

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет
Факультет транспортных коммуникаций

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

МАТЕРИАЛЫ

82-й студенческой научно-технической конференции

Минск
БНТУ
2026

УДК 624.21/.8+624.19+004.8
ББК 38.74+38.78
К63

Редакционная коллегия:

Главный редактор:

доктор технических наук, доцент Е. А. Мойсейчик (председатель)

Редакторы:

старший преподаватель А. А. Яковлев;
ассистент А. В. Кулан;
ассистент Е. Н. Савина;
преподаватель-стажер А. Д. Щербо

Составитель:

старший преподаватель А. А. Яковлев

В сборник включены тезисы докладов, представленных на 82-й студенческой научно-технической конференции в Белорусском национальном техническом университете.

© Белорусский национальный
технический университет, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Автоматизация возведения фундаментных опор гидротехнических сооружений на основе ИИ-агентов: опыт США	
Акулич Николай Михайлович	6
Свайные фундаменты – применение мультиагентных систем в Объединенных Арабских Эмиратах	
Аманов Овезмырат	9
Проектирование плитных фундаментов с использованием искусственного интеллекта в США	
Анфилов Владислав Алексеевич	12
Свайные фундаменты – использование робототехники в Испании	
Байдаков Аманмаммет	14
Свайные фундаменты – применение ИИ-агентов	
Беланович Даниил Дмитриевич	17
Свайные фундаменты – применение лазерного сканирования в России	
Боровик Святослав Владимирович	19
Интеграция AI-агентов в среду визуального программирования Dupamo – как инструмент трансформации параметрического проектирования транспортных сооружений	
Гаркуша Олег Петрович	22
Цифровой технический паспорт объекта: Автодорожный портал, совмещенный с многофункциональным комплексом, Куруш (Дагестан)	
Гаркуша Олег Петрович	25
Применение лазерного сканирования во время строительства свайных фундаментов в Великобритании	
Гелажин Александр Олегович	29
Сквозные цифровые технологии при возведении подпорных и гидравлических сооружений в транспортном строительстве США	
Грисевич Илья Александрович	32
Лазерное сканирование в Узбекистане	
Гурбанмырадов Санджар	35
Проектирование современной автобусной остановки как элемента городской среды	
Долбик Александр Игоревич	38
Применение BIM-технологий при проектировании свайных фундаментов в России	
Дурдысапаров Салых	42
С применением лазерного сканирования в Соединенных Штатах Америки – свайные фундаменты	
Ермак Илья Андреевич	44
Строительство плитных фундаментов – применение лазерного сканирования	
Ефимович Кирилл Сергеевич	46
Свайные фундаменты и искусственный интеллект (Канада)	
Италмазов Шохрат	48
Автоматизация проектирования и расчета несущих конструкций остановки в условиях городской застройки: от BIM-моделирования до генеративного дизайна	
Караник Валерий Александрович	51
Стройка фундаментных опор, подпорные и гидравлические сооружения в Италии	
Кецко Гавриил Анатольевич	55
Концепция Construction 4.0 в гидротехническом строительстве: методы искусственного интеллекта в решении задач геоэкологической безопасности	
Клименков Евгений Олегович	58

Возведение фундаментных оснований, подпорных конструкций и гидравлических сооружений в Италии: цифровые технологии и адаптация к сейсмическим и гидрогеологическим условиям	
Колеченок Даниил Дмитриевич	61
Применение технологий лазерного сканирования в Канаде (свайные фундаменты)	
Кондрусевич Михаил Сергеевич	65
Современные технологии строительства подпорных стен в условиях сейсмической активности Западного побережья США	
Королёнок Максим Михайлович	67
Стройка фундаментных опор, подпорные и гидравлические сооружения в Британии	
Кратынский Тимофей Валерьевич	70
Цифровой технический паспорт объекта: Автодорожный портал, совмещенный с многофункциональным комплексом, Шотторф (Швейцария)	
Кривоуст Владислав Александрович	73
Цифровой технический паспорт объекта: Жилой дом с террасой и эркером	
Кришкевич Максим Андреевич	79
Цифровой технический паспорт объекта: Двухэтажный жилой дом	
Кулага Даниил Александрович	84
Строительство фундаментных опор, подпорные и гидравлические сооружения в Великобритании	
Лебедевский Владислав Михайлович	90
Проектирование и возведение фундаментных опор, подпорных конструкций и гидротехнических сооружений в Великобритании	
Лебедь Александр Сергеевич	93
Применение искусственного интеллекта при строительстве фундаментных опор, подпорных и гидротехнических сооружений в Великобритании	
Левковский Андрей Владимирович	95
Применение BIM-технологий, искусственного интеллекта и лазерного сканирования при строительстве фундаментных опор гидротехнических и подпорных сооружений в Великобритании	
Линник Роман Павлович	97
Строительство плитных фундаментов – применение технологии лазерного сканирования	
Лопунова Николина Владимировна	100
Умная стройка: Решение проблем подготовки оснований с помощью робототехники (Япония)	
Лукашенок Николай Александрович	102
Развитие методов возведения подпорных и гидротехнических сооружений в современном российском строительстве	
Матинчик Дмитрий Иванович	105
Автоматизация проектирования и расчета несущих конструкций остановки в условиях сложного рельефа: от BIM-моделирования до генеративного дизайна	
Мицуля Евгений Александрович	107
Применение технологий виртуальной и дополненной реальности при строительстве фундаментов (Германия)	
Ораздурдыева Говхер	111
Строительство плитных фундаментов в США с помощью BIM технологий	
Поплавская Елизавета Юрьевна	114
Свайные фундаменты – современные буровые установки (Германия)	
Реджепалыйев Максат	116
Мультиагентные системы искусственного интеллекта – проектирование фундаментов	
Реджепов Мухаммет	119
Применение киберфизических систем и ИИ-агентов при возведении фундаментов гидротехнических и подпорных сооружений в России	
Романцов Даниил Дмитриевич	121

Цифровой технический паспорт объекта: портал, совмещенный с многофункциональным комплексом Орсьер (Франция) Русак Александр Владимирович	124
Автономный дрон для приёмочного контроля плитного фундамента с построением 3D-модели Сазанчук Эмилия Павловна	130
Использование ИИ в строительстве гидротехнических сооружений в России Свириденко Алексей Сергеевич	133
Применение виртуальной реальности в США (плитные фундаменты) Сивец Илья Андреевич	135
Применение лазерного сканирования (Lidar) для мониторинга и реконструкции свайных фундаментов (Италия) Слапик Полина Викторовна	137
Применение VR-технологий при устройстве плитных фундаментов транспортных объектов в КНР Таранович Константин Олегович	140
Применение виртуальной реальности – строительство плитных фундаментов (опыт Италии) Тарелкин Кирилл Сергеевич	142
Стройка фундаментных опор, подпорные и гидравлические сооружения в России Тимошенко Павел Олегович	145
Цифровая стройка Китая: роботизация, искусственный интеллект и 3D-сканирование в возведении фундаментов и подпорных стен Тумель Тимофей Андреевич	148
Применение робототехники при строительстве плитных фундаментов (США) Чарьева Майса	151
Перспективы применения искусственного интеллекта в проектировании транспортных сооружений на базе технологий информационного моделирования (BIM) Чекавый Никита Андреевич	153
Использование ИИ-агентов в строительстве свайных фундаментов (США) Шаботько Алексей Игоревич	156
Проектирование и возведение фундаментных оснований, подпорных и гидротехнических сооружений на территории Китайской Народной Республики Швед Олег Александрович	159
Цифровые технологии в проектировании и эксплуатации транспортных сооружений (BIM + искусственный интеллект) на примере портала Шепшук Егор Дмитриевич	161
Строительство фундаментных опор, подпорные и гидравлические сооружения в Китае Шумская Александра Александровна	166
Свайные фундаменты и ИИ-агенты (РФ) Юранов Владислав Дмитриевич	168
Стройка фундаментных опор гидротехнических сооружений и подпорных сооружений с использованием ии агентов и роботов в Китае Юшевич Роман Степанович	171
Стройка плитных фундаментов – дополненная реальность Ющенко Виталий Андреевич	174

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИИ-АГЕНТОВ: ОПЫТ США

АКУЛИЧ НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается автоматизация возведения фундаментных опор гидротехнических и подпорных сооружений на основе ИИ-агентов на примере США. Описана распределённая мультиагентная архитектура (MAS): глобальный агент-планировщик формирует траектории техники по BIM-модели, локальный координационный агент обеспечивает бесконфликтное взаимодействие машин, а исполнительный агент реального времени управляет гидравликой с частотой до 100 Гц. Показано, что алгоритмы упреждающего адаптивного управления с обратной связью по инерциальным датчикам и лазерным трекерам компенсируют качку и течение, удерживая отклонение оси бурения в пределах 5 мм. По результатам испытаний в портах Хьюстона и Лос-Анджелеса точность позиционирования свай повышается с 75 до 8 мм, сроки сокращаются на 35 %, а травматизм – на 85 %.

Ключевые слова: ИИ-агенты, мультиагентная система, фундаментные опоры, гидротехнические сооружения, сваебойный комплекс, BIM, ИИ, США.

AUTOMATION OF THE CONSTRUCTION OF FOUNDATION SUPPORTS OF HYDRAULIC STRUCTURES BASED ON AI AGENTS: THE U.S. EXPERIENCE

AKULICH NIKOLAY MIKHAYLOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the automation of constructing foundation supports of hydraulic and retaining structures based on AI agents using the U.S. experience as an example. A distributed multi-agent architecture (MAS) is described: a global planning agent generates equipment trajectories from the BIM model, a local coordination agent ensures conflict-free interaction of machines, and a real-time executive agent controls hydraulics at a frequency of up to 100 Hz. It is shown that predictive adaptive control algorithms with feedback from inertial sensors and laser trackers compensate for pitching and current, keeping the drilling-axis deviation within 5 mm. According to tests in the ports of Houston and Los Angeles, pile positioning accuracy improves from 75 to 8 mm, deadlines are reduced by 35 %, and injuries by 85 %.

Keywords: AI agents, multi-agent system, foundation supports, hydraulic structures, pile-driving complex, BIM, AI, USA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство фундаментных опор для гидротехнических и подпорных сооружений – один из самых трудных и опасных видов фундаментных работ. В США главными факторами риска считаются недостаточная квалификация персонала, сложная геология площадки и высокие нагрузки на технику, а традиционные методы дороги из-за ручного управления и длительных технологических простоев. Концепция Construction 4.0, опирающаяся на ИИ-агентов и автономных роботов, решает эти проблемы за счёт автоматизации процессов при минимальном присутствии человека в опасной зоне акваторий.

В современных американских проектах ГТС применяется распределённая мультиагентная архитектура (MAS), где каждая единица техники действует как автономный интеллектуальный агент. Глобальный агент-планировщик по 3D-модели сооружения (BIM) и данным геологических изысканий формирует траектории движения техники; локальный координационный агент обеспечивает бесконфликтное взаимодействие машин на площадке; исполнительный агент реального времени работает на бортовом контроллере и управляет гидравликой с частотой дискретизации до 100 Гц.

Для погружения свай на глубину к сваебойной установке подключаются ИИ-агенты (рисунок 1).



Рисунок 1 – Автоматизированный сваебойный комплекс с интеграцией ИИ-агента при устройстве оснований в прибрежной зоне

Основная математическая сложность – компенсация качки и течения при позиционировании бурового инструмента. Для этого применяется алгоритм упреждающего адаптивного управления с обратной связью по инерциальным датчикам (IMU) и лазерным трекерам: бортовой компьютер рассчитывает оптимальный вектор воздействий на подруливающие устройства бурового лафета, удерживая отклонение оси бурения от проектной в пределах 5 мм при волнении моря до 2 баллов.

Внедрение ИИ-агентов на тестовых объектах в портах Хьюстона и Лос-Анджелеса дало качественный скачок по ключевым метрикам эффективности (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение технико-экономической эффективности технологий при строительстве ГТС в США

Показатель оценки	Традиционный метод	ИИ-агенты и робототехника	Достижимый технологический эффект
Точность позиционирования свай	до 75 мм	до 8 мм	Исключение эксцентричных нагрузок
Среднее сокращение сроков	Базовое	на 35%	Переход на круглосуточный режим работы
Снижение рисков травматизма	Базовое	на 85%	Вывод человека из опасной подводной зоны

ВЫВОДЫ

Несмотря на успешные кейсы, массовое внедрение роботов в гидротехнику сдерживается проблемой «чёрного ящика» ИИ. Федеральные агентства США (в частности, FHWA) требуют применения объяснимого искусственного интеллекта (ХАИ), способного обосновать решения в нестандартных ситуациях. Кроме того, стандарты проектирования АСІ и АASHTO пока не содержат расчётных методик для конструкций ГТС, изготовленных методом 3D-печати.

Внедрение искусственного интеллекта и роботов в строительство гидросооружений и подпорных стен удешевило производство, снизило опасность для строителей и ускорило работы.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Направляющие указания по проектированию гидротехнических сооружений с применением аддитивных технологий США : [сайт]. – Вашингтон, 2024. – URL: <https://www.usace.army.mil> (дата обращения: 24.05.2026).

2. Автоматизация строительных процессов и робототехника в геотехнике США : [сайт]. – Остин, 2025. – URL: <https://www.builtrobotics.com> (дата обращения: 24.05.2026).
3. Применение генеративно-сопоставительных сетей для подводного мониторинга инфраструктуры США : [сайт]. – Лос-Анджелес, 2025. – URL: <https://www.fhwa.dot.gov> (дата обращения: 24.05.2026).

REFERENCES

1. US Guidelines for the Design of Hydraulic Engineering Structures Using Additive Manufacturing Technologies: [website]. – Washington, 2024. – URL: <https://www.usace.army.mil> (date of access: 05/24/2026).
2. US Construction Process Automation and Robotics in Geotechnical Engineering: [website]. – Austin, 2025. – URL: <https://www.builtrobotics.com> (date of access: 05/24/2026).
3. Application of Generative Adversarial Networks for Undersea Infrastructure Monitoring in the US: [website]. – Los Angeles, 2025. – URL: <https://www.fhwa.dot.gov> (date of access: 05/24/2026).

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ – ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В ОБЪЕДИНЕННЫХ АРАБСКИХ ЭМИРАТАХ

АМАНОВ ОВЕЗМЫРАТ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются современные подходы к проектированию и расчёту свайных фундаментов в Объединённых Арабских Эмиратах с применением методов искусственного интеллекта. Показано, что преобладающим типом глубоких фундаментов в ОАЭ являются буронабивные сваи CFA, а нейросетевые модели позволяют с высокой точностью ($R^2 \geq 0,965$) прогнозировать несущую способность и осадку свай, сокращая объём дорогостоящих статических испытаний. Отдельное внимание уделено внедрению мультиагентных систем в государственное управление и строительный сектор в рамках стратегии UAE Vision 2031. Сделан вывод о том, что цифровая трансформация геотехнического проектирования повышает точность расчётов и экономическую эффективность строительства.

Ключевые слова: свайные фундаменты, буронабивные сваи CFA, искусственный интеллект, нейронные сети, мультиагентные системы, несущая способность свай, ОАЭ, UAE Vision 2031, цифровая трансформация.

PILE FOUNDATIONS AND MULTI-AGENT SYSTEMS IN THE UNITED ARAB EMIRATES

OVEZMYRAT AMANOV

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers modern approaches to the design and analysis of pile foundations in the United Arab Emirates using artificial intelligence methods. It is shown that continuous flight auger (CFA) bored piles are the dominant type of deep foundation in the UAE, while neural network models predict pile bearing capacity and settlement with high accuracy ($R^2 \geq 0.965$), reducing the scope of expensive static load tests. Particular attention is paid to the deployment of multi-agent systems in public administration and the construction sector within the UAE Vision 2031 strategy. It is concluded that the digital transformation of geotechnical design improves calculation accuracy and the economic efficiency of construction.

Keywords: pile foundations, CFA bored piles, artificial intelligence, neural networks, multi-agent systems, pile bearing capacity, UAE, UAE Vision 2031, digital transformation.

ВВЕДЕНИЕ

Строительный комплекс ОАЭ, сконцентрированный в крупнейших агломерациях – Дубае и Абу-Даби, развивается исключительно высокими темпами, что формирует устойчивый спрос на передовые инженерные и управленческие решения, особенно в области глубоких фундаментов. При повсеместном залегании слабых приповерхностных грунтов и высоком уровне подземных вод надёжность основания приобретает критическое значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Буронабивные сваи CFA как преобладающий тип глубоких фундаментов. Наиболее востребованной разновидностью фундаментов глубокого заложения в ОАЭ выступают буронабивные сваи, выполняемые по технологии непрерывного полого шнека (Continuous Flight Auger, CFA). Метод отличается высокой производительностью и минимальным воздействием на окружающую застройку, что особенно ценно в плотных городских условиях. Сваи CFA применяют при возведении высотных зданий, мостовых переходов и других ответственных объектов с повышенными требованиями к надёжности основания; два типовых решения – безростверковая схема и фундамент с ростверком – показаны на рисунке 1.

