Arabian Journal of Science

ISSN:2308-5703

Impact factor:13.5 *International Multidisciplinary Online Journal* July, 2026

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АРХИТЕКТУРНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ИНЖЕНЕРИИ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ГЕНЕРАТИВНЫЙ ДИЗАЙН И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Марлан Сабина Руслановна

Аннотация: В статье представлен обзор современных направлений применения искусственного интеллекта в архитектурном проектировании и инженерии в условиях цифровой трансформации строительной отрасли. Рассмотрены ключевые технологии, включая генеративный искусственный интеллект (Generative AI), большие языковые модели (Large Language Models, LLM), информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM), цифровые двойники (Digital Twins) и компьютерное зрение (Computer Vision). Особое внимание уделено генеративному дизайну как инновационному подходу к разработке и многокритериальной оптимизации архитектурных и инженерных решений.

Проанализированы современные направления использования искусственного интеллекта при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, включая автоматизацию проектных процессов, мониторинг объектов, прогнозирование технического состояния конструкций и повышение эффективности управления жизненным циклом зданий. Рассмотрены основные преимущества внедрения интеллектуальных технологий, а также существующие ограничения, связанные с качеством данных, информационной безопасностью, нормативным регулированием и необходимостью экспертного контроля.

Сделан вывод, что интеграция искусственного интеллекта с современными цифровыми технологиями способствует повышению качества проектных решений, сокращению сроков проектирования, оптимизации использования ресурсов и формированию новой модели архитектурно-инженерной деятельности.

Ключевые слова: искусственный интеллект; архитектурное проектирование; инженерия; генеративный дизайн; Generative AI; большие языковые модели; BIM; цифровой двойник; компьютерное зрение; цифровая трансформация; строительная отрасль.

Abstract: This paper reviews current applications of artificial intelligence (AI) in architectural design and engineering within the context of the digital transformation of the construction industry. It examines key AI technologies, including Generative AI, Large Language Models (LLMs), Building Information Modeling (BIM), Digital Twins, and Computer Vision. Particular attention is given to generative design as an innovative approach for the automated generation and multi-objective optimization of architectural and engineering solutions.

The review analyzes the use of artificial intelligence in design automation, construction monitoring, structural condition assessment, and life-cycle management of buildings. It also discusses the benefits of AI implementation, such as improved design quality, reduced project delivery time, and more efficient resource utilization, while highlighting existing challenges related to data quality, cybersecurity, regulatory frameworks, and the need for expert supervision.

The study concludes that the integration of artificial intelligence with advanced digital technologies is transforming architectural and engineering practice, contributing to more efficient, sustainable, and data-driven decision-making throughout the building life cycle.

Keywords: artificial intelligence; architectural design; engineering; generative design; Generative AI; large language models; Building Information Modeling (BIM); Digital Twin; Computer Vision; digital transformation; construction industry.

Annotatsiya: Maqolada qurilish sohasining raqamli transformatsiyasi sharoitida sun'iy intellektning arxitektura loyihalash va muhandislikdagi zamonaviy qo'llanilish yo'nalishlari tahlil qilingan. Unda Generative AI, katta til modellari (Large Language Models, LLM), Building Information Modeling (BIM), Digital Twin va Computer Vision kabi asosiy texnologiyalar ko'rib chiqilgan. Arxitektura va muhandislik yechimlarini avtomatik yaratish hamda ko'p mezonli optimallashtirish imkonini beruvchi generativ dizaynga alohida e'tibor qaratilgan.

Shuningdek, sun'iy intellektning loyihalash jarayonlarini avtomatlashtirish, qurilish obyektlarini monitoring qilish, inshootlarning texnik holatini baholash va binolarning hayotiy siklini boshqarishdagi imkoniyatlari tahlil qilingan. Intellektual texnologiyalarni joriy etishning afzalliklari bilan bir qatorda ma'lumotlar sifati, axborot xavfsizligi, me'yoriy-huquqiy tartibga solish va mutaxassis nazoratini saqlab qolish bilan bog'liq muammolar ham yoritilgan.

Xulosa qilinishicha, sun'iy intellektning zamonaviy raqamli texnologiyalar bilan integratsiyasi arxitektura va muhandislik faoliyatining samaradorligini oshirish, resurslardan oqilona foydalanish hamda qurilish sohasining barqaror rivojlanishini ta'minlashga xizmat qiladi.

Kalit so'zlar: sun'iy intellekt; arxitektura loyihalash; muhandislik; generativ dizayn; Generative AI; katta til modellari; Building Information Modeling (BIM); raqamli egizak (Digital Twin); Computer Vision; raqamli transformatsiya; qurilish sohasi.

Развитие цифровых технологий в последние годы стало одним из ключевых факторов трансформации архитектурного проектирования и инженерной деятельности. Современная цифровизация процессов проектирования сопровождается широким внедрением информационного моделирования зданий (Building Information Modeling, BIM), технологий цифровых двойников (Digital Twins), облачных вычислений, Интернета вещей (Internet of Things, IoT) и интеллектуальных систем анализа данных. В этих условиях особое значение приобретают технологии искусственного интеллекта (Artificial Intelligence, AI), применение которых позволяет автоматизировать разработку архитектурных концепций, совершенствовать инженерные расчеты, оптимизировать проектные решения и повышать эффективность управления жизненным циклом объектов капитального строительства.

Современный искусственный интеллект представляет собой совокупность методов машинного обучения (Machine Learning, ML), глубокого обучения (Deep Learning, DL), компьютерного зрения (Computer Vision), обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP) и генеративных моделей (Generative AI), способных анализировать большие массивы проектных данных, выявлять скрытые закономерности и поддерживать принятие сложных архитектурных и инженерных решений. Наибольший эффект данные технологии демонстрируют именно в архитектурном проектировании и инженерии, где необходимо

одновременно учитывать конструктивные, функциональные, экономические, экологические, нормативные и эксплуатационные требования.

В последние годы значительное внимание научного сообщества уделяется развитию генеративного искусственного интеллекта (Generative AI) и больших языковых моделей (Large Language Models, LLM), которые существенно расширяют возможности цифрового проектирования. Их применение позволяет автоматизировать разработку проектной документации, анализировать нормативно-технические требования, формировать альтернативные архитектурно-планировочные решения, выполнять интеллектуальную обработку инженерной информации и обеспечивать поддержку принятия проектных решений на различных стадиях проектирования. Одновременно интеграция искусственного интеллекта с BIM-платформами, параметрическим моделированием и цифровыми двойниками способствует созданию единой интеллектуальной цифровой среды, обеспечивающей сопровождение объектов на всех этапах их жизненного цикла — от концептуального проектирования до эксплуатации и реконструкции.

Несмотря на стремительное развитие интеллектуальных технологий, их широкое внедрение в архитектурное проектирование и инженерную практику сопровождается рядом научных и прикладных проблем. К наиболее значимым относятся качество и полнота исходных данных, совместимость различных цифровых платформ, прозрачность алгоритмов искусственного интеллекта, обеспечение информационной безопасности, совершенствование нормативно-правового регулирования и сохранение профессиональной ответственности архитекторов и инженеров за принимаемые проектные решения. В связи с этим современные исследования рассматривают искусственный интеллект не как средство замещения специалистов, а как интеллектуальный инструмент поддержки профессиональной деятельности, способствующий повышению качества архитектурного проектирования, инженерного анализа и эффективности принятия проектных решений.

Современные технологии искусственного интеллекта в архитектурном проектировании Современное архитектурное проектирование все активнее основывается на использовании технологий искусственного интеллекта, позволяющих автоматизировать обработку данных, моделирование, анализ и принятие проектных решений. В отличие от традиционных методов проектирования, интеллектуальные системы способны обрабатывать большие массивы разнородной информации, учитывать многочисленные ограничения и предлагать оптимальные варианты архитектурных и инженерных решений. В настоящее время наиболее широкое применение получили генеративный искусственный интеллект (Generative AI), большие языковые модели (Large Language Models, LLM), информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM), цифровые двойники (Digital Twins), технологии компьютерного зрения (Computer Vision) и методы машинного обучения.

Генеративный искусственный интеллект (Generative AI). Генеративный искусственный интеллект является одним из наиболее быстро развивающихся направлений современных цифровых технологий. В отличие от традиционных алгоритмов, ориентированных преимущественно на анализ существующих данных, Generative AI способен создавать новые проектные решения на основе заданных параметров, ограничений и критериев эффективности. В архитектурном проектировании такие технологии используются для формирования

различных вариантов объемно-планировочных решений, фасадов, конструктивных схем и пространственных композиций с последующей их оптимизацией.

Использование генеративного искусственного интеллекта значительно сокращает продолжительность предпроектных исследований, расширяет количество рассматриваемых проектных альтернатив и позволяет учитывать одновременно функциональные, экономические, экологические и эксплуатационные требования. Благодаря этому архитектор получает возможность сосредоточиться на выборе наиболее эффективных решений, а не на выполнении рутинных операций.

Большие языковые модели (Large Language Models, LLM). Большие языковые модели стали важным инструментом интеллектуальной поддержки архитекторов и инженеров. Они способны анализировать значительные объемы текстовой информации, интерпретировать нормативную документацию, формировать технические задания, подготавливать проектную документацию и выполнять поиск специализированной информации. Интеграция LLM в профессиональные цифровые платформы способствует ускорению подготовки проектов и повышению эффективности информационного взаимодействия между участниками строительного процесса.

Вместе с тем использование языковых моделей требует обязательной экспертной проверки получаемых результатов, поскольку качество их работы напрямую зависит от полноты исходных данных и корректности сформулированных запросов.

Информационное моделирование зданий (BIM) и цифровые двойники (Digital Twins). Информационное моделирование зданий (BIM) остается одной из ключевых цифровых технологий современной строительной отрасли. Интеграция искусственного интеллекта с BIM обеспечивает автоматизированную проверку проектных решений, выявление проектных коллизий, прогнозирование стоимости строительства и оптимизацию календарного планирования. Использование алгоритмов машинного обучения позволяет анализировать накопленные проектные данные и повышать качество принимаемых инженерных решений.

Дополнительные возможности создают цифровые двойники (Digital Twins), представляющие собой виртуальные модели реальных объектов, функционирующие в режиме постоянного обмена данными с физической системой. Их совместное применение с технологиями искусственного интеллекта обеспечивает непрерывный мониторинг технического состояния зданий, прогнозирование отказов оборудования, оценку эксплуатационной эффективности и поддержку принятия управленческих решений на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Компьютерное зрение и интеллектуальный мониторинг строительных объектов. Технологии компьютерного зрения (Computer Vision) становятся важным инструментом цифровизации строительной отрасли. Алгоритмы искусственного интеллекта позволяют автоматически анализировать изображения и видеоданные, выявлять дефекты строительных конструкций, контролировать качество выполняемых работ и отслеживать соблюдение требований техники безопасности. Использование беспилотных летательных аппаратов, камер высокого разрешения и сенсорных систем значительно повышает эффективность мониторинга строительных площадок.

Интеграция компьютерного зрения с BIM-моделями и цифровыми двойниками обеспечивает сопоставление фактического состояния объекта с проектной документацией, своевременное выявление отклонений и прогнозирование необходимости проведения ремонтных мероприятий. В результате интеллектуальный мониторинг способствует снижению эксплуатационных рисков, повышению безопасности строительства и более эффективному управлению объектами недвижимости на всех этапах их жизненного цикла.

Таким образом, современные технологии искусственного интеллекта формируют новую цифровую экосистему архитектурного проектирования, в которой интеллектуальные алгоритмы не заменяют специалистов, а расширяют их профессиональные возможности. Комплексное использование Generative AI, LLM, BIM, Digital Twins и Computer Vision создает основу для повышения качества проектных решений, сокращения сроков проектирования и дальнейшей цифровой трансформации архитектурно-строительной отрасли.

Генеративный дизайн как новая парадигма архитектурного проектирования. Генеративный дизайн (Generative Design) является одним из наиболее перспективных направлений применения искусственного интеллекта в архитектуре и инженерии. В отличие от традиционного подхода, при котором проектные решения разрабатываются последовательно специалистом, генеративный дизайн предполагает автоматическое создание множества проектных вариантов на основе заданных параметров, ограничений и критериев эффективности. Архитектор или инженер определяет исходные требования проекта, после чего интеллектуальные алгоритмы формируют и оценивают большое количество возможных решений.

Основу генеративного дизайна составляют методы искусственного интеллекта, машинного обучения, эволюционных алгоритмов и многокритериальной оптимизации. Современные программные комплексы способны одновременно учитывать функциональные требования, конструктивные особенности, стоимость строительства, энергоэффективность, экологические показатели, характеристики материалов и эксплуатационные параметры объекта. Такой подход позволяет находить решения, которые сложно получить традиционными методами проектирования.

Одним из ключевых преимуществ генеративного дизайна является возможность быстрого анализа большого числа альтернативных вариантов. Вместо разработки нескольких концепций специалист получает десятки или сотни автоматически сгенерированных моделей, каждая из которых соответствует установленным критериям. Это существенно сокращает продолжительность предпроектной стадии, повышает качество принимаемых решений и снижает вероятность проектных ошибок на ранних этапах разработки.

Современные исследования показывают, что наиболее высокая эффективность генеративного дизайна достигается при его интеграции с технологиями информационного моделирования зданий (BIM), цифровыми двойниками (Digital Twins) и средствами параметрического моделирования. Такая интеграция обеспечивает непрерывный обмен данными между различными этапами проектирования, строительства и эксплуатации объекта, позволяя оперативно корректировать проектные решения при изменении исходных условий и требований заказчика.

Несмотря на значительный потенциал, генеративный дизайн не исключает необходимости профессионального участия архитектора или инженера. Искусственный интеллект способен эффективно выполнять вычислительные и оптимизационные задачи, однако окончательный выбор проектного решения требует экспертной оценки с учетом эстетических, функциональных, социальных и нормативных аспектов. Поэтому в современной практике генеративный дизайн рассматривается прежде всего как интеллектуальный инструмент поддержки принятия решений, повышающий эффективность профессиональной деятельности и открывающий новые возможности для цифровой трансформации архитектурного проектирования.

Искусственный интеллект в инженерном проектировании. Интеграция искусственного интеллекта в инженерное проектирование становится одним из ключевых направлений цифровой трансформации строительной отрасли. Современные интеллектуальные алгоритмы позволяют автоматизировать сложные инженерные расчеты, анализировать большие объемы проектных данных и поддерживать принятие технических решений на различных этапах разработки объектов. Использование AI способствует повышению точности расчетов, сокращению сроков проектирования и снижению вероятности проектных ошибок.

Одной из наиболее перспективных областей применения искусственного интеллекта является проектирование строительных конструкций. Алгоритмы машинного обучения используются для анализа напряженно-деформированного состояния конструкций, прогнозирования поведения материалов, оптимизации несущих элементов и повышения надежности проектных решений. Совместное использование искусственного интеллекта с методами конечно-элементного анализа (Finite Element Analysis, FEA) позволяет значительно ускорить выполнение расчетов и повысить эффективность многовариантного проектирования.

Искусственный интеллект также активно применяется при проектировании инженерных систем зданий, включая отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха (HVAC), водоснабжение, электроснабжение и другие системы жизнеобеспечения. Интеллектуальные алгоритмы анализируют эксплуатационные параметры, моделируют различные режимы работы оборудования и помогают выбирать наиболее энергоэффективные инженерные решения. Это способствует снижению эксплуатационных затрат, повышению комфорта пользователей и достижению целей устойчивого строительства.

Важным направлением развития является использование искусственного интеллекта для оптимизации календарного планирования, распределения ресурсов и управления строительными проектами. На основе анализа накопленных данных интеллектуальные системы способны прогнозировать продолжительность выполнения отдельных этапов строительства, выявлять потенциальные риски, оценивать влияние различных факторов на сроки реализации проекта и предлагать наиболее эффективные сценарии управления. Такой подход повышает качество планирования и способствует более рациональному использованию трудовых, материальных и финансовых ресурсов.

Особое значение искусственный интеллект приобретает в задачах повышения энергоэффективности и экологической устойчивости зданий. Современные интеллектуальные модели позволяют прогнозировать энергопотребление, оценивать углеродный след объекта, моделировать влияние климатических факторов и выбирать проектные решения, обеспечивающие минимальное воздействие на окружающую среду. Интеграция AI с BIM-

технологиями и цифровыми двойниками обеспечивает возможность непрерывного анализа эксплуатационных данных и своевременной корректировки инженерных решений на протяжении всего жизненного цикла объекта.

Таким образом, искусственный интеллект постепенно становится неотъемлемой частью современного инженерного проектирования. Его применение расширяет возможности специалистов при выполнении расчетов, оптимизации проектных решений и управлении строительными процессами. Вместе с тем наиболее эффективные результаты достигаются при сочетании интеллектуальных технологий с профессиональными знаниями инженеров, что позволяет обеспечить высокий уровень надежности, безопасности и качества проектируемых объектов.

Проведенный анализ современных исследований показал, что искусственный интеллект становится одним из ключевых факторов цифровой трансформации архитектурно-строительной отрасли. Интеграция технологий Generative AI, больших языковых моделей (LLM), информационного моделирования зданий (BIM), цифровых двойников (Digital Twins), компьютерного зрения и методов машинного обучения формирует новую цифровую среду, обеспечивающую интеллектуальную поддержку архитектурного и инженерного проектирования на всех этапах жизненного цикла объектов капитального строительства.

Установлено, что применение искусственного интеллекта позволяет существенно повысить качество проектных решений, автоматизировать обработку больших массивов данных, сократить сроки проектирования, оптимизировать использование материальных и энергетических ресурсов, а также повысить эффективность мониторинга строительства и эксплуатации зданий. Особое значение приобретает генеративный дизайн, обеспечивающий многовариантную оптимизацию архитектурных и инженерных решений с учетом функциональных, экономических, экологических и эксплуатационных требований.

Вместе с тем результаты анализа свидетельствуют, что эффективность внедрения искусственного интеллекта определяется не только уровнем развития цифровых технологий, но и качеством исходных данных, степенью интеграции различных информационных платформ, наличием нормативно-правовой базы, обеспечением информационной безопасности и сохранением экспертного контроля при принятии проектных решений. В современных условиях искусственный интеллект следует рассматривать не как замену архитектора или инженера, а как интеллектуальную систему поддержки профессиональной деятельности, расширяющую аналитические возможности специалистов и повышающую обоснованность принимаемых решений.

Перспективы дальнейшего развития связаны с созданием интегрированных интеллектуальных платформ, объединяющих искусственный интеллект, BIM, цифровые двойники, Интернет вещей (IoT), облачные технологии и технологии анализа больших данных в единую цифровую экосистему управления жизненным циклом объектов. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на разработку объяснимых моделей искусственного интеллекта (Explainable AI), совершенствование методов многокритериальной оптимизации, повышение интероперабельности цифровых платформ и формирование международных стандартов применения искусственного интеллекта в архитектурном проектировании и инженерии.

Таким образом, искусственный интеллект уже сегодня становится одним из стратегических инструментов развития архитектурно-строительной отрасли. Его комплексное использование открывает новые возможности для повышения качества проектирования, эффективности инженерных решений, устойчивости объектов строительства и формирования интеллектуальной цифровой инфраструктуры будущего.

Использованная литература

1. Абиойе С.О., Ойеделе Л.О., Аканби Л., Аджайи А., Дельгадо Х.М.Д., Билал М., Акинаде О.О., Ахмед А. **Искусственный интеллект в строительной отрасли: обзор современного состояния, возможностей и перспектив развития** // Journal of Building Engineering. 2021. Т. 44. Ст. 103299.
2. Ахмед З., Ле Х., Бабар М.А. **Искусственный интеллект для программной инженерии: систематическое картографическое исследование** // ACM Computing Surveys. 2023. Т. 55. № 12. С. 1–37.
3. **Autodesk Research. Будущее генеративного проектирования в архитектуре и инженерии**. Научно-исследовательский отчет Autodesk Research. 2023.
4. Билал М., Ойеделе Л.О., Кадир Дж., Мунир К., Аджайи С.О., Акинаде О.О., Паша М., Белло С.А. **Большие данные в строительной отрасли: обзор современного состояния, возможностей и перспектив развития** // Advanced Engineering Informatics. 2020. Т. 30. С. 500–521.
5. Боже К., Герриеро А., Кубицки С., Резгуи Й. **К созданию семантического цифрового двойника строительного объекта: направления дальнейших исследований** // Automation in Construction. 2020. Т. 114. Ст. 103179.
6. Дэн Ю., Ченг Дж.Ч.П., Анумба К. **Взаимосвязь между BIM и цифровыми двойниками: обзор научной литературы** // Automation in Construction. 2021. Т. 132. Ст. 103907.