и устранение отходов на строительной площадке, мероприятия по снижению сроков и затрат на этапе проектирования и строительства, эффективная коммуникация с участниками процесса строительства в целях непрерывного совершенствования деятельности.

При этом для повышения производительности работ в проектировании используются современные визуальные средства, такие как виртуальное проектирование и строительство (virtual design and construction – VDC) и BIM-модель, что помогает заказчику и всем участникам составить представление о проекте.

Технология информационного моделирования (BIM) на основе БС может применяться в проектировании, строительстве и управлении проектом на протяжении всего жизненного цикла строительных объектов.

Также в работе было рассмотрено применение бережливых инструментов и методов проектными группами для минимизации и устранения потерь. При использовании системы 5S повышается производительность и безопасность в период строительства.

⁷Бенчмаркинг [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бенчмаркинг> (22.11.2021).

Можно заключить, что внедрение технологий БС и BIM-моделирования значительно

экономит средства как для отрасли, так и для общества.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Nagarjuna Y. Analysis of lean construction by using last planner system. URL: https://www.academia.edu/8753126/Analysis_of_Lean_Construction_by_Using_Last_Planner_System_AnalysisofLeanConstructionbyUsingLastPlannerSystem_CONTENTS (09.01.2022).
2. Mowade K., Shelar K. Lean Construction // *International Journal of Scientific Engineering and Science*. 2017. Vol. 1. Iss. 11. p. 70-74.
3. Shirgar N. A. H., Yadav N. B. Overview of Lean Concept in Construction Industry // *GRD Journals, Global Research and Development Journal for Engineering, Emerging Research and Innovations in Civil Engineering (ERICE - 2019)*. 2019. p. 11-14.
4. Ballard G., Tommelein I., Koskela L., Howell G. Lean construction tools and techniques // *Design and Construction*. 2002. p. 227-255.
5. Нечаева И. М. Внедрение инструментов и методов бережливого строительства [Электронный ресурс]. М., 2014. URL: <https://www.hse.ru/data/2014/07/07/1312102788/Нечаева%20И.М.%20Внедрение%20инструментов%20и%20методов%20бережливого%20строительства.pdf> (09.01.2022).
6. Пакидов О. Российское бережливое строительство (Russian Lean Construction) [Электронный ресурс]. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15284&compagne=1 (09.01.2022).
7. Latorre U. A., Sanz C., Sánchez B. Application of lean-BIM model to improve design building phase's productivity // *Informes de la construcción*. 2019. Vol. 71 (556). p. 1-9.
8. Sepasgozar S. M. E., Hui F. K. P., Shirozhan S., Foroozanfar M., Yang L., Aye L. Lean practices using building information modeling (BIM) and digital twinning for sustainable construction // *Sustainability (Switzerland)*. 2021. Vol. 13 (1). p. 161. <https://doi.org/10.3390/su13010161>.
9. Evans M., Farrell P., Zewein W., Mashali A. Analysis framework for the interactions between building information modelling (BIM) and lean construction on construction mega-projects // *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021. Vol. 19. No. 6. p. 1451-1471. <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2020-0328>.
10. Gómez-Sánchez J. M., Ponz-Tienda J. L., Romero-Cortés J. P. Lean and BIM Implementation in Colombia: Interactions and Lessons Learned // *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, 2019. p. 1117-1128. <https://doi.org/10.24928/2019/0150>.
11. Кузнецова Е. В., Попов Д. А. Внедрение инновационных методов управления строительством // *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: мат-лы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием) (Оренбург, 23–25 января 2020 года)*. Оренбург, 2020. С. 255–259.
12. Huang X. Application of BIM Big Data in Construction Engineering Cost // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1865. p. 32016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1865/3/032016>.
13. Mahmood A., Abrishami S. BIM for lean building surveying services // *Construction Innovation*. 2020. Vol. 20 (3). p. 447-470. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0131>.
14. Постнов К. В., Степин П. А. Концепция бережливого производства как эффективный метод рационального использования производственных ресурсов строительных организаций // *Научное обозрение*. 2017. № 6. С. 144–148.
15. Daniel E. I., Pasquire C., Dickens G. Exploring the implementation of the Last Planner® System through IGLC community: twenty one years of experience // *Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction (Perth, Australia, July 29-31 2015)*. Perth, 2015. p. 153-162.
16. Тайити Оно. Производственная система Тойоты: уходя от массового производства: пер. с англ. М.: Изд-во ИКСИ, 2008. 208 с.
17. Choo H. J., Tommelein I. D. Work Move Plan: database for distributed planning and coordination // *Proceedings 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-8)*, 17–19 July, Brighton, UK. 2000. URL: www.sussex.ac.uk/spru/imichair/iglc8/08.pdf (09.01.2022).
18. Shirazi B., Langford D., Rowlinson S. Organizational structures in the construction industry // *Construction Management and Economics*. 1996. Vol. 14 (3). p. 199-212.
19. Быстрая переналадка для рабочих: пер. с англ. / под ред. В. Болтрукевича. М.: Изд-во ИКСИ, 2009. 103 с.
20. Ballard G., Howell G. A., Tommelein I. D., Zabelle T. The Last Planner Production System Workbook / *Lean Construction Institute*. San Francisco, California, 2007. 81 p.
21. Akel N. G., Boyers J. C., Tommelein I. D., Walsh K. D., Hershauer J. C. Considerations for