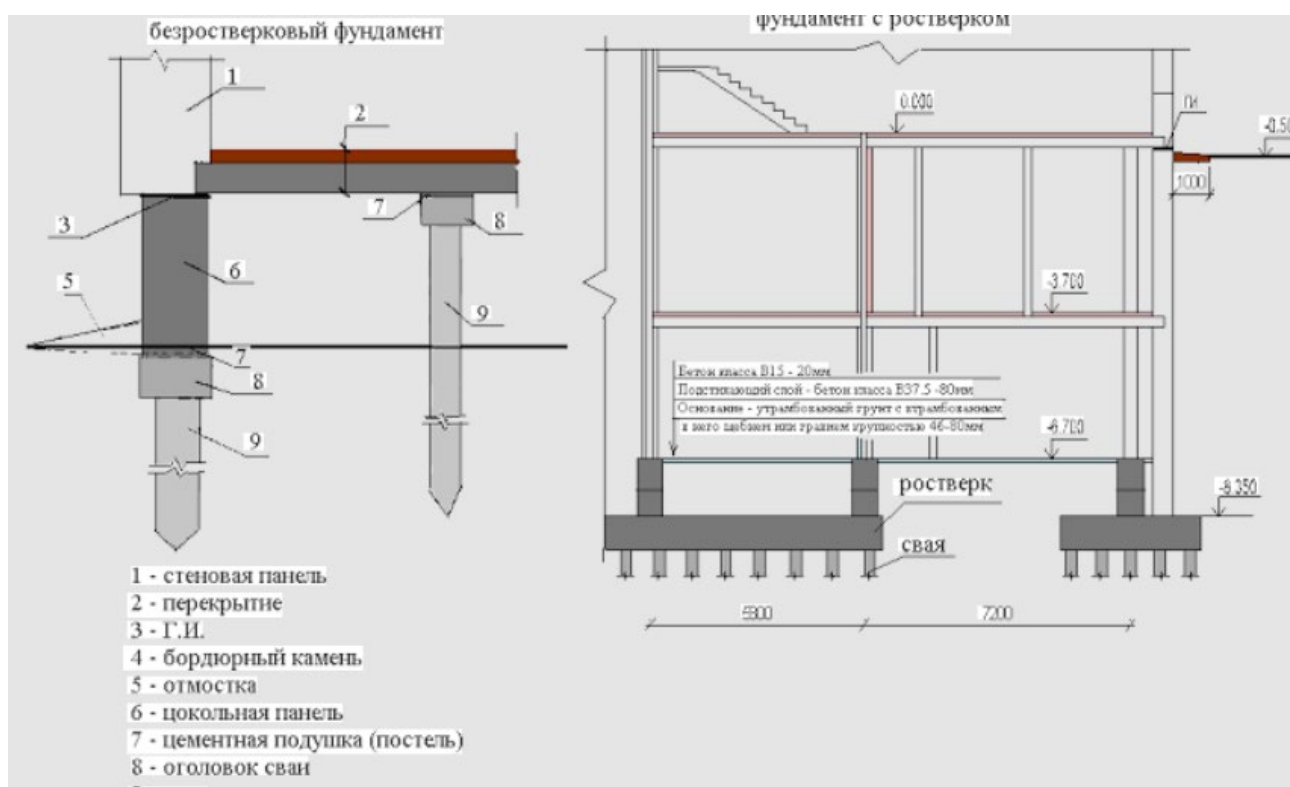


Рисунок 1 – Безростверковый фундамент и фундамент с ростверком

Применение нейросетевых технологий в геотехническом проектировании. Внедрение искусственного интеллекта в расчёт свайных фундаментов ОАЭ нацелено на ряд приоритетных задач. В первую очередь это прогнозирование несущей способности и осадок свай средствами искусственных нейронных сетей (ИНС). Исследования на данных статических испытаний в Дубае, Абу-Даби и Эль-Айне показали, что нейросетевые модели с высокой точностью воспроизводят полные кривые «нагрузка – осадка», причём коэффициент детерминации R^2 в отдельных работах достигал 0,965 и выше.

Второе направление – оптимизация дорогостоящих полевых испытаний. Обязательные в ОАЭ статические испытания свай (Static Load Test) дают достоверные результаты, но требуют значительных средств и времени; частичная замена натуральных опытов математическим моделированием на нейросетях позволяет:

- сократить объём натуральных экспериментов;
- получить предварительную оценку характеристик свай ещё до начала строительно-монтажных работ;
- снизить общую стоимость проектных изысканий.

Мультиагентные системы и стратегия цифровизации государственного управления. В контексте ОАЭ искусственный интеллект не ограничивается строительством, а вписывается в масштабную стратегию цифровой трансформации госсектора. В отличие от обычных чат-ботов, мультиагентные системы – это автономные программные комплексы, способные самостоятельно анализировать данные, принимать решения и исполнять их в реальном времени без прямого участия человека. По анонсированному правительством плану в ближайшие годы до 50 % государственных услуг, включая визовые операции, социальные выплаты и налоговое администрирование, может перейти под управление подобных систем, что укрепляет позиции страны как мирового центра ИИ.

Цифровые платформы и роботизация строительного сектора. Искусственный интеллект внедряется на всех этапах строительного производства, а рынок строительной аналитики, робототехники и автоматизации привлекает значительные инвестиции. Так, стартап Buildroid AI привлёк 2 млн долларов на запуск роботизированных систем кладки блоков, уже проходящих пилотную эксплуатацию в ОАЭ, а компания AI71 (Абу-Даби) предлагает платформенные решения (например, SuperHive), которые ускоряют принятие решений (до 50 %), сокращают объём ручной документации (до 70 %) и автоматически проверяют строительные модели на соответствие нормам.

Показателен и пример усиления существующих фундаментов средствами ИИ и 3D-моделирования: в порту Джизан (Саудовская Аравия) с их помощью было точно определено расположение микросвай для укрепления аварийного зернохранилища, что дало экономию свыше 2 млн долларов.

ВЫВОДЫ

Применение методов искусственного интеллекта для оптимизации проектирования и испытаний свайных фундаментов наглядно показывает, как цифровые технологии повышают точность инженерных расчётов и экономическую эффективность строительства. Масштабное внедрение мультиагентных систем в государственном секторе ОАЭ, закреплённое стратегией UAE Vision 2031, отражает комплексный подход к автоматизации, ускорению и повышению прозрачности управленческих процессов.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Mostafa, H. H. ANN model for estimating ultimate bearing capacity of piles socketed in Dubai limestone / H. H. Mostafa // Proceedings of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Dubai, 2024.
2. UAE National AI Strategy 2031: strengthening the UAE's position as a global AI hub [Электронный ресурс] // Economy Middle East. – 2026. – Режим доступа: <https://economymiddleeast.com>. – Дата доступа: 16.05.2026.

REFERENCES

1. Mostafa, H. H. ANN model for estimating ultimate bearing capacity of piles socketed in Dubai limestone / H. H. Mostafa // Proceedings of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Dubai, 2024.
2. UAE National AI Strategy 2031: strengthening the UAE's position as a global AI hub [Электронный ресурс] // Economy Middle East. – 2026. – Режим доступа: <https://economymiddleeast.com>. – Дата доступа: 16.05.2026.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В США

АНФИЛОВ ВЛАДИСЛАВ АЛЕКСЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий искусственного интеллекта при проектировании железобетонных плитных фундаментов мелкого заложения в строительной практике США. Показано, что традиционный расчёт плит по нормам ACI 318 и IBC вручную либо в CAD/BIM-программах трудоёмок, подвержен ошибкам и требует полного пересчёта при изменении исходных данных. Предложена архитектура мультиагентной системы из четырёх автономных ИИ-агентов – геотехнического, структурного, нормативного и координирующего, – совместно выполняющих подбор геометрии, армирования и класса бетона с одновременной проверкой нормативных требований. Отмечено, что система ускоряет рутинные операции и снижает влияние человеческого фактора, однако окончательное решение остаётся за инженером.

Ключевые слова: плитный фундамент, искусственный интеллект, мультиагентная система, ИИ-агенты, проектирование фундаментов, ACI 318, BIM, автоматизация расчётов, США.

DESIGN OF MAT (RAFT) FOUNDATIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE USA

VLADISLAV ALEKSEEVICH ANFILOV

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of artificial intelligence technologies to the design of shallow reinforced-concrete mat foundations in U.S. construction practice. It is shown that the traditional design of slabs to the ACI 318 and IBC codes, performed manually or in CAD/BIM software, is labour-intensive, error-prone and requires a full recalculation whenever the input data change. An architecture is proposed for a multi-agent system of four autonomous AI agents (geotechnical, structural, code-checking and coordinating) that jointly select the geometry, reinforcement and concrete class while simultaneously verifying code requirements. It is noted that such a system accelerates routine operations and reduces the influence of the human factor, although the final decision remains with the engineer.

Keywords: mat foundation, raft foundation, artificial intelligence, multi-agent system, AI agents, foundation design, ACI 318, BIM, USA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В строительной практике США одними из наиболее затратных и проблемных операций остаются устройство плитных фундаментов мелкого заложения и ребристых плит. Расчёт таких конструкций по несущей способности и деформациям жёстко регламентируют нормы ACI 318 и IBC, а сам расчёт инженер ведёт вручную либо в программах автоматизированного проектирования (CAD, BIM), что отнимает много времени и не исключает ошибок (рисунок 1). Существенный недостаток традиционных средств в том, что при изменении исходных данных они пересчитывают задачу заново; преодолеть это призваны мультиагентные системы, в которых отдельные модули действуют согласованно, как единый алгоритм.

В работе рассматривается система из четырёх автономных ИИ-агентов, предназначенная для проектирования железобетонных фундаментных плит (рисунок 2). Геотехнический модуль обрабатывает данные о грунте и определяет зоны осадки, глубину промерзания и коэффициент постели. Структурный модуль на этой основе назначает геометрию плиты – толщину, рёбра, класс бетона, диаметр и шаг арматуры, добываясь прочности при минимальных затратах. Нормативный модуль сверяет полученное решение с требованиями ACI 318 и указывает на несоответствия. Координирующий модуль распределяет задачи между остальными агентами, отслеживает ошибки и передаёт готовый проект инженеру.

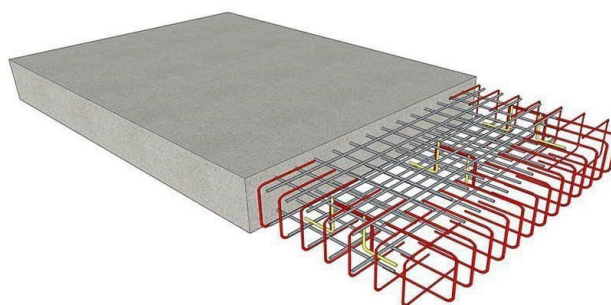


Рисунок 1 – Схема армирования фундаментной плиты

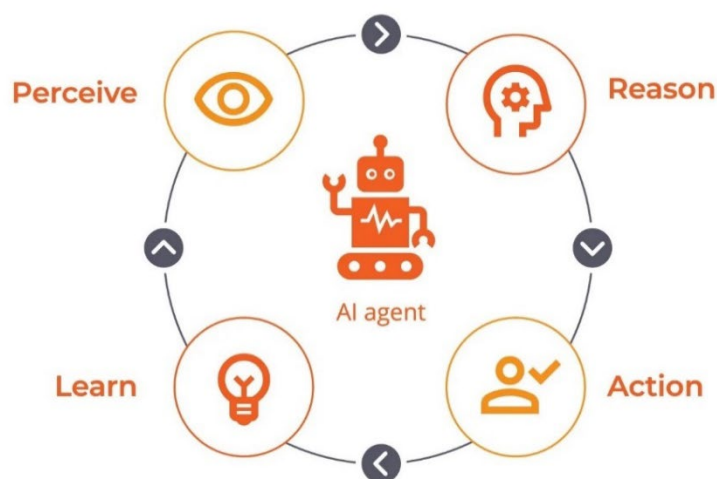


Рисунок 2 – Система ИИ-агентов

ВЫВОДЫ

Предложенная схема демонстрирует, что искусственный интеллект способен принять на себя значительную часть однообразной проектной работы: агенты параллельно перебирают варианты и быстрее инженера находят рациональное решение, действуя строго в рамках нормативов и снижая риск ошибок из-за человеческого фактора. За счёт быстрого сравнения материалов подбирается наиболее экономичный вариант, а при изменении входных данных проект пересчитывается без участия человека.

Вместе с тем агенты не заменяют инженера полностью – они служат вспомогательным инструментом, экономящим время и повышающим точность, тогда как окончательное решение остаётся за специалистом. Система лишь ускоряет рутинные операции и предлагает варианты, которые человек мог бы упустить.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. ACI 318-19. Buildings Code Requirements for Structural Concrete. – American Concrete Institute, 2019. – 524 с.
2. IBC 2024. International Buildings Code. – International Code Council, 2024.
3. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Минстрой России, 2018

REFERENCES

1. ACI 318-19. Buildings Code Requirements for Structural Concrete. – American Concrete Institute, 2019. – 524 p.
2. IBC 2024. International Buildings Code. – International Code Council, 2024.
- 3.SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures. Updated edition of SNiP 52-01-2003. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2018

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ – ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ В ИСПАНИИ

БАЙДАКОВ АМАНМАММЕТ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Аннотация. В работе рассматриваются современные подходы к устройству буронабивных свай в Испании с применением роботизированных комплексов и элементов искусственного интеллекта. Отмечено, что сложные инженерно-геологические условия (карбонатные породы, карстовые полости, сейсмически активные южные провинции) и требования норм СТЕ DB-SE-C и Еврокода 7 обуславливают необходимость высокой точности свайных работ. Описана трёхкомпонентная роботизированная система: робот-бурильщик с георадаром, робот-армировщик с лазерным сканированием и робот-бетонщик с ультразвуковым контролем, интегрированные в единый пульт управления. Приведены результаты внедрения на строительстве высокоскоростной железной дороги Мадрид-Валенсия: отклонение свай от вертикали не более 0,3 %, рост скорости бурения на 40 % и сокращение доли дефектных свай на 80 %.

Ключевые слова: свайные фундаменты, буронабивные сваи, робототехника, искусственный интеллект, георадар, лазерное сканирование, Еврокод 7, СТЕ DB-SE-C, Испания.

CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS USING ROBOTICS IN SPAIN

BAYDAKOV AMANMAMMET

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper examines modern approaches to bored-pile construction in Spain using robotic systems with elements of artificial intelligence. It is noted that complex engineering-geological conditions (carbonate rocks, karst cavities, the seismically active southern provinces) and the requirements of the CTE DB-SE-C and Eurocode 7 codes call for high accuracy of piling works. A three-component robotic system is described: a drilling robot with ground-penetrating radar, a reinforcing robot with laser scanning and a concreting robot with ultrasonic monitoring, integrated into a single control desk. Results from the Madrid-Valencia high-speed railway are reported: pile verticality deviation of no more than 0.3 %, a 40 % increase in drilling speed and an 80 % reduction in defective piles.

Keywords: pile foundations, bored piles, robotics, artificial intelligence, ground-penetrating radar, laser scanning, Eurocode 7, CTE DB-SE-C, Spain.

ВВЕДЕНИЕ

Инженерно-геологические условия Испании весьма разнообразны: значительная часть территории сложена карбонатными породами, мягкими мергелями и аллювиальными отложениями речных долин (Эбро, Гвадалquivир). Устройство свайных фундаментов здесь связано с прорезанием слоёв переменной плотности и риском карстовых полостей, а в южных провинциях (Гранада, Альмерия) добавляется высокая сейсмическая активность, повышающая требования к точности позиционирования и качеству бетонирования свай.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Нормативно-техническая база проектирования свайных фундаментов. В Испании эти работы регулирует комплекс документов, ключевые из которых – Código Técnico de la Edificación (раздел СТЕ DB-SE-C) и Еврокод 7 (UNE-EN 1997-1). Первый задаёт требования к безопасности, несущей способности и эксплуатационной пригодности фундаментов, второй устанавливает методологию расчёта по предельным состояниям для одиночных свай и свайных групп. Оба документа предусматривают строгий контроль вертикальности, сплошности и несущей способности, что особенно важно при глубине заложения свыше 20 м, где традиционное бурение под управлением оператора нередко даёт недопустимые отклонения.

Роботизированные комплексы для устройства свайных фундаментов. Чтобы снизить влияние человеческого фактора в сложных грунтах, ведущие испанские корпорации – Acciona, FCC Construcción и Sacur – внедряют роботизированные комплексы с элементами искусственного интеллекта. В работе рассмотрена трёхкомпонентная система для устройства буронабивных свай (рисунок 1).

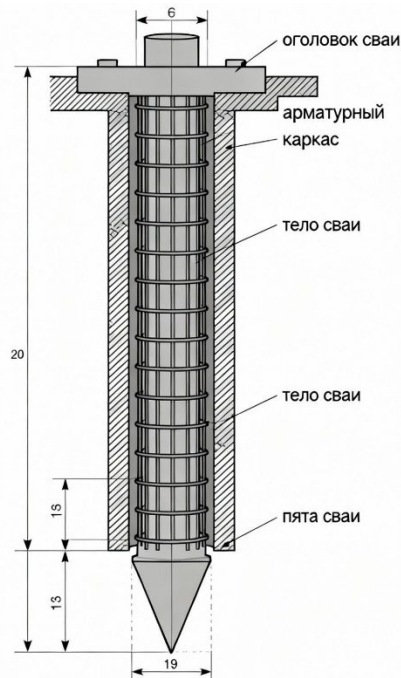


Рисунок 1 – Схема буронабивной сваи - Роботизированная система RODI-IB (Испания)

Состав роботизированной системы следующий. Робот-бурильщик с георадаром непрерывно сканирует грунт в процессе бурения, выявляет карстовые пустоты и крупные обломки и автоматически корректирует крутящий момент и скорость вращения, удерживая погрешность положения оси сваи в пределах 15 мм (рисунок 2). Робот-армировщик с лазерным сканированием устанавливает арматурные каркасы массой до 5 тонн с точной выверкой защитного слоя и вертикальности, одинаково эффективно работая как в стеснённых исторических центрах, так и на открытых площадках. Робот-бетонщик с ультразвуковыми датчиками управляет подъёмом бетонолитной трубы по заданному графику, контролирует объём подаваемой смеси и фиксирует засоры, а при обнаружении пустот в теле сваи подаёт сигнал на дополнительную вибрацию. Все устройства сведены в единый пульт, где окончательные решения принимает инженер-геотехник.

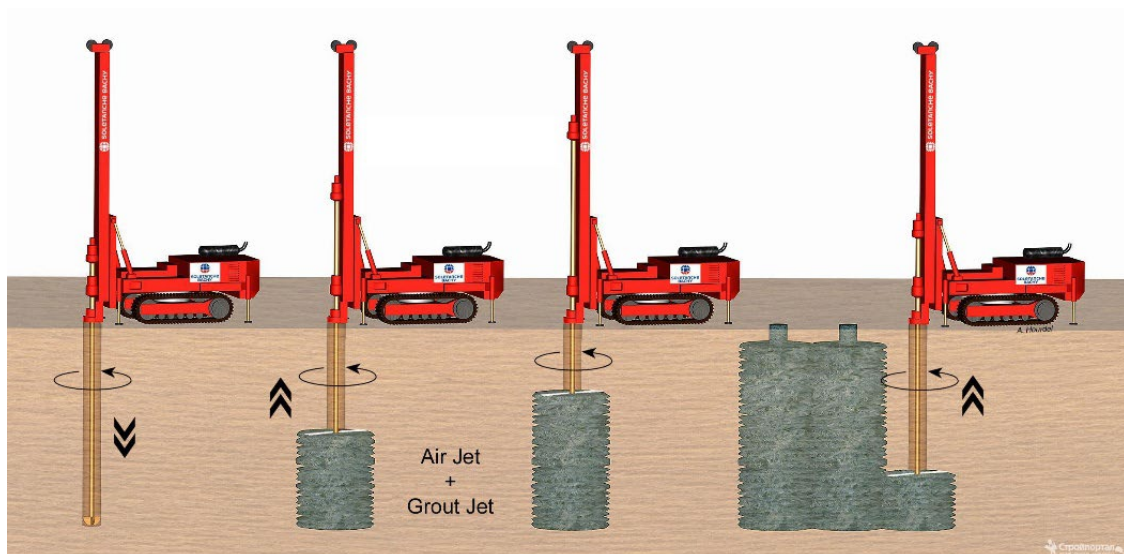


Рисунок 2 – Схема последовательности выполнения работ

Результаты внедрения. По данным строительства высокоскоростной железной дороги Мадрид – Валенсия на участке карстового плато применение системы обеспечило следующие показатели:

- отклонение свай от вертикали не превысило 0,3 %;
- скорость бурения выросла на 40 % по сравнению с традиционным ручным управлением;
- число дефектных свай (с полостями или сужениями) сократилось на 80 %.

В штатном режиме комплекс работает автономно, однако при резком изменении свойств грунта оператор может скорректировать параметры. Все данные о бурении и бетонировании заносятся в цифровой паспорт сваи, что обеспечивает полную прослеживаемость работ.

Преимущества и ограничения роботизации. Роботизация снижает число ошибок при монотонных операциях, сокращает количество геодезических проверок и поддерживает стабильное качество даже при круглосуточной работе в три смены. Вместе с тем системы не способны самостоятельно интерпретировать сложные геологические аномалии – например, карстовые воронки; в таких случаях инженер анализирует отчёты, корректирует проект и решает вопрос о дополнительных мероприятиях (инъекционном закреплении грунта или изменении длины свай).

ВЫВОДЫ

В испанской практике роботизированные комплексы выступают надёжным исполнительным инструментом, существенно повышающим точность, безопасность и экономическую эффективность свайных работ при сохранении ключевой роли человека на этапах проектирования и контроля. Дальнейшее развитие искусственного интеллекта и автоматизации открывает перспективу полной автономизации устройства глубоких фундаментов в сложных грунтовых условиях.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. KBC 2019 – Korean Building Code. – Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2019. – Chapter 16: Foundation design.
2. KS F 2445:2021. Standard test method for bored pile construction by robotic drilling system. – Korean Agency for Technology and Standards (KATS). – 32 p.
3. Lee S.-H., Park J.-W. Robotic pile foundation technology in high-rise construction: a case study of Lotte World Tower // Korean Journal of Construction Engineering and Management. – 2022. – Vol. 23, № 4. – P. 55–63.
4. Kim D.Y. Automation of bored pile works using multi-robot systems in Korea. – Seoul: KICT Press, 2023. – 184 p.

REFERENCES

1. KBC 2019 – Korean Building Code. – Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2019. – Chapter 16: Foundation design.
2. KS F 2445:2021. Standard test method for bored pile construction by robotic drilling system. – Korean Agency for Technology and Standards (KATS). – 32 p.
3. Lee S.-H., Park J.-W. Robotic pile foundation technology in high-rise construction: a case study of Lotte World Tower // Korean Journal of Construction Engineering and Management. – 2022. – Vol. 23, № 4. – P. 55–63.
4. Kim D.Y. Automation of bored pile works using multi-robot systems in Korea. – Seoul: KICT Press, 2023. – 184 p.

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ – ПРИМЕНЕНИЕ ИИ-АГЕНТОВ

БЕЛАНОВИЧ ДАНИИЛ ДМИТРИЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Аннотация. В работе рассматривается применение нейросетевых технологий при проектировании свайных фундаментов на примере отечественной разработки Пермского национального исследовательского политехнического университета. Показано, что традиционное проектирование требует учёта многих факторов и проведения дорогостоящих полевых испытаний и лабораторных исследований грунта. Описано программное обеспечение «CPTPileANN», которое на основе данных статического зондирования с помощью нейронной сети прогнозирует несущую способность и осадку свай. Отмечено, что технология снижает затраты на геологические изыскания, ускоряет проектирование и уменьшает риски перерасхода бюджета.

Ключевые слова: свайные фундаменты, искусственный интеллект, нейронная сеть, CPTPileANN, статическое зондирование, несущая способность свай, осадка, проектирование фундаментов.

CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS: PILE FOUNDATIONS USING AI AGENTS

BELANOVICH DANIL DMITRIEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper discusses the use of neural-network technologies in pile-foundation design using, as an example, a domestic development of Perm National Research Polytechnic University. It is shown that conventional design requires accounting for many factors and carrying out expensive field tests and laboratory soil studies. The «CPTPileANN» software is described, which uses a neural network to predict the bearing capacity and settlement of piles from cone penetration test data. It is noted that the technology reduces the cost of geotechnical surveys, speeds up design and lowers the risk of budget overruns.

Keywords: pile foundations, artificial intelligence, neural network, CPTPileANN, cone penetration test, pile bearing capacity, settlement, foundation design.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Свайные фундаменты служат одним из главных конструктивных элементов при возведении зданий, мостов и других сооружений. Специалисты Пермского Политеха разработали инновационную программу, использующую нейросеть для оценки несущей способности и осадки свайных фундаментов, что позволяет строителям заметно сократить затраты на геологические испытания и время проектирования.

Проектирование свайного фундамента – инженерный процесс, требующий учёта множества факторов: глубины погружения, просадки под нагрузкой, несущей способности и других. Сегодня при подготовке строительства на новых, малоизученных участках проектировщики вынуждены либо принимать завышенные значения длины свай, либо проводить их натурные испытания и лабораторные исследования грунта (рисунок 1).

Действующие нормативы не позволяют экономичнее назначать жёсткостные характеристики конструкции, что затрудняет моделирование поведения зданий на предпроектной стадии. Чтобы решить эту проблему, в Пермском Политехе создали программное обеспечение «CPTPileANN»: на основе нейросети оно даёт необходимые характеристики, снижая риски и затраты на дорогостоящие полевые испытания.

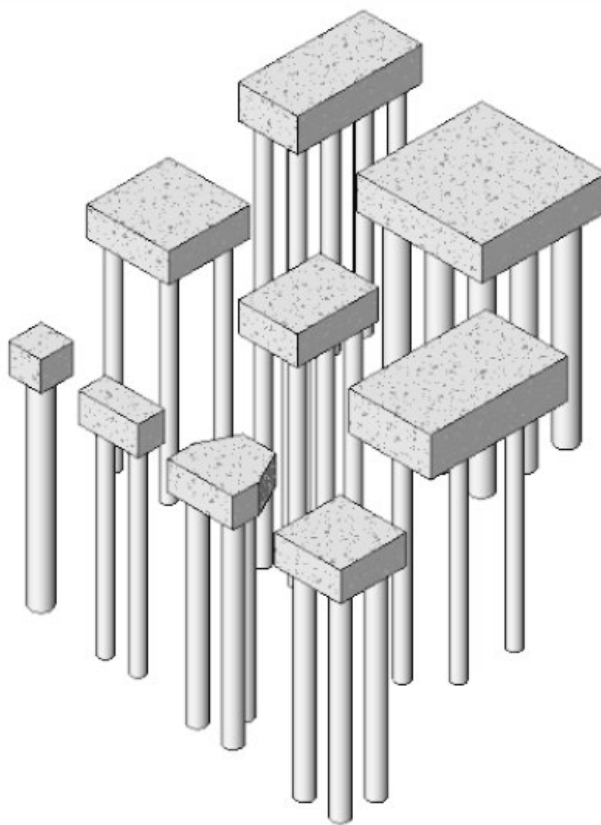


Рисунок 1 – Проектирование свайного фундамента

ВЫВОДЫ

По сведениям разработчиков, «СРTPileANN» выполнено в виде приложения для персонального компьютера. Несмотря на то, что пользовательский интерфейс последней версии ещё дорабатывается, технология уже показывает убедительные результаты: она помогает застройщикам точнее планировать геологические изыскания, снижать риск перерасхода бюджета и быстрее приступать к строительству.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка ученых Пермского Политеха снизит расходы при проектировании свайных фундаментов [Электронный ресурс] // CNews : информ. портал. – 2025. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/line/2025-04-30_razrabotka_uchenyh_permskiego. – Дата доступа: 24.05.2026
2. Пермские ученые узнали, как снизить расходы при проектировании свайных фундаментов [Электронный ресурс] // Naked Science : сетевое изд. – 2025. – Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/column/proektirovanii-svajnyh-fu>. – Дата доступа: 24.05.2026

REFERENCES

1. The development of Perm Polytechnic University scientists will reduce costs in the design of pile foundations [Electronic resource] // CNews : inform. portal. – 2025. – Access mode: https://www.cnews.ru/news/line/2025-04-30_razrabotka_uchenyh_permskiego. – Date of access: 05/24/2026
2. Perm scientists learned how to reduce costs when designing pile foundations [Electronic resource] // Naked Science : online edition – 2025. – Access mode: <https://naked-science.ru/article/column/proektirovanii-svajnyh-fu>. – Date of access: 05/24/2026

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ – ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В РОССИИ

БОРОВИК СВЯТОСЛАВ ВЛАДИМИРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологии лазерного сканирования при устройстве свайных фундаментов в России. Отмечено, что свайные фундаменты широко используются на слабых, водонасыщенных и многолетнемёрзлых грунтах, а контроль качества их возведения требует высокой точности измерений. Показано, что лазерное сканирование формирует трёхмерное облако точек с миллиметровой точностью и применяется на всех этапах работ: при создании цифровой модели рельефа, контроле положения свай относительно проектных координат, выполнении исполнительной модели свайного поля и мониторинге деформаций. Сделан вывод о том, что сочетание свайных фундаментов и лазерного сканирования повышает качество строительного контроля и способствует цифровизации отрасли.

Ключевые слова: свайные фундаменты, лазерное сканирование, облако точек, цифровая модель, строительный контроль, мониторинг деформаций, BIM, Россия.

CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS USING LASER SCANNING IN RUSSIA

BOROVIK SVYATOSLAV VLADIMIROVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of laser scanning technology in the construction of pile foundations in Russia. It is noted that pile foundations are widely used on weak, water-saturated and permafrost soils, and quality control of their construction requires high measurement accuracy. It is shown that laser scanning produces a three-dimensional point cloud with millimetre accuracy and is used at all work stages: creating a digital terrain model, checking pile positions against design coordinates, producing an as-built model of the pile field and monitoring deformations. It is concluded that combining pile foundations with laser scanning improves construction quality control and promotes the digitalisation of the industry.

Keywords: pile foundations, laser scanning, point cloud, digital model, construction quality control, deformation monitoring, BIM, Russia.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Фундамент – одна из важнейших частей любого здания или сооружения: он воспринимает нагрузки от конструкций и передаёт их на основание, поэтому от качества его проектирования и устройства зависят надёжность, долговечность и безопасность объекта. В современном строительстве применяют ленточные, плитные, столбчатые и свайные фундаменты, причём особое место занимают свайные, используемые на слабых, водонасыщенных и неустойчивых грунтах.

Свайный фундамент – это система погружённых в грунт свай, объединённых ростверком или фундаментной плитой; сваи передают нагрузку на прочные слои, залегающие на значительной глубине. В России они особенно востребованы при строительстве высотных зданий, мостов, промышленных объектов, а также сооружений в районах Крайнего Севера и вечной мерзлоты, повышая устойчивость и снижая риск неравномерной осадки.

Развитие цифровых технологий привело к появлению современных методов контроля качества, одним из которых стало лазерное сканирование (рисунок 1). Сканеры измеряют расстояния до объектов и формируют трёхмерное облако точек, на основе которого строятся высокоточные цифровые модели площадок и конструкций; при этом достигается точность в несколько миллиметров и существенно сокращается время геодезических работ.

При устройстве свайных фундаментов лазерное сканирование используют на разных этапах. На стадии подготовки территории по нему создают цифровую модель рельефа и анализируют условия площадки. В ходе погружения свай оно помогает контролировать их положение относительно проектных координат. По завершении работ формируют исполнительную трёхмерную модель свайного поля, позволяющую сверить фактическое положение свай с документацией. Кроме того, технология применяется для мониторинга деформаций фундаментов и окружающих конструкций при строительстве и эксплуатации.



Рисунок 1 – Применение лазерного сканирования в строительстве

В России лазерное сканирование активно внедряют в инженерные изыскания, строительство и BIM-моделирование: компании выполняют наземную, мобильную и воздушную съёмку объектов различного назначения, создавая цифровые модели зданий, сооружений и площадок. Это повышает качество строительного контроля, снижает вероятность ошибок и улучшает управление проектами.

ВЫВОДЫ

Таким образом, свайные фундаменты остаются одним из наиболее эффективных решений для строительства на сложных грунтах, а применение лазерного сканирования заметно повышает точность измерений, обеспечивает качественный контроль работ и способствует цифровизации отрасли. В условиях активного развития технологий сочетание свайных фундаментов и лазерного сканирования становится важным направлением повышения надёжности и безопасности сооружений.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Офрихтер, Я. А. Пермские ученые узнали, как снизить расходы при проектировании свайных фундаментов [Электронный ресурс] / Я. А. Офрихтер, А. Б. Пономарев // Naked Science. – 2025. – 30 апр. – Режим доступа: <https://naked-science.ru/article/column/proektirovanii-svajnyh-fu>. – Дата доступа: 16.03.2026.

2. Южно-Уральский государственный университет. Модели машинного обучения повышают точность вычисления несущей способности свай [Электронный ресурс] // Sci-Ru.org. – 2024. – 8 февр. – Режим доступа: <https://xn--www-5cdag2a6c5bk9d.sci-ru.org/articles/modeli-masinnogo-obucenia-povyysaut-točnost-vycislenia-nesusej-sposobnosti-svaj>. – Дата доступа: 16.03.2026.
3. Офрихтер, Я. А. Нейросеть прогнозирует осадку фундаментов зданий [Электронный ресурс] / Я. А. Офрихтер, А. Б. Пономарев // IoT.ru. – 2021. – 11 авг. – Режим доступа: <https://iot.ru/monitoring/neyroset-sprognoziruuet-osadku-fundamentov-zdaniy>. – Дата доступа: 16.03.2026.
4. Соколов, Н. С. Создание многофакторных вычислительных моделей решения геотехнических задач с помощью методов искусственного интеллекта: аналитический обзор : монография / Н. С. Соколов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 308 с. – ISBN 978-5-9729-1689-4.
5. Study on an interpretable prediction model for pile bearing capacity based on SHAP and BP neural networks [Электронный ресурс] // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Art. no. 13616. – DOI: 10.1038/s41598-025-13616-w. – Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-13616-w>. – Дата доступа: 16.03.2026.

REFERENCES

1. Ofrichter, Ya. A. Perm scientists learned how to reduce costs in the design of pile foundations [Electronic resource] / Ya. A. Ofrichter, A. B. Ponomarev // Naked Science. – 2025. – 30 Apr. – Access mode: <https://naked-science.ru/article/column/proektirovanii-svajnyh-fu>. – Date of arrival: 16.03.2026.
2. South Ural State University. Machine learning models improve the accuracy of calculating the bearing capacity of piles [Electronic resource] // Sci-Ru.org . – 2024. – February 8. – Access mode: <https://xn--www-5cdag2a6c5bk9d.sci-ru.org/articles/modeli-masinnogo-obucenia-povyysaut-točnost-vycislenia-nesusej-sposobnosti-svaj>. – Access date: 16.03.2026.
3. Ofrichter, Ya. A. Neural network predicts precipitation of building foundations [Electronic resource] / Ya. A. Ofrichter, A. B. Ponomarev // IoT.ru . – 2021. – Aug 11. – Access mode: <https://iot.ru/monitoring/neyroset-sprognoziruuet-osadku-fundamentov-zdaniy>. – Access date: 03/16/2026.
4. Sokolov, N. S. Creation of multifactor computational models for solving geotechnical problems using artificial intelligence methods: an analytical review : monograph / N. S. Sokolov. – Moscow ; Vologda : Infra-Engineering, 2024. – 308 p. – ISBN 978-5-9729-1689-4.
5. Study on an interpretable prediction model for pile bearing capacity based on SHAP and BP neural networks [Electronic resource] // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Art. no. 13616. – DOI: 10.1038/s41598-025-13616-w. – Access mode: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-13616-w>. – Access date: 16.03.2026.

[УДК 624.131.524:004.8](#)

ИНТЕГРАЦИЯ AI-АГЕНТОВ В СРЕДУ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ DYNAMO – КАК ИНСТРУМЕНТ ТРАНСФОРМАЦИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

ГАРКУША ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

студент 3 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научные руководители – Савина Е.Н., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Кулан А.В., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются возможности интеграции интеллектуальных агентов на основе искусственного интеллекта в среду визуального программирования Dynamo при параметрическом проектировании транспортных сооружений. На базе выполненных лабораторных работ показан базовый функционал автоматизации в связке Dynamo-Autodesk Revit: алгоритмизация типовых процедур, применение стандартных узлов библиотеки и моделирование вантовых и висячих мостов. Определены перспективные направления внедрения AI-агентов: генеративный дизайн на основе машинного обучения, интеллектуальное управление нодами с использованием больших языковых моделей, предиктивный аудит коллизий и адаптивная параметризация. Сделан вывод о готовности параметрического проектирования к интеграции AI-агентов, что позволит сократить сроки разработки конструктивных решений на 30-40 %.

Ключевые слова: параметрическое проектирование, визуальное программирование, Dynamo, Autodesk Revit, искусственный интеллект, AI-агенты, генеративный дизайн, BIM, транспортные сооружения.

INTEGRATION OF AI AGENTS INTO THE DYNAMO VISUAL PROGRAMMING ENVIRONMENT AS A TOOL FOR TRANSFORMING THE PARAMETRIC DESIGN OF TRANSPORT STRUCTURES

GARKUSHA OLEG PETROVICH

3rd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisors – E.N. Savina, Assistant of the Department of Bridges and Tunnels

A.V. Kulan, Assistant of the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper examines the possibilities of integrating intelligent agents based on artificial intelligence into the Dynamo visual programming environment for the parametric design of transport structures. Based on completed laboratory work, the basic automation functionality of the Dynamo-Autodesk Revit bundle is demonstrated: algorithmisation of typical procedures, the use of standard library nodes and the modelling of cable-stayed and suspension bridges. Promising directions for deploying AI agents are identified: generative design based on machine learning, intelligent node management using large language models, predictive clash auditing and adaptive parametrisation. It is concluded that parametric design is ready for the integration of AI agents, which will reduce the time for developing structural solutions by 30-40 %.

Keywords: parametric design, visual programming, Dynamo, Autodesk Revit, artificial intelligence, AI agents, generative design, BIM, transport structures.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В современной практике проектирования связка визуального программирования Dynamo и BIM-платформы Autodesk Revit стала привычным средством автоматизации рутинных операций. Построение алгоритмов из нодовых цепочек обеспечивает гибкое управление геометрией несущих элементов – балок, колонн, ригелей – и параметризацию семейств, повышая повторяемость результата и снижая вероятность случайных ошибок при формировании цифровой модели. Дальнейшее развитие подхода связывают с подключением интеллектуальных агентов на базе искусственного интеллекта, что выводит решение проектных задач для мостов, путепроводов и иных транспортных объектов на качественно новый уровень.

В ходе лабораторных работ был освоен базовый набор средств автоматизации:

- алгоритмизация типовых процедур за счёт привязки размерных параметров (пролёт, высотные отметки, осевые линии) к типоразмерам несущих элементов Revit (стойки, ригели, прогоны) через последовательности вычислительных блоков;
- использование стандартных узлов StructuralFraming.BeamByCurve, ColumnByCurve и Geometry.Translate, обеспечивающих строгое математическое позиционирование конструкций и практически снимающих влияние субъективного фактора;
- составление сценариев для моделирования вантовых и висячих мостов с параметрическим заданием формы несущего троса (цепная линия или парабола) и автоматической расстановкой вертикальных подвесок с заданным шагом.

Рассмотренные примеры подтверждают, что современные визуально-программные средства не только ускоряют построение моделей, но и создают задел для последующей оптимизации конструктивных решений с привлечением AI-алгоритмов – например, для подбора рационального сечения элементов или прогнозирования напряжённо-деформированного состояния (рисунок 1-3).

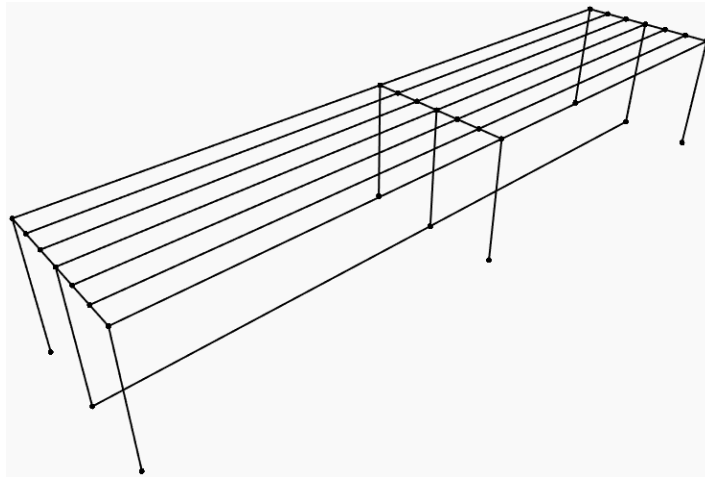


Рисунок 1 – Модель сооружения (DYNAMO)

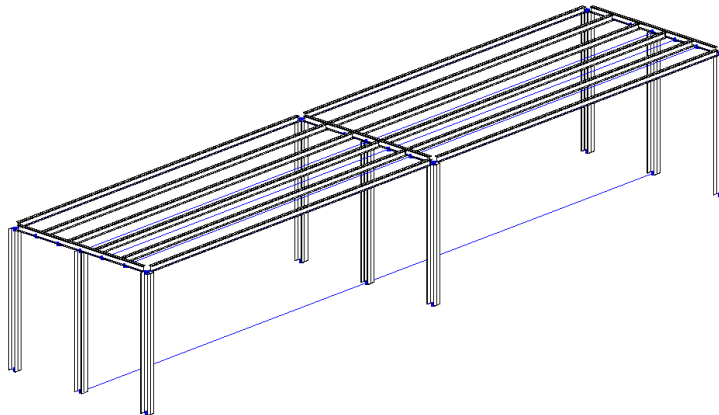


Рисунок 2 – Модель сооружения (Revit)

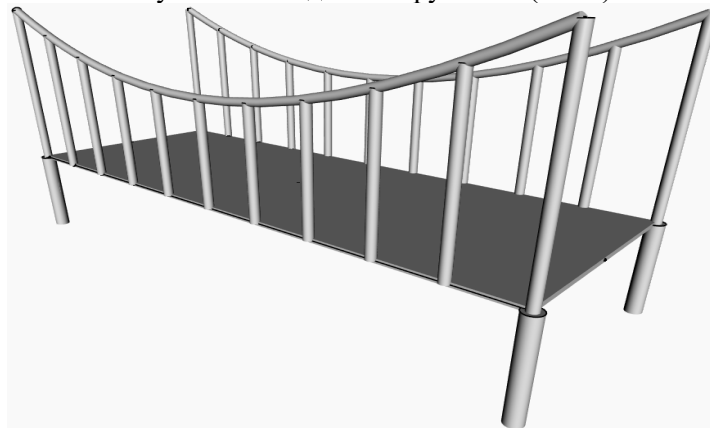


Рисунок 3 – Модель моста (DYNAMO)

Перспективные направления интеграции AI-агентов в среду Dynamo можно сгруппировать следующим образом.

1. Генеративный дизайн на основе машинного обучения. Сегодня проектировщик вручную задаёт координаты точек и диапазоны значений через IntegerSlider или Code Block. В перспективе нейросетевой агент сам сгенерирует тысячи вариантов геометрии, опираясь на исходные условия (нагрузки, ландшафт, стоимость материалов), и предложит оптимальные конфигурации, обучаясь на массиве удачных проектов.

2. Интеллектуальное управление нодами и автодополнение скриптов. В нынешнем виде инженер вручную выстраивает цепочки нодов (GetParameterValueByName, SetParameterByName), что требует глубокого знания библиотеки. В перспективе встроенная в Dynamo большая языковая модель (LLM) сможет интерпретировать текстовое техническое задание и автоматически собирать граф нодов, поясняя каждый узел на естественном языке и предлагая оптимизации.

3. Предииктивный аудит коллизий и контроль параметров. Совместная работа компьютерного зрения и LLM позволит считывать проектные задания, сопоставлять их с моделью Revit в реальном времени, предсказывать пространственные коллизии и автоматически корректировать параметры семейств.

4. Умная параметризация и адаптация к изменяющимся условиям. Вместо жёстко зашитой логики скрипта AI-агент будет перестраивать геометрию пролётных строений и опор при изменении трассировки или геологических данных, самостоятельно подбирая марки балок и сечения стоек по прогнозным нагрузкам.

ВЫВОДЫ

Освоенный комплекс Revit + Dynamo показывает, что параметрическое проектирование транспортных сооружений полностью готово к интеграции AI-агентов. Агенты превращают скрипты из средств исполнения в средства поддержки проектных решений, что позволит сократить сроки разработки конструктивных решений на 30–40 %, снизить число проектных ошибок и уменьшить материалоемкость сооружений.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Autodesk Dynamo Primer. – URL: <https://primer.dynamobim.org>
2. Autodesk Revit API Documentation. – Autodesk, 2024.
3. OpenAI. GPT-4 Technical Report. – OpenAI, 2023.
4. Anthropic. Claude Model Card and System Card. – Anthropic, 2024.
5. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook. – Wiley, 2018.

REFERENCES

1. Autodesk Dynamo Primer. – URL: <https://primer.dynamobim.org>
2. Autodesk Revit API Documentation. – Autodesk, 2024.
3. OpenAI. GPT-4 Technical Report. – OpenAI, 2023.
4. Anthropic. Claude Model Card and System Card. – Anthropic, 2024.
5. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook. – Wiley, 2018.

[УДК 624.19:625.7](#)

ЦИФРОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ОБЪЕКТА: АВТОДОРОЖНЫЙ ПОРТАЛ,
СОВМЕЩЕННЫЙ С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ, КУРУШ (ДАГЕСТАН)

ГАРКУША ОЛЕГ ПЕТРОВИЧ

студент 3 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажер кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлен цифровой технический паспорт автодорожного портала, совмещённого с многофункциональным комплексом (Куруш, Дагестан). Систематизированы общие параметры объекта, геометрические характеристики трассы и обделки тоннеля, а также результаты статического расчёта: значения изгибающих моментов, продольных и поперечных сил в характерных сечениях монолитной сводчатой обделки. Приведены конструктивные и инженерно-геологические параметры (тип вмещающих пород, нагрузки, коэффициент упругого отпора) и расчётные толщины элементов обделки. Цифровой паспорт обеспечивает структурированное представление данных об объекте для задач проектирования, эксплуатации и мониторинга.

Ключевые слова: цифровой технический паспорт, автодорожный тоннель, портал, обделка тоннеля, внутренние усилия, многофункциональный комплекс, BIM, Дагестан.

DIGITAL TECHNICAL DATA SHEET OF THE FACILITY: A ROAD PORTAL COMBINED WITH A
MULTIFUNCTIONAL COMPLEX, KURUSH (DAGESTAN)

GARKUSHA OLEG PETROVICH

3rd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisor – Shcherbo A.D., trainee lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The paper presents a digital technical passport of a road portal combined with a multifunctional complex (Kurush, Dagestan). The general parameters of the object, the geometric characteristics of the route and tunnel lining, as well as the results of static calculations are systematized: the values of bending moments, longitudinal and transverse forces in the characteristic sections of the monolithic vaulted lining. Constructive and engineering-geological parameters (type of host rocks, loads, coefficient of elastic pressure) and calculated thicknesses of lining elements are given. The digital passport provides a structured representation of facility data for design, operation, and monitoring tasks.

Keywords: digital technical passport, road tunnel, portal, tunnel lining, internal efforts, multifunctional complex, BIM, Dagestan.

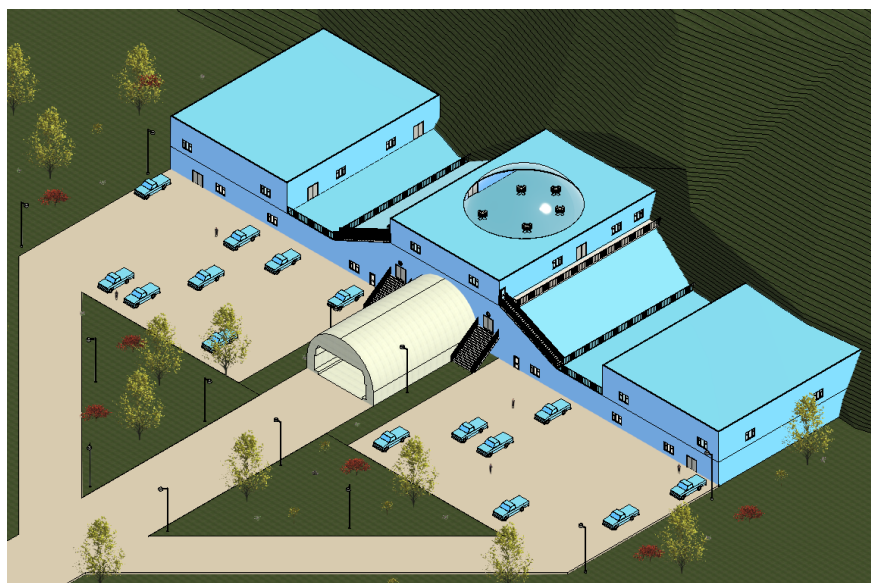


Рисунок 1 – Общий вид портала, совмещённого с многофункциональным комплексом

Таблица 1 – Общие параметры объекта

Параметр	Значение	Примечание
Тип объекта	Автомобильный тоннель, портал совмещённый с многофункциональным комплексом	Транспортный тоннель I–II категории
Количество надземных этажей	3	Включая первый, второй и третий этажи комплекса
Количество подземных этажей	0	Подвальные и цокольные помещения отсутствуют
Класс энергоэффективности	B (высокий)	Согласно теплотехническому расчёту по ТКП 45-2.04-43-2006
Ширина выработки b , м	12,7	По габариту ГОСТ 24451-80
Высота выработки h , м	10,7	Включая дорожную одежду
Продольный уклон, ‰	3 (двускатный)	От середины к порталам, ТКП 45-3.03-238-2011
Срок службы, лет	100	Для основных конструкций
Уровень ответственности	1 (повышенный)	Транспортная инфраструктура

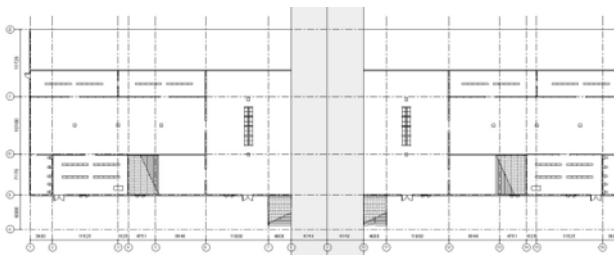


Рисунок 2 – План 1 этажа на отметке +0,000

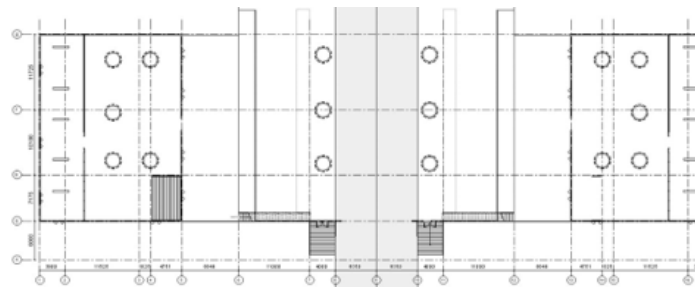


Рисунок 3 – План 2 этажа на отметке +4,000

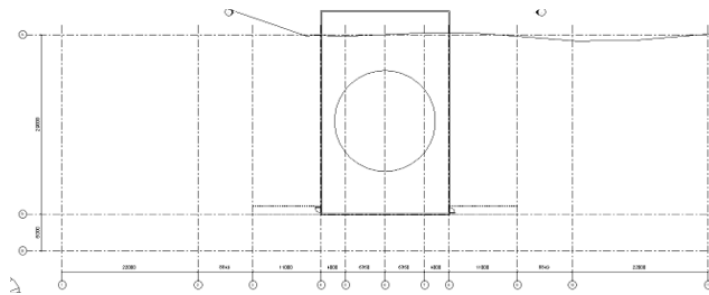


Рисунок 4 – План 3 этажа на отметке +9,000, м

Таблица 2 – Параметры поперечного сечения обделки

Элемент обделки	Толщина, м	M, кН·м	N, кН
Замок свода (h_0)	0,40	145,0	211,2
Пята свода ($h_{п1}$)	0,52	220,5 (макс.)	333,6
Стена ($h_{ст}$)	0,60	131,4	536,3 (макс.)
Фундамент ($h_{ф}$)	0,72	–	–

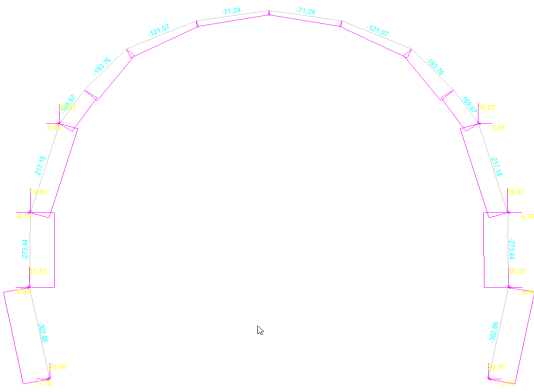


Рисунок 9 – Эпюра продольных сил N, кН

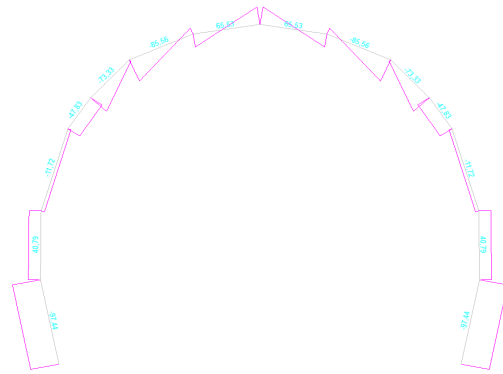


Рисунок 10 – Эпюра изгибающих моментов M, кН·м

Таблица 4 – Сравнение результатов ручного расчёта и расчёта в SCAD

Сечение	M кН·м	ручн., кН·м	M SCAD, кН·м	Δ, %	N ручн., кН	N SCAD, кН
0 (замок)	145,0		85,2	3,6	211,2	216,5
b (макс. M)	220,5		228,8	3,8	333,6	340,1
1	-97,7		-112,9	3,2	390,3	396,2
3 (пята, провер.)	131,4		136,2	3,7	536,3	543,8

Таблица 5 – Конструктивные параметры обделки и порталов

Элемент	Характеристика	Значение / Материал
Обделка тоннеля	Тип, материал	Монолитный бетон В25, подковообразная форма
Марки бетона	Морозостойкость / водонепрон.	F150 / W2 (СНБ 5.03.01-02)
Коэф. упругого отпора K	кН/м ³	4 · 10 ⁵
Портальная стена	Тип, толщина	Врезная прямая, ж/б В25, 0,9 м
Предпортальная выемка	Глубина, м	20 м, скальный грунт VIII кат.
Прочность: сечение «3»	N < N _{пр} , условие	536,3 кН < 1 684,8 кН ✓

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковский Л. В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 352 с.
2. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие / Кафедра «Мосты и тоннели» БНТУ. – Минск: БНТУ, 2005. – 94 с.
3. Колпашников Г. А. Инженерная геология: пособие для студентов специальностей вузов. – Минск: БНТУ, 2017.
4. Галкин А. Н. Инженерная геология Беларуси. Ч. 1: Грунты Беларуси: монография. – Минск, 2016.

REFERENCES

1. L. Makovsky. V. N. Designing of road and urban tunnels: Textbook for universities. - M. M.: Transport, 1993. – 352 p.
2. Designing tunnels constructed by mining method: textbook.- the method. manual / Department of Bridges and Tunnels of BNTU. Minsk: BNTU Publ., 2005. 94 p.
3. G. Kolpashnikov, A. N. Engineering geology: a manual for university students. Minsk: BNTU, 2017.
4. A. Galkin. N. Engineering Geology of Belarus Part 1: Soils of Belarus: monograph. - Minsk, 2016.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ВО ВРЕМЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ

ГЕЛАЖИН АЛЕКСАНДР ОЛЕГОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение лазерного сканирования при строительстве свайных фундаментов в Великобритании в условиях плотной городской застройки. Показано, что нормы BS EN 1997 (Еврокод 7) и стандарты UK BIM Framework / ISO 19650 переводят лазерное сканирование в обязательную практику контроля качества, обеспечивая субмиллиметровую точность фиксации геометрии. Рассмотрены задачи разведки подземного пространства с помощью георадара, мониторинга микроперемещений соседних зданий как системы раннего предупреждения, а также контроля фактического объёма скважин для снижения перерасхода бетона, достигающего 10-30 %. Сделан вывод о том, что интеграция лазерного сканирования в технологическую цепочку исключает человеческий фактор и предотвращает перерасход бюджета.

Ключевые слова: лазерное сканирование, свайные фундаменты, георадар, облако точек, мониторинг деформаций, Еврокод 7, ISO 19650, BIM, Великобритания.

APPLICATION OF LASER SCANNING IN THE CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS IN THE UNITED KINGDOM

GELAZHIN, ALEXANDER OLEGOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of laser scanning in the construction of pile foundations in the United Kingdom under dense urban development. It is shown that the BS EN 1997 (Eurocode 7) code and the UK BIM Framework / ISO 19650 standards turn laser scanning into a mandatory quality-control practice, providing sub-millimetre accuracy in recording geometry. The tasks of subsurface investigation using ground-penetrating radar, monitoring micro-displacements of neighbouring buildings as an early-warning system, and controlling the actual borehole volume to reduce concrete overconsumption (reaching 10-30 %) are considered. It is concluded that integrating laser scanning into the technological chain eliminates the human factor and prevents budget overruns.

Keywords: laser scanning, pile foundations, ground-penetrating radar, point cloud, deformation monitoring, Eurocode 7, ISO 19650, BIM, United Kingdom.

ВВЕДЕНИЕ

При устройстве свайных фундаментов в Великобритании точность геотехнического проектирования определяется не только нормами, но и реальными условиями плотной городской застройки. Под поверхностью скрывается сложная сеть коммуникаций, изменчивые грунтовые слои и непредсказуемые геологические аномалии, поэтому традиционные методы контроля, основанные на ручных измерениях и визуальной оценке, перестают обеспечивать необходимую достоверность данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В стране действуют стандарт BS EN 1997 (Еврокод 7), задающий требования к геотехническому проектированию, и UK BIM Framework / ISO 19650, интегрирующие цифровые технологии в строительный процесс. В их рамках лазерное сканирование перешло из разряда новинок в обязательную практику контроля качества: оно фиксирует геометрию, положение и состояние объектов с субмиллиметровой точностью и формирует достоверную цифровую документацию на всех этапах работ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Применение 3D-лазерного сканирования на строительной площадке во время изготовления свай в Лондоне

До начала бурения или забивки подземное пространство остаётся зоной неопределённости: валуны, карстовые пустоты, заброшенные фундаменты и действующие коммуникации способны вывести из строя дорогостоящее оборудование или спровоцировать аварию. Для разведки применяют георадар IDS GeoRadar Stream DP – оператор перемещается обычным шагом, а система в реальном времени строит трёхмерную карту подповерхностных структур, выявляя аномалии на глубине до нескольких метров.

В крупных агломерациях, где сваи проходят вблизи существующих и исторических зданий, лазерное сканирование выполняет функцию раннего предупреждения: сканеры фиксируют микроперемещения и деформации соседних объектов до начала бурения, в процессе и после него, что позволяет в реальном времени корректировать параметры вибрации и давления, не доводя ситуацию до критических порогов.

Одна из острых экономических проблем британского рынка – перерасход бетона при заливке свай. При высоких ценах на материалы и жёстких экологических нормах избыточный расход бьёт по бюджету и увеличивает углеродный след; в сложных грунтах, где стенки скважины обрушаются или образуются скрытые пустоты, перерасход без точного контроля геометрии достигает 10–30 %. Лазерное сканирование даёт точный объём каждой скважины до заливки, позволяя оптимизировать расход смеси и задокументировать фактический результат.

ВЫВОДЫ

Интеграция лазерного сканирования в технологическую цепочку устройства свай решает сразу несколько задач: исключает человеческий фактор при контроле геометрии, предотвращает перерасход бюджета за счёт точного учёта объёмов и выявляет отклонения от проекта на стадии, когда их устранение ещё не требует демонтажа или переделки.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. The Federation of Piling Specialists Launches New Sustainability Charter [Electronic resource] // Federation of Piling Specialists. – Mode of access: fps.org.uk. – Date of access: 21.05.2026.
2. About the IMI Framework [Electronic resource] // IMI Framework. – URL: <https://imiframe-work.org/about/>. – (Date of access: 21.05.2026).
3. Stream DP – Ground Penetrating Radar [Electronic resource] // IDS GeoRadar. – URL: idsgeoradar.com. – (Date of access: 21.05.2026).

4. Working Platform Guidance [Electronic resource] // Federation of Piling Specialists. – URL: <https://www.fps.org.uk/guidance/working-platform-guidance/>. – (Date of access: 21.05.2026).

REFERENCES

1. The Federation of Piling Specialists Launches New Sustainability Charter [Electronic resource] // Federation of Piling Specialists. – Mode of access: [fps.org.uk](https://www.fps.org.uk). – Date of access: 21.05.2026.

2. About the IMI Framework [Electronic resource] // IMI Framework. – URL: <https://imiframe-work.org/about/>. – (Date of access: 21.05.2026).

3. Stream DP – Ground Penetrating Radar [Electronic resource] // IDS GeoRadar. – URL: [idsgeoradar.com](https://www.idsgeoradar.com). – (Date of access: 21.05.2026).

4. Working Platform Guidance [Electronic resource] // Federation of Piling Specialists. – URL: <https://www.fps.org.uk/guidance/working-platform-guidance/>. – (Date of access: 21.05.2026).

СКВОЗНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ПОДПОРНЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ США

ГРИСЕВИЧ ИЛЬЯ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе анализируется применение сквозных цифровых технологий при возведении подпорных и гидравлических сооружений в транспортном строительстве США. Показано, что лазерное сканирование с БПЛА (LiDAR) стало стандартом, обеспечивая облака точек с точностью 1–2 см и прямую интеграцию в BIM через облачные сервисы. Описано массовое внедрение «агентных» ИИ-систем, которые проектируют оптимальные схемы армирования и подбирают тип подпорной стены, снижая перерасход бетона на 15–20 %, а также роботизация опасных работ – торкретирование манипуляторами, подводные дроны ROV и автоматизированные буровые установки с GPS-наведением, обеспечивающие вертикальность свай с погрешностью менее 1 см на 20 м глубины. Сделан вывод о трансформации роли инженера-геотехника в верификатора цифровых решений.

Ключевые слова: сквозные цифровые технологии, LiDAR, BIM, генеративный дизайн, искусственный интеллект, торкретирование, подпорные стены, США.

END-TO-END DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN U.S. TRANSPORT CONSTRUCTION

GRISEVICH ILYA ALEKSANDROVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper analyzes the application of end-to-end digital technologies in the construction of retaining and hydraulic structures in U.S. transport construction. It is shown that UAV-based laser scanning (LiDAR) has become a de facto standard, providing point clouds with an accuracy of 1–2 cm and direct integration into BIM via cloud services. The mass adoption of 'agentic' AI systems that design optimal reinforcement schemes and select the type of retaining wall, reducing concrete overruns by 15–20 %, is described, as well as the robotization of hazardous work – manipulator shotcreting, underwater ROV drones and GPS-guided automated drilling rigs that ensure pile verticality with an error of less than 1 cm per 20 m of depth. It is concluded that the role of the geotechnical engineer is transforming into a verifier of digital solutions.

Keywords: end-to-end digital technologies, LiDAR, BIM, generative design, artificial intelligence, shotcrete, retaining walls, USA.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортное строительство США в 2026 году сочетает успехи и трудности: страна реализует масштабную программу обновления инфраструктуры, но сталкивается с острой нехваткой квалифицированных кадров и необходимостью адаптировать устаревшие нормы к новым климатическим реалиям. Особенно остро эти проблемы проявляются при возведении геотехнических объектов – подпорных стен вдоль трасс в Аппалачах, гидротехнических сооружений в зоне Великих озёр, фундаментных опор мостов в сейсмоопасной Калифорнии. В ответ американская отрасль законодательно закрепила применение информационного моделирования (BIM) и искусственного интеллекта на этапах проектирования и мониторинга.

Если в 2024 году цифровые двойники были скорее экспериментом, то к 2026 году они стали обязательным требованием страховых компаний для покрытия рисков при строительстве гидротехники. Ниже рассмотрено, как технологии машинного зрения, роботизированного торкретирования и генеративного дизайна изменили подход к возведению оснований фундаментов в США.

1. Цифровое картирование местности: LiDAR и дроны. При проектировании селезащитных дамб в Колорадо или подпорных стен в Огайо лазерное сканирование стало стандартом де-факто. Беспилотники с LiDAR-сенсорами дают «облака точек» с точностью 1–2 см, не перекрывая движение на трассах, а данные

напрямую интегрируются в BIM через облачные сервисы (OpenRoads, DroneDeploy), сокращая полевые изыскания с трёх недель до суток. Для гидравлических сооружений это особенно важно: высокоточные модели рельефа дна рек позволяют рассчитать фильтрационные нагрузки на опору ещё до бурения (Рисунок 1).

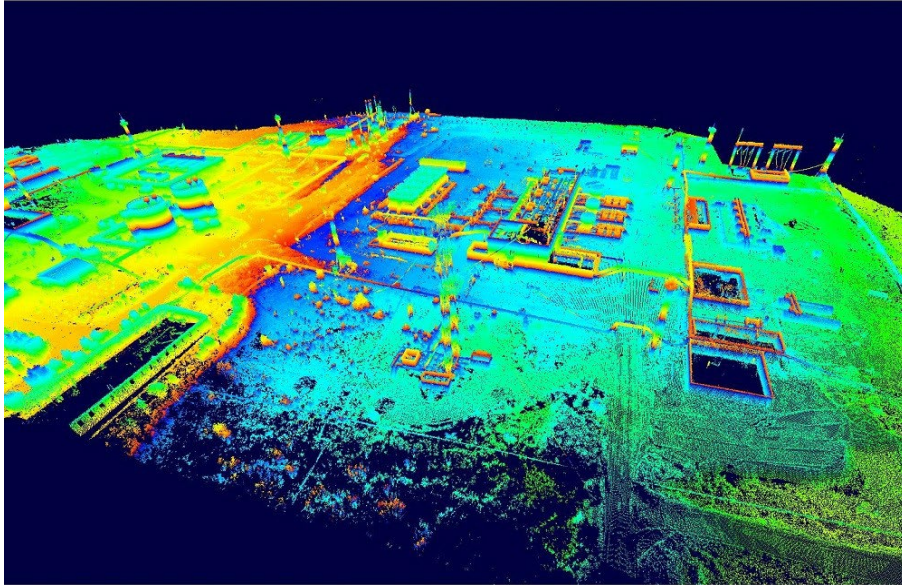


Рисунок 1 – Цифровая модель рельефа (облако точек LiDAR), сформированная по данным аэросъёмки с дрона

2. Искусственный интеллект и генеративный дизайн фундаментов. Главным изменением 2026 года стало массовое внедрение «агентных» ИИ-систем, которые не советуют, а проектируют: при устройстве буронабивных свай для эстакад в Техасе нейросети анализируют исторические изыскания за 50 лет и генерируют оптимальную схему армирования, а также помогают выбрать тип подпорной стены – «берлинскую» или массивную гравитационную – с учётом коэффициента фильтрации грунта. Машинное обучение на этапе проектирования оснований снижает перерасход бетона на 15–20 %, что важно для сертификации по «зелёным» стандартам LEED. Американское общество инженеров-строителей (ASCE) отмечает переход от «расчёта по таблицам» к предиктивному моделированию поведения грунтов при аномальных нагрузках.

3. Роботизация опасных работ. Дефицит рабочей силы заставил строителей сделать ставку на роботов. При устройстве защитных экранов откосов применяются роботизированные манипуляторы для набрызг-бетона (торкретирования), наносящие смесь на арматурные сетки крутых склонов, где присутствие человека опасно. В гидротехническом строительстве, например при реконструкции дамб в Калифорнии, подводные дроны (ROV) инспектируют подводные части опор (Рисунок 2), а автоматизированные буровые установки с GPS-наведением обеспечивают вертикальность свай с погрешностью менее 1 см на 20 м глубины – заметно надёжнее ручного управления.



Рисунок 2 – Дистанционно управляемый подводный дрон (ROV)

ВЫВОДЫ

Цифровая трансформация в строительстве США достигла стадии, когда «бумажные» чертежи окончательно уступили место живым данным, а сквозные технологии стали единственным способом обеспечить надёжность в эпоху климатической нестабильности. Ураганы во Флориде и наводнения в Калифорнии вынуждают проектировать подпорные сооружения с запасом, который ИИ рассчитывает точнее человека. При этом роль инженера-геотехника радикально меняется: из «вычислителя» он превращается в «верификатора» и «контролёра безопасности», чья главная ценность – способность распознать ошибку алгоритма, проверить данные дрона на местности и принять ответственность за решение. В 2026 году лучший проектировщик фундаментов в США – это не тот, кто лучше всех знает формулы, а тот, кто эффективнее управляет сложной цифровой экосистемой, сохраняя инженерную интуицию.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Bentley Systems. 2026 Year in Infrastructure Awards: Key takeaways for project engineers – 2026. – [Электронный ресурс]. (официальный сайт программного обеспечения для цифровых двойников).
2. Quickbase Blog. What’s ahead for construction in 2026: Key shifts and opportunities (AI, Robotics, Labor Shortage). – 2026. – [Электронный ресурс].
3. DroneDeploy. Drones in civil engineering: how teams capture sites faster (LiDAR and Photogrammetry for Earthworks). – 2026. – [Электронный ресурс].
4. ASCE Denver Branch. Expert Lecture Series – AI and Machine Learning in Geotechnical Engineering (Dr. Youssef M. A. Hashash). – 2026. – [Электронный ресурс].
5. AGC Colorado. Best Practices Series – Practical Applications of Virtual Design in Construction (VDC, BIM 4D/5D). – 2026. – [Электронный ресурс].

REFERENCES

1. Bentley Systems. 2026 Year in Infrastructure Awards: Key Takeaways for Project Engineers – 2026. – [Electronic resource]. (Official website of digital twin software).
2. Quickbase Blog. What's Ahead for Construction in 2026: Key Shifts and Opportunities (AI, Robotics, Labor Shortage). – 2026. – [Electronic resource].
3. DroneDeploy. Drones in Civil Engineering: How Teams Capture Sites Faster (LiDAR and Photogrammetry for Earthworks). – 2026. – [Electronic resource].
4. ASCE Denver Branch. Expert Lecture Series – AI and Machine Learning in Geotechnical Engineering (Dr. Youssef M. A. Hashash). – 2026. – [Electronic resource].
5. AGC Colorado. Best Practices Series – Practical Applications of Virtual Design in Construction (VDC, BIM 4D/5D). – 2026. – [Electronic resource].

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ В УЗБЕКИСТАНЕ

ГУРБАНМЫРАДОВ САНДЖАР

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение наземного лазерного сканирования в инженерных изысканиях в Узбекистане на примере съёмки гидротехнического тоннеля. Отмечены преимущества метода: бесконтактность, скорость и высокая плотность измерений (до 1 млн точек в секунду при точности порядка миллиметров). Описана технология сканирования тоннеля сканером Riegl LMS-Z420i с внешним ориентированием по светоотражающим маркам, координаты которых определялись электронным тахеометром Leica TS 10 при средней квадратической ошибке 1,5 мм. Показано, что лазерное сканирование обеспечивает в 3-5 раз более высокую производительность по сравнению с тахеометрической съёмкой и позволяет выявлять минимальные деформации, что перспективно для систем оперативного мониторинга подземных сооружений.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, облако точек, инженерные изыскания, тоннель, Riegl LMS-Z420i, мониторинг деформаций, геотехнический контроль, Узбекистан.

LASER SCANNING IN UZBEKISTAN

GURBANMYRADOV SANJAR

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of terrestrial laser scanning in engineering surveys in Uzbekistan using, as an example, the survey of a hydraulic tunnel. The advantages of the method are noted: its non-contact nature, speed and high measurement density (up to 1 million points per second with millimetre-level accuracy). The technology of scanning the tunnel with a Riegl LMS-Z420i scanner is described, with external orientation via reflective targets whose coordinates were determined by a Leica TS 10 total station with a root-mean-square error of 1.5 mm. It is shown that laser scanning provides 3-5 times higher productivity than tachymetric surveying and makes it possible to detect minimal deformations, which is promising for rapid monitoring of underground structures.

Keywords: terrestrial laser scanning, point cloud, engineering survey, tunnel, Riegl LMS-Z420i, deformation monitoring, geotechnical monitoring, Uzbekistan.

ВВЕДЕНИЕ

Лазерное сканирование – современный метод инженерных изысканий, при котором 3D-сканер с высокой точностью (до 1–2 мм) фиксирует пространственные координаты миллионов точек поверхности объекта, формируя детальную цифровую модель сооружения или местности в виде облака точек.

В Узбекистане наземное лазерное сканирование вызывает всё больший интерес благодаря бесконтактности, скорости, высокой точности и масштабу. Метод даёт миллионы точных трёхмерных точек (с точностью миллиметрового уровня) при очень высокой плотности и скорости (до 1 млн точек в секунду), что делает его ценной альтернативой или дополнением к классической тахеометрической съёмке и цифровой фотограмметрии, в том числе там, где другие топографические методы затруднены или неприменимы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тахеометрическая съёмка также возможна, однако преимущество лазерного сканирования очевидно: вместо ограниченного набора заданных точек оно предоставляет миллионы трёхмерных точек на полностью охваченном участке тоннеля.

Для безопасности, долговременной устойчивости и контроля качества при современной проходке тоннелей необходима геотехническая информация о встречающихся породах и подробные данные об установленных опорах. Ограниченное пространство и время в тоннеле затрудняют сбор данных, но лазерное сканирование в таких условиях показывает большой потенциал.

Начальный этап работ включал рекогносцировку местности и осмотр объекта, по итогам которых определялось ориентировочное число станций сканирования и пунктов съёмочного обоснования для привязки результатов к внешней системе координат.

Сканирование тоннеля выполнялось наземным лазерным сканером Riegl LMS-Z420i с одной станции бригадой из двух человек. Поскольку прибор не имеет устройства горизонтирования и ориентирования, внешнее ориентирование сканов в местную систему координат проводилось по специальным светоотражающим маркам, координаты которых определялись электронным тахеометром Leica TS 10 с точек рабочего планово-высотного обоснования (ПВО). Средняя квадратическая ошибка определения координат марок сканером составила 1,5 мм (рисунок 1).

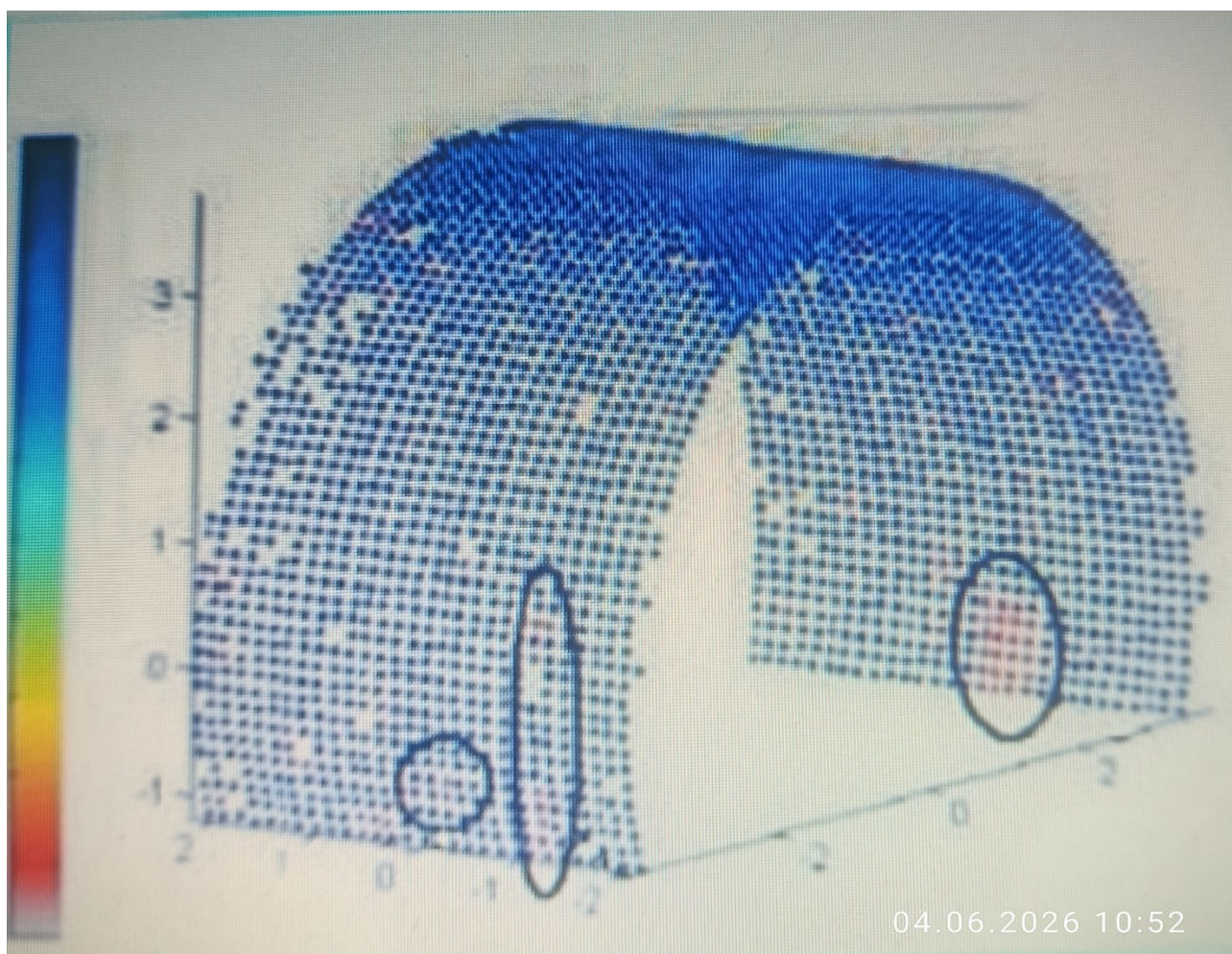


Рисунок 1 – Результаты сканирования – облако точек

Использование сканера Riegl LMS-Z420i и специализированного программного обеспечения (RiSCAN PRO, Leica Cyclone, RealWorks Survey, RapidForm) обеспечило пространственную точность на уровне 1,5 мм, что соответствует требованиям современного геотехнического мониторинга.

По сравнению с традиционной тахеометрической съёмкой лазерное сканирование даёт в 3–5 раз более высокую производительность и значительно больший объём информации о геометрии и состоянии тоннеля.

ВЫВОДЫ

Анализ повторных измерений показал возможность выявления минимальных деформаций после цементационных работ, что открывает перспективы применения метода в системах оперативного мониторинга устойчивости подземных сооружений. Полученные результаты подтверждают высокий потенциал

технологии для дальнейшего внедрения в проектирование, строительство и эксплуатацию гидротехнических тоннелей в сложных геологических условиях.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. ТЭО Строительство Пскемской ГЭС на реке Пскем в Бостанлыкском районе Ташкентской области. Том 1. Техническая часть. Общая пояснительная записка № 1921-Т1. Тошкент 2020.
2. Баранов, А.Н. Геодезия в тоннелестроении, часть I / А.Н. Баранов, К.И. Егунов, Е.И. Зельцер и др. / М.: Изд-во геодезической и картографической литературы, 1952. - 503с.
3. Лиманов, Ю.А. Содержание и реконструкция тоннелей. / Ю.А. Лиманов, В.А. Подчекаев, Н.М. Корольков и др.- М.: Транспорт, 1976.- 192 с.

REFERENCES

1. Feasibility study for the construction of the Pskem HPP on the Pskem River in the Bostanlyk district of the Tashkent region. Volume 1. Technical part. General Explanatory Note No. 1921-T1. Toshkent 2020.
2. Baranov, A.N. Geodesy in tunneling, part I / A.N. Baranov, K.I. Egunov, E.I. Zeltser et al. / Moscow: Publishing House of geodetic and cartographic literature, 1952. - 503s.
3. Limanov, Yu.A. Maintenance and reconstruction of tunnels. / Yu.A. Limanov, V.A. Podchekaev, N.M. Korolkov, and others, Moscow: Transport, 1976, 192 p.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ АВТОБУСНОЙ ОСТАНОВКИ КАК ЭЛЕМЕНТА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

ДОЛБИК АЛЕКСАНДР ИГОРЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научные руководители – Савина Е.Н., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Кулан А.В., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлен проект современной автобусной остановки как элемента городской среды (ул. Кастуся Калиновского, г. Могилёв). Выполнен анализ градостроительной ситуации и предложено архитектурно-планировочное решение, сочетающее стандартный павильон ожидания и выразительный скульптурный элемент с волнообразной кровлей. С использованием технологии информационного моделирования в среде Autodesk Revit создана трёхмерная BIM-модель объекта, выполнен расчёт несущих конструкций и подготовлена фотореалистичная визуализация с применением искусственного интеллекта. Показано, что применение BIM- и ИИ-технологий повышает точность проектных решений и наглядность представления объекта для общественных обсуждений.

Ключевые слова: автобусная остановка, малые архитектурные формы, городская среда, BIM, Autodesk Revit, информационное моделирование, искусственный интеллект, визуализация.

DESIGN OF A MODERN BUS STOP AS AN ELEMENT OF THE URBAN ENVIRONMENT

DOLBIK ALEXANDER IGOREVICH

2nd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisors – Savina E.N., Assistant of the Department of Bridges and Tunnels

Kulan A.V., Assistant of the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents a design of a modern bus stop as an element of the urban environment (Kastus Kalinouski Street, Mogilev). An analysis of the urban-planning situation is carried out and an architectural and planning solution is proposed that combines a standard waiting pavilion with an expressive sculptural element and a wave-shaped roof. Using information modelling technology in Autodesk Revit, a three-dimensional BIM model of the object was created, the load-bearing structures were analysed and a photorealistic visualisation was prepared using artificial intelligence. It is shown that the use of BIM and AI technologies increases the accuracy of design decisions and the clarity of presenting the object for public discussion.

Keywords: bus stop, small architectural forms, urban environment, BIM, Autodesk Revit, information modeling, artificial intelligence, visualization.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цель проекта – создать функциональный и эстетически выразительный остановочный пункт общественного транспорта, отвечающий современным требованиям к комфорту, безопасности и архитектурной выразительности городской среды.

1. Анализ градостроительной ситуации

Площадка размещения остановки характеризуется типичной для Могилёва жилой застройкой советского периода. На ситуационном плане (рисунок 1) показано положение объекта в структуре городских улиц; район хорошо обеспечен транспортной инфраструктурой.

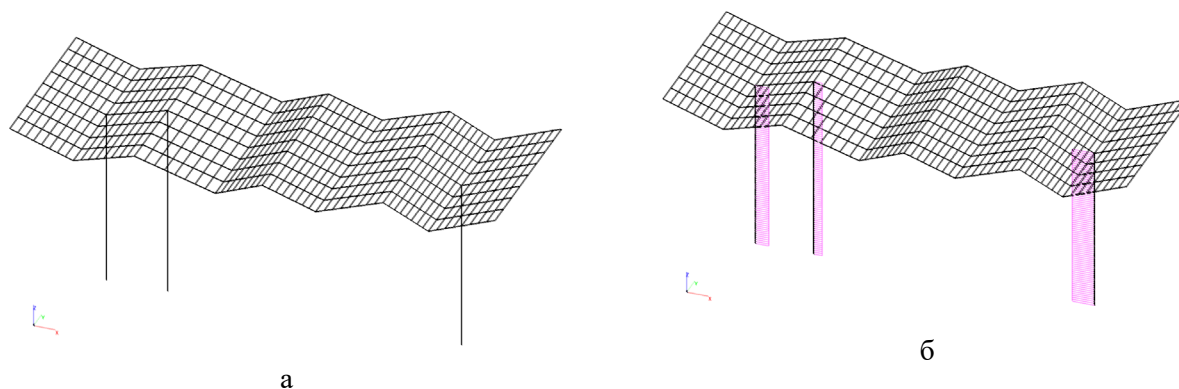


Рисунок 3 – Результаты расчёта: а) расчётная схема; б) эпюра поперечных сил

3. 3D-визуализация проекта

Средствами BIM-моделирования в Autodesk Revit создана трёхмерная модель объекта (рисунок 4), которая позволила детально проработать конструктивные элементы, подобрать оптимальные материалы и текстуры, вписать объект в ландшафт с учётом существующих деревьев и благоустройства и оценить пропорции и масштаб сооружения.

4. Фотореалистичная визуализация

С применением технологий искусственного интеллекта подготовлена фотореалистичная визуализация проекта в контексте реальной застройки.



Рисунок 4 – Концептуальная визуализация остановки в городской среде г. Могилёва (сгенерировано ИИ)

Особенности дизайна: контраст между тёмной современной остановкой и светлой жилой застройкой создаёт визуальный акцент; скульптурный элемент выполняет не только эстетическую, но и функциональную роль (защита от ветра); волнообразная кровля отсылает к современным тенденциям в архитектуре малых форм, а лаконичность форм облегчает восприятие и уход.

ВЫВОДЫ

В результате разработана комплексная документация современной автобусной остановки, включающая архитектурные чертежи, 3D-модель и фотореалистичные визуализации. Применение BIM-технологий (Autodesk Revit) обеспечило детальную информационную модель объекта, а значит – точность проектных решений, возможность быстрой корректировки, автоматическую генерацию чертежей и спецификаций и визуализацию на всех стадиях. ИИ-визуализация дала возможность показать заказчику и будущим пользователям, как объект будет выглядеть в реальной среде, что особенно важно для общественных обсуждений.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Пыхтюк, С. В. Метод алгоритмического проектирования в разработке адаптивных малых архитектурных форм [Электронный ресурс] / С. В. Пыхтюк, П. Я. Клименко // StudNet. – 2021. – № 4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-algoritmicheskogo-proektirovaniya-v-razrabotke-adaptivnyh-malyh-arhitekturnyh-form> (дата обращения: 16.05.2026).

2. Полетаева, А. М. Остановочные павильоны как важные объекты формирования городской среды (на примере г. Санкт-Петербург) [Электронный ресурс] : выпускная квалификационная работа магистра : направление 07.04.04 «Градостроительство» / А. М. Полетаева ; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург, 2024. – Режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2024/vr/vr24-5559.pdf> (дата обращения: 16.05.2026).

3. Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова. BIM-мышления в цифровой архитектуре [Электронный ресурс] // Официальный сайт ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г. И. Носова». – 2025. – Ноябрь. – Режим доступа: <https://www.magtu.ru/novosti/kolledzh/18769-bim-myshleniya-v-tsifrovoj-arkhitekture.html> (дата обращения: 16.05.2026)., что демонстрирует современный подход к интеграции ИИ в BIM-процессы.

4. Korean Institute of Building Information Modeling. Generative AI-based visualization approach for architectural design [Электронный ресурс] // Journal of the Korean Institute of Building Information Modeling. – 2024. – Vol. 14, No. 2. – Режим доступа: <https://koreascience.kr/journal/HBOOB1/v14n2.pub> (дата обращения: 16.05.2026).

REFERENCES

1. Pykhtyuk, S. V. Method of algorithmic design in the development of adaptive small architectural forms [Electronic resource] / S. V. Pykhtyuk, P. Ya. Klimenko // StudNet. – 2021. – № 4. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-algoritmicheskogo-proektirovaniya-v-razrabotke-adaptivnyh-malyh-arhitekturnyh-form> (date of request: 05/16/2026).

2. Poletaeva, A.M. Bus shelters as important objects of urban environment formation (on the example of St. Petersburg) [Electronic resource] : Master's degree thesis : direction 04/07/04 "Urban Planning" / A.M. Poletaeva ; Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. – Saint Petersburg, 2024. – Access mode: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2024/vr/vr24-5559.pdf> (date of request: 05/16/2026).

3. Magnitogorsk State Technical University named after G. I. Nosov. BIM-thinking in digital Architecture [Electronic resource] // Official website of the G. I. Nosov Moscow State Technical University. – 2025. – Nov. – Access mode: <https://www.magtu.ru/novosti/kolledzh/18769-bim-myshleniya-v-tsifrovoj-arkhitekture.html> (accessed: 05/16/2026), which demonstrates a modern approach to integrating AI into BIM processes.

4. Korean Institute of Building Information Modeling. Generative AI-based visualization approach for architectural design [Electronic resource] // Journal of the Korean Institute of Building Information Modeling. – 2024. – Vol. 14, No. 2. – Access mode: <https://koreascience.kr/journal/HBOOB1/v14n2.pub> (accessed: 05/16/2026).

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В РОССИИ

ДУРДЫСАПАРОВ САЛЫХ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий информационного моделирования (BIM) при проектировании свайных фундаментов в России. Отмечено, что нормативная база (СП 24.13330.2021 и СП 22.13330.2016) устанавливает строгие требования к расчёту свайных оснований, тогда как традиционные методы приводят к ошибкам координации разделов проекта. Показано, что создание информационной 3D-модели в средах Revit Structure, Tekla Structures и Renga обеспечивает автоматизированную генерацию свай, поиск коллизий и расчёт несущей способности по методике СП 24.13330.2021. Сделан вывод о том, что внедрение BIM сокращает сроки проектирования на 30-35 %, снижает количество коллизий и повышает точность сметной документации.

Ключевые слова: свайные фундаменты, BIM, информационное моделирование, СП 24.13330.2021, clash detection, несущая способность, цифровой двойник, Россия.

APPLICATION OF BIM TECHNOLOGIES IN THE DESIGN OF PILE FOUNDATIONS IN RUSSIA

DURDYSAPAROV SALYKH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of building information modelling (BIM) technologies in the design of pile foundations in Russia. It is noted that the regulatory framework (SP 24.13330.2021 and SP 22.13330.2016) sets strict requirements for the calculation of pile foundations, whereas traditional methods lead to coordination errors between design sections. It is shown that creating a 3D information model in Revit Structure, Tekla Structures and Renga provides automated pile generation, clash detection and bearing-capacity calculation according to SP 24.13330.2021. It is concluded that the adoption of BIM reduces design time by 30-35 %, decreases the number of clashes and improves the accuracy of cost documentation.

Keywords: pile foundations, BIM, information modeling, SP 24.13330.2021, clash detection, bearing capacity, digital twin, Russia.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В российской строительной отрасли свайные фундаменты остаются одним из наиболее надёжных решений при возведении объектов на слабых и просадочных грунтах. Нормативная база – СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты» и СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» – устанавливает строгие требования к их проектированию и расчёту, тогда как традиционные методы нередко приводят к ошибкам координации между разделами проектной документации.

Технологии информационного моделирования (BIM) активно внедряются в России при проектировании свайных фундаментов с 2020-х годов. Информационная 3D-модель объединяет геотехнические, конструктивные и архитектурные данные в единой среде (рисунок 1), а платформы Revit Structure, Tekla Structures и отечественная Renga обеспечивают сквозную трассируемость всех элементов свайного фундамента – от инженерно-геологических изысканий до рабочей документации.

Применение BIM включает автоматизированную генерацию свай по геотехническим данным, поиск коллизий (clash detection) с подземными коммуникациями и автоматический расчёт несущей способности по методике СП 24.13330.2021, а цифровой двойник объекта позволяет отслеживать сроки и стоимость на всех этапах строительства (рисунок 2). Внедрение информационного моделирования сокращает сроки проектирования на 30–35 % и уменьшает число ошибок на стадии экспертизы.

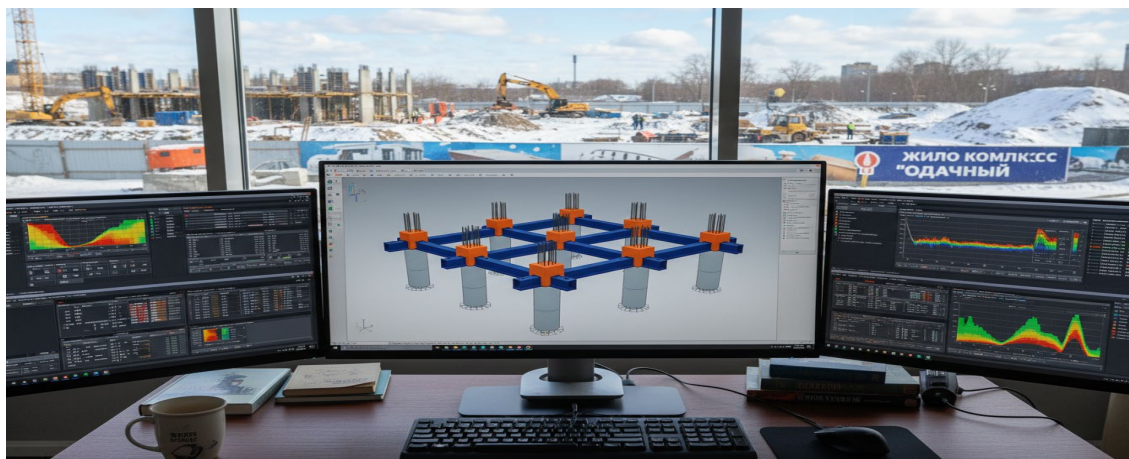


Рисунок 1 – BIM-модель свайного фундамента на рабочей станции проектировщика

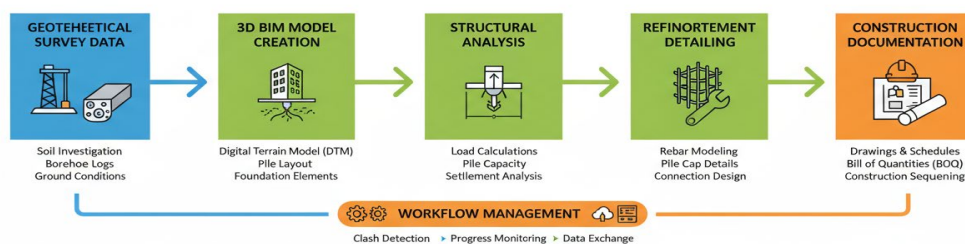


Рисунок 2 – Алгоритм процесса проектирования свайных фундамента (BIM)

ВЫВОДЫ

1. BIM-технологии при проектировании свайных фундамента в России обеспечивают комплексное моделирование геотехнических условий, автоматизированный расчёт несущей способности и визуальную координацию всех разделов проектной документации в соответствии с требованиями СП 24.13330.2021.

2. Внедрение информационного моделирования сокращает сроки проектирования свайных оснований на 30–35 %, снижает число коллизий на стадии строительства и повышает точность сметной документации за счёт автоматического подсчёта объёмов работ и материалов.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 24.13330.2021. Основания и фундамента на сваях. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М.: Минстрой России, 2021.
2. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: Минстрой России, 2018.
3. Eastman C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling / C. Eastman. – John Wiley & Sons, 2018. – 520 p.
4. Романович А.А. Информационное моделирование зданий: учеб. пособие / А.А. Романович. – М.: АСВ, 2020. – 224 с.

REFERENCES

1. SP 24.13330.2021. Foundations and foundations on stilts. Updated version of SNiP 2.02.03-85. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2021.
2. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures. Updated edition of SNiP 52-01-2003. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2018.
3. Eastman C. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling / C. Eastman. – John Wiley & Sons, 2018. – 520 p.
4. Romanovich A.A. Information modeling of buildings: textbook. the manual / A.A. Romanovich. – М.: DIA, 2020. – 224 p.

С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В СОЕДИНЕННЫХ ШТАТАХ АМЕРИКИ – СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ

ЕРМАК ИЛЬЯ АНДРЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение лазерного сканирования и сопутствующих технологий контроля при устройстве свайных фундаментов в США. Показано, что лазерный сканер формирует облако точек и трёхмерную модель конструкции, позволяя выявлять геометрические отклонения, трещины и скрытые дефекты свай и скважин. Описаны система «Анализатор забивки свай» (PDA), фиксирующая параметры удара и сопротивление грунта в реальном времени для корректировки процесса и оценки несущей способности, а также метод лазерного теплового профилирования для обнаружения пустот и зон неравномерного уплотнения бетона. Отмечены ограничения технологий, связанные с погодными условиями и глубиной бурения.

Ключевые слова: лазерное сканирование, свайные фундаменты, облако точек, анализатор забивки свай, PDA, тепловое профилирование, контроль качества, США.

CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS USING LASER SCANNING IN THE UNITED STATES

ERMAK ILYA ANDREEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of laser scanning and related control technologies in the construction of pile foundations in the United States. It is shown that the laser scanner produces a point cloud and a three-dimensional model of the structure, making it possible to detect geometric deviations, cracks and hidden defects in piles and boreholes. The Pile Driving Analyzer (PDA) system, which records impact parameters and soil resistance in real time for process correction and bearing-capacity assessment, and the laser thermal-profiling method for detecting voids and zones of uneven concrete compaction are described. The limitations of the technologies associated with weather conditions and drilling depth are noted.

Keywords: laser scanning, pile foundations, point cloud, pile driving analyzer, PDA, thermal profiling, quality control, USA.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время в США всё шире применяется лазерное сканирование при устройстве фундаментов: технология заметно повышает качество контроля состояния скважин и свай. Сканер формирует облако точек, по которому строится трёхмерная модель конструкции, позволяющая увидеть геометрические отклонения, трещины и скрытые дефекты, незаметные при визуальном осмотре. Благодаря этому инженеры своевременно корректируют бурение и заливку, предупреждая будущие проблемы с устойчивостью здания. Метод особенно эффективен при работе с глубокими скважинами и сложными грунтами, так как фиксирует малейшие изменения формы и облегчает расчёт несущей способности, а цифровые модели служат доказательством качества работ и упрощают взаимодействие подрядчика с заказчиком.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Наряду с лазерным сканированием в США широко применяется система «Анализатор забивки свай» (PDA), предназначенная для наблюдения за забивкой свай ударными молотами (Рисунок 1). Установленные на ней датчики фиксируют скорость удара, силу сопротивления грунта и вибрации, а данные в реальном времени передаются на компьютер для анализа. Главное преимущество – возможность корректировать процесс прямо во время работы: при фиксации отклонений или чрезмерной нагрузки оператор меняет

силу удара или угол забивки, снижая риск повреждения и повышая точность установки (рисунок 1). Система используется и для оценки несущей способности уже установленных свай, выступая, таким образом, не только средством контроля, но и методом их испытания.



Рисунок 1 – Применение лазерного сканирования

Во многих компаниях применяют метод лазерного теплового профилирования: тепловизионные лазерные сканеры фиксируют распределение температуры в фундаменте и выявляют скрытые дефекты – пустоты, трещины или зоны неравномерного уплотнения бетона, которые невозможно заметить визуально, но которые способны существенно повлиять на устойчивость конструкции.

ВЫВОДЫ

Все перечисленные методы отличаются высокой точностью и позволяют контролировать строительство на разных этапах, выявляя дефекты до того, как они приведут к серьезным последствиям. Вместе с тем у технологий есть ограничения: неблагоприятная погода (дождь, снег) снижает точность наружных измерений, а при большой глубине бурения дальность лазерного сканирования уменьшается, что отражается на результатах.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Pile Driving Analyzer® Model 8G [Electronic resource] //Pile Driving Analyzer– Mode of access: pile.com – Date of access: 21.05.2026.
2. Geotechnical & Structural Monitoring | GEO-Instruments [Electronic resource] // Geotechnical & Structural Monitoring – Mode of access: geo-instruments.com – Date of access: 21.05.2026.

REFERENCES

1. Pile Driving Analyzer® Model 8G [Electronic resource] //Pile Driving Analyzer– Mode of access: pile.com – Date of access: 21.05.2026.
2. Geotechnical & Structural Monitoring | GEO-Instruments [Electronic resource] // Geotechnical & Structural Monitoring – Mode of access: geo-instruments.com – Date of access: 21.05.2026.

СТРОИТЕЛЬСТВО ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ – ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

ЕФИМОВИЧ КИРИЛЛ СЕРГЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются этапы применения лазерного сканирования при устройстве плитных фундаментов. Отмечено, что плитный фундамент предъявляет жёсткие требования к горизонтальности основания и толщине бетонного слоя, а традиционная геодезия даёт информацию лишь по отдельным точкам. Показано, что лазерное сканирование обеспечивает сплошной контроль с миллиметровой точностью на всех этапах: при подготовке подстилающего слоя, проверке опалубки и арматуры, анализе залитой плиты и исполнительной съёмке с автоматическим построением карты отклонений. Сделан вывод об экономической эффективности технологии за счёт экономии бетона (до 3-5 %) и исключения простоев.

Ключевые слова: плитный фундамент, лазерное сканирование, облако точек, геодезический контроль, исполнительная съёмка, карта отклонений, экономия бетона.

CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS USING LASER SCANNING

KIRILL SERGEEVICH EFIMOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the stages of applying laser scanning in the construction of mat foundations. It is noted that a mat foundation imposes strict requirements on the horizontality of the base and the thickness of the concrete layer, whereas traditional surveying provides information only at individual points. It is shown that laser scanning provides continuous control with millimetre accuracy at all stages: preparing the bedding layer, checking the formwork and reinforcement, analysing the poured slab and the as-built survey with automatic construction of a deviation map. The cost-effectiveness of the technology is demonstrated through concrete savings (up to 3-5 %) and the elimination of downtime.

Keywords: mat foundation, laser scanning, point cloud, geodetic control, as-built survey, deviation map, concrete saving.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плитный (сплошной) фундамент представляет собой монолитную железобетонную плиту, устраиваемую под всей площадью сооружения и равномерно передающую нагрузки от здания на грунтовое основание. Благодаря этому исключаются перекосы и неравномерные осадки, а в теле конструкции не развиваются трещины. При этом к плите предъявляются повышенные требования по горизонтальности основания и постоянству толщины бетонного слоя: отклонения свыше 1–2 см влекут перерасход бетона и смещение проектной арматурной сетки.

Классические геодезические приёмы – нивелирование и выборочные линейные промеры – характеризуют поверхность лишь в отдельных точках и не дают целостной картины рельефа бетонного основания и гравийной подготовки. Лазерное сканирование снимает это ограничение, формируя сплошное облако точек миллиметровой точности и обеспечивая непрерывный контроль на всём пути – от разработки котлована до окончательной приёмки.

Ниже последовательно рассмотрены основные технологические этапы, на которых применяется сканирование (рисунок 1).

На первом этапе контролируется подстилающий слой. До укладки бетона сканер строит цифровую модель рельефа песчано-гравийной подготовки; при выявлении впадин или локальных возвышений данные передаются на экскаватор с системой ГЛОНАСС для точной планировки.

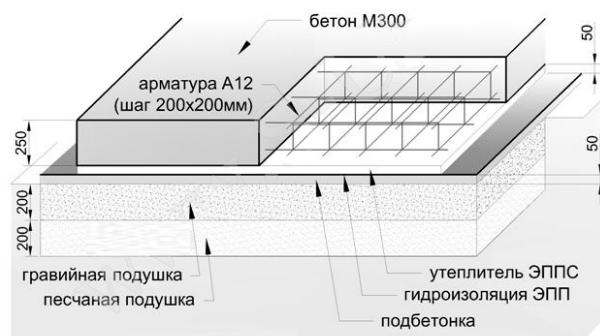


Рисунок 1 – Схема плитного фундамента

Второй этап – проверка опалубки и арматурного каркаса. Съёмка фиксирует смещения щитов опалубки, предотвращая клиновидность плиты, и контролирует величину защитного слоя арматуры, недоступную для ручного промера рулеткой.

Третий этап – анализ свежеложенной плиты. Спустя 1–2 часа после бетонирования «мокрая» поверхность сканируется для обнаружения переливов и недоливов; при выявлении впадины диспетчер немедленно даёт команду бетононаосу на добор смеси до начала схватывания.

Четвёртый этап – исполнительная съёмка. Готовая плита фиксируется за 15–30 минут вместо 4–5 часов нивелирования, после чего программа автоматически строит карту отклонений с цветовой индикацией (зелёный – норма, красный – брак) и вычисляет фактический объём уложенного бетона (рисунок 2).

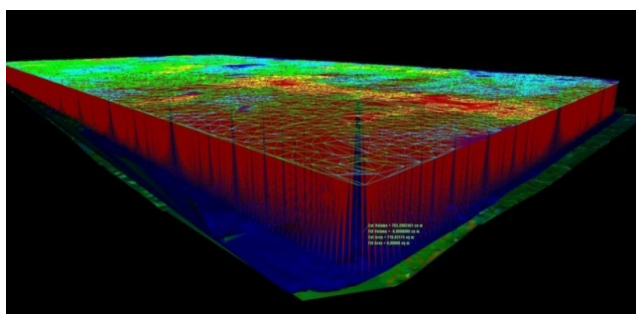


Рисунок 2 – Облако точек плитного фундамента (лазерное сканирование)

ВЫВОДЫ

Таким образом, внедрение лазерного сканирования переводит устройство плитных фундаментов в режим сплошного цифрового контроля. Экономический эффект достигается за счёт экономии бетона (порядка 3–5 % проектного объёма) и исключения простоев при приёмке работ; как правило, технология окупается уже на первом крупном фундаменте. Все результаты сохраняются в электронном виде, что позволяет формировать исполнительную документацию и в дальнейшем вести мониторинг состояния основания.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомин Н.И., Исупов Н.С. «Применение лазерного сканирования для определения фактического объёма бетонных работ: подход Scan-vs-BIM» (дата обращения 08.05.2026)
2. Рожков А.В. «Применение лазерного сканирования при возведении монолитного каркаса здания» (дата обращения: 12.05.2026)

REFERENCES

1. Fomin N.I., Isupov N.S. "The use of laser scanning to determine the actual volume of concrete work: the Scan-vs-BIM approach" (accessed 05/08/2026)
2. Rozhkov A.V. "The use of laser scanning in the construction of a monolithic building frame" (accessed: 05/12/2026)

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ (КАНАДА)

ИТАЛМАЗОВ ШОХРАТ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение свайных фундаментов и технологий искусственного интеллекта в строительной отрасли Канады, обусловленное суровым климатом и сложными грунтами (ледниковые отложения, вечная мерзлота). Описана нормативная база (Национальный строительный кодекс Канады, CAN/CSA S472) и распространённые типы свай: винтовые, буронабивные и забивные. Показано, что ИИ-агенты выступают в роли «цифровых сотрудников» на стройплощадках, а университетские исследования (Торонто, Далхаузи, Британской Колумбии) применяют генетические алгоритмы и гибридные модели для прогнозирования несущей способности и осадок свай. Отмечены системные вызовы отрасли: дефицит кадров, неоднородность грунтов и приоритет человеческого фактора в нормативной базе.

Ключевые слова: свайные фундаменты, искусственный интеллект, ИИ-агенты, ледниковые отложения, генетические алгоритмы, несущая способность свай, NBC, Канада.

PILE FOUNDATIONS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CANADA

ITALMAZ SHOHRAT

2nd year student of the department Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., senior lecturer of the department Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper examines the use of pile foundations and artificial intelligence technologies in the Canadian construction industry, driven by the harsh climate and complex soils (glacial deposits, permafrost). The regulatory framework (the National Building Code of Canada, CAN/CSA S472) and the common pile types (screw, bored and driven) are described. It is shown that AI agents act as «digital employees» on construction sites, while university research (Toronto, Dalhousie, British Columbia) applies genetic algorithms and hybrid models to predict the bearing capacity and settlement of piles. Systemic challenges of the industry are noted: labour shortages, soil heterogeneity and the priority given to the human factor in the regulatory framework.

Keywords: pile foundations, artificial intelligence, AI agents, glacial deposits, genetic algorithms, pile bearing capacity, NBC, Canada.

ВВЕДЕНИЕ

Подходы России и Канады к устройству фундаментов различаются прежде всего из-за климатических и геологических особенностей. Канадский рынок с его суровыми зимами и сложными грунтами (ледниковые отложения, вечная мерзлота) – благодатная почва для передовых технологий; свайные фундаменты играют здесь ключевую роль, а ИИ-агенты постепенно преобразуют весь строительный цикл – от проектирования до управления на площадке.

Проектирование фундаментов в Канаде опирается на нормы, интегрированные с Национальным строительным кодексом (National Building Code of Canada), и должно соответствовать «общепризнанной инженерной практике» (accepted engineering practice). В отдельных случаях, например при возведении морских сооружений, применяется специализированный стандарт CAN/CSA S472 (рисунок 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Среди распространённых типов свай выделяются:

– винтовые сваи – широко используются в малоэтажном строительстве благодаря скорости монтажа, пригодности для любых грунтов (включая болотистые и мерзлотные) и экономичности;

– буронабивные сваи – применяются для надёжного глубокого основания в сложных условиях; так, при строительстве общественного центра в Виннипеге успешно реализован проект со 152 буронабивными опорами на высокопластичных глинах;

– забивные сваи – традиционный метод, эффективность которого для грунтов Онтарио повышается за счёт AI-оптимизации.

Ключевая особенность канадского подхода – тщательный учёт ледниковых отложений (glacial deposits), покрывающих значительную часть страны и отличающихся высокой неоднородностью, что усложняет прогноз поведения свай и требует передовых методов анализа для снижения геотехнических рисков.

ИИ-агенты на стройплощадках Канады выходят за рамки простых чат-ботов – это «цифровые сотрудники», автономно выполняющие рутинные, но критически важные задачи и помогающие справиться с дефицитом кадров и растущей сложностью проектов. По данным канадской компании BidBlox AI, внедрение многоагентных систем сокращает до 50 % времени на этапе предпроектной подготовки. Примеры канадских стартапов в области ИИ для строительства приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Примеры канадских стартапов

Название	Город	Основная специализация
Provision	Торонто	AI-копилотов для оценки проектов и управления документацией на этапе предпроектной подготовки
Bidblox	Маркхэм	Многоагентные AI-модели для автоматизации процессов планирования и выявления рисков на ранних этапах
Promise Robotics	Калгари	Роботизированное строительство домов с использованием AI и автоматизации
Tyce	Н/Д	AI-платформа для генерации предложений, смет и графиков по сложным инфраструктурным проектам
CIV Model	Виктория	Агентно-ориентированная система для интеграции и навигации в информационных потоках в сфере жилищного строительства

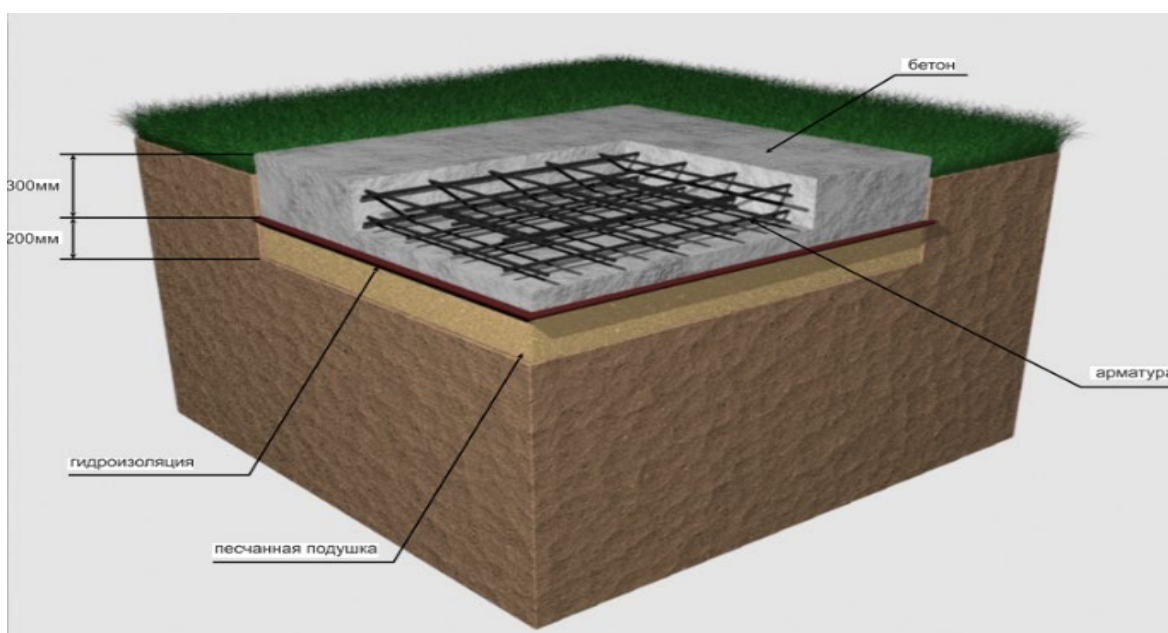


Рисунок 1 – Плитный фундамент

Бетон – верхний несущий слой (обычно толщиной около 300 мм); арматура – двухслойный каркас внутри бетона, обеспечивающий прочность; гидроизоляция защищает бетон от грунтовой влаги; песчаная подушка (или смесь песка и щебня) распределяет нагрузку от здания на грунт.

Наиболее передовые разработки рождаются на стыке инженерии и искусственного интеллекта, преимущественно в академической среде. В Университете Райерсона (Торонто) генетические алгоритмы повысили точность прогноза несущей способности забивных свай в грунтах Онтарио – выяснилось, что прежние методы переоценивали её в среднем в 1,16–3,00 раза. В Университете Далхаузи (Галифакс) создана гибридная модель на основе эволюционной полиномиальной регрессии (EPR-MOGA) для прогноза осадок свайно-плитных фундаментов в связных грунтах. В Университете Британской Колумбии (Ванкувер) развивают модульное строительство с применением ИИ и роботов, позволяющее возводить 15-этажные здания менее чем за неделю.

ВЫВОДЫ

Несмотря на прогресс, отрасль сталкивается с системными вызовами: острым дефицитом квалифицированных кадров, стимулирующим спрос на автоматизацию; неоднородностью ледниковых грунтов, затрудняющей разработку надёжных методов проектирования; и нормативной базой – Национальный строительный кодекс ставит во главу угла человеческий фактор (работы выполняют лицензированные инженеры), что создаёт барьеры для полной автоматизации. Тем не менее вектор движения очевиден: от лабораторных исследований к реальным площадкам, где ИИ-агенты становятся полноценными членами проектной команды.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Журнал Geosciences (MDPI). Исследование выполнено учеными из Университета Дэлхаