

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION FACILITIES



УДК 69.05

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-75-84>

Оценка преимуществ и проблем внедрения 4D-моделирования в строительство

К.М. Крюков

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ kkrioukov@gmail.com



EDN: DTRRON

Аннотация

Введение. Усовершенствованная визуализация — один из результатов внедрения технологии информационного моделирования. Технология информационного моделирования в основном использовалась проектировщиками при разработке цифровой 3D-модели объекта. 4D-моделирование объединяет организационно-технологическую последовательность работ в проекте с параметрической цифровой 3D-моделью строящегося объекта. 4D-моделирование потенциально может способствовать эффективной реализации проекта, но данные о масштабах внедрения 4D ограничены, в практической деятельности отсутствуют эмпирические данные о возможностях и проблемах использования данной технологии. Целью исследования является изучение состояния внедрения 4D-моделирования, преимуществ при использовании, основных проблем, мешающих эффективной реализации, а также стимулов для внедрения в строительном секторе.

Материалы и методы. В статье был использован качественный анализ функционала 4D-моделирования для формирования анкеты в целях опроса среди специалистов строительной отрасли. На основании анализа массива полученных данных проведен статистический анализ для выявления ключевых проблем и стимулов внедрения 4D-моделирования в деятельность строительных организаций.

На основании разработанной анкеты был проведен опрос среди заказчиков и подрядчиков строительной отрасли, которые были отобраны выборочным методом. Для анализа полученных данных использовались методы описательной статистики. Индекс относительной важности использовался для ранжирования показателей, чтобы понять относительную важность, как они воспринимаются респондентами. Т-тест использовался для проверки статистической значимости предполагаемых различий между клиентами и подрядчиками. Коэффициент Альфа Кронбаха использовался для обеспечения внутренней согласованности и надежности данных для анализа.

Результаты исследования. Определены основные причины недостаточного внедрения в строительных организациях технологии 4D-моделирования наряду с высокой осведомленностью о преимуществах использования. Выделены критические проблемы, препятствующие реализации данной технологии, а также ключевые факторы, которые могут стимулировать реализацию инвестиционно-строительных проектов с применением 4D-моделирования.

Обсуждение и заключение. Результаты исследования обеспечивают основу теоретического анализа для решения проблем внедрения 4D-моделирования в строительной отрасли. Исследование использует теорию устойчивого развития и теорию полного жизненного цикла в качестве теоретической основы, сочетает в себе качественные и количественные методы исследования и проводит углубленное изучение различных факторов, которые влияют на управление инвестиционно-строительными проектами с использованием технологии 4D-моделирования.

Ключевые слова: 4D-моделирование, технология информационного моделирования, внедрение BIM технологий

Для цитирования. Крюков К.М. Оценка преимуществ и проблем внедрения 4D-моделирования в строительстве. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2025;4(2):75–84. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-75-84>

Assessing the Benefits and Challenges of Implementing 4D Modeling in Construction

Konstantin M. Kryukov 

Don State Technical University, Rostov on Don, Russian Federation

✉ kkrioukov@gmail.com

Abstract

Introduction. Improved visualization is one of the results of the implementation of information modeling technology. Information modeling technology was mainly used by designers when developing a digital 3D model of an object. 4D modeling combines the organizational and technological sequence of works in the project with a parametric digital 3D model of the object under construction. 4D modeling can potentially contribute to the effective implementation of the project, but data on the scale of 4D implementation are limited, there is no empirical data in practice on the possibilities and problems of using this technology. The purpose of the study is to study the state of implementation of 4D modeling, the advantages of use, the main problems that hinder effective implementation, as well as incentives for implementation in the construction sector.

Materials and Methods. The article used a qualitative analysis of the functionality of 4D modeling to form a questionnaire for a survey among specialists in the construction industry. Based on the analysis of the array of data obtained, a statistical analysis was carried out to identify key problems and incentives for the implementation of 4D modeling in the activities of construction organizations.

Results. The main reasons for the insufficient implementation of 4D modeling technology in construction organizations are identified along with high awareness of the benefits of use. Critical problems that hinder the implementation of this technology are identified, as well as key factors that can stimulate the implementation of investment and construction projects using 4D modeling.

Discussion and Conclusion. The results of the study provide a basis for theoretical analysis to solve the problems of implementing 4D modeling in the construction industry. The study uses the theory of sustainable development and the theory of the full life cycle as a theoretical basis, combines qualitative and quantitative research methods, and conducts an in-depth study of various factors that affect the management of investment and construction projects using 4D modeling technology.

Keywords: 4D modeling; information modeling technology; implementation of BIM technologies

For citation. Kryukov KM Assessing the Benefits and Challenges of Implementing 4D Modeling in Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4(2):75–84. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-2-75-84>

Введение. Строительство является значимой отраслью экономики России и занимает 5 место среди отраслей народного хозяйства по вкладу во внутренний валовой продукт. Отрасль динамично развивается¹ (рис. 1).

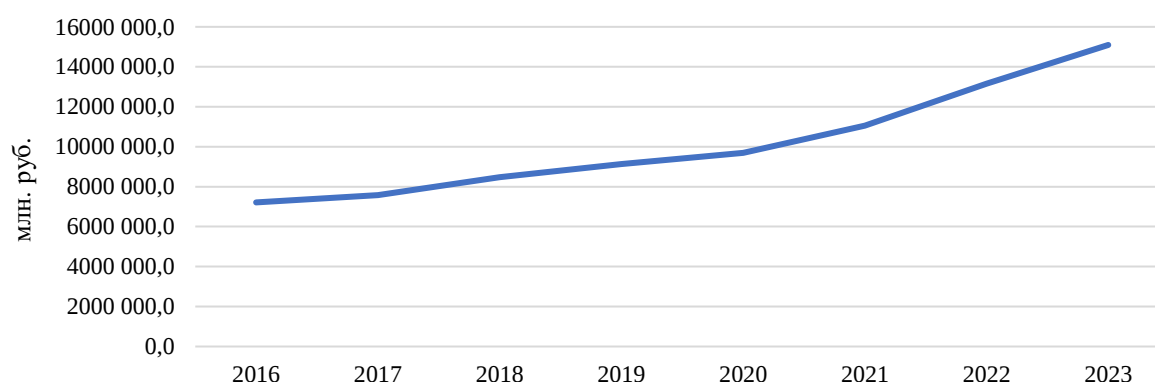


Рис. 1. Динамика показателя «Объем работ, выполненных собственными силами по виду деятельности «Строительство»»

Уровень сложности инвестиционно-строительных проектов очень высок из-за увеличивающихся требований заказчиков. Традиционные системы реализации проектов ориентированы прежде всего на сроки выполнения проекта и его стоимость. К сожалению, в сложившихся условиях проектировщикам, подрядчикам и производителям

¹ Данные статистики получены с сайта <https://rosstat.gov.ru/>

строительных материалов далеко не всегда удается выполнить поставленные задачи в срок, в рамках бюджета и эффективно удовлетворить потребности своих клиентов, не многие из них достигают желаемых результатов [1].

Информационное моделирование зданий предоставляет участникам инвестиционно-строительной деятельности платформу для совместной работы в общей среде данных для повышения эффективности и улучшения результатов. 3D-модель проектной документации можно использовать для планирования строительства. При добавлении к модели параметра «время» реализуется 4D-моделирование. 4D-моделирование повышает эффективность процессов за счет сокращения непродуктивных расходов и помогает своевременно завершать проекты в рамках бюджета, контролируя график строительства и повышая ценность для заказчиков [2]. Однако, несмотря на предоставляемые возможности, 4D-моделирование недостаточно широко используется участниками строительных проектов. Поэтому предлагается оценить степень использования и понять точку зрения ключевых субъектов строительства на преимущества, препятствия и мотивационные силы 4D-моделирования.

Традиционные методы планирования не связаны напрямую с моделью проектирования и строительства [3], разделы планов не полностью синхронизируются с проектом, что затрудняет для участников проекта легкое понимание плана и его влияние на управление логистикой на объекте [4]. Отсутствие данной связи приводит к таким последствиям, как переделки, неравномерность и нецелесообразное использование ресурсов, что увеличивает время и стоимость строительства [5].

4D-моделирование также помогает ускорить процесс строительства, тем самым уменьшая количество ошибок и легко их устраняя на стадии проектирования, позволяя избежать существенных проблем, решение которых зачастую довольно трудоемкое и дорогостоящее на более позднем этапе строительства [6, 7].

4D-моделирование предлагает расширенное видение планирования, проектирования и строительства, разработки или поддержки единой информационной модели, которая включает всю необходимую информацию о жизненном цикле проекта. 4D-моделирование играет важную роль в координации между проектировщиками и заказчиками на этапе планирования. Опыт подрядчиков очень важен при разработке 4D-модели для процессов планирования и может предоставить ценную информацию о возможности строительства, ориентировочной стоимости строительства и последовательности выполнения работ [4]. Это помогает заинтересованным сторонам проекта выявлять проблемы на этапе строительства и отслеживать процесс выполнения работ [2, 8]. 4D-моделирование помогает создавать виртуальные проекты и стимулировать их различными сценариями, что дает всем заинтересованным сторонам более четкое представление о рисках проекта на ранней стадии и их уменьшении путем принятия корректирующих мер.

К ключевым преимуществам и применимости 4D-моделирования можно отнести: визуализацию хода строительства в любое время с возможностью прогноза [8, 9]; планирование логистики (движение ресурсов на строительной площадке) [10]; планировку площадки (уменьшает потери, которые могут возникнуть в процессе строительства, тем самым улучшая возможности строительства) [9, 11]; планирование с учетом местоположения [9]; четкое понимание строительного процесса и методологии строительства [9]; проверку графиков с помощью моделирования [12]; обсуждение хода работы на совещаниях для лучшего понимания [12]; планирование безопасности (визуальное представление опасностей и плана безопасности) [9, 11]; анализ документации и претензий (довольно легко доказать, кто несет ответственность за задержку, и какие потенциальные результаты ожидаются) [12]; снижение риска в проекте [9]; повышение удовлетворенности клиентов [10]; мониторинг проекта с моделированием расписания, которое помогает уменьшить объем необходимых доработок [9].

Несмотря на преимущества, которые 4D-моделирование предоставляет строительной отрасли, существуют технические и нетехнические проблемы, которые препятствуют широкому распространению 4D-моделирования [8]. На широкое внедрение BIM и 4D-моделирования оказывают большее влияние нетехнические барьеры, чем технические. Информация о масштабах внедрения 4D-моделирования в России довольно ограничена. Поэтому был изучен опыт использования 4D-моделирования в зарубежных странах, где данный метод получил наибольшее распространение. К таким странам можно отнести Великобританию, Францию, Словакию, США, Иран и др. Ученые и практики этих стран отмечают проблемы, связанные с разработкой 4D-модели (объем модели, уровень детализации, временные компоненты, декомпозиция и агрегирование) и отсутствием надлежащих планов выполнения, руководств и стандартов, которым необходимо следовать, для внедрения 4D-моделирования. Также отмечается нецелесообразность затрат времени на обучение и нехватка времени для обучения у сотрудников. Одним из важных препятствий внедрения является отсутствие опыта 4D-моделирования на рынке, отсутствие стандартов для 4D-моделирования, трудности в понимании методов и более длительный процесс создания 4D-модели [9–13]. Отмечаются также отсутствие спроса со стороны клиента на использование 4D-модели, высокие затраты на инвестиции в программное обеспечение, высокие затраты на обучение, отсутствие знаний 4D-моделирования среди рабочей силы, сопротивление сотрудников отказу от традиционных

методов планирования строительства и переходу к 4D-моделированию и проблемы с обменом данными между программным обеспечением, связанные с совместимостью ПО.

Строительная отрасль в некоторой степени осознала ценность BIM и начала использовать его на этапе проектирования, но использование BIM на этапах планирования и строительства растет медленными темпами. Отсутствуют исследования реализации 4D-моделирования в России. Следовательно, возникает необходимость исследовать статус внедрения 4D-моделирования в России и изучить предполагаемые преимущества и проблемы различными субъектами инвестиционно-строительной деятельности в строительном секторе. Целью исследования является изучение масштабов использования 4D-моделирования, взгляды основных заинтересованных сторон на 4D-моделирование с точки зрения преимуществ, препятствий и мотивационных сил в российском строительстве.

Материалы и методы. Целевой аудиторией данного исследования являются заказчики и подрядчики строительной отрасли. Для отбора респондентов был использован выборочный метод. Для проведения опроса была разработана анкета, включающая информацию о демографических данных участников, а также вопросы о применимости 4D-моделирования, преимуществах 4D-моделей по сравнению с традиционными подходами к планированию строительства, проблемах внедрения 4D-моделирования и мотивационных усилиях по внедрению 4D-моделирования.

Для анализа данных использовались методы описательной статистики. Индекс относительной важности используется для ранжирования показателей, чтобы понять относительную важность, как они воспринимаются респондентами. Т-тест используется для проверки статистической значимости предполагаемых различий между клиентами и подрядчиками, если таковые имеются. Коэффициент Альфа Кронбаха (Cronbach Alpha) используется для обеспечения внутренней согласованности и надежности данных для анализа.

Инструмент анкетирования был создан в электронном виде и запросы были разосланы заказчикам-застройщикам и подрядчикам Южного Федерального округа по электронной почте. Получено 27 ответов, в том числе от 17 подрядчиков и 10 — от заказчиков-застройщиков. Cronbach Alpha используется для оценки внутренней согласованности инструмента и надежности данных, собранных для дальнейшего анализа. Рассчитанные значения Альфа Кронбаха выполнены в Excel и представлены в таблице 1. Все значения превышают 0,7 (порог для социальных исследований), и, следовательно, собранные данные являются надежными и приемлемыми для дальнейшего анализа.

Таблица 1

Статистика надежности

Наименование	Альфа Кронбаха	Количество индикаторов
Возможность использования	0,906	12
Преимущества	0,925	12
Проблемы	0,812	14
Стимулы применения	0,835	6
Всего	0,894	44

Результаты исследования. Функции технологии информационного моделирования используются для оценки возможности применения преимуществ, препятствий и движущих сил 4D-моделирования. На основании исследования использованных источников были выработаны индикаторы, которые подлежат дальнейшему исследованию (таблица 2).

Количественный подход, основанный на анкетном опросе, используется для изучения взглядов специалистов в области строительства на применимость, преимущества, препятствия и движущие силы использования 4D-моделирования при реализации инвестиционно-строительных проектов.

Было получено 27 ответов, большинство из которых представлено крупными организациями (71,8 %), а остальные — средние (10,8 %) и мелкие (17,4 %) организации. Респонденты относятся к высшему менеджменту (23,9 %), среднему управленческому (54,8 %) и операционному (21,3 %) уровню в своих организациях. Опыт работы респондентов в строительстве: 35 % имеют опыт работы более 10 лет, 36 % респондентов имеют опыт работы 5–10 лет, 19 % респондентов имеют опыт работы 2–5 лет и менее 2 лет — 10 % опрошенных.

Осведомленность и использование 4D-моделирования. Было замечено, что большинство (74 %) респондентов знают о 4D-моделировании, но не использовали его, а 11 % знают и используют его, 15 % ответили, что не знают о 4D-моделировании (рис. 2). Некоторые респонденты оперируют понятием 4D BIM, что по существу является равнозначным понятием 4D-моделирования.

Таблица 2

Функции BIM, проблемы и стимулы использования 4D-моделирования

№ показателя	Наименование показателя
1. Функционал, реализуемый при внедрении 4D-моделирования	
1.1	Планирование логистики
1.2	Планирование организации площадки строительства
1.3	Взаимоувязка отдельных планов строительства подрядных организаций, участвующих в строительстве
1.4	Планирование организационно-технологической последовательности производства работ
1.5	Визуализация хода строительства
1.6	Планирование с учетом местоположения
1.7	Проверка плана строительства с использованием моделирования
1.8	Возможность проведения совещаний по ходу выполнения работ
1.9	Планирование безопасности
1.10	Документирование и анализ претензий
1.11	Управление рисками
1.12	Вариантное проектирование с моделированием графика строительства
2. Проблемы внедрения 4D-моделирования	
2.1	Отсутствие спроса со стороны клиента на использование 4D-модели
2.2	Высокие затраты на инвестиции в программное обеспечение
2.3	Высокие затраты на обучение
2.4	Недостаток знаний 4D-моделирования у сотрудников
2.5	Отсутствие опыта 4D-моделирования на рынке
2.6	Неоправданные затраты времени на обучение
2.7	Недостаток времени для обучения сотрудников
2.8	Сопrotивление сотрудников изменениям
2.9	Отсутствие стандартов для 4D-моделирования
2.10	Проблемы, связанные с разработкой 4D-модели
2.11	Сложность понимания методов 4D-моделирования
2.12	Традиционные методы реализации проекта/контракта
2.13	Более длительный процесс создания 4D-моделирования
2.14	Проблемы с обменом данными между программами
3. Стимулы внедрения 4D-моделирования	
3.1	Разработка локальных стандартов для 4D-моделирования
3.2	Государственная поддержка 4D-моделирования
3.3	Улучшение функциональности программного обеспечения
3.4	Поддержка со стороны поставщиков программного обеспечения.
3.5	Осведомленность о преимуществах 4D-моделирования и рентабельности инвестиций
3.6	Наличие положительных примеров использования 4D-моделирования на рынке

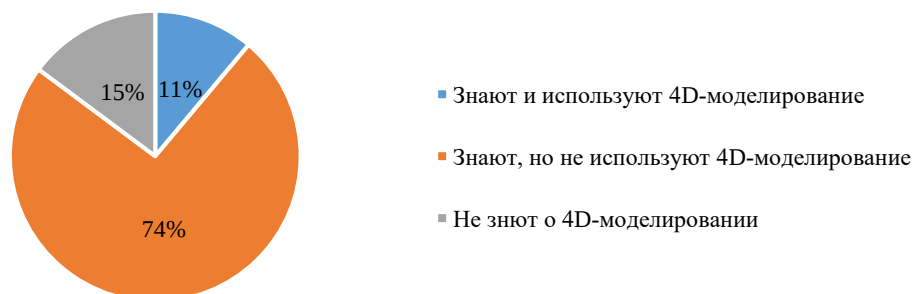


Рис. 2. Осведомленность и использование 4D-моделирования

Результаты показывают более высокий уровень осведомленности о 4D-моделировании и гораздо более низкий уровень использования. Была предпринята попытка понять план респондентов, которые знают, но не использовали 4D-моделирование. Хотя некоторые респонденты указали, что планируют использовать 4D-моделирование в ближайшем будущем (11 % в течение года и 31 % в течение 1–3 лет), значительные 58 % респондентов

планируют использовать 4D BIM только через 3 года (рис. 3). Это подразумевает ожидаемое меньшее распространение 4D BIM в краткосрочной перспективе.

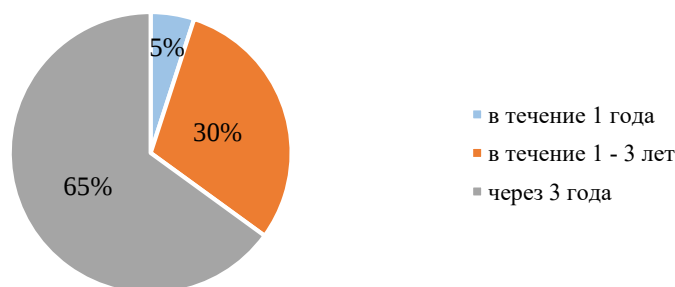


Рис. 3. Планы по внедрению 4D-моделирования

Применимость 4D BIM. Участникам было предложено высказать свое мнение о возможности использования функционала 4D-моделирования по пятибалльной шкале Лайкерта (от «совсем неприменимо» до «очень применимо») по отношению к различным функциям BIM в соответствии с перечнем, представленным в таблице 2. Распределение ответов представлено на рис. 4. По структуре ответов видно, что респонденты оценили 4D-моделирование как применимое. Среди функций BIM «Визуализация процесса строительства» (1.5), «Взаимоувязка отдельных планов строительства подрядных организаций, участвующих в строительстве» (1.3) и «Проверка плана строительства с использованием моделирования» (1.7) оказались наиболее предпочтительными. Несмотря на то, что «Планирование организации площадки строительства» (1.2) и «Планирование логистики» (1.1) получили низкий рейтинг, они могут считаться применимыми. Кроме того, клиенты оценили «Вариантное проектирование с моделированием графика строительства» (1.12) как очень применимое.

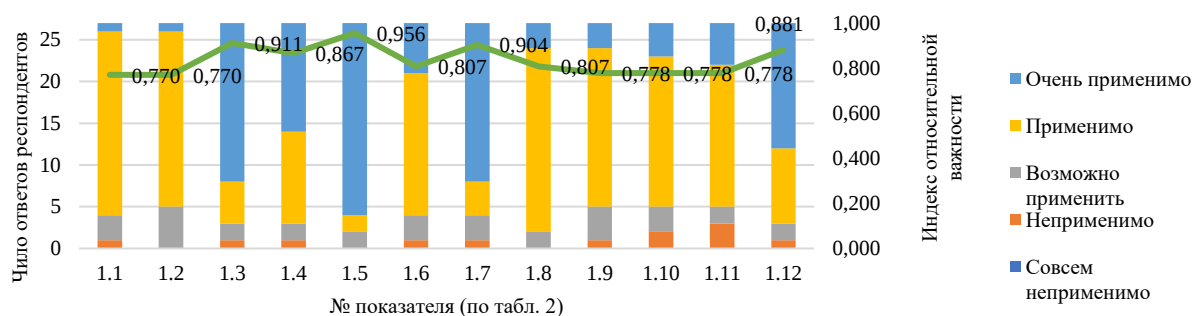


Рис. 4. Возможность использования функционала 4D-моделирования

Преимущества использования 4D-моделирования. В ответ на вопрос о преимуществах и полезности 4D-моделирования участники оценили различные функции BIM, указанные в таблице 2, по пятибалльной шкале Лайкерта (от «совсем не выгодно» до «очень выгодно»). Распределение ответов представлено на рис. 5.

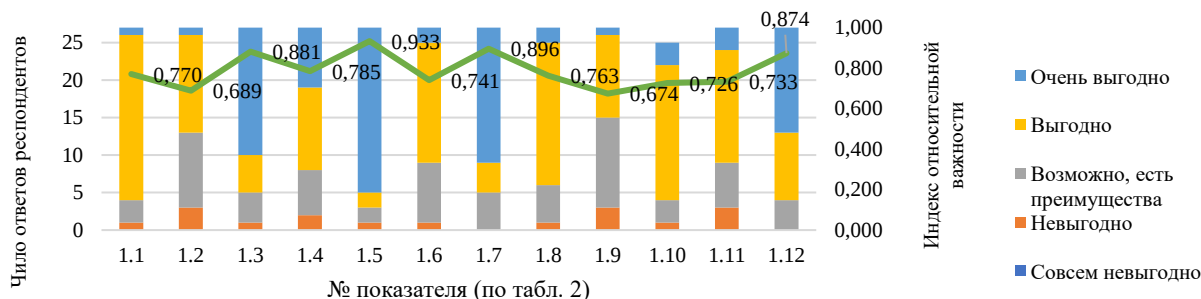


Рис. 5. Преимущества использования 4D-моделирования

Можно заметить, что картина ответа аналогична приведенной выше (рис. 4). «Визуализация процесса строительства» (1.5), «Взаимоувязка отдельных планов строительства подрядных организаций, участвующих в строи-

тельстве» (1.3) и «Проверка плана строительства с использованием моделирования» (1.7) были оценены как главные преимущества 4D-моделирования. Однако респонденты считают, что «Вариантное проектирование с моделированием графика строительства» (1.12) более полезно по сравнению с «Взаимоувязкой отдельных планов строительства подрядных организаций» (1.3). Необходимо отметить, что высокие оценки по другим показателям указывают на весьма выгодный характер 4D-моделирования.

Проблемы внедрения 4D-моделирования. Респонденты считают, что «Нехватка знаний 4D-моделирования у сотрудников» (2.4), «Традиционные методы реализации проекта/контракта» (2.12) и «Отсутствие опыта 4D-моделирования на рынке» (2.5) являются главными препятствиями для внедрения и использования 4D-моделирования (рис. 6). «Неоправданные затраты времени на обучение» (2.6) и «Отсутствие времени для обучения сотрудников» (2.7) были оценены как незначительные проблемы для внедрения.

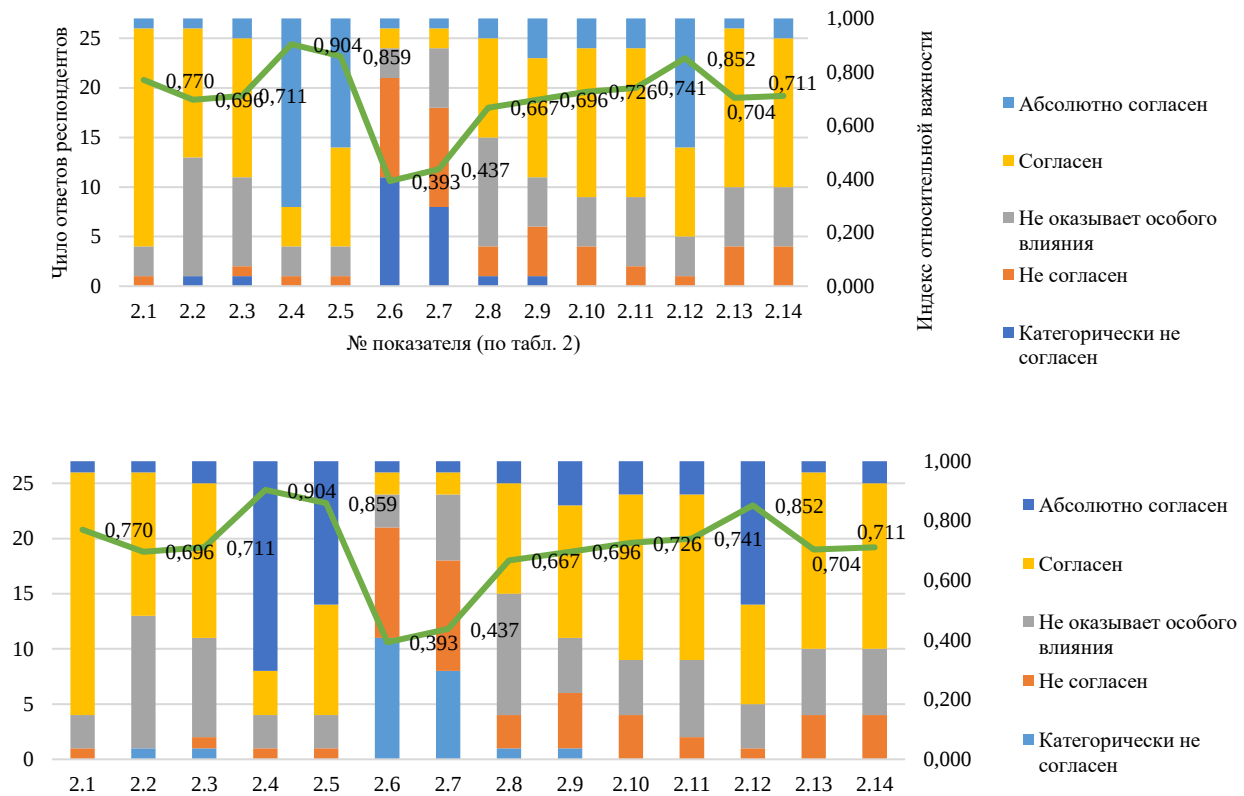


Рис. 6. Проблемы внедрения 4D-моделирования

Стимулы для использования 4D-моделирования. В ответ на вопрос о движущих силах, способствующих реализации 4D-моделирования в организациях, по пятибалльной шкале Лайкерта (от «очень низкого» до «очень высокого») респонденты оценили «Осведомленность о преимуществах 4D-моделирования и рентабельности инвестиций» (3.5) как главный критерий (рис. 7).

Наряду с 3.5 «Государственная поддержка» (3.2) и «Доступность опыта реализации 4D-моделирования на рынке» (3.6) также считаются главными факторами. Можно заметить, что «Поддержка со стороны поставщиков программного обеспечения» (3.4) получила самую низкую оценку.

Проверка гипотез. Хотя среди заказчиков-застройщиков и подрядчиков в основном было достигнуто общее согласие по поводу их ответов, была предпринята попытка проверить это статистически, чтобы убедиться, что это не случайно. Независимый t -критерий представляет собой статистический тест, который используется для определения разницы средних значений². Кроме того, t -критерий применим, когда сравниваются только две группы, и размер выборки очень мал. Следующие гипотезы проверяются с использованием t -критерия для двух независимых выборок, предполагающих равную дисперсию при уровне значимости 5 %.

² Горлач Б.А. Теория вероятностей и математическая статистика: учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: Лань; 2021. 320 с.

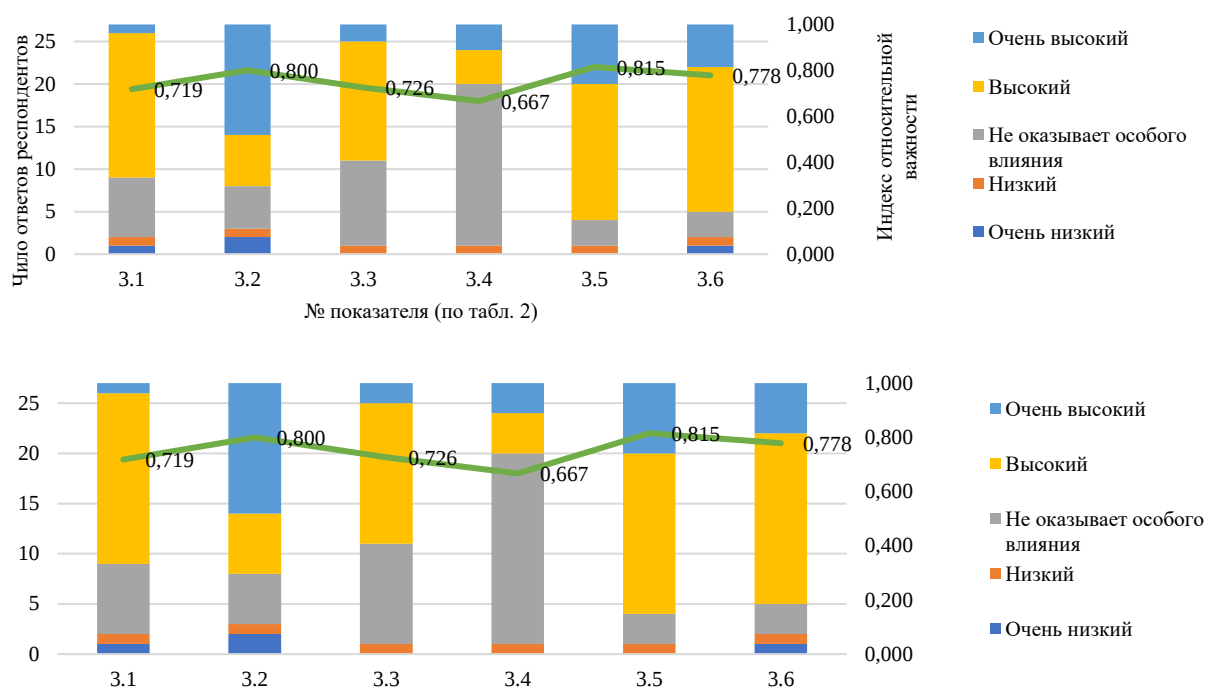


Рис. 7. Стимулы для использования 4D-моделирования

Нулевая гипотеза H_0 : нет существенной разницы в восприятии заказчиками и подрядчиками применимости, преимуществ, проблем и стимулов внедрения 4D-моделирования.

Альтернативная гипотеза H_1 : для проверки нулевой гипотезы существует значительная разница в восприятии заказчиков и подрядчиков относительно применимости, преимуществ, проблем и стимулов внедрения 4D-моделирования в строительной отрасли.

Результаты теста представлены в таблице 3. В качестве проверки результатов теста был применен показатель p -значение, который показывает вероятность получения наблюдаемых результатов при условии, что нулевая гипотеза верна, или вероятность ошибки в случае отклонения нулевой гипотезы. Поскольку p -значение для всех четырех переменных превышает 0,05, нет достаточных доказательств, чтобы отвергнуть H_0 , и, следовательно, H_0 принимается. Это означает, что нет существенной разницы в восприятии заказчиками и подрядчиками применимости, преимуществ, проблем и стимулов внедрения 4D-моделирования.

Таблица 3

Результаты t -критерия для нулевой гипотезы

Переменные	p -значение
Применимость	0,134
Преимущества	0,707
Проблемы	0,367
Стимулы	0,132

Обсуждение и заключение. В соответствии с проведенным исследованием можно отметить, что в строительстве существует высокий уровень осведомленности о 4D-моделировании. Но задача состоит в том, чтобы превратить это знание в реализацию. Несмотря на возросшую осведомленность и готовность использовать 4D-модели, основное количество респондентов не планируют применять данную технологию информационного моделирования в ближайшие три года. Чтобы быть конкурентоспособным на рынке и успешно реализовывать инвестиционно-строительные проекты в срок с надлежащим качеством и в рамках бюджета, существует значительная необходимость как можно раньше внедрить 4D-моделирование в строительных организациях.

Отзывы о применении и преимуществах 4D-моделирования (1.5, 1.3, 1.7 и 1.12 таблицы 2) подчеркивают необходимость улучшенной визуализации для коммуникации между генподрядчиком и субподрядчиками для своевременной передачи фронта работ, возможности предварительного организационно-технологического моделирования различных вариантов управления процессом строительства в целях выполнения проекта в срок, обусловленный контрактом. Наращивание потенциала и возможностей посредством образования и обучения является ключом к реализации этих ожиданий. Заказчики-застройщики могут прогнозировать различные варианты

реализации проекта с моделированием плана строительства (1.12), что демонстрирует изменение приоритета в сторону качества проектов и своевременной логистики.

Также важно обратить внимание на препятствия на пути внедрения 4D-моделирования. «Недостаток знаний об инструментах 4D-моделирования среди сотрудников строительных организаций» (2.4) требует особого внимания к обучению и постоянному профессиональному развитию внутри организаций. Чтобы преодолеть эти проблемы, нужно изменить «Традиционный подход к реализации проекта» (2.12), применять инновационные методы закупок, такие как интегрированная реализация проекта (IPD) и смарт-контракты с помощью блокчейна. «Отсутствие опыта использования 4D-моделирования на рынке» (2.5) требует от образовательных учреждений пересмотреть учебные программы, чтобы гарантировать, что студенты заканчивают обучение с необходимыми цифровыми навыками. Поскольку «Неоправданные затраты времени на обучение» (2.6) и «Недостаток времени для обучения сотрудников» (2.7) были оценены как незначительные проблемы, это означает, что организации и их сотрудники готовы принять эти изменения и внедрять современные подходы к моделированию.

Акцентируясь на стимулах использования 4D-моделирования, можно отметить, что необходимо продвигать информацию о преимуществах внедрения 4D-моделирования, доказывать эффективность вложения инвестиций в данный этап технологии информационного моделирования (3.5). В этом контексте важную роль играет «Государственная поддержка использования 4D-моделирования» (3.2) посредством разработки соответствующих стандартов, программ обучения и других стимулирующих мероприятий. В настоящее время нет официального свода правил, отражающего подходы к использованию 4D-моделирования. Лишь в СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве» приводится определение 4D.

Можно отметить, что основные преимущества применения 4D-моделирования соответствуют исследованиям в других странах. Конечно, есть некоторые различия. Например, в Великобритании [8] «Планирование логистики» (1.1) получило высокую оценку, а недостаточная осведомленность участников проекта была отнесена к критическим проблемам. В строительной отрасли Катара критическим фактором оказалась недоступность квалифицированных специалистов. В Индии использование существующих методов реализации проектов и отсутствие спроса со стороны клиентов были определены как главные проблемы для внедрения 4D-моделирования.

Учитывая относительно небольшой размер выборки, уверенность в сделанных выводах ограничена. Более широкое исследование среди заказчиков и подрядчиков с увеличенным размером выборки может дать более глубокое понимание. Также стоит изучить роль визуализации для коммуникации в принятии решений всеми участниками проекта для улучшения реализации инвестиционно-строительных проектов.

Список литературы/ References

1. Столбов И.В., Придвижкин С.В. Современные подходы к комплексному внедрению технологий информационного моделирования на всех стадиях жизненного цикла объекта капитального строительства (недвижимости). *Перспективы науки*. 2023;165(6):108–113. URL: [https://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/165/science-prospect-6\(165\)-main.pdf](https://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/165/science-prospect-6(165)-main.pdf) (дата обращения 10.04.2025).
2. Столбов И.В. Modern Approaches to the Integrated Implementation of Information Modeling Technologies at all Stages of the Life Cycle of a Capital Construction object /Real Estate Object. *Science Prospects*. 2023;165(6):108–113 (In Russ.) URL: [https://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/165/science-prospect-6\(165\)-main.pdf](https://moofrnk.com/assets/files/journals/science-prospects/165/science-prospect-6(165)-main.pdf) (accessed 10.04.2025)
3. Бовтеев С.В. Современное состояние и перспективы применения 4D-моделирования в российской практике строительства. *Вестник гражданских инженеров*. 2023;97(2):65–74. <http://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74>
4. Бовтеев С.В. Current State and Prospects for the Usage of 4D Modeling in the Sphere of Construction in the Russian Federation. *Bulletin of Civil Engineers*. 2023;97(2):65–74. (In Russ.) <http://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-2-65-74>
5. Wang L, Lee J, Nimawat Ja. Integrated 4D Design Change Management Model for Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management - ASCE*. 2024;150(5). <http://doi.org/10.1061/jcemd4.coeng-14246>
6. Нечипорчук Я., Башкова Р. Краткий обзор 4d моделирования в строительстве. *Архитектура. Строительство. Образование*. 2020;15(1):35–41. [http://doi.org/10.18503/2309-7434-2020-1\(15\)-35-41](http://doi.org/10.18503/2309-7434-2020-1(15)-35-41)
7. Nechiporchuk Y, Bashkova R Brief Overview of 4D modeling in Construction. *Architecture. Construction. Education*. 2020;15(1):35–41. (In Russ.) [http://doi.org/10.18503/2309-7434-2020-1\(15\)-35-41](http://doi.org/10.18503/2309-7434-2020-1(15)-35-41)
8. Пименов С.И. Уровни декомпозиции строительных цифровых информационных моделей (4D-моделей) для задач организационно-технологического моделирования строительного производства. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2023;770(2):65–78. <http://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-65-78>
9. Pimenov SI Levels of Decomposition of Construction Digital information models (4 D models) for the Tasks of Organizational and Technological Modeling of Construction Production. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2023;770(2):65–78. (In Russ.) <http://doi.org/10.32683/0536-1052-2023-770-2-65-78>

6. Swallow M, Zulu S. Benefits and Barriers to the Adoption of 4D Modeling for Site Health and Safety Management. *Front. Built Environ.* 2019;4:86. <http://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00086>
7. Crowther J, Ajayi SO Impacts of 4D BIM on construction project performance. *International Journal of Construction Management.* 2021;21(7):724–737. <http://doi.org/10.1080/15623599.2019.1580832>
8. Doukari O, Seck B, Greenwood D. The efficient generation of 4D BIM construction schedules: A case study of the Nanterre 2 CESI project in France. *Frontiers in Built Environment.* 2022;8. <http://doi.org/10.3389/fbuil.2022.998309>
9. Щерба Н.В., Кужин М.Ф. Оптимизация календарно-ресурсного планирования с применением BIM-технологий в промышленном строительстве. *Строительное производство.* 2020;3:35–40. http://doi.org/10.54950/26585340_2020_3_35
- Shcherba NV, Kuzhin MF Optimization of Calendar and Resource Planning Using BIM Technologies in Industrial Construction. *Construction Production.* 2020;3:35–40. (In Russ.) http://doi.org/10.54950/26585340_2020_3_35
10. Гущина Ю.В., Саушкин Д.А. Оптимизация календарных планов строительства на основе BIM-моделирования. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура.* 2020;81(4):438–447. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44694133> (дата обращения 10.04.2025).
- Gushchina YuV, Saushkin DA Optimization of construction calendar plans based on BIM modeling. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture.* 2020;81(4):438–447. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44694133> (accessed: 10.04.2025).
11. Шарманов В.В., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Брайла Н.В., Цветков О.Ю. Управление процессом строительства с помощью цифрового проекта организации строительства. *Инженерный вестник Дона.* 2024;111(3):678–695. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-protsessom-stroitelstva-s-pomoschyu-tsifrovogo-proekta-organizatsii-stroitelstva> (дата обращения 10.04.2025).
- Sharmanov VV, Romanovich MA, Simankina TL Management of the Construction Process Using a Digital Construction Organization Project. *Engineering Journal of Don.* 2024;111(3):678–695. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-protsessom-stroitelstva-s-pomoschyu-tsifrovogo-proekta-organizatsii-stroitelstva> (accessed: 10.04.2025).
12. Биче-Оол Х.В. Практическое применение 4D-моделирования в строительных организациях Республики Тыва. *Вестник Тувинского государственного университета. Выпуск №3. Технические и физико-математические науки.* 2022;94(2):14–20. <http://doi.org/10.24411/2221-0458-2022-94-14-20>
- Biche-Ool HV Practical Application of 4D Modeling in Construction Organizations of the Republic of Tuva. *Bulletin of the Tuva State University. No. 3 Technical and Physical and Mathematical Sciences.* 2022;94(2):14–20. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/2221-0458-2022-94-14-20>
13. El-Habashy Sh, Alqahtani FK, Mekawy M. Identification of 4D-BIM Barriers in Offshore Construction Projects Using Fuzzy Structural Equation Modeling. *Buildings.* 2023;13(6):1512. <http://doi.org/10.3390/buildings13061512>

Об авторе:

Константин Михайлович Крюков, кандидат экономических наук, доцент кафедры организации строительства Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [ScopusID](#), [ORCID](#), kkrioukov@gmail.com

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Konstantin M. Kryukov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Construction Management at the Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [ScopusID](#), [ORCID](#), kkrioukov@gmail.com

Conflict of interest statement: the author does not have any conflict of interest.

The author has read and approved the final version of manuscript.

Поступила в редакцию / Received 12.04.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 02.05.2025

Принята к публикации / Accepted 13.05.2025