

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 338.001.36

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1550-1561

Оценка экономической эффективности применения искусственного интеллекта в строительстве: выбор оптимального метода

Дарья Николаевна Шишкина
Цифровая Артель; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведен обзор существующих идей внедрения искусственного интеллекта (ИИ) в строительной отрасли. Выполнен анализ применимости технологий и оценена их экономическая эффективность, обоснована целесообразность применения вложений инвестиций в потенциальные проекты. Строительство — это фундаментальная сфера жизни человека, в которой использование нововведений информационных технологий, в особенности ИИ, должно быть сопряжено с взвешенным решением и тщательным тестированием. По этой причине требуется выбрать наиболее подходящий под эти задачи метод оценки целесообразности внедрения. Применяв выбранный метод, можно раскрыть возможности нового проекта и соотнести его со всеми затратами и рисками.

Материалы и методы. Проанализированы российские и зарубежные исследования, интернет-ресурсы и материалы конференций, в ходе которых найдены актуальные тенденции применения ИИ в строительстве. Комплексный метод позволил осветить технологии с точки зрения идейности, реальности воплощения, практического использования и экономической целесообразности. Применен метод балльной оценки проектов и составлен перечень технологий, выгодных к использованию и перспективных к разработке. Осуществлено многоуровневое изучение выбранных проектов согласно системному подходу моделирования.

Результаты. Сделаны выводы о наиболее перспективном методе оценки экономической эффективности инновационных проектов на основе ИИ, применимых к строительной индустрии. Теоретическая модель направлена на рассмотрение проекта как процесса причинно-следственных связей, благодаря которому видна цепочка необходимых действий, а также их последовательность.

Выводы. Данное исследование об эффективности внедрения ИИ в строительство и некоторых идейных замыслов выявило оптимальный и достаточно информационный метод оценки экономической эффективности проектов, степень актуальности и соответствия интересам и потребностям строительной сферы. Представлен перечень рекомендаций для процесса внедрения нового проекта с помощью ИИ. Предложен вектор дальнейших исследований в области практических расчетов эффективности и прогнозирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: искусственный интеллект, инновации, информационные технологии, машинное обучение, строительство, инвестиционный проект, методы оценки инвестиций, экономический эффект, экономическая эффективность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Шишкина Д.Н. Оценка экономической эффективности применения искусственного интеллекта в строительстве: выбор оптимального метода // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 9. С. 1550–1561. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1550-1561

Автор, ответственный за переписку: Дарья Николаевна Шишкина, fin.control.id@gmail.com.

Assessment of economic efficiency of artificial intelligence application in construction: the choice of the optimal method

Darya N. Shishkina
Digital Artel; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The review of existing ideas of artificial intelligence implementation in the construction industry is carried out. On the basis of the studied data the applicability of the technologies was analyzed and their economic efficiency was evaluated, as well as the feasibility of investment in potential projects was substantiated. Construction is a fundamental area of human life, in which the use of information technology innovations, especially artificial intelligence should be associated with a balanced decision and thorough testing. For this reason, it is required to choose the most appropriate method to evaluate the feasibility of implementation. By the chosen method it is possible to reveal the possibilities of a new project and to correlate it with all costs and risks.

Materials and methods. Russian and foreign studies, Internet resources and conference materials were studied. As a result, the current trends of technologies of artificial intelligence application in construction were found. The integrated method allowed to consider technologies from the point of view of ideology, reality of embodiment, practical application and economic feasibility. The method of scoring of projects was applied and the list of technologies was compiled. This list includes technologies that are favourable for application and promising for development. Multilevel study of the selected projects was carried out according to the system modelling approach.

Results. Based on the results of the study, conclusions are made about the best method for assessing the economic efficiency of innovative projects based on artificial intelligence, which are applicable to the construction industry. The theoretical model is aimed at considering the project as a process of cause-and-effect relationships. This project reveals the list of necessary steps and their sequence.

Conclusions. This study on the effectiveness of the implementation of AI in construction of some ideas revealed an optimal and sufficiently informative method of assessing the economic efficiency of projects, as well as the degree of relevance and compliance with the interests and needs of the construction industry. A list of recommendations for the process of implementation of a new project with the use of artificial intelligence is presented. A vector for further research in the field of practical calculations of efficiency and forecasting is proposed.

KEYWORDS: artificial intelligence, innovation, information technology, machine learning, construction, investment project, investment evaluation methods, economic effect, economic efficiency

FOR CITATION: Shishkina D.N. Assessment of economic efficiency of artificial intelligence application in construction: the choice of the optimal method. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(9):1550-1561. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1550-1561 (rus.).

Corresponding author: Darya N. Shishkina, fin.control.id@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие искусственного интеллекта (ИИ) во всех сферах экономики, в частности строительстве, обусловило необходимость изучения данной информационной технологии (ИТ). Внедрение ИИ еще не столь распространено, однако те, кто его применяют, имеют выгоду. Снижение затрат, оптимизация процессов, значительное сокращение рисков на всех этапах [1], повышение конкурентоспособности — лишь часть преимуществ. Несмотря на это, существуют ограничения, в первую очередь стоимостные, так как на разработку и внедрение всех технологий с использованием ИИ нужны большие средства. Вложения в ИТ, в том числе в ИИ, следует рассматривать как стратегический инвестиционный проект, который может принести инвесторам или компании доход, следовательно, для принятия управленческого решения требуется выяснить эффективность проекта.

Как правило, применение инновационных технологий в строительной отрасли направлено на извлечение положительного экономического эффекта, включая минимизацию рисков возникновения перерасхода целевых средств и срыв сроков строительства, что является частыми проблемами. Кроме того, эти негативные факторы влияют на общую финансовую эффективность работы компаний (строительных, девелоперских и т.п.), на их деловую репутацию, что отражается на прибыльности и производительности, приводит к подрыву доверия, сокращению привлечения субсидий и инвестиций.

Возможный перерасход средств приводит и к увеличению риска убыточности, а значит, недовольству участников-выгодоприобретателей проекта [2]. Достаточно обширно вопрос инновационных проектов представлен в списке поручений Президента Российской Федерации от 31.12.2020 № Пр-2242

по итогам конференции по искусственному интеллекту.

Необходимость обоснования экономической эффективности использования технологий ИИ, в частности при создании объектов недвижимости, обоснована включением настоящего вопроса в перечень проектов цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 года¹. В инициативах обозначена направленность на «сокращение уровня травматизма и несчастных случаев со смертельным исходом за счет применения средств объективного контроля и искусственного интеллекта, а так же обеспечение проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий с применением предиктивной аналитики, основанной на алгоритмах искусственного интеллекта»¹.