streamlining a vertically integrated company: a case study // Proceedings 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-9, Singapore, 6 – 8th August 2001). Singapore: National University of Singapore, 2001. p. 1-16.

22. Sbiti M., Beddier K., Beladjine D., Perrault R., Mazari B. Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations // Buildings. 2021. Vol. 11. p. 196. <https://doi.org/10.3390/buildings11050196>.

23. Будзуляк Б. В., Апостолов А. А., Селезнев Н. Ф., Моисеев Л. П., Егоров В. С. Береж-

ливое строительство – стратегическое направление развития отрасли // Газовая промышленность. 2014. № 11. С. 10–14.

24. Alves T. da C. L., Milberg C., Kenneth D. W. Exploring lean construction practices, research, and education // Proceedings IGLC-18, July 2010, Technion, Haifa, Israel. Haifa, 2010. p. 435-444.

25. Silva R. R. L. da. Construção Predial Lean – Mapeamento da Cadaia de Valor das Estruturas Metálicas / Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. 189 p.

REFERENCES

1. Nagarjuna Y. Analysis of lean construction by using last planner system. URL: https://www.academia.edu/8753126/Analysis_of_Lean_Construction_by_Using_Last_Planner_System_AnalysisofLeanConstructionbyUsingLastPlannerSystem_CONTENTS [Accessed 09 January 2022].

2. Mowade K, Shelar K. Lean Construction. *International Journal of Scientific Engineering and Science*. 2017;1(11):70-74.

3. Shirgar NAH, Yadav NB. Overview of Lean Concept in Construction Industry. *GRD Journals, Global Research and Development Journal for Engineering, Emerging Research and Innovations in Civil Engineering* (ERICE - 2019). 2019. p. 11-14.

4. Ballard G, Tommelein I, Koskela L, Howell G. Lean construction tools and techniques. *Design and Construction*. 2002. p. 227-255.

5. Nechaeva IM. Implementation of tools and methods of lean construction. Moscow, 2014. Available from: <https://www.hse.ru/data/2014/07/07/1312102788/Нечаева%20И.М.%20Внедрение%20инструментов%20и%20методов%20бережливого%20строительства.pdf> [Accessed 09 January 2022].

6. Pakidov O. Russian Lean Construction. Available from: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15284&compag=1 [Accessed 09 January 2022].

7. Latorre UA, Sanz C, Sánchez B. Application of lean-BIM model to improve design building phase's productivity. *Informes de la construcción*. 2019;71(556):1-9.

8. Sepasgozar SME, Hui FKP, Shirowzhan S, Foroozanfar M, Yang L, Aye L. Lean practices using building information modeling (Bim) and digital twinning for sustainable construction. *Sustainability* (Switzerland). 2021;13(1):161. <https://doi.org/10.3390/su13010161>.

9. Evans M, Farrell P, Zewein W, Mashali A. Analysis framework for the interactions between building information modelling (BIM) and lean construction on construction mega-projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*. 2021;19(6):1451-1471.

<https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2020-0328>.

10. Gómez-Sánchez JM, Ponz-Tienda JL, Romero-Cortés JP. Lean and BIM Implementation in Colombia: Interactions and Lessons Learned. *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, 2019. p. 1117-1128. <https://doi.org/10.24928/2019/0150>.

11. Kuznetsova EV, Popov DA. Implementation of innovative construction management methods. *Universitetskii kompleks kak regional'nyi tsentr obrazovaniya, nauki i kul'tury: materialy Vserossiiskoi nauchno-metodicheskoi konfe-rentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* (Orenburg, 23–25th January 2020). Orenburg, 2020. p. 255–259. (In Russ.).

12. Huang X. Application of BIM Big Data in Construction Engineering Cost. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1865:32016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1865/3/032016>.

13. Mahmood A, Abrishami S. BIM for lean building surveying services. *Construction Innovation*. 2020;20(3):447-470. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0131>.

