

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 1. С. 180–193.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (1): 180–193.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.05

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-180-193

EDN: SRJTJS

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИНТЕГРАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И БЕРЕЖЛИВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Константин Михайлович Крюков

*Донской государственный технический университет,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Технические требования к инвестиционно-строительным проектам возрастают, а распределение работ между многочисленными участниками сильно фрагментировано. Это приводит к тому, что строительные проекты выполняются с ненадежными графиками, перерасходом средств и дефектами, возникающими из-за отсутствия координации на строительной площадке. Бережливое управление строительством и информационное моделирование зданий являются возможными решениями этих проблем. Концептуальный анализ бережливого строительства и информационного моделирования зданий указывает на значительную синергию между ними, но они часто считаются отдельными технологиями и дают лишь частичные преимущества при самостоятельном применении.

Цель исследования заключается в разработке практических методов использования технологии 4D-моделирования в совокупности с методами бережливого строительства для уменьшения непроизводственных потерь и сокращения сроков строительства объектов.

Тематические исследования показали, что применение технологии информационного моделирования с бережливymi практиками на этапе строительства повышает эффективность планирования. Данный подход обеспечивает четкую визуализацию состояния работ на 3D-модели, а также объединяет несколько источников информации для создания по-настоящему интегрированной системы. Показано, как совместные методы бережливого производства и технологии информационного моделирования могут быть интегрированы на практике.

Ключевые слова: бережливое строительство, технология информационного моделирования, 4D-моделирование, Канбан, календарное планирование

Для цитирования: Крюков К.М. Практический подход к интеграции технологии информационного моделирования и бережливого строительства // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 1. С. 180–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-180-193. EDN: SRJTJS

ORIGINAL ARTICLE

PRACTICAL APPROACH TO INTEGRATION OF BUILDING INFORMATION MODELING AND LEAN CONSTRUCTION

Konstantin M. Kryukov

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. Technical requirements for investment and construction projects are increasing, and work distribution among numerous participants is highly fragmented. This results in construction projects carried out with unreliable schedules, cost overruns and defects arising from the lack of coordination on the construction site. Lean construction management and building information modeling are possible solutions to these problems. The conceptual analysis of lean construction and building information modeling points to significant synergies between them, but they are often considered separate technologies and provide only partial benefits when applied independently.

Purpose: The development of practical methods of using 4D modelling together with lean construction methods to reduce non-productive losses and construction time.

Research findings: Case studies show that the use of building information modeling with lean construction improves the planning efficiency. This approach provides a clear visualization of the work status on a 3D model and combines multiple sources of information to create a truly integrated system. The paper presents how a combination of lean construction and building information modeling can be applied in practice.

Keywords: lean construction, building information modeling, 4D BIM, Kanban, scheduling

For citation: Kryukov K.M. Practical Approach to Integration of Building Information Modeling and Lean Construction. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (1): 180–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-1-180-193. EDN: SRJTJS

Введение

Инвестиционно-строительные проекты становятся все более сложными в реализации из-за более жестких сроков выполнения, роста стоимости и требований к качеству, а также постоянных изменений в процессе исполнения. Основные проблемы, препятствующие завершению строительных проектов в срок с надлежащим качеством и в пределах бюджета, включают следующие аспекты:

- Отсутствие применения технологии информационного моделирования (BIM). Согласно исследованиям, информационное моделирование зданий на стадии проектирования сокращает временные затраты при реализации инвестиционно-строительного проекта [1].

- Основой для расчета календарных планов строительства являются структура и объемы работ, определяемые вручную. С помощью таблиц Excel

рассчитываются нормы времени и продолжительность работ, что повышает риск возникновения ошибок. Кроме того, применяемые нормативы могут меняться в связи с внедрением современных технологий. Ошибки при определении объемов работ также приводят к согласованию большого количества дополнительных документов [2, 3].

– Неоперативный и неэффективный обмен данными между участниками проекта обусловлен отсутствием среды общих данных, что приводит к потерям времени. Недостаточная оперативность передачи информации между участниками проекта связана с тем, что исполнительная документация по проекту передается различными способами – через электронную почту, социальные сети, мессенджеры. Это приводит к утрате документов или созданию устаревших копий на компьютерах различных организаций [3].

– Потери времени возникают при выборе подрядчиков и составлении первоначальной ведомости объемов работ по объекту, которую подрядчики должны заполнить [2].

– Несогласованность действий. В процессе строительства возникают постоянные изменения проектных решений, которые влекут за собой изменение состава и объемов работ, а также сроков выполнения. Инициаторами таких изменений могут выступать как руководители проекта, так и субподрядчики. Однако не все участники проекта своевременно получают информацию об изменениях, что увеличивает сроки и затраты проекта [4].

Эти и другие проблемы приводят к увеличению сроков строительства и несвоевременному вводу объектов в эксплуатацию. Таким образом, необходимо усовершенствование системы управления сроками строительства объекта, а также координация различных действий на строительной площадке.

Гипотеза – интеграция технологии информационного моделирования на этапе 4D-моделирования с методами бережливого строительства позволит повысить эффективность строительного процесса. Представляется, что технология информационного моделирования способствует повышению достоверности информации, а бережливое строительство повышает надежность процессов управления информацией. Хотя эти технологии не зависят друг от друга, их интеграция на практике может обеспечить большие выгоды и преимущества по сравнению с их отдельным использованием [5].

Целью исследования является разработка практических методов применения технологии 4D-моделирования совместно с принципами бережливого строительства для снижения непроизводительных потерь и сокращения сроков возведения объектов.

Результаты исследования

Технология информационного моделирования

Информационная модель объекта капитального строительства – совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации

и (или) сноса объекта капитального строительства¹. Технологию информационного моделирования можно определить как метод визуализации проекта и его пространств, конструкций, компонентов и материалов с их существенной информацией и свойствами [6]. Технологию информационного моделирования также можно понимать как набор технологий, процессов и политик, позволяющих нескольким заинтересованным сторонам совместно проектировать, строить и эксплуатировать объект в виртуальном пространстве [7].

Применение технологии информационного моделирования для проектирования и планирования строительных проектов включает 3D-модель объекта, 4D-планирование, оценку стоимости, анализ информационной модели местности, визуализацию проекта, инженерный анализ и др.

Технология 4D-моделирования включает в себя интеграцию временной составляющей в 3D-модель объекта. Тем самым создается пространственно-временная цифровая модель объекта, позволяющая визуализировать процесс строительства объекта. 4D-моделирование позволяет всем участникам инвестиционно-строительного проекта отслеживать ход строительства на цифровом двойнике строительства объекта в реальном времени, что помогает понимать текущую ситуацию и своевременно принимать управленческие решения.

Формирование 4D-моделей может осуществляться ручным способом путем передачи необходимой информации; на основе цифровой модели путем связывания 3D-элементов с работами календарно-сетевого графика; цифровая модель объекта капитального строительства импортируется в среду программного обеспечения 4D-моделирования [8]. В любом случае важной задачей является структурная декомпозиция работ. В первом и втором вариантах практически невозможно довести детализацию работ до уровня элементарных операций из-за их огромного количества. В процессе строительства информация будет непрерывно обновляться, и, соответственно, невозможно постоянно, практически вручную осуществлять корректировку.

Основная цель технологии информационного моделирования – управление всеми данными, связанными с проектом, в цифровом двойнике объекта. Основные допущения традиционной модели управления включают следующее:

- подход «сверху-вниз» к управлению основными этапами;
- приоритетность мероприятий определяется руководителем проекта (строительства);
- подрядчикам известен план производства работ;
- работы можно точно спланировать;
- работы начинаются и заканчиваются согласно плану.

К сожалению, большинство из этих предположений обычно не реализуются. Технология 4D-моделирования способна предоставить целый ряд преимуществ, таких как улучшение понимания посредством визуализации структурных организационно-технологических связей и объектно-ориентированного моделирования графика работ. Однако если система управления остается традиционной, то даже поддержка 4D-модели не сможет обеспечить реальную выгоду проекту. Среди основных проблем можно выделить:

¹ Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.05.2024).

– Отсутствие у подрядных организаций специализированного программного обеспечения для календарного планирования. В основном календарные планы составляются в Excel, который изначально не предназначен для решения подобных задач. Пример фрагмента календарного плана на подготовительный период, разработанный в Excel, представлен на рис. 1.

№	Наименования работ	ГД, км.	Показатели проектные	Продолжительность работ в календарных днях	Начало работ	Окончание работ	июль				август				сентябрь				октябрь				ноябрь				декабрь			
							1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Подготовка территории строительства			202	08.06.2023	26.12.2023																								
1	Подготовительные работы (внесение осей, разбивка пунктов)	комплекс	1	95	08.06.2023	31.08.2023																								
2	Снос и комплексная посадка зеленых насаждений	комплекс	1	93	25.09.2023	26.12.2023																								
3	Прокладка сетей электроснабжения	комплекс	1	94	18.09.2023	26.12.2023																								
4	Прокладка сетей связи	комплекс	1	47	05.10.2023	26.12.2023																								
5	Прокладка сетей водоснабжения	комплекс	1	49	01.10.2023	18.11.2023																								
6	Прокладка сетей водоотведения	комплекс	1	55	25.09.2023	18.11.2023																								
	Основные объекты строительства			207	01.06.2023	26.12.2023																								

Рис. 1. Фрагмент календарного плана на подготовительный период
Fig. 1. Fragment of calendar plan for the preparatory period

– Отсутствие подхода к формированию структурной декомпозиции работ. При разработке сметной документации используются сборники единичных расценок с максимальной расшифровкой всех работ. В календарном плане работы сгруппированы по этапам, видам, комплексам. Данную группировку каждый подрядчик формирует самостоятельно. Отсутствует единый классификатор, который позволил бы сопоставить и синхронизировать данные цифровой модели и временные параметры проекта.

– Программное обеспечение, которое используется для разработки 4D-моделирования, не позволяет программными средствами группировать работы в виде, который необходим для подрядных организаций. Цифровая модель объекта формируется проектной организацией на стадии разработки проекта. Элементы 3D-модели, которые используются на стадии проектной документации для формирования календарного плана строительства, отличаются от элементов модели, которые используются при формировании календарного плана производства работ на стадии рабочей документации. Работы в календарном плане строительства сгруппированы укрупненно. Однако при производстве работ необходимо учитывать поточные методы производства работ, которые зависят от технологических возможностей подрядных организаций. Соответственно календарный план составляется разово, процесса планирования не происходит, план не используется для контроля хода реализации проекта, т. к. каждый раз это требует выполнения корректирующих действий по актуализации графика и группировке элементов (рис. 2).



Рис. 2. Календарный план строительства объекта
Fig. 2. Construction schedule of the object

Бережливое строительство

Для решения временных задач в строительстве предлагается применять методы бережливого производства. Основная концепция бережливого строительства заключается в определении, сокращении или ликвидации любых видов деятельности, которые не связаны с созданием добавочной стоимости. Такая деятельность может быть определена как потери, которые увеличивают затраты и сроки строительства. В различных научных источниках описаны инструменты бережливого производства, обладающие специфическими преимуществами для решения конкретных задач предприятия [9]. К таким техникам и инструментам можно отнести: Pull kanban system; The 5S process; Kaizen; Total Quality Management (TQM); Just in Time (JIT); Error Proofing (Poka-yoke); Total Productive maintenance (TPM); Last Planner System; Value Stream Mapping (VSM); Standardized Work; increased visualization; Fail Safe for Quality and Safety; Daily Huddle Meetings; First run studies; The Five Why's; Plan of Conditions and Work Environment in the Construction Industry (PCMAT); Concurrent Engineering; Target value design (TVD); Partnering; Computer Aided Design (CAD); Six Sigma [10].

В целях поддержки российских предприятий на федеральном уровне реализуется национальный проект «Производительность труда», направленный на повышение эффективности работы предприятий. Одним из направлений данного проекта является бережливое производство. Приоритетом для национального проекта являются предприятия несырьевых секторов экономики, в числе которых строительство, транспорт, обрабатывающая промышленность, сельское хозяйство, торговля и туризм. Общее число предприятий строительного сектора народного хозяйства составляет 361 735 (или 30 % от общего количества предприятий). Однако доля строительных предприятий по данному национальному проекту составила только лишь 6 % от общего числа участвующих организаций². Как показывает практика уже реализованных проектов, использование методов бережливого производства способствует в основном увеличению объемов производства и сокращению сроков выполнения заказов². Эти критерии являются жизненно важными для строительной отрасли.

В терминах национального проекта бережливое производство – это концепция управления производством и предприятием в целом, основанная на системе непрерывного совершенствования процессов и постоянном стремлении к устранению всех видов потерь в потоке создания ценности для клиента³. Бережливое строительство можно определить как усилия по принятию и применению принципов, инструментов и методов бережливого производства в контексте строительства.