Помимо государственных программ, подтверждается интерес к данной теме в работах, опубликованных в журналах. Они указывают на увеличение спектра использования во всех сферах экономики и говорят о значительном увеличении перспективы дальнейшего развития.

В.Н. Колчин рассматривает применение технологий ИИ в строительстве [3]. Приведены примеры внедрения цифровых технологий, в том числе ИИ, на стадии продаж и прогнозирования ре-концепции И.Ф. Гареевым, Н.Н. Мухаметовой [4]. О важном значении инновационных проектов в строительстве пишет Н.Е. Симионова, раскрывая нюансы управ-

¹ О стратегическом направлении в области цифровой трансформации строительной отрасли, городского и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации до 2030 г. : Распоряжение Правительства РФ от 27.12.2021 № 3883-р.

ления инновационными проектами в строительстве и возможность оценки эффективности [5].

Цель данной статьи — проанализировать каждый вид возможного применения ИИ в строительной отрасли в отдельности и в целом, чтобы выявить наиболее привлекательные из них для дальнейшего изучения, практического использования и оценить экономическую целесообразность.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для принятия взвешенного решения и возможности избежать ошибок в управленческих решениях на практике необходимо использовать несколько наиболее подходящих методов, т.е. подойти комплексно. На этом же принципе основано это исследование, где применены следующие методы: контент-анализ, сравнительный анализ, системный анализ, качественный экспертный анализ, метод балльного ранжирования, моделирование.

Проанализированы публикации из научных журналов (на ресурсах e-LIBRARY и Молодой ученый, а также иностранные публикации), начиная с 2018 г., так как материалы по выбранной теме достаточно динамично развиваются и более ранние работы могут предоставлять устаревшую информацию. Также изучены сведения из интернет-источников, они актуально отражают передовые тенденции. Среди интернет-публикаций были отобраны только те материалы, которые применимы к сфере строительства и являются достоверными, это «Строительная газета», «ЦУС в строительстве», информационный портал «Сбербанк», сайт Министерства экономического развития РФ. Благодаря такому контент-анализу собраны текстовые массивы для дальнейшей систематизации.

Использованный на следующем шаге системный метод позволил из многообразия идей реализации ИИ в строительстве построить четкую структурированную базу для последующего детального анализа. Необходимость системного подхода обоснована и автором статьи О. Лавриченко [6]. Выполнены выборка наиболее интересных и вероятных идей применения ИИ в строительной индустрии и дальнейшее упорядочение этих идей по логике использования согласно этапам строительных процессов от проектирования до управления готовым объектом.

На основе систематизации проведен сравнительный анализ идей по степени готовности к внедрению. Поэтапное сопоставление формирует 4 группы от идеи до широкого практического применения, таким образом, формируется представление о степени развития идей. Балльное ранжирование и группировка подсвечивает возможные сферы роста и развития в тех областях, которые в данный момент не проработаны полноценно, что открывает потенциальные возможности для новых разработчиков и инвесторов.

Выборочное построение теоретических моделей (метод моделирования) дало в качестве результата возможность оценить процессы внедрения ИИ в строительной индустрии и выстроить цепочку последовательных действий для ее внедрения. На основе словесно-описательной части, преобразованной в графическую модель, можно сделать выводы о возможности применения внедряемого процесса. При углубленном анализе открывается возможность разобрать риски, сложности использования и последствия, что может стать материалом для дальнейших исследований.

Большинство применяемых методов являются качественными в связи с тем, что объекты исследования — новаторские и технически сложные.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка экономической эффективности любого проекта осуществляется в большинстве случаев количественными методами, проекты в сфере строительства требуют точных расчетов. Однако сочетание новшества технологии ИИ и фундаментальной сферы строительства не позволяет это сделать традиционными вычислениями. Новизна данной работы состоит в применении качественного метода при оценке экономической эффективности.

Для финансово-экономического анализа эффективности важно иметь хорошее представление о новейших технологиях ИИ и машинного обучения, поэтому рассмотрены основные идеи применения в строительстве. Проведен обширный контент-анализ всевозможных технологий и рассмотрена каждая из них, принимая во внимание важные факторы повышения экономической эффективности замысла: соответствие требованиям безопасности и качества, сроков производства, ресурсосбережение в процессе строительства и т.д. [5, с. 60].

Использование *предиктивной аналитики (предиктивного планирования)* при помощи ИИ помогает решить множество проблем, связанных с несвоевременной поставкой материалов и оборудования, которые часто срываются из-за неучтенных климатических, экономических, политических и других факторов. Из-за этого компании несут большое количество дополнительно издержек (например, срочная покупка и доставка, дополнительный кредит или перекредитование и т.д.). Используя накопленный опыт и исторические данные, система обрабатывает сведения и способна обучаться с последующей выдачей ориентировочного прогноза, в котором учтено множество факторов². Этот инструмент дает возможность составлять прогнозы с учетом вероятных отклонений от определенных сроков и подготовить необходимые меры по их предотвращению или минимизации их негативного влияния. Эконо-

² Искусственный интеллект на стройке: возможности и перспективы // Строительная газета. 2023.

мический эффект отражается в предотвращении незапланированных затрат и своевременности окончания строительства.

В схожем векторе планирования существуют сервисы *предсказательной аналитики* на основе ИИ, которые позволяют спрогнозировать цены на строительные материалы (по словам управляющего партнера «Самолет» Андрея Иваненко, эксперт попадает в 20 % случаев, а в базе ИИ — 92 % [7]). В этом случае можно более точно рассчитать необходимый объем резервных фондов для закупки дополнительных материалов.

Подобное направление, связанное с *предиктивным моделированием*, — это расчет оптимальной *квартирографии*. Данные программы уже используют девелоперы при планировании создания жилого комплекса для наилучшего определения количества квартир, комнат в них и площади. Еще одна полезная функция такого планирования заключается в определении стоимости квадратного метра на каждом этапе строительства, что очень важно для продажи части площадей в конкретный период времени (стадии строительства). При анализе используются накопленные сведения о спросе и предложении; наличии аналогичных жилых объектов, инфраструктуры и транспортной доступности. Примером такого введения ИИ на практике служит сервис «Девелопер», который уже тестируется крупными застройщиками [7]. Грамотный расчет *квартирографии* дает возможность наиболее рационального использования площади, что особенно актуально в крупных городах.

Ответвление этого направления — *автоматизированное генеративное проектирование зданий и сооружений*. Проектируются конструкции под определенные сложные климатические и геодезические параметры, например строительство в сейсмически опасных зонах. В процессе такого архитектурного проектирования с помощью алгоритмов ИИ как результат формируются варианты наилучшего расположения здания, его конструктивных особенностей, применяемых материалов, необходимое оборудование для дальнейшей эксплуатации и отслеживания состояния здания. Экономическая выгода в таком случае обоснована непосредственно возможностью такого строительства и его безопасностью [8].

Внедрение ИИ не обошло стороной и дизайн в сфере строительства. Существует понятие «*генеративный дизайн*» — это процесс поиска формы, который может заимствовать эволюционный метод дизайна в природе. На сегодняшний день в проектировании уже продумано огромное количество моделей, однако многие компании тратят много времени на то, чтобы сделать что-то необычное и интересное [3, с. 251]. С помощью ИИ указанная программа учится сопоставлять вводимые параметры запроса и использовать алгоритм для создания множества

вариантов, при этом каждая итерация учит ИИ создавать идеальную модель. Такое эффективное применение площадей даст прирост дополнительной прибыли.

Существуют программы *мониторинга хода строительства*: при помощи ИИ обрабатываются фото- и видеоданные со строительной площадки, собранные с помощью дронов или других специальных устройств. На основе анализа выявляются действия, которые не соответствуют установленным правилам безопасности, с указанием местоположения. Так же система анализирует модель, созданную при проектировании, с информацией по текущему ходу возведения сооружения и выявляет задержки и нарушения. Подобные технологии уже нашли свое отражение на практике, например, компания Ersi предоставляет такую разработку в рамках оптимизации управления строительными проектами. Таким образом, оптимизируется процесс координации строительства и, как следствие, увеличение производительности, а также предотвращение аварийных ситуаций и отсутствие финансовых потерь.

Выше уже упоминалось применение специализированного оборудования для обследования территории в рамках программы анализа, однако *сбор информации* тоже может быть осуществлен с применением ИИ на основе компьютерного зрения [9]. Компании разрабатывают и производят автономно передвигающихся по местности роботов, оснащенных специализированными системами трехмерного сканирования и фото- видеofиксации. По итогу работы робота создается полная цифровая модель, которая обрабатывается нейронной сетью. Так получают самые актуальные сведения о строящемся объекте. Эти роботы способны выполнять узкоспециальный спектр задач и принимают форму, которая максимально приспособлена для выполнения [10]. В России среди таких компаний Droxel применяет роботов [3, с. 251], Trase Air использует дроны, группа «Самолет» начала тестирование роботов-собак³. Подобные разработки помогают оперативно и достоверно собрать информацию, которая в дальнейшем применяется в широком спектре аналитической работы, описанной выше.

Еще одна идея, вытекающая из необходимости контроля на строительной площадке, — *экзоскелеты*, которые применяются непосредственно на строительной площадке. Эта система фиксирует через камеры окружающую среду и анализирует ситуацию. После чего специальные алгоритмы ИИ определяют наилучшие движения для окружающей местности и состояние человека. Так, например, платформа Newmetrix за счет машинного обучения прогнозирует потенциальные опасности на основе фото- и видеисточников [10]. Использование такого

³ Как ИИ помогает в строительстве и ЖКХ // Информационный портал «Сбер ПРО». 2023.

рода оптимизации обосновывается потенциальным увеличением производительности, точности и скорости выполнения работ. Сопреженная с предыдущей технологией, направленной на безопасность, это идея *интеллектуальных датчиков* на теле рабочих-строителей для контроля их физического состояния. Активно обсуждается введение в практику смарт-жилетов, которые также отвечают за безопасность рабочих и помогают отслеживать нахождение строителей в опасных зонах [11].

В раздел безопасности отнесен и проект, в котором *распознается небезопасное поведение людей*, пересекающих структурные опоры, используемые при создании глубоких котлованов. В разработке использовалось компьютерное зрение для обнаружения людей и модуль обнаружения перекрытия для определения соответствующего расположения и взаимоотношений между людьми и структурными опорами [12]. Таким образом, около 80 % несчастных случаев можно будет избежать. Эффективность введения разработок, связанных с безопасностью, обоснована не только экономическими потерями. Смерть работника и причиненные травмы оказывают большое побочное влияние на компании и, в том числе, на экономику в целом. Они включают прямые физические потери для пострадавшего, эмоциональный стресс для его семьи, а также урон моральному облику компании. Есть практика оценки таких компенсаций в судебной практике и, как итог, они находят отражение в снижении общей прибыльности проекта. Но немаловажным в данном контексте является тот факт, что цифры не могут отразить урон, который невозможно восполнить деньгами.

Самый большой эффект от использования ИИ уже виден в маркетинге и продажах. В этой области нужно коммуницировать с клиентами, таким примером служат применяемые повсеместно *чат-боты* и *голосовые боты*. Они выполняют первичное общение и консультируют клиента. Для выявления потребности клиента и перевода на необходимого специалиста система ИИ использует лингвистическую обработку, чтобы анализировать вопросы покупателей и предоставлять ответы и информацию [13].

В продаже недвижимости эффект этой идеи занял прочное место. Экономический эффект этой идеи заключается в снижении затрат на персонал на первичной стадии привлечения клиента. Таким образом, силы квалифицированного персонала по продажам направлены на целевого клиента, что увеличивает объем продаж.

Перспективное направление — создание специализированных *ИИ-ассистентов* для разных специалистов, от инженера до генерального директора. Подтверждение перспективности и целесообразности этого нововведения активно обсуждается на конференциях [14]. Системы основаны на знаниях огромного количества информации и вариативности, однако сложность и многогранность

склада ума человека на сегодняшний день достигнуты не в полной мере [10].

Контроль оборудования вносит важную информацию в ходе строительства. Такие решения при помощи телеметрии на основе ИИ определяют необходимость ремонта, в том числе профилактического, а также местоположение и расход топлива или заряд аккумулятора, сопоставляя его с плановыми показателями. Экономическая эффективность обоснована, как и в большинстве случаев, возможностью предотвратить выход из строя оборудования, что экономит значительное количество времени и финансовые ресурсы строительной компании.

Идеи применения ИИ не обошли и строительные работы: существуют системы ИИ для управления машинами и оборудованием, но под контролем человека, которые применяют для демонтажа зданий, 3D-печати. В перспективе создание *автономной роботизированной спецтехники* (краны, бульдозеры, бетономешалки и самосвалы). Целесообразность заключается в увеличении мощностей и скорости производимых работ, а также повышении безопасности сотрудников при выполнении бизнес-процессов (включая прогнозирование рисков и неблагоприятных событий, снижение уровня непосредственного участия человека в процессах, связанных с повышенным риском для его жизни и здоровья)⁴.

Системы умного дома, которые часто применяются в жилом фонде, активно входят в обычную жизнь. Они основаны на возможности распознавания лиц. На этом же принципе основана идея *системы безопасности на строительной площадке* [15]. ИИ может выявлять незнакомцев и распознавать подозрительное поведение работников. Таким образом, будет обеспечен контроль за площадкой, предотвращены хищения и нерегламентированное поведение рабочих. Стоит отметить, что хищение является довольно распространенной статьей затрат. Эта мера дает возможность сохранить резервные фонды от затрат.

Тема *возможности повторного использования строительных материалов* в конце жизненного цикла здания очень актуальна для строительства. Огромное количество пригодных для вторичного использования материалов и частей конструкций выбрасывается. ИИ был призван продвинуть эту проблему вперед. Существуют различные модели ИИ, способные смоделировать и оптимизировать цикличность использования строительных материалов и отходов в процессе строительства [16]. Экономический эффект заключается в большой экономии бюджета, но на сегодняшний день переработка строительных материалов происходит без применения ИИ. По мнению автора, это нововведение —

⁴ О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации : Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 № 490.

перспективное направление в условиях мировой тенденции разумного потребления.

Все вышеуказанные идеи разработок на основе ИИ являются перспективными, но важными и необходимыми, для первоочередного внедрения служат немногие, так как высокая стоимость и потребность в квалифицированном персонале накладывают финансовые и управленческие ограничения на введение таких технологий.

Потенциал ИИ велик для построения работы, но строительные компании не решаются использовать ИИ повсеместно не по причине того, что они против его внедрения, а потому что его автономные решения и действия ИИ могут быть необъяснимы и требуют тщательного контроля и алгоритмизации. Решения ИИ ставятся под сомнение, поскольку предсказание необъяснимо [17].

По итогу контент-анализа сформировано представление об использовании ИИ в строительстве, что дает возможность группировки технологий по степени их реализуемости. Такое структурирование позволяет понять, в какой степени адаптируется ИИ в сфере создания недвижимости, и увидеть необходимый вектор доработки. Основная направленность всех идей в конечном итоге сводится к увеличению производительности, уровень роста которой заметно ниже, чем в остальных отраслях.

На основе указанных источников и вышеперечисленных сведений о программных продуктах с использованием ИИ и их возможности практического применения составлена табл. 1 с балльной системой оценки применимости, где 0 — не применимо, 1 — применимо.

Для наглядного представления о том, какие разработки активно внедрены, автором построен гра-

Табл. 1. Сравнительный анализ видов применения ИИ в строительстве (составлено автором)

Table 1. Comparative analysis of AI applications in construction (compiled by the author)

Направления Directions	Идея Idea	Технологическая разработка Technological development	Тестирование и единичное применение Testing and one-off application	Активное практическое применение Active application
Предиктивное проектирование Predictive design	1	1	1	1
Предиктивное ценообразование Predictive pricing	1	1	1	0
Предиктивное моделирование Predictive modelling	1	1	1	1
Генеративный дизайн Generative design	1	1	1	0
Мониторинг хода строительства Monitoring of construction progress	1	1	1	1
Датчики безопасности Safety sensors	1	1	1	0
Экзоскелеты Exoskeletons	1	1	1	0
Чат-боты Chatbots	1	1	1	1
ИИ-ассистенты AI assistants	1	0	0	0
Дроны и роботы (роботы-собаки) Drones and robots	1	1	1	1
Контроль оборудования Equipment control	1	1	1	0
Автономная строительная техника Autonomous construction equipment	1	1	1	0
Система охранной безопасности Security system	1	1	0	0
Цикличность применения материалов Cyclical application of materials	1	1	0	0

фик (рис. 1). Здесь видно, что идей, которые достигли высокого уровня внедрения, достаточно, однако существуют и те, что не нашли широкого применения на сегодняшний день и даже не тестируются строительными компаниями.

Исходя из данных, собранных в табл. 1, автором построена табл. 2 с расчетом относительных величин.

Как показывают данные табл. 1 и сравнительной табл. 2, лишь 36 % идей являются применимыми на практике. Но, принимая во внимание, что строительство — это консервативная сфера экономики, что здесь не допустимы ошибки и скоропалительные решения, такой процент внедрения достаточно весом. При этом 93 % идей уже технологически разработаны и 79 % тестируются, это

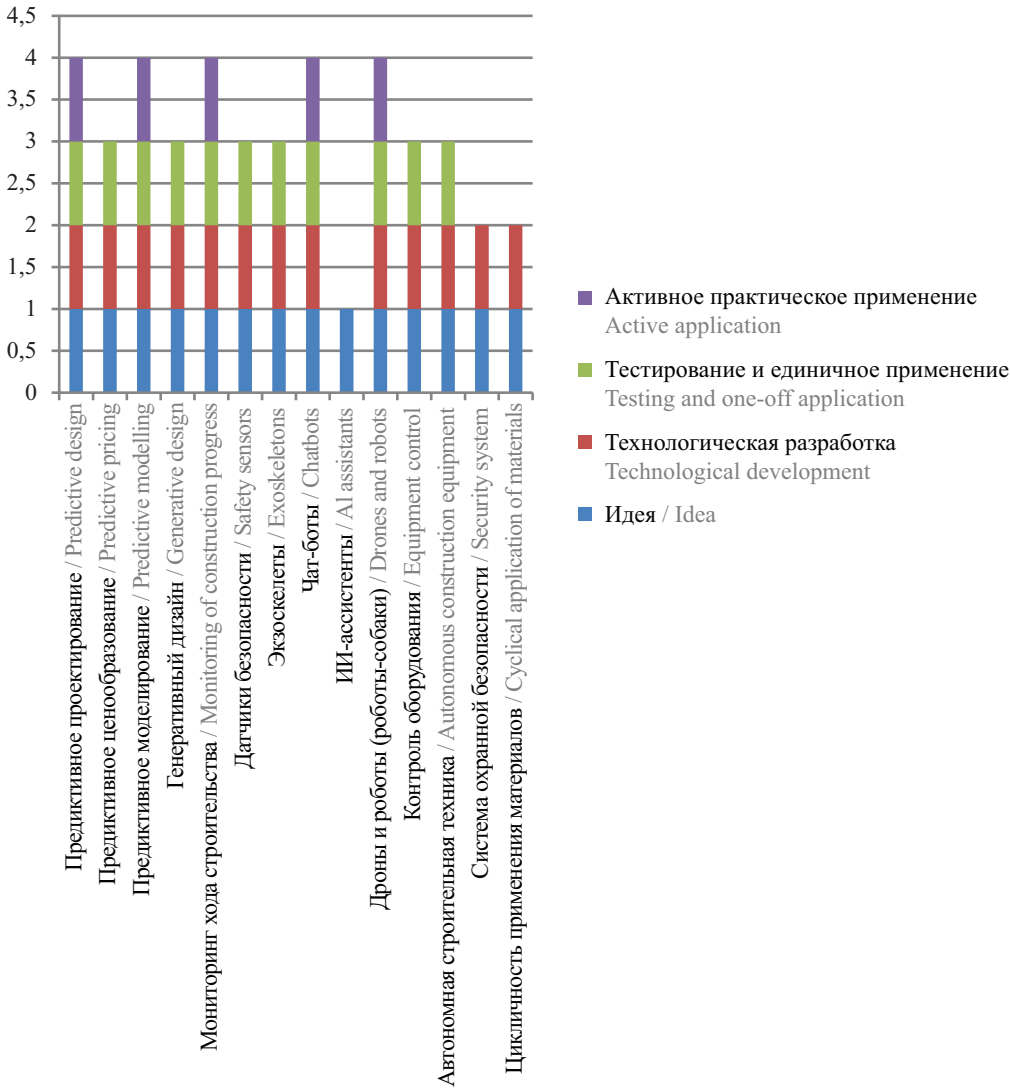


Рис. 1. График сравнительного анализа видов применения ИИ в строительстве

Fig. 1. Graph of comparative analysis of types of AI applications in construction

Табл. 2. Относительные показатели степени внедрения в строительство разработок на основе ИИ (составлено автором)

Table 2. Relative indicators of the degree of implementation of AI-based developments in construction (compiled by the author)

Показатели Indicators	Идея Idea	Технологическая разработка Technological development	Тестирование и единичное применение Testing and one-off application	Активное практическое применение Active application
Относительные показатели развития идей Relative indicators of development of ideas	100 %	93 %	79 %	36 %

свидетельствует об активном желании компаний строительной отрасли внедрять технологии ИИ. Также из анализа видно, что на сегодняшний момент внедрение происходит только в тех сферах, где не требуется большая работа по перепрофилированию персонала, технологий и оборудования. Крупные компании уже внедряют инструменты на основе ИИ для увеличения эффективности работы.

В ситуации, когда в свободном доступе нет точных отчетных данных от компаний, внедривших продукты с использованием ИИ, невозможно применить классические методы оценки экономической эффективности проекта (норма доходности, рентабельность различных показателей, срок окупаемости, совокупная стоимость владения и т.д. [18]). Следует отметить, что, если оценивать экономический эффект от внедрения ИИ, основываясь только на затратах, не принимая во внимание качественные

факторы, это может привести к суждению о невыгодности внедрения [19, с. 195]. Многие проекты ИИ, как часть ИТ-проектов, работают на перспективу, поэтому необходим метод оценки эффективности на основе теоретического знания, один из таких методов — построение моделей.

Для проведения анализа необходимая информация о каждом из потенциальных проектов была собрана в данной статье выше. Также был подготовлен график сравнения проектов (рис. 1), на основе которого выбраны наиболее интересные и актуальные идеи. Таким образом, благодаря изученному массиву информации и выбранному методу выполнена экономическая оценка эффективности трех разработок.

Оценку экономической эффективности предиктивного проектирования можно представить следующим образом (рис. 2).

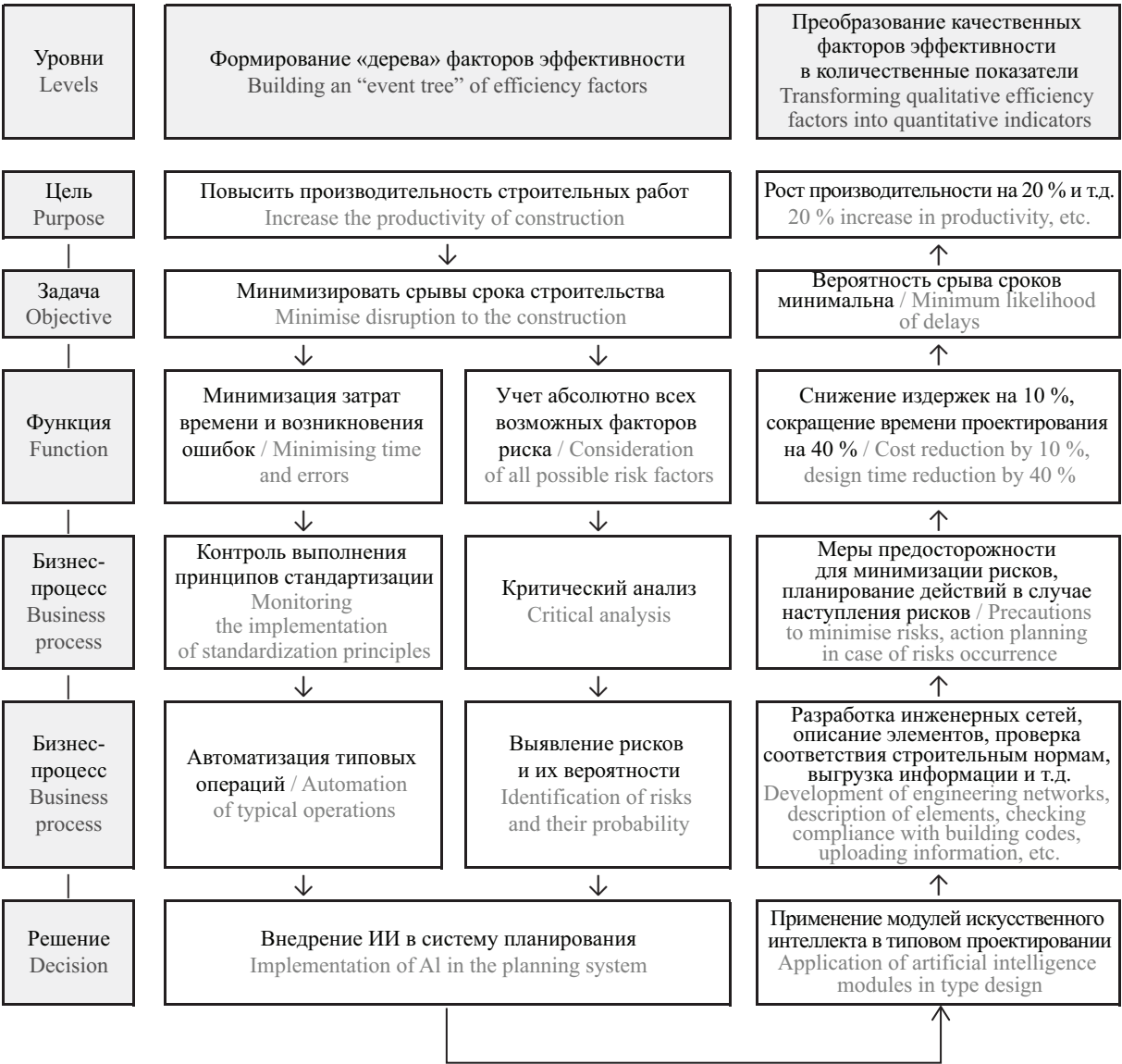


Рис. 2. Теоретическая модель оценки экономической эффективности предиктивного проектирования (составлено автором)

Fig. 2. Theoretical model for assessing the economic efficiency of predictive design (compiled by the author)

Следующая теоретическая модель оценки экономической эффективности мониторинга хода строительства при помощи ИИ представлена на рис. 3.

Далее автором составлена теоретическая модель оценки экономической эффективности внедрения автономной техники (рис. 4).

Экономическая эффективность каждой из перечисленных моделей достигается благодаря последовательному анализу и выражается в относительных показателях по экспертной оценке. Однако на практике данные относительные показатели можно вычислить более точно и применимо к конкретной организации при наличии соответствующих данных.

На основе построения таких многоуровневых детальных моделей связываются разные характеристики и появляется возможность оценить новую систему внедрения. Максимально развернутая структура позволяет связать приоритеты и задачи компании с факторами эффективности, а затем качественные улучшения можно преобразовать в количественное выражение финансовой выгоды. Благо-

даря построению цепочки причинно-следственных связей и разбивке на составляющие процесса необходимо также оценить каждое «звено» на предмет рисков и затратной части.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показал анализ, каждая из идей несет определенную экономическую выгоду. Но перед введением той или иной разработки, которую можно назвать полноценным инвестиционным проектом, требуется тщательный анализ для принятия решения.

В основном разработки с применением ИИ не приносят мгновенного эффекта, а работают на перспективу, так как ИИ должен обучаться и иметь большие данные для эффективной работы. ИТ-проекты оказывают влияние на финансово-экономические показатели деятельности предприятия опосредованно, т.е. через управленческие решения и внедренные бизнес-процессы.

Стоит отметить, что часть идей внедрения мало влияет на экономическую эффективность напрямую,

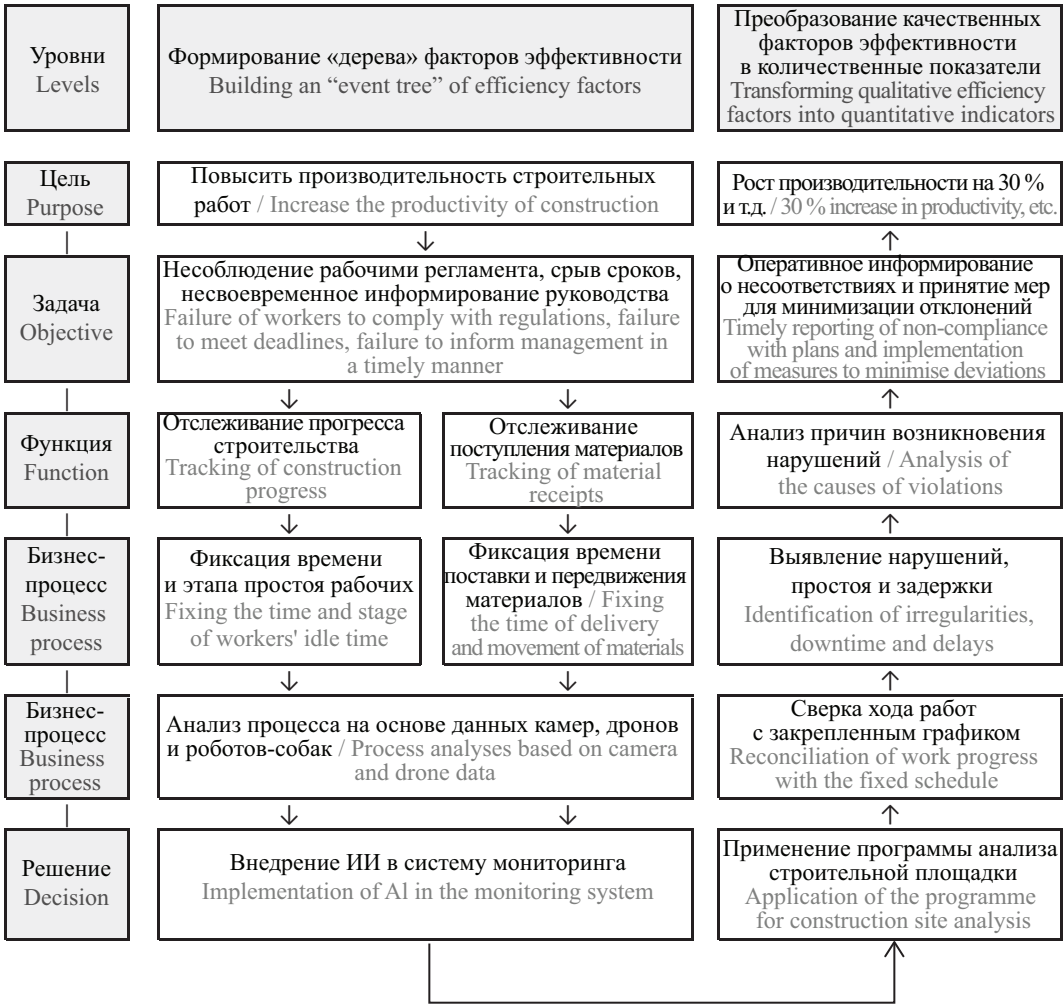


Рис. 3. Теоретическая модель оценки экономической эффективности мониторинга хода строительства при помощи ИИ (составлено автором)

Fig. 3. Theoretical model for assessing the economic efficiency of construction progress monitoring using AI (compiled by the author)

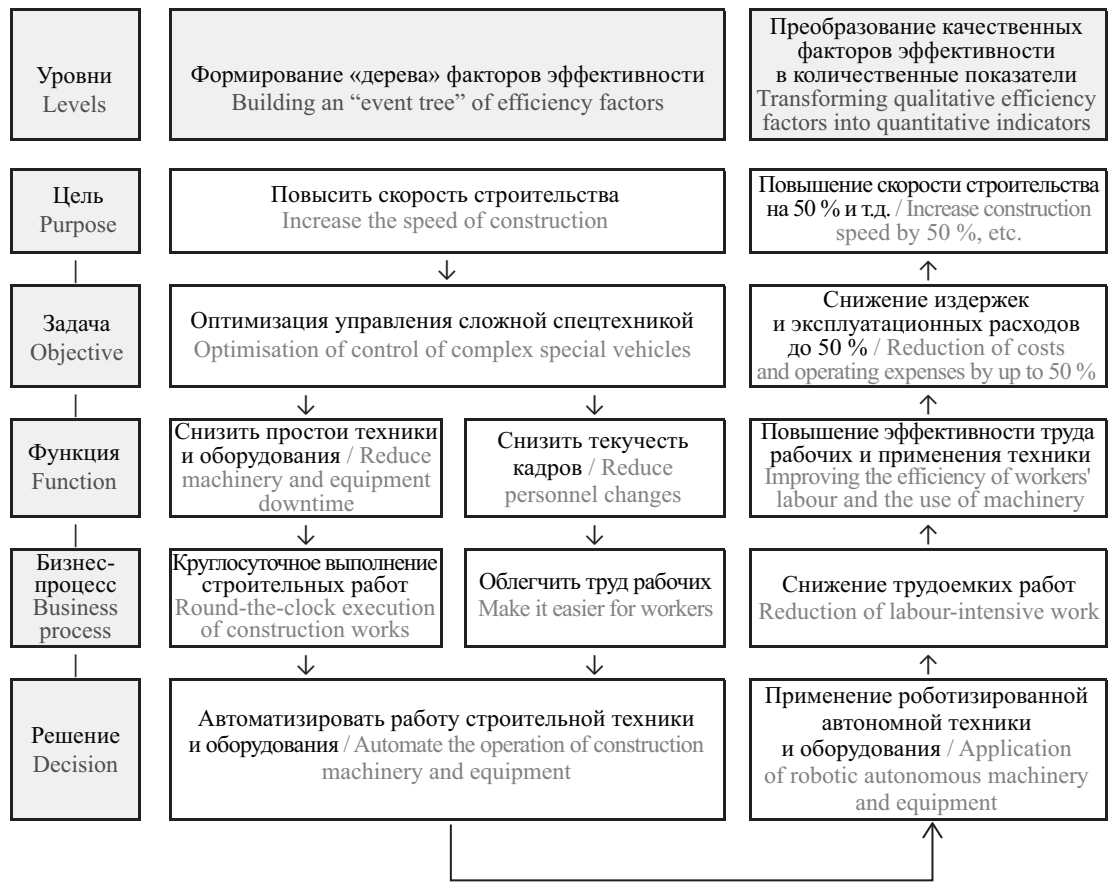


Рис. 4. Теоретическая модель оценки экономической эффективности внедрения автономной техники (составлено автором)

Fig. 4. Theoretical model for assessing the economic efficiency of the introduction of autonomous vehicles (compiled by the author)

а порой отвечает за деловую репутацию или показывает степень вовлеченности компании в новые технологии, что в свою очередь служит показателем финансовой обеспеченности и готовности компании шагать в ногу со временем.

В любом случае потенциальный экономический эффект нужно соотносить с затратами, так как для любого проекта затраты не должны быть больше, чем положительный результат проекта.

Дополнительным выводом статьи является то, что для извлечения максимальной экономической эффективности от применения ИИ в строительстве необходимо использовать не только потенциал собственных разработок, но применять возможность кооперации с лидерами рынка. Это обосновано не только необходимостью больших вложений в интеллектуальные технологии, но и наличием данных для обучения и пополнения базы знаний ИИ, так как все из упомянутых в статье разработок для корректной и полноценной работы требуют массив накопленных данных. Вероятным выходом в такой ситуации будет синергия крупных компаний, которая объединит ресурсы и усилия каждого из участников. Конференции и различные мероприятия могут стать точкой соприкосновения и источником таких объединений.

По результатам анализа, принимая во внимание все условия для получения наибольшей финансовой выгоды, составлен ряд рекомендаций для практического внедрения технологий на основе ИИ в строительной индустрии:

- применять ИИ в направлениях, которые позволяют извлекать дополнительную прибыль или уменьшать расходы в текущий момент или в ближайшем будущем. Подход со ставкой на длительную перспективу подойдет крупным компаниям и объединениям, которые располагают свободными финансовыми средствами на целевые разработки;
- использовать ИИ не для того, чтобы уменьшить штат работников, а увеличить производительность и квалификацию сотрудников;
- начинать внедрение новых разработок с одного этапа строительства и одного вида работ, что позволит контролировать успешность внедрения и отследить динамику финансово-экономических показателей от определенного нововведения;
- рассмотреть возможность кооперации с другими участниками рынка.

Практическая значимость исследования заключается в возможности разработчиков программ с использованием ИИ видеть идеи, которые еще не про-

работаны и являются перспективными, в том числе их проработка может дать большие шансы на патенты. Девелоперы, инвесторы и другие заинтересованные лица благодаря статье получают систематизированную информацию об актуальном направлении в области использования ИИ в строительстве, сведения о возможности выверенного и корректного метода оценки эффективности.

Из полученных результатов следует вывод о выборочной возможности и целесообразности примене-

ния ИИ. Важно отметить, что развитие ИТ не стоит на месте и темп роста вовлеченности предприятий увеличивается, увеличивается и число компаний-разработчиков. При росте конкуренции среди производителей программного обеспечения на основе ИИ возникает необходимость сравнения проектов для выбора того или иного. Каким методом определить лучший проект? На какие основные показатели стоит обратить внимание? Все эти рассуждения могут стать темами для будущих изучений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гинзбург А.В., Рыжкова А.И. Возможности искусственного интеллекта по повышению организационно-технологической надежности строительного производства // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 1 (112). С. 7–13. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.1.7-13. EDN XCIOMJ.
2. Egwim C.N., Alaka H., Toriola-Coker L.O., Balogun H., Sunmola F. Applied artificial intelligence for predicting construction projects delay // Machine Learning with Applications. 2021. Vol. 6. P. 100166. DOI: 10.1016/j.mlwa.2021.100166
3. Колчин В.Н. Специфика применения технологий «искусственного интеллекта» в строительстве // Инновации и инвестиции. 2022. № 3. С. 250–253. EDN JLECU.
4. Гареев И.Ф., Мухаметова Н.Н. Внедрение цифровых технологий на этапах жизненного цикла объектов жилой недвижимости // Жилищные стратегии. 2018. Т. 5. № 3. С. 305–322. DOI: 10.18334/zhs.5.3.39692. EDN YRLKJV.
5. Симионова Н.Е. Инновационные проекты в строительстве: управление и оценка эффективности // Экономика строительства. 2020. № 2 (62). С. 59–65. EDN UVSSWJ.
6. Лавриченко О.В. Системный подход к определению экономической эффективности инновационных проектов // Креативная экономика. 2013. № 11 (83). С. 36–40. EDN RSHVAV.
7. Маляревский А. ИИ в российских условиях: драйверы, ингибиторы и важность кейсов // Интернет-издание о высоких технологиях — CNews. 2023.
8. Baduge S.K., Thilakarathna S., Perera J.S., Arashpour M., Sharafi P., Teodosio B. et al. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications // Automation in Construction. 2022. Vol. 141. P. 104440. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104440
9. Brilakis I., Haas C.T.M. Infrastructure computer vision. Butterworth-Heinemann, 2019.
10. Abioye S.O., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J.M.D., Bilal M. et al. Artificial intelligence in the construction industry : a review of present status, opportunities and future challenges // Journal of Building Engineering. 2021. Vol. 44. P. 103299. DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103299
11. Гурина Е.О., Лусин И.П. Будущие инновации в строительстве // Технические науки: теория и практика : мат. IV Междунар. науч. конф. 2018. С. 43–44. EDN YNCKZN.
12. Fang W., Zhong B., Zhao N., Love P.E.D., Luo H., Xue J. et al. A deep learning-based approach for mitigating falls from height with computer vision: Convolutional neural network // Advanced Engineering Informatics. 2019. Vol. 39. Pp. 170–177. DOI: 10.1016/j.aei.2018.12.005
13. Agarwal S. 4 Artificial intelligence use cases that don't require a data scientist // Forbes. 2018.
14. Федорцов Р.А. Искусственный интеллект будущее менеджмента // Студенческий научный форум 2021 : мат. Междунар. студ. науч. конф. 2021. Т. VIII. С. 130.
15. Ненастьев А. Проблемы и преимущества искусственного интеллекта в строительстве // Цифровое управление в строительстве. 2023.
16. Oluleye B.I., Chan D.W.M., Antwi-Afari P. Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry : a critical review // Sustainable Production and Consumption. 2023. Vol. 35. Pp. 509–524. DOI: 10.1016/j.spc.2022.12.002
17. Love P.E.D., Fang W., Matthews J., Porter S., Luo H., Ding L. Explainable artificial intelligence (XAI): Precepts, models, and opportunities for research in construction // Advanced Engineering Informatics. 2023. Vol. 57. P. 102024. DOI: 10.1016/j.aei.2023.102024
18. Анисифоров А.Б., Анисифорова Л.О. Методики оценки эффективности информационных систем и информационных технологий в бизнесе : учебное пособие. СПб., 2014.
19. Торохова К.Е., Матвеева М.В. Оценка экономической эффективности и перспектив внедрения технологий информационного моделирования на этапе проектирования в строительной отрасли региона // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2 (45). С. 192–201. DOI: 10.21285/2227-2917-2023-2-192-201. EDN LMGVfy.

Поступила в редакцию 4 января 2024 г.

Принята в доработанном виде 4 июля 2024 г.

Одобрена для публикации 4 июля 2024 г.

ОБ АВТОРЕ: Дарья Николаевна Шишкина — финансист; Цифровая Артель; 127566, г. Москва, ул. Римского-Корсакова, д. 4; SPIN-код: 8857-3305, ORCID: 0009-0008-4648-7869; fin.control.id@gmail.com.

REFERENCES

1. Ginzburg A.V., Ryzhkova A.I. Artificial intelligence capabilities for increasing organizational-technological reliability of construction. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(1):7-13. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.1.7-13. EDN XCIOMJ. (rus.).
2. Egwim C.N., Alaka H., Toriola-Coker L.O., Balogun H., Sunmola F. Applied artificial intelligence for predicting construction projects delay. *Machine Learning with Applications*. 2021; 6:100166. DOI: 10.1016/j.mlwa.2021.100166
3. Kolchin V.N. The specifics of the use of “Artificial intelligence” technology in construction. *Innovations and Investments*. 2022; 3:250-253. EDN JJLECU. (rus.).
4. Gareev I.F., Mukhametova N.N. The introduction of digital technologies at the stages of the life cycle of residential real estate. *Russian Journal of Housing Research*. 2018; 5(3):305-322. DOI: 10.18334/zhs.5.3.39692. EDN YRLKJV. (rus.).
5. Simionova N.E. Innovative projects in construction: management and performance evaluation. *Construction Economics*. 2020; 2(62):59-65. EDN UVSSWJ. (rus.).
6. Lavrichenko O.V. Systematic approach to determination of economic effectiveness of innovative projects. *Creative Economy*. 2013; 11(83):36-40. EDN RSHVAV. (rus.).
7. AI in Russian conditions: divers, inhibitors and the importance of cases. *Internet Edition About High Technologies — CNews*. 2023. (rus.).
8. Baduge S.K., Thilakarathna S., Perera J.S., Arashpour M., Sharafi P., Teodosio B. et al. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*. 2022; 141:104440. DOI: 10.1016/j.autcon.2022.104440
9. Brilakis I., Haas C.T.M. *Infrastructure computer vision*. Butterworth-Heinemann, 2019.
10. Abioye S.O., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J.M.D., Bilal M. et al. Artificial intelligence in the construction industry : a review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*. 2021; 44:103299. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.103299
11. Gurina E.O., Lisin I.P. Future innovations in construction. *Technical Sciences: theory and practice : materials of the IV International Scientific Conference*. 2018; 43-44. EDN YNCKZN. (rus.).
12. Fang W., Zhong B., Zhao N., Love P.E.D., Luo H., Xue J. et al. A deep learning-based approach for mitigating falls from height with computer vision: Convolutional neural network. *Advanced Engineering Informatics*. 2019; 39:170-177. DOI: 10.1016/j.aei.2018.12.005
13. Agarwal S. 4 Artificial intelligence use cases that don't require a data scientist. *Forbes*. 2018.
14. Fedortsov R.A. Artificial intelligence is the future of management. *Student Scientific Forum 2021: materials of the International Student Scientific Conference*. 2021; VIII:130. (rus.).
15. Nenastev A. Problems and advantages of artificial intelligence in construction. *Digital Management in Construction*. 2023. (rus.).
16. Oluleye B.I., Chan D.W.M., Antwi-Afari P. Adopting Artificial Intelligence for enhancing the implementation of systemic circularity in the construction industry : a critical review. *Sustainable Production and Consumption*. 2023; 35:509-524. DOI: 10.1016/j.spc.2022.12.002
17. Love P.E.D., Fang W., Matthews J., Porter S., Luo H., Ding L. Explainable artificial intelligence (XAI): Precepts, models, and opportunities for research in construction. *Advanced Engineering Informatics*. 2023; 57:102024. DOI: 10.1016/j.aei.2023.102024
18. Anisiforov A.B., Anisiforova L.O. *Methods of evaluating the effectiveness of information systems and information technologies in business*. St. Petersburg, 2014. (rus.).
19. Torokhova K.E., Matveeva M.V. Economic efficiency and prospects for introducing information modelling technologies during the design stage in the building sector of a region. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023; 13(2):(45):192-201. DOI: 10.21285/2227-2917-2023-2-192-201. EDN LMGVFF. (rus.).

Received January 4, 2024.

Adopted in revised form on July 4, 2024.

Approved for publication on July 4, 2024.

BIONOTES: Darya N. Shishkina — financier; Digital Artel; 4 Rimsky-Korsakov st., Moscow, 127566, Russian Federation; SPIN-code: 8857-3305, ORCID: 0009-0008-4648-7869; fin.control.id@gmail.com.