

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРОИЗВОДСТВО СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

УДК 624.05

А. А. ЛАПИДУС¹, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой технологии и организации строительного производства; Я. Д. АГЕЕВА², ассистент кафедры технологии и организации строительства

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

¹Национальный исследовательский университет Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: +7 (495) 287-49-14; эл. почта: Lapidusaa@mgsu.ru

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» (Сибстрин), Россия, 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, д. 113.

Тел.: +7 (383) 266-43-83; эл. почта: ya.ageyeva@sibstrin.ru

Ключевые слова: BIM-технологии, ТИМ-системы, цифровизация строительства, материально-техническое обеспечение.

В статье представлен анализ актуальных направлений исследований в области цифровой трансформации строительства. Рассмотрен зарубежный опыт и способы применения искусственного интеллекта в организации строительного производства. Представлены возможные пути интеграции ТИМ систем и систем ИИ в организацию материально-технического обеспечения в соответствии с требованиями современного строительного рынка.

За последние пять лет количество исследований, направленных на использование технологий информационного моделирования в строительстве и проектировании зданий и сооружений, значительно выросло (рис. 1). Это привело к внедрению соответствующего обучения и повышения квалификации работников данной отрасли, а также повышению качества отечественного программного обеспечения в области информационного моделирования с последующим их внедрением в производственный процесс.

Преградами на пути к цифровизации строительства до сих пор являются:

1. Отсутствие стандартизации данных. Несмотря на утверждение и вступление в силу стандарта ГОСТ Р 10.00.00.00-2023 «Единая система информационного моделирования. Основные положения», участники строительного процесса до сих пор используют программное обеспечение от разных разработчиков (в большинстве случаев зарубежных), что затрудняет обмен информацией и создание единой цифровой экосистемы [1].

2. Убежденность в ненадежности цифрового документооборота. Достижение положительных результатов цифровой трансформации напрямую зависит от обеспечения безопасности, поскольку как личная, так и корпоративная информация в условиях работы в цифровом пространстве всегда находятся под угрозой [2].

3. Высокие затраты на внедрение ТИМ-систем. Для внедрения цифровых решений и автоматизации процессов требуется инвестировать в новое программное обеспечение, обучение персонала и изменение бизнес-процессов [3].

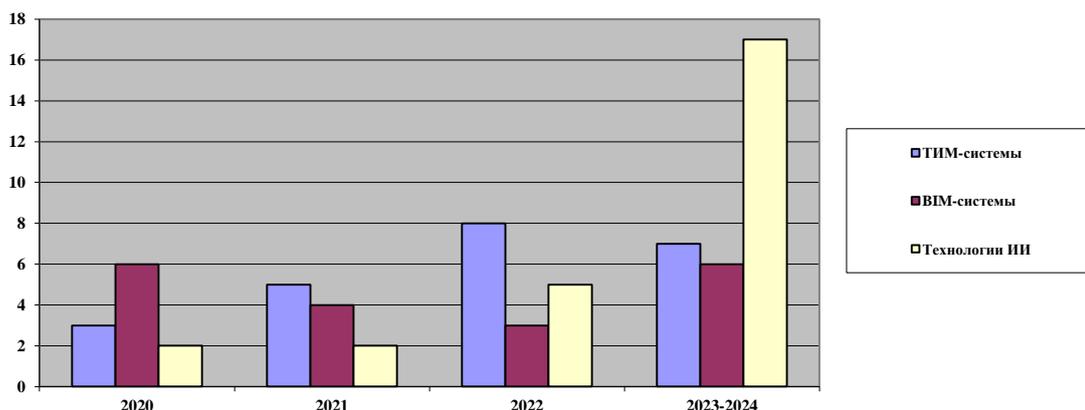


Рис. 1. Анализ количества публикаций в журналах, включенных в перечень ВАК по специальности «Строительство»

Низкий показатель количества публикаций в первый рассматриваемый год с ключевыми словами «технологии информационного моделирования» обусловлен тем, что базовые понятия ТИМ-систем были внесены ГК РФ в соответствии с № 151-ФЗ в 2019 году, а термин «ВМ-системы» использовался чаще, так как он распространен за рубежом и используется разработчиками зарубежного ПО с поддержкой ВМ. Учитывая данный факт, в следующие рассматриваемые года количество публикаций с ключевыми словами «технологии информационного моделирования» и «ВМ-системы» рассматриваются в совокупности, так как ТИМ является официальным названием ВМ-технологий в российской строительной документации.

Запуск стратегии развития информационного общества привел к росту исследований, направленных не только на внедрение ВМ и ТИМ-систем в строительный процесс [4], но и на разработку методик с применением искусственного интеллекта (ИИ).

Проблемы внедрения ИИ являются более серьезными, но решаемыми, если провести параллели с историей развития ВМ и ТИМ-систем.

Большая часть технологий ИИ нашла применение в оптимизации и автоматизации процесса снабжения путем разработки алгоритмов принятия управленческих и организационных решений [5].

Наиболее распространенной технологией ИИ являются генетические алгоритмы (ГА). Разработки моделей управления цепями поставки на базе ГА ведутся с целью улучшения процессов планирования, управления и оптимизации цепей поставок. Генетические алгоритмы позволяют находить оптимальные решения в сложных и динамично изменяющихся средах, учитывая множество переменных и ограничений.

В ранних исследованиях [6, 7] ГА применялся для решения задачи оптимальной планировки строительной площадки в стесненных условиях для оптимального распределения и хранения материальных ресурсов. Проблема проектирования строительного генерального плана (СГП) – это сложная задача комбинаторной оптимизации, включающая в себя множество задач, и ее размер растет экспоненциально по мере увеличения количества объектов на



строительной площадке и ограничений. Кроме того, по мере развития строительства, планировку участка, возможно, потребуется динамически реорганизовывать с различными интервалами по графику, чтобы соответствовать эксплуатационным потребностям.

Подотрасль ИИ – машинное обучение (*ML*) без четких инструкций, позволяет при использовании обучающих данных, разрабатывать алгоритмы для построения математической модели, с помощью которой впоследствии можно спрогнозировать поведение системы при задаваемых входных данных.

Исследования по внедрению узкого типа *ML* в строительной отрасли направлены на разработку систем отслеживания перемещения рабочей силы, оборудования и строительной техники [8]. Другим примером применения данной технологии является генеративное проектирование, которое в совокупности с применением *BIM*-технологий позволяет генерировать несколько вариантов моделей в зависимости от условий оптимальности [9].

Особенности *NLP* заключаются в способности извлечения ценной информации на основе неструктурированного текста, позволяющего классифицировать аварии по различным критериям. Исследования продемонстрировали эффективность *NLP* в автоматизированной классификации отчетов об авариях с повышением эффективности и снижением субъективности [10]. Текстовая информация и изображения могут использоваться для исследований безопасности в других областях строительства, таких как мониторинг процессов, сопутствующих возведению зданий и сооружений, и управление рисками [11].

Также методы *NLP* были применены для автоматизированной проверки строительных спецификаций. Была разработана система распознавания текста на основе распределенного языка, позволяющая оптимизировать процесс проверки документации [12].

Совокупность методов, включающих ТИМ, и методы искусственного интеллекта позволят спроектировать систему организации материально-технического обеспечения, действующую в строгой увязке с процессом возведения зданий и сооружений.

Согласно Приказу Минстроя РФ от 18.06.2022 № 577 определение потребности в материально-технических ресурсах производится на основе государственных сметных нормативов, исходных данных (ТК, рабочие чертежи, ППР, спецификации) и методов технического нормирования.

В процессе составления сметной документации специалисты производят обработку массивного объема текстовых и графических данных, что может быть оптимизировано применением *ML*. Современные программные средства для разработки *BIM*-моделей объектов строительства позволяют автоматически составлять спецификации, при условии установки пользователем специальных отметок на планах и за счет автоматического распознавания программой элементов модели. По сравнению с использованием автоматизированных систем проектирования (*CAD*-систем) и ручным составлением спецификаций функционал *BIM*-систем является более прогрессивным. Однако при высоком уровне детализации (*LOD*) информационной модели масштабных строительных проектов требуется проводить полный анализ их элементов, что является довольно трудоемкой задачей и, как правило, требует привлечения группы



специалистов на каждый тип модели (архитектурный, конструктивный, инженерные сети и т.д.).

Внедрение *ML* и технологии *NLP* в процесс составления спецификаций, в том числе для определения потребности в материально-технических ресурсах подразумевает повышение точности обработки *BIM*-модели на основе распознавания графических данных с сопоставлением их с текстовыми документами и автоматическим определением потребности при отсутствии норм расхода. Так как *BIM*-модель строящегося объекта может изменяться в процессе *СМР*, применение технологий ИИ может помочь динамически адаптировать спецификации и ресурсы к изменяющимся условиям и требованиям проекта. Изменение модели происходит с привлечением соответствующих специалистов информационного моделирования в организацию надзорных мероприятий.

На шаге выбора поставщика определяется перечень критериев на основе полученных данных о потребности в материально-технических ресурсах на предыдущем шаге, с преобразованием данных в формат, пригодный для обучения модели. Данными критериями могут выступать: качество продукции, надежность и репутация, цена и условия поставки, географическое расположение, сертификаты и лицензии, допустимые объемы поставки.

В исследовании Поцулина А. Д. и Сергеевой И. Г. представлено сравнение методов машинного обучения для решения задачи классификации поставщиков, в ходе которого были выявлены преимущества метода дерева данных по сравнению с методом логической регрессии за счет точности, возможности перенастройки модели под условия отбора поставщиков и меньшего количества данных для обучения. [13].

На основе полученной модели производится непосредственное определение наиболее подходящей группы поставщиков в соответствии с заданными характеристиками.

Планирование графика движения грузопотоков осуществляется в строгой увязке с процессом выполнения *СМР*. В зависимости от масштаба проекта и его сложности, график поставок может быть разбит на несколько уровней: общий, еженедельный (ежемесячный) и графики на конкретные этапы работ. В основе графика поставок лежит концепция сохранения резервного запаса на строительной площадке [14] для обеспечения непрерывного ведения работ в соответствии с дискретным характером потребления ресурсов.

В ходе планирования требуется спрогнозировать возможное изменение графика поставки ввиду возникновения непредвиденных ситуаций, обусловленных частично управляемыми факторами производства, и рассмотреть варианты принятия организационно-технологических решений и их последствия. Для данной цели также может применяться технология *ML*, так как использование различных методов поставки, комбинаций загрузки транспортного средства, объемов и интервалов между поставками приводит к увеличению количества вариаций графиков поставки на каждом этапе *СМР*. Разработка модели *ML* также начинается со сбора данных о прошлых поставках, характеристиках материалов на основе нормативных документов, паспортов и сертификатов, временных задержках, изменениях в производственных процессах и других факторах, влияющих на график поставки.

Входной контроль и лабораторные испытания материалов, доставляемых на склад и на строительный объект, в соответствии с СП 48.13330.2019 включает в



себя: проверку соответствия, содержания и достоверности сопроводительной документации от производителя, подтверждающей качество материалов, проверку внешнего вида, состояния поверхности, правильности маркировки, отсутствие критических дефектов и повреждений, которые не соответствуют установленным стандартам. Дополнительно проводятся измерения и лабораторные испытания для подтверждения качества согласно нормативным документам.

В случае полной автоматизации входной контроль может происходить без участия человека, что значительно ускоряет процесс и снижает вероятность ошибок. Для этого разрабатывается система визуальной проверки поступающих на площадку материалов, конструкций и изделий, которая работает на основе различных технологий машинного зрения. Эти технологии включают в себя использование камер и датчиков для сбора изображений и данных, алгоритмы обработки изображений для анализа и классификации объектов в совокупности с технологиями ИИ, направленных на оценку соответствия полученных данных установленным стандартам.

Организация приобъектных складских площадей осуществляется на основе объемов хранения и поставки согласно графику движения грузопотоков. Разработка цифрового двойника СГП с добавлением фактора времени (интеграция 3D модели строительной площадки и календарного графика СМР) позволит оценивать объемы выполняемых работ, расход и пополнение запасов в режиме реального времени.

Успешное использование технологий ИИ обусловлено полным и систематизированным сбором входных данных и их точной математической формализацией для приведения к единому формату, который может быть обработан и проанализирован алгоритмами искусственного интеллекта. В начале разработки модели основной задачей является группировка входных данных по каждой составляющей системы материально-технического снабжения для сокращения и ускорения необходимых вычислений. Последовательность шагов модели соответствует этапам организации МТО на строительной площадке, при условии, что на каждом шаге производится уточнение модели ввиду получения новых параметров системы, связанных с особенностями поставки, распределения и хранения ресурсов. После обучения и тестирования модели результаты представляются в форме дерева решений, где каждая ветвь соответствует определенному решению или рекомендации по управлению МТО, а каждое звено обозначает последствия выбранного решения. Заключительным этапом является разработка информационной модели СГП с возможностью отслеживания выполнения работ в соответствии с календарным графиком СМР, времени нахождения и положения грузового транспортного средства под разгрузкой и состояния запасов материальных ресурсов.

Несмотря на преимущества применения, главной проблемой разработки и внедрения ИИ остается отсутствие вычислительных мощностей и квалифицированных рабочих, имеющих соответствующий уровень навыка математической формализации требуемых условий и ограничений для разработки модели на базе ИИ. Также преградой развития является отсутствие машиночитаемых данных, что в свою очередь может быть решено в ходе перехода к полноценному цифровому обмену исполнительной документацией в рамках развития ТИМ-систем.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савина, А. Г. Теоретико-методологические основы построения цифровой инфраструктуры управления объектами капитального строительства на базе BIM / А. Г. Савина, Л. И. Малявкина, Д. А. Савин. – Текст : непосредственный // Russian Journal of Economics and Law. – 2023. – № 1. – С. 90–109.
2. Еремена, Г. Р. Проблемы цифровой трансформации предприятий в условиях трендов устойчивого развития / Г. Р. Еремена, О. Б. Казакова. – Текст : непосредственный // Российские регионы в фокусе перемен. – 2023. – С. 27–30.
3. Пирогова, О. Е. Проблемные вопросы применения цифровых платформ в деятельности строительных организаций / О. Е. Пирогова, В. С. Голубев. – Текст : непосредственный // Теория и практика сервиса : экономика, социальная сфера, технологии. – 2023. – № 2 (56). – С.19–25.
4. Сазонов, А. А. Совершенствование компонентов и задач ИТ-системы ERP в рамках развития технологической концепции "Индустрия 4. 0" / А. А. Сазонов, Р. А. Пантелеева, М. В. Сазонова. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2019. – № 10. – С. 61–65.
5. Construction supply chain risk management / M. B. Shishehgarkhaneh, R. C. Moehler, Y. Fang [et al.] // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 162. – P. 22.
6. Farmakis, P. M. Genetic algorithm optimization for dynamic construction site layout planning / P. M. Farmakis, A. P. Chassiakos // Organization, technology and management in construction. – 2018. – Vol. 10. – P. 1655–1664.
7. Said, H. Optimal utilization of interior building spaces for material procurement and storage in congested construction sites, Automation in Construstion / H. Said, K. El-Rayes. – 2018. – Vol. 31. – P. 292–306.
8. Optimized variable resource allocation framework for scheduling of fast-track industrial construction projects / M. Taghaddos, A. Mousaei, H. Taghaddos [et al.] // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 158. – P. 24.
9. Generative design in building information modelling (BIM) : approaches and requirements / W. Ma, X. Wang, J. Wang [et al.] – 2021. – № 21. – P. 29.
10. Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques / F. Zhang, H. Fleyeh, X. Wang, M. Lu // Authomation in construction. – 2019. – № 99. – P. 238–248.
11. Shamshiri, A. Text mining and natural language processing in construction / A. Shamshiri, K. R. Ryu, J. Y. Park // Automation in construction. – 2024. – № 158. – P.16.
12. Moon, S. Automated system for construction specification review using natural language processing, Adv. Eng. Inform / S. Moon, G. Lee, S. Chi. – 2022. – № 51 (2). – P. 16.
13. Поцулин, А. Д. Использование моделей машинного обучения при проведении оценки поставщиков / А. Д. Поцулин, И. Г. Сергеева. – Текст : непосредственный // SAEC. – 2020. – № 3. – С. 159–165.
14. Демиденко, О. В. Планирование комплектации строительных потоков / О. В. Демиденко – Текст : непосредственный // ОНВ. – 2011. – № 1 (95). – С. 43–44.

LAPIDUS Azariy Abramovich¹, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of technology and organization of construction production; AGEEVA Yaroslava Dmitrievna², assistant of the chair of technology and organization of construction

DIGITAL TRANSFORMATION OF CONSTRUCTION LOGISTICS



¹Moscow State University of Civil Engineering
26, Yaroslavskoe Shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: +7 (495) 287-49-14; e-mail: Lapidusaa@mgsu.ru

²Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

113, Leningradskaya St., Novosibirsk, 630008, Russia.

Tel.: +7 (383) 266-43-83; e-mail: ya.ageyeva@sibstrin.ru

Key words: BIM technologies, TIM systems, digitalization of construction, construction logistics.

The article presents an analysis of current research trends in the field of digital transformation of construction. Foreign experience and ways of using artificial intelligence in construction management are considered. Possible ways of integrating systems of information modeling and AI systems into the organization of logistics in accordance with the requirements of the modern construction market are presented.

REFERENCES

1. Savina A. G., Malyavkina L. I., Savin D. A. Teoretiko-metodologicheskie osnovy postroeniya tsifrovoy infrastruktury upravleniya ob'ektami kapitalnogo stroitelstva na baze BIM [Theoretical and methodological foundations for constructing a digital infrastructure for managing capital construction projects based on BIM]. Russian Journal of Economics and Law, 2023, № 1, P. 90-109.

2. Eremena G. R., Kazakova O. B. Problemy tsifrovoy transformatsii predpriyatiy v usloviyakh trendov ustoychivogo razvitiya [Problems of digital transformation of enterprises in the context of sustainable development trends]. Rossiyskie regiony v fokuse peremen [Russian regions in the focus of change]. 2023, P. 27-30.

3. Pirogova O.E., Golubev V.S. Problemnye voprosy primeneniya tsifrovyykh platform v deyatelnosti stroitelnykh organizatsiy [Problematic issues of using digital platforms in the activities of construction organizations]. Teoriya i praktika servisa : ekonomika, sotsialnaya sfera, tekhnologii [Theory and practice of service: economics, social sphere, technology]. 2023, № 2 (56), P.19-25.

4. Sazonov A. A., Panteleeva R. A., Sazonova M. V. Sovershenstvovanie komponentov i zadach IT-sistemy ERP v ramkakh razvitiya tekhnologicheskoy kontseptsii "Industriya 4. 0" [Improving the components and tasks of the ERP IT system as part of the development of the technological concept "Industry 4.0"]. Innovatsii i investitsii [Innovations and investments]. 2019, № 10, P. 61-65.

5. Shisheharkhaneh M. B., Moehler R. C., Fang Y., Aboutorab H., Hijazi A. A. Construction supply chain risk management // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 162. – P. 22.

6. Farmakis, P.M., Chassiakos, A.P. Genetic algorithm optimization for dynamic construction site layout planning // Organization, Technology and Management in Construction. – 2018. – Vol.10. – P. 1655-1664.

7. Said H., El-Rayes K. Optimal utilization of interior building spaces for material procurement and storage in congested construction sites, Automation in Construction. – 2018. – Vol. 31. – P. 292-306.

8. Taghaddos M., Mousaei A., Taghaddos H., Hermann U., Mohamed Y., AbouRizk S. Optimized variable resource allocation framework for scheduling of fast-track industrial construction projects // Automation in Construction. – 2024. – Vol. 158. – P. 24.

9. Ma W., Wang X., Wang J., Xiang X., Sun J. Generative design in building information modeling (BIM): Approaches and requirements. – 2021. – No. 21. – P. 29.



10. Zhang F., Fleyeh H., Wang X., Lu M. Construction site accident analysis using text mining and natural language processing techniques // Automation in Construction. – 2019. – No. 99. – P. 238–248.

11. Shamshiri A., Ryu K. R., Park J. Y. Text mining and natural language processing in construction // Automation in Construction. 2024. – No. 158. – P.16.

12. Moon S., Lee G., Chi S., Automated system for construction specification review using natural language processing, Adv. Eng. Inform. – 2022. – No. 51(2). – P. 16

13. Potsulin A. D., Sergeeva I. G. Ispolzovanie modeley mashinnogo obucheniya pri provedenii otsenki postavshchikov [Using machine learning models when assessing suppliers]. SAEC, 2020, № 3, P. 159-165.

14. Demidenko O. V. Planirovanie komplektatsii stroitelnykh potokov [Planning of complete sets of construction flows]. ONV, 2011, № 1 (95), P. 43-44.

© А. А. Лapidус, Я. Д. Агеева, 2025

Получено: 31.10.2024 г.