

ИНТЕГРАЦИЯ BIM –ТЕХНОЛОГИЙ, ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЫ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА

О.О. Сафарова, М.Б. Хайруллоева, У.Дж. Рахимов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими

В статье исследуются механизмы применения BIM – технологий, искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (ML) при формировании сметной стоимости строительных объектов. Рассмотрены принципы 5D–моделирования, алгоритмы прогнозирования затрат и их интеграция в систему инвестиционного планирования. Обосновано, что цифровая трансформация расчета стоимости повышает точность прогнозирования, снижает бюджетные отклонения и формирует предпосылки адаптивного ценообразования.

Ключевые слова: BIM, ML, 5D-моделирование, искусственный интеллект, машинное обучение, сметная стоимость, цифровизация строительства, прогнозирование затрат.

ИНТЕГРАТСИЯИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ BIM, ЗЕҲНИ СУНӢ ВА ОМУӢШИ МОШИНҲО БА РАВАНДҲОИ ҲИСОБ КАРДАНИ АРЗИШИ СОХТМОН

О.О. Сафарова, М.Б. Хайруллоева, У.Ҷ. Раҳимов

Ин мақола истифодаи технологияҳои BIM, зеҳни сунӢ (AI) ва омуӢши мошинхоро (ML) дар баҳодиҳии хароҷот барои лоиҳаҳои сохтмонӣ меомӯзад. Он принсипҳои моделсозии 5D, алгоритмҳои пешгӯии хароҷот ва ҳамгироии онҳоро ба системаи банақшагирии сармоягузорӣ баррасӣ мекунад. Он нишон медиҳад, ки табдили рақамии баҳодиҳии хароҷот дақиқии пешгӯиро беҳтар мекунад, фарқиятҳои бучаро коҳиш медиҳад ва барои нархгузори мутобикшавӣ замина фароҳам меорад.

Калидвожаҳо: BIM, ML, моделсозии 5D, зеҳни сунӢ, омуӢши мошинсозӣ, сметаи хароҷот, рақамисозии сохтмон, пешгӯии хароҷот.

INTEGRATION OF BIM TECHNOLOGIES, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND MACHINE LEARNING INTO CONSTRUCTION COST CALCULATION PROCESSES

O.O. Safarova, M.B. Khairulloeva, U.J. Rahimov

This article explores the application of BIM technologies, artificial intelligence (AI), and machine learning (ML) in cost estimation for construction projects. It examines the principles of 5D modeling, cost forecasting algorithms, and their integration into an investment planning system. It demonstrates that digital transformation of cost estimation improves forecasting accuracy, reduces budget variances, and creates the foundation for adaptive pricing.

Keywords: BIM, ML, 5D modeling, artificial intelligence, machine learning, cost estimation, digitalization of construction, cost forecasting.

Введение

Внедрение цифровых технологий в строительную отрасль является одним из перспективных направлений модернизации экономики. В условиях глобальной цифровой трансформации развитие строительной отрасли Республики Таджикистан напрямую связано с реализацией государственной политики в сфере цифровизации экономики. В соответствии с Концепцией цифровой экономики Республики Таджикистан [1] одним из приоритетных направлений развития страны определено внедрение цифровых технологий в отрасли экономики, включая строительство, промышленность, транспорт и систему государственного управления. Дополнительное развитие данных направлений отражено в Среднесрочной программе развития цифровой экономики Республики Таджикистан на 2026 – 2030 годы, целью которой является ускорение цифровой трансформации экономики [2]. Одно из самых сильных положений Стратегии развития строительной отрасли Республики Таджикистан на период до 2030 года – это развитие информационного моделирования при разработке градостроительной документации, где фактически речь идет о внедрении BIM – технологий (цифровая 3D-модель объекта, расчет стоимости, контроль сроков, анализ инженерных систем, управление жизненным циклом) [3]. Реализация данных стратегических документов формирует институциональную основу для внедрения BIM – технологий, искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (ML) в систему ценообразования строительной отрасли Республики Таджикистан. Процесс цифровизации различных отраслей экономики во многих странах мира достиг высоких темпов. Для Республики Таджикистан интеграция BIM – технологий, искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (ML) может стать важным инструментом повышения эффективности управления строительными проектами и совершенствования системы ценообразования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью глубокой модернизации строительной отрасли Республики Таджикистан через цифровую трансформацию.