В настоящем исследовании для решения поставленных задач использовалась технология Канбан, которая дополняет нереализованные возможности 4D-моделирования. Необходимость применения именно Канбан-системы обусловлена двумя ее основными принципами – визуализацией работ и возможностью управления потоком задач на уровне строительной площадки. Канбан

² Производительность труда. 2024. II квартал. № 21. 32 с. URL: https://storage.cloud.croc.ru/fcc/portal/media/journal/issues/Журнал_20_2_квартал_2024_года.pdf

³ URL: <https://xn--b1aedfedwqdbfnzkf0oe.xn--p1ai/national-project/glossary/>

отображает, какие работы должны быть выполнены, какие находятся в процессе выполнения, а какие уже завершены. При этом основное внимание уделяется работам, которые не были выполнены в соответствии с календарным графиком. Ответственные лица имеют возможность визуально отслеживать выполнение данных работ до их завершения. Наглядность позволяет определить, в какой стадии находится решение задачи.

Основным элементом системы Канбан является канбан-доска, используемая в качестве инструмента визуализации и оптимизации производства работ [11]. Это доска с колонками и карточками, которая может быть физической и цифровой. На карточках отражаются работы, а колонки представляют собой их статусы. На канбан-доске может быть любое количество колонок, но для решения поставленных задач предлагается три этапа: «Запланировано», «В работе» и «Готово». По мере изменения статуса работы карточка перемещается в соответствующую колонку, пока не достигнет столбца с завершёнными задачами. Карточки Канбан содержат наглядную информацию о работах, ответственных лицах и сроках выполнения. На виртуальных досках Канбан может быть добавлена дополнительная информация, помогающая лучше управлять процессом (фото, акты, техническая документация и др.).

Предлагаемый практический подход

Интеграция технологии информационного моделирования и принципов бережливого строительства на стадиях планирования и выполнения строительно-монтажных работ сочетает в себе подход планирования «сверху-вниз» с совместной оценкой вариативности выполняемых работ «снизу-вверх». Результатом являются более реалистичные графики, основанные на практическом опыте [12].

Поскольку планированием и контролем должны управлять руководители разных уровней, необходимо установить иерархическую структуру работ для каждого уровня. Предлагается структурировать календарный план производства работ на несколько уровней. На стратегическом уровне планирование и контроль выполнения осуществляются по ключевым этапам строительства объекта. Этот уровень ориентирован на высшее руководство участников инвестиционно-строительного проекта. С использованием 4D-моделирования руководители могут визуально отслеживать на цифровой модели объекта капитального строительства ход выполнения работ.

На среднем уровне ежемесячного планирования необходима детализация по видам работ по исполнителям: генподрядчикам и субподрядчикам. В данный процесс должны быть вовлечены специалисты производственно-технических отделов подрядчика. Контроль выполнения планов осуществляется на уровне руководителей среднего звена подрядных организаций. На данном этапе производится корректировка планов в 4D в соответствии с информацией, поступившей со строительной площадки.

На низшем уровне управления на строительной площадке 4D-моделирование теряет свою эффективность. Причин может быть несколько: сложность детального структурирования календарного плана производства работ, отсутствие соответствующего программного обеспечения, дефицит времени и ре-

сурсов для ежедневной корректировки графиков работ и т. п. [13]. Поэтому на уровне строительной площадки предлагается реализовать методы Канбан. Полученные данные затем могут быть переданы на средний уровень (например, производственно-технический отдел) для дальнейшей корректировки планов и принятия управленческих решений.

Предлагаемый алгоритм действий представлен на рис. 3.



Рис. 3. Алгоритм внедрения технологий информационного моделирования и инструментов системы бережливого строительства Канбан

Fig. 3. Algorithm of implementation of information modeling and tools of Kanban lean construction system

1. В процессе разработки проектной документации формируется цифровая модель объекта капитального строительства в 3D. На рис. 4 представлен фрагмент цифровой модели каркасно-монолитного жилого дома.

2. В соответствии с цифровой 3D-моделью разрабатывается календарный план производства работ в виде 4D-модели, в котором структурная иерархия работ должна предусматривать несколько уровней мониторинга процесса строительства. Первоначально на стадии разработки проектной документации в составе раздела «Проект организации строительства» происходит укрупненное планирование строительства объекта проектной организацией. В дальнейшем на стадии проекта производства работ календарный план детализируется на основе разработанной цифровой 3D-модели. Применение среды общих данных при проектировании обеспечивает централизованное хранение информации, содержащейся в регулярно обновляемой строительной цифровой модели.

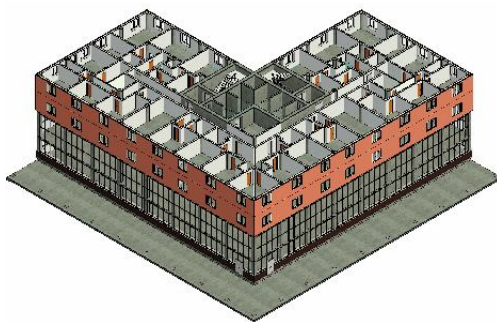


Рис. 4. Фрагмент цифровой модели объекта
Fig. 4. Fragment of the digital model of the object

Наибольшее распространение в проектных организациях при создании 3D-модели получил программный комплекс Autodesk Revit (58,8 % от общего количества использующих технологию информационного моделирования по данным портала ерз.рф). На основе модели, разработанной с помощью данного программного обеспечения, в Autodesk Navisworks можно создать 4D-модель строительства объекта, сгруппировав все работы по этапам календарного плана. После выполнения организационно-технологической увязки этапов строительства формируется визуализация всего строительного процесса. Полученный календарный план может применяться для реализации целей 4D-моделирования на высоком уровне, включая заказчиков, менеджеров проектов.

3. В соответствии с разработанной 4D-моделью для производства элементарных работ создается график производства работ на строительной площадке (рис. 5).

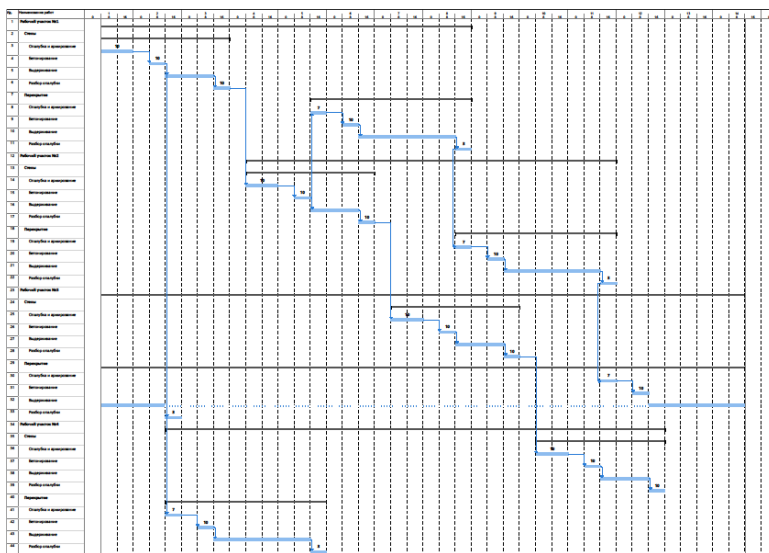


Рис. 5. График производства монолитных работ по объекту
Fig. 5. Schedule of monolithic works

4. В целях контроля и выполнения запланированных работ применяются инструменты бережливого строительства системы Канбан. На строительной площадке подготавливается канбан-доска. На основании недельно-суточного планирования подрядные организации ежедневно отражают информацию о ходе строительных работ на доске планирования. Каждая элементарная или составная работа связана с цифровой моделью с помощью соответствующего элемента. Записи данных, полученные в процессе планирования, передаются на строительную площадку, в том числе в виде канбан-карточек. Каждая такая карточка – это ежедневная цель для работы исполнителя на объекте. В них отображаются сведения о начале и окончании работ, идентификатор в соответствии с цифровой моделью, а также процент выполнения работы. Изначально канбан-карточки представляют собой физические листы. Со временем, по мере внедрения цифровых технологий в организацию, они могут стать электронными.

Такой подход облегчает оперативное управление и контроль выполнения работ. Регулярное обновление статуса текущих процессов и действий позволяет своевременно выявлять проблемы и ограничения, определяя ключевые показатели эффективности. На рис. 6 приведены распечатанные канбан-карточки, которые связывают цифровой двойник с реальным объектом.

Запланировано	Выполняется	Завершено
Наименование работ: Разбор опалубки стен на 1 участке Идентификатор BIM-модели 75E89700-2956-EF1 Начало: 11.08.24 Окончание: 12.08.24 Длительность: 0,5 дней % завершения: 0%	Наименование работ: Выдерживание бетона стен на 1 участке Идентификатор BIM-модели 485638AA-2956-EF Начало: 10.08.24 Окончание: 11.08.24 Длительность: 1,5 дней % завершения: 50%	Наименование работ: Опалубка и армирование стен на 1 участке Идентификатор BIM-модели 9F990E94-2956-EF Начало: 09.08.24 Окончание: 10.08.24 Длительность: 1 день % завершения: 100%
Наименование работ: Опалубка и армирование стен на 2 участке Идентификатор BIM-модели EF9E595F-3256-EF Начало: 12.08.24 Окончание: 13.08.24 Длительность: 1 день % завершения: 0%	Наименование работ: Выдерживание Идентификатор BIM-модели 2E003957-3756-EF1 Начало: 09.08.24 Окончание: 22.08.24 Длительность: 5 дней % завершения: 25%	Наименование работ: Бетонирование стен на 1 участке Идентификатор BIM-модели A1900E94-2956-EF Начало: 10.08.24 Окончание: 10.08.24 Длительность: 0,5 дней % завершения: 100%
Наименование работ: Бетонирование стен на 2 участке Идентификатор BIM-модели EF9E595F-3256-EF1 Начало: 13.08.24 Окончание: 13.08.24 Длительность: 0,5 дней % завершения: 0%		

Рис. 6. Фрагмент доски Канбан
Fig. 6. Kanban board fragment

Запланированные к выполнению работы выбираются в 3D-модели с помощью идентификатора цифрового двойника. В результате выбора отображается цветовое кодирование. На рис. 7 показано, как элементы, выбранные в рамках 3D-модели, отображаются цветом. Участники проекта делают выбор вручную на основе планирования процесса.

В соответствии с процедурами системы Канбан проводятся ежедневные совещания, целью которых является анализ причин отклонений от запланированных показателей. Поскольку в карточках представлены цели на один день, информация о ходе строительства обновляется ежедневно. Это позволяет своевременно вносить коррективы и улучшения в процесс строительства. На основании карточек Канбан, работы по которым были начаты или завершены, обновляется информация в системе управления данными. Таким образом, происходит обнов-

ление текущего статуса и хода выполнения работ. Заполненные карточки подлежат проверке во время ежедневного контроля, что обеспечивает достоверность и актуальность наборов данных перед выполнением дальнейших операций.

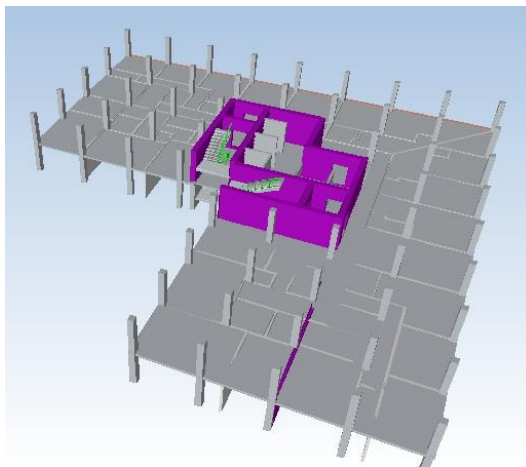


Рис. 7. Отображение планируемых к выполнению элементов цифровой модели объекта
Fig. 7. Digital model elements of object for implementation

5. Обновление 3D-модели дает возможность визуализировать задачи, которые были начаты, выполняются или уже завершены. Это позволяет в режиме реального времени на цифровом двойнике объекта строительства выявлять допущенные отклонения от плана производства работ. Визуализация процесса строительства способствует внедрению системы систематического улучшения и повышению производительности работ по проекту. На рис. 8 показано взаимодействие между 3D-моделью цифрового двойника и реальной строительной площадкой, которое в основном обеспечивается с помощью карточек Канбан. Цветами выделены работы, которые были выполнены за определенный период времени.

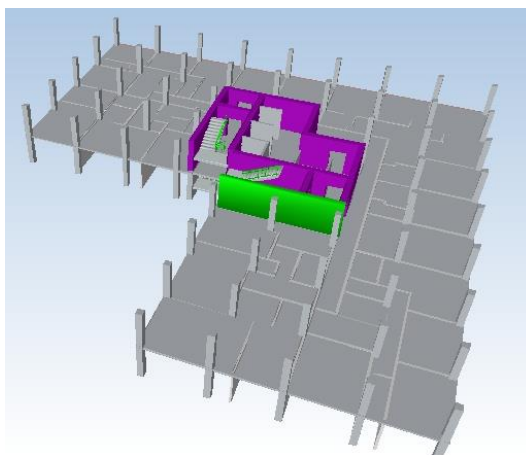


Рис. 8. Визуализация выполненных работ на цифровом двойнике объекта
Fig. 8. Visualization of complete work on a digital twin of the object

Такое взаимодействие позволяет ответственным лицам своевременно получать более точную информацию в целях повышения производительности. Традиционная модель управления «сверху-вниз» сменяется новой моделью совместного взаимодействия, позволяющей использовать преимущества знаний и опыта специалистов на всех уровнях управления. Задержки, непредвиденные обстоятельства, резервы и время простоя отображаются в режиме реального времени, что способствует постоянному совершенствованию строительных процессов.

Заключение

В исследовании было продемонстрировано, что интеграция технологии информационного моделирования и инструментов бережливого строительства значительно облегчает обмен информацией между производственными процессами на строительной площадке и управлением работами и ресурсами. Систематический сбор и анализ полученных данных играют ключевую роль в улучшении общего процесса управления проектом. На данный момент было разработано и протестировано несколько технологических концепций, к которым можно отнести:

- формирование заданий на строительство с применением канбан-карт;
- использование количественных показателей на основе цифровой модели в целях планирования материально-технических ресурсов на основе оперативных данных;
- организация и проведение обучения по цифровому календарному планированию строительства.

Одна из ключевых текущих задач – унификация структуры работ и автоматическая привязка информации, связанной с выполнением задач, к отдельным элементам цифровой модели для упрощения совместной работы над проектом. Внедрение и систематическое использование технологии информационного моделирования в сочетании с элементами бережливого строительства на строительной площадке позволят формировать корректные данные для принятия управленческих решений. Пользователи отмечают удобство и простоту применения предложенного подхода. В заключение можно констатировать, что систематическая интеграция технологии информационного моделирования и бережливого строительства делает информацию о ходе строительства своевременно доступной и корректной. Это способствует эффективной коммуникации между отдельными участниками проекта и положительно влияет на управление строительством объекта.

В целях дальнейшего совершенствования процессов управления строительством планируется разработка программного обеспечения для создания и работы с web-картами Канбан (включая мобильные приложения). Это позволит автоматизировать процессы обработки полученных данных, минимизируя ошибки, связанные с человеческим фактором при ручном вводе информации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хмура В.В., Миронова Н.В., Клыков М.С. Модели календарного планирования в рамках информационного моделирования строительства // Научно-техническое и экономическое

- сотрудничество стран АТР в XXI веке : труды Всероссийской научно-практической конференции творческой молодежи с международным участием (Хабаровск, 18–21 апреля 2023 г.). В 2 томах. Том 1 / под ред. И.В. Игнатенко. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2023. С. 534–537. ISBN 978-5-262-00948-0 (т. 1).
2. Ушакова Е.А. Анализ продолжительности выполнения строительных процессов с учетом показателей организационно-технологической надежности строительного производства // Современное строительство и архитектура. 2022. №. 3 (27). С. 24–28. DOI: 10.18454/mca.2022.27.3. EDN: FTODFH
 3. Залипаева О.А. Анализ отклонений сроков выполнения работ (на примере строительства набережных) // Управление и экономика народного хозяйства России : сборник статей VII Международной научно-практической конференции, 21–22 февраля 2023 г. Пенза : Пензенский государственный аграрный университет, 2023. С. 144–148.
 4. Никоноров С.В., Мельник А.А. Повышение организационно-технологической надежности строительства в современных условиях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Т. 19. № 3. С. 19–23. DOI: 10.14529/build190303
 5. Sacks R., Radosavljevic M., Barak R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction // Automation in Construction. 2010. V. 19. P. 641–655. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.02.010
 6. Fosse R., Ballard G., Fischer M. Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice // Proc. Lean & Computing in Construction Congress (LC3). 2017. V. 1. P. 499–506. DOI: 10.24928/2017/0159
 7. Bolpagni M., Burdi L., Ciribini A. The Implementation of Building Information Modelling and Lean Construction in Design Firms in Massachusetts // 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 2017. P. 235–242. DOI: 10.24928/2017/0310
 8. Нечипорук Я., Баикова Р. Краткий обзор 4D-моделирования в строительстве // Архитектура. Строительство. Образование. 2020. №. 1. С. 35–41. DOI: 10.18503/2309-7434-2020-1(15)-35-41. EDN: QOXTIE
 9. Aslam M., Gao Z., Smith G. Framework for selection of lean construction tools based on lean objectives and functionalities // International Journal of Construction Management. 2020. V. 22. P. 1–12. DOI: 10.1080/15623599.2020.1729933
 10. Sarhan J., Xia B., Fawzia S., Karim A. Lean Construction Implementation in the Saudi Arabian Construction Industry // Construction Economics and Building. 2017. V. 17. P. 46–69. DOI: 10.5130/AJCEB.v17i1.5098
 11. Брянцева Т.А., Никулина А.С., Шелякин С.В. Инновационные системы управления российскими предприятиями // Белгородский экономический вестник. 2020. № 3 (99). С. 54–62. EDN: YDWFBX
 12. Ghosh S., Burghart J. Lean Construction: Experience of US Contractors // International Journal of Construction Education and Research. 2019. V. 17. P. 1–21. DOI: 10.1080/15578771.2019.1696902
 13. Mano A., Gouvea da Costa S., Pinheiro de Lima E. Criticality assessment of the barriers to Lean Construction // International Journal of Productivity and Performance Management. 2020. V. 70:1. P. 65–86. DOI: 10.1108/IJPPM-11-2018-0413

REFERENCES

1. Khmura V.V., Mironova N.V., Klykov M.S. Models of Calendar Planning in Information Building Modeling. In: Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Scientific, Technical and Economic Cooperation of Asia-Pacific Countries in the 21st Century', in 2 vol. Vol. 1. I.V. Ignatenko (Ed.). Khabarovsk 2023. Pp. 534–537. ISBN 978-5-262-00948-0. (In Russian)
2. Ushakova E.A. Analysis of Construction Duration with Regard to its Reliability. *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura*. 2022; 3 (27): 24–28. DOI: 10.18454/mca.2022.27.3. EDN: FTODFH (In Russian)
3. Zalipaeva O.A. Analysis of Work Schedule Deviations (on the Example of Embankment Construction). In: Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Economy Management in Russia', Penza, 2023. Pp. 144–148. (In Russian)

4. Nikonorov S.V., Mel'nik A.A. Improvement of Organizational and Technological Reliability of Construction in Modern Conditions. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2019; 19 (3): 19–23. DOI: 10.14529/build190303 (In Russian)
5. Sacks R., Radosavljevic M., Barak R. Requirements for Building Information Modeling Based on Lean Production Management Systems for Construction. *Automation in Construction*. 2010; 19: 641–655.
6. Fosse R., Ballard G., Fischer M. Virtual Design and Construction: Aligning BIM and Lean in Practice. In: *Proc. Lean & Computing in Construction Congress (LC3)*. 2017, vol. 1. Pp. 499–506. DOI: 10.24928/2017/0159
7. Bolpagni M., Burdi L., Ciribini A. The Implementation of Building Information Modelling and Lean Construction in Design Firms in Massachusetts. 2017; 235–242. DOI: 10.24928/2017/0310
8. Nechiporuk Ya., Bashkova R. A Brief Overview of 4D Modeling in Construction. *Arkitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie*. 2020; (1): 35–41. DOI: 10.18503/2309-7434-2020-1(15)-35-41. EDN: QOXTIE (In Russian)
9. Aslam M., Gao Z., Smith G. Framework for Selection of Lean Construction Tools Based on Lean Objectives and Functionalities. *International Journal of Construction Management*. 2020; 22: 1–12. DOI: 10.1080/15623599.2020.1729933
10. Sarhan J., Xia B., Fawzia S., Karim A. Lean Construction Implementation in the Saudi Arabian Construction Industry. *Construction Economics and Building*. 2017; 17: 46–69. DOI: 10.5130/AJCEB.v17i1.5098
11. Bryantseva T.A., Nikulina A.S., Shelyakin S.V. Innovative Management Systems of Russian Enterprises. *Belgorodskii ekonomicheskii vestnik*. 2020; 3 (99): 54–62. EDN: YDWFBX (In Russian)
12. Ghosh S., Burghart J. Lean Construction: Experience of US Contractors. *International Journal of Construction Education and Research*. 2019; 17: 1–21. DOI: 10.1080/15578771.2019.1696902
13. Mano A., Gouvea da Costa S., Pinheiro de Lima E. Criticality Assessment of the Barriers to Lean Construction. *International Journal of Productivity and Performance Management*. 2020; 70 (1): 65–86. DOI: 10.1108/IJPPM-11-2018-0413

Сведения об авторе

Крюков Константин Михайлович, канд. экон. наук, доцент, Донской государственный технический университет, 344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина 1, kkrioukov@gmail.com

Author Details

Konstantin M. Kryukov, PhD, A/Professor, Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., 344003, Rostov-on-Don, Russia, kkrioukov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.08.2024
Одобрена после рецензирования 19.11.2024
Принята к публикации 17.01.2025

Submitted for publication 20.08.2024
Approved after review 19.11.2024
Accepted for publication 17.01.2025