14. Postnov KV, Stepin PA. Concept of lean production as an efficient method of production resources smart use on construction organizations. *Nauchnoe obozrenie*. 2017;6:144-148. (In Russ.).

15. Daniel EI, Pasquire C, Dickens G. Exploring the implementation of the Last Planner® System through IGLC community: twenty one years of experience. *Proc. 23rd Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction* (Perth, Australia, July 29-31 2015). Perth, 2015. p. 153-162.

16. Taiichi Ohno. Toyota Production system: Beyond Large Scale Production. Moscow: IKS, 2008. 208 p. (In Russ.).
17. Choo HJ, Tommelein ID. Work Move Plan: database for distributed planning and coordination // Proceedings 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC-8), 17–19 July, Brighton, UK. 2000. URL: www.sussex.ac.uk/spru/imichair/iglc8/08.pdf [Accessed 09 January 2022].
18. Shirazi B, Langford D, Rowlinson S. Organizational structures in the construction industry. *Construction Management and Economics*. 1996;14(3):199-212.
19. Quick changeover for operators: the SMED system. Moscow: IKS, 2009. 103 p. (In Russ.).
20. Ballard G, Howell GA, Tommelein ID, Zabelle T. The Last Planner Production System. San Francisco, California, 2007. 81 p.
21. Akeel NG, Boyers JC, Tommelein ID, Walsh KD, Hershauer JC. Considerations for streamlining a vertically integrated company: a case study. *Proceedings 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* (IGLC-9, Singapore, 6 – 8th August 2001). Singapore: National University of Singapore; 2001. p. 1-16.
22. Sbiti M, Beddier K, Beladjine D, Perrault R, Mazari B. Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations. *Buildings*. 2021. Vol. 11. p. 196. <https://doi.org/10.3390/buildings11050196>.
23. Budzulyak BV, Apostolov AA, Seleznev NF, Moiseev LP, Egorov VS. Lean construction approach: Strategic development practices. *Gazovaya promyshlennost'*. 2014;11:10-14. (In Russ.).
24. Alves T da CL, Milberg C, Kenneth DW. Exploring lean construction practices, research, and education. *Proceedings IGLC-18*, July 2010, Technion, Haifa, Israel. Haifa, 2010. p. 435-444.
25. Silva RRL da. Construção Predial Lean – Mapeamento da Cadaia de Valor das Estruturas Metálicas. Rio de Janeiro, 2005. 189 p.

Информация об авторах

Л. Т. Гевара Рада,
аспирант кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: tatis.guevara92@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1052-2895>

В. В. Пешков,
доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой экспертизы
и управления недвижимостью,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: pvv@istu.edu
<http://orcid.org/0000-0001-7999-0999>

В. И. Мартьянов,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры автомобильных дорог,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: martvliv@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2659-0355>

Information about the authors

Leydy T. Guevara Rada,
Graduate Student of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: tatis.guevara92@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1052-2895>

Vitaliy V. Peshkov,
Dr. Sci. (Econ.), Professor,
Head of the Department of Expertise
and Real Estate Management,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: pvv@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-7999-0999>

Vladimir I. Mart'yanov,
Dr. Sci. (Phys. – Math.),
Professor of the Department of Highways,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: martvliv@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2659-0355>

Е. А. Радионова,
аспирант кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: katya.love10@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0073-7892>

Ф. Г. Бужеева,
аспирант кафедры
строительного производства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: buzheevaf@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-9618-7623>

Е. В. Сайбаталова,
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: sayb@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5220-5030>

Katerina A. Radionova,
Graduate Student of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: katya.love10@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0073-7892>

Faina G. Buzheeva,
Graduate Student of the Department
of Construction Production,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: buzheevaf@istu.edu
<https://orcid.org/0000-0001-9618-7623>

Elena V. Saibatalova,
Master's Degree Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: sayb@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5220-5030>

Вклад авторов

Гевара Рада Л. Т., Пешков В. В.,
Мартыанов В. И., Радионова Е. А.,
Бужеева Ф. Г., Сайбаталова Е. В. имеют рав-
ные авторские права. Гевара Рада Л. Т. несет
ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Guevara Rada L. T., Peshkov V. V.,
Mart'yanov V. I., Radionova E. A.,
Buzheeva F. G., Saibatalova E. V. have equal
author's rights. Guevara Rada L. T. bears the
responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022.
Одобрена после рецензирования 08.02.2022.
Принята к публикации 09.02.2022.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

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

The article was submitted 10.01.2022.
Approved after reviewing 08.02.2022.
Accepted for publication 09.02.2022.