Методы исследования

В работе применен системный подход к анализу уровней «измерений» BIM (от 3D до 10D) с акцентом на 5D-моделирование как ключевой инструмент стоимостного инжиниринга. Используются методы математического моделирования для описания процесса автоматического извлечения объемов ресурсов (Q_i) и формирования стоимости (C). Также рассмотрены алгоритмы машинного обучения для построения прогнозных моделей на основе параметров площади, этажности и региона строительства.

Строительная отрасль является одной из тех сфер экономики, которая требует значительных инвестиционных ресурсов. Успешная реализация инвестиционно-строительных проектов и их эффективность во многом зависят от точности определения стоимости строительства на всех стадиях жизненного цикла объекта. Традиционные методы расчета сметной стоимости основаны на использовании нормативных баз, ресурсных элементов сметных норм и ручной обработке значительных объемов информации. Данный подход нередко сопровождается рядом недостатков, включая высокую трудоемкость расчетов, вероятность ошибок при определении объемов строительных работ, а также ограниченные возможности оперативного анализа альтернативных проектных решений. В условиях усложнения проектных решений и ускорения технологического прогресса возрастает необходимость в динамических инструментах расчета. Поэтому современное развитие строительной отрасли тесно связано с внедрением цифровых технологий, которые меняют не только процесс проектирования и возведения объектов, но и сферу сметно-договорной работы [4].

На данном этапе цифровизации все более активно используются технологии искусственного интеллекта. Развитие цифровых технологий, в частности информационного моделирования (BIM) и алгоритмов машинного обучения, открывает новые возможности для автоматизации процессов планирования и расчета объемов работ и стоимости строительства, позволяет анализировать данные и прогнозировать финансовые риски на основе математических моделей.

BIM – модель (Building information modeling) представляет собой цифровой прототип объекта, содержащий данные о геометрии, материалах, объемах и временных параметрах [6].

BIM представляет собой точные данные об объемах работ и ресурсах. На базе этих данных можно автоматически формировать сметы, анализировать стоимость изменений и управлять бюджетом. В этом аспекте BIM становится основой для цифрового стоимостного инжиниринга. Основные возможности BIM в стоимостном инжиниринге – это связь элементов модели с расценками, обновление смет в режиме реального времени, проверка соответствия бюджета на ранних стадиях и самое главное – автоматический подсчет объемов строительных работ на основе параметров модели, что позволяет значительно сократить время подготовки сметной документации и уменьшить вероятность ошибок при определении объемов работ. То есть, в процессе интеграции BIM с системами сметного расчета происходит автоматическое извлечение информации о конструктивных элементах здания и их преобразование в ресурсные показатели. То есть, модель, основанная на BIM-технологии, включает в себя всю необходимую информацию о здании. В ней хранится полное описание каждого конструктивного элемента будущего объекта, а также его взаимосвязь с другими элементами, что дает возможность, основываясь на пространственно-временной модели, понять, сколько будут стоить определенные строительные работы, а также посчитать предполагаемый бюджет строительства на конкретной его стадии [8].

Таким образом, технологии BIM трансформируют традиционные подходы к проектированию и управлению строительством, переходя от статичных чертежей к динамическим информационным моделям. В рамках данной трансформации BIM особую роль играет концепция «размеров» (dimensions) BIM, отражающая эволюцию модели от геометрического представления к комплексной системе управления данными, то есть уровни информации, добавляемые к 3D – модели здания. Каждое последующее измерение BIM дополняет модель новыми параметрами.

Наряду с выше представленными в таблице размерами BIM в будущем планируется применение 9D BIM, которое фокусируется на бережливом строительстве, а именно сокращении отходов и совершенствовании процессов производства и технологии

10D BIM (индустриальное строительство), которое объединяет BIM-модели с датчиками IoT, автоматизацией и искусственным интеллектом для создания интеллектуальных, адаптивных зданий.

Таблица 1– Основные «размеры» BIM

№	уровень измерения	основное содержание	функция
1.	3D BIM	геометрическая модель объекта-является базовым уровнем BIM и представляет собой трёхмерную модель: X, Y, Z	визуализация и проектирование
2.	4D BIM	добавляет к 3D-модели временное измерение – календарный график строительства, отражающая процесс возведения объекта во времени	планирование времени строительства и последовательность работ
3.	5D BIM	при переходе к 5D-модели добавляется стоимостная составляющая, которая связывается с геометрией и временем	сметные расчеты и подсчет объемов работ
4.	6D BIM	фокусируется на устойчивом развитии: эксплуатация, устойчивость, энергоэффективность и экологичность	управление жизненным циклом
5.	7D BIM	фокусируется на полном управлении объектом после строительства, обеспечении бесперебойной эксплуатации здания и долгосрочного управления активами	управление активами
6.	8D BIM	повышает безопасность строительства за счет соблюдения мер безопасности в соответствии нормативным требованиям	охрана труда и техника безопасности

Для определения сметной стоимости объекта наиболее важны 5D-модели, потому что они напрямую связаны с формированием стоимости. Расчет стоимости осуществляется автоматически:

$$C = \sum_{i=1}^n (Q_i * P_i) \quad (1)$$

где:

Q_i – объём ресурса из модели;

P_i – цена единицы ресурса.

Основными этапами функционирования 5D-моделирования являются:

- автоматический подсчет объемов работ – количественные параметры извлекаются непосредственно из модели;
- формирование сметной стоимости – интеграция BIM с базой сметных норм и цен;
- анализ стоимости проектных решений – позволяет сравнивать различные варианты конструкций и материалов;
- контроль бюджета проекта.

При применении 5D-модели происходит автоматическое извлечение объемов, синхронизируются проектные изменения со сметой, снижается вероятности арифметических ошибок, ускоряется подготовка проектно-сметной документации.

«Использование 5D сметы ускоряет работу сметчиков на 70%» - выяснили пользователи программы и выделили основные преимущества:

- 1) точность сметного расчета, исключение ошибок за счет человеческого фактора;
- 2) удобство работы за счет автоматической привязки сметных нормативов к элементам модели;
- 3) автоматическое формирование 70 % объема по каждой смете;
- 4) контроль изменений в проекте [9].

Искусственный интеллект сегодня воспринимается не просто как вспомогательный инструмент, а как полноценный участник процесса планирования расходов. ИИ может использоваться для обработки больших массивов данных, связанных со строительными проектами. Основные направления применения ИИ в расчете стоимости строительства включают автоматическую классификацию строительных элементов, анализ стоимости

аналогичных проектов, выявление отклонений и ошибок в сметной документации, оптимизацию ресурсных затрат.

Алгоритмы искусственного интеллекта способны выявлять закономерности формирования сметной стоимости.

Методы машинного обучения позволяют формировать прогнозные модели стоимости строительства на основе анализа данных о реализованных проектах. Они способны учитывать десятки факторов: региональные коэффициенты, сезонность цен, валютные колебания, логистические расходы [6]. Наиболее распространенные задачи применения ML – алгоритмов включают:

- прогнозирование сметной стоимости объектов;
- оценку влияния факторов на стоимость строительства;
- выявление рисков превышения бюджета.

Алгоритмы ML позволяют прогнозировать на основе обучающей выборки завершенных проектов.

Общая модель прогнозирования следующая:

$$C_{\text{прог}} = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2)$$

где параметры X_n включают площадь, этажность, класс сложности, регион строительства, сроки реализации, тип применяемых конструкций.

Интеграция ИИ и BIM позволяет автоматизировать расчет объемов материалов, учитывая реальные чертежи и 3D-модели объекта, что приводит к уменьшению риска недочёта или перерасхода ресурсов. В таблице 2 приведены преимущества использования ИИ:

Таблица 2 – Преимущества использования искусственного интеллекта

№ п/п	Преимущества	Обоснование
1.	Скорость	расчет сметы, который раньше занимал дни, можно выполнить за минуты
2.	Точность	снижение уровня ошибок, связанных с человеческим фактором
3.	Актуальность данных	автоматическое обновление цен и расчет смет с учетом последних рыночных изменений
4.	Прозрачность	возможность детально отследить, как формировалась каждая статья
5.	Адаптивность	алгоритмы учатся на новых проектах, постоянно повышая точность расчетов

Применение искусственного интеллекта в сметном деле имеет и другие преимущества, например, снижение влияния человеческого фактора – неправильный выбор норм, пропуск работ, арифметические неточности, в результате которого повышается надежность и достоверность сметной документации.

Для создания единой интеллектуальной цифровой системы управления инвестиционно-строительными проектами, обеспечивающей повышение точности, эффективности и обоснованности принимаемых решений на всех этапах жизненного цикла объекта, нужна интеграция BIM-технологий, искусственного интеллекта и машинного обучения (табл.3).

В таблице 3 представлена модель последовательной интеграции цифровых технологий в систему сметного расчета стоимости строительства. BIM – технологии выступают в качестве основного источника структурированных данных, позволяя автоматически получать информацию об объемах работ и ресурсах. Искусственный интеллект выполняет функции анализа и проверки данных, выявляя ошибки и оптимизируя структуру затрат. Методы машинного обучения используются для прогнозирования стоимости и оценки рисков превышения бюджета на основе анализа массивов данных реализованных строительных проектов. В результате формируется интеллектуальная система управления стоимостью строительства, обеспечивающая более высокий уровень точности сметных расчетов и повышение эффективности инвестиционно-строительных проектов.

Мировой опыт показывает, что внедрение BIM – технологий может существенно повысить эффективность управления строительством. В некоторых проектах использование BIM позволило снизить себестоимость строительства до 20% за счет оптимизации процессов проектирования и управления ресурсами.

Таблица 3 – Интеграции BIM-технологий, ИИ и ML в расчете стоимости строительства

Этап	Цифровая технология	Основные процессы	Результат
1. Формирование цифровой модели объекта	BIM	Создание информационной модели здания, включающей геометрию, конструктивные элементы и технические параметры	Цифровая модель объекта строительства
2. Извлечение количественных параметров	BIM + базы данных	Автоматическое определение объемов работ, материалов, конструкций и оборудования	Ведомость объемов работ
3. Интеграция со сметно-нормативной базой	BIM + сметные программы	Сопоставление элементов модели с ресурсными элементами сметных норм	Формирование ресурсной модели стоимости
4. Проверка и анализ данных	ИИ	Проверка корректности данных, анализ затрат по аналогичным проектам	Оптимизированные параметры стоимости
5. Прогнозирование стоимости	Машинное обучение	Анализ исторических данных проектов, построение прогнозных моделей стоимости	Прогноз сметной стоимости объекта
6. Оптимизация проектных решений	ИИ + ML	Сравнение альтернативных вариантов конструкций и технологий	Выбор экономически эффективного решения
7. Управление стоимостью проекта	Интегрированная цифровая система	Мониторинг затрат на всех стадиях жизненного цикла объекта	Повышение точности и прозрачности смет

В настоящее время использование BIM-технологий в странах Центральной Азии находится на стадии постепенного внедрения. Отдельные проектные и архитектурные компании применяют цифровое моделирование зданий при разработке проектной документации и координации строительных работ. В целом, можно отметить, что распространение BIM-технологий пока не охватывает все этапы жизненного цикла строительных объектов и требует развития нормативной базы и подготовки специалистов [7].

Несмотря на высокий потенциал и широкое применение цифровизации в развитых странах, внедрение данной системы в Таджикистане сталкивается с рядом проблем:

- недостаточная нормативно-методическая база цифрового проектирования;
- ограниченный уровень цифровой подготовки специалистов - сметчиков;
- недостаток единой базы строительных данных и ресурсов;
- необходимость модернизации сметно-нормативной системы.

Для эффективного внедрения интегрированной системы BIM – ИИ – ML в строительную отрасль Республики Таджикистан рекомендуется реализовать следующие меры:

На государственном уровне: Разработать и утвердить национальные стандарты информационного моделирования (BIM - стандарты), гармонизированные с международными требованиями.

На отраслевом уровне: Создать единую цифровую национальную базу данных завершенных строительных проектов для обучения моделей ML-алгоритмов и актуализировать сметно-нормативную систему.

В образовательной сфере: Пересмотреть учебные программы для подготовки специалистов, обладающих компетенциями одновременно в экономике строительства и в области цифрового моделирования и анализа данных.

Несмотря на высокий потенциал цифровизации, исследование имеет ряд ограничений. В работе не проводилось практическое тестирование алгоритмов машинного обучения на базе реальных строительных проектов Республики Таджикистан. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку прикладных моделей прогнозирования стоимости строительства с использованием локальных статистических данных.

Выводы

Проведенное исследование доказывает, что интеграция BIM – технологий, искусственного интеллекта и машинного обучения позволяет существенно повысить эффективность процессов расчета стоимости строительства и обеспечивает автоматическое получение достоверных данных об объемах работ и ресурсах, что снижает трудоемкость подготовки сметной документации, формирует интеллектуальную цифровую среду и модель расчета стоимости строительства, обеспечивающую более высокую точность и адаптивность по сравнению с традиционными методами. Переход к 5D-моделированию и предиктивной аналитике позволяет не только автоматизировать расчет текущих затрат, но и эффективно управлять стоимостью на всех стадиях жизненного цикла объекта, обеспечивая прозрачность и обоснованность инвестиционных решений.

Рецензент: Амонуллозода С. – директор ТУТ «Центр ценообразования в строительной отрасли».

Литература

1. Концепция цифровой экономики Республики Таджикистан, утвержденная постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 декабря 2019 года № 642
2. Среднесрочная программа развития цифровой экономики Республики Таджикистан на 2026 – 2030 годы. - Душанбе, 2025
3. Стратегия развития строительной отрасли Республики Таджикистан на период до 2030 года, от 27 апреля 2022 года № 203
4. Сигалов А.Н. Применение BIM и искусственного интеллекта в сметных расчетах: на примере тоннельного строительства в Гродно. Журнал: Сметно-договорная работа в строительстве. № 11, 2025 г.
5. Смышляев В.А. Информационные технологии в строительстве. – Учебное пособие
6. Love P.E., Matthews J. Building a Digital Future: Innovative methods for project cost analysis. – Elsevier, 2023.
7. Хабибуллаев Ш.А. Особенности информационного моделирования здания в организации строительства. (2023). Сейсмическая безопасность зданий и сооружений, 1(1), 130-132. <https://inlibrary.uz/index.php/seismic-safety-buildings/article/view/27565>
8. Интеграция смет и BIM - проектов / Л.Б.Зеленцов, Я.А.Кокарева, Н.Г. Акопян, Д.В. Пирко/ Строительное производство. – 2020. - № 2 – с. 29-34.
9. Никитина Е.А. Внедрение BIM-технологий в сметную документацию/ Е.А.Никитина// Инженерный вестник Дона. – 2020. - № 12(72). – с.1-9. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6725

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН -СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ- INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Сафарова Окила Одинаевна	Сафарова Окила Одинаевна	Safarova Okila Odinaevna
н.и.т., дотсент	к.т.н., доцент	Candidate of technical sciences, Assistant professor
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет им. акад. М.С.Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: cafárova_o@mail.ru		
TJ	RU	EN
Хайруллоева Мадина Бахтиеровна	Хайруллоева Мадина Бахтиеровна	Khairulloeva Madina Bahtiyorovna
магистрант	магистрант	magistrant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: madina.safarova.03@bk.ru		
TJ	RU	EN
Раҳимов Уктам Ҷумақулович	Рахимов Уктам Джумакулович	Rahimov Uktam Jumakulovich
ассистент	ассистент	assistant
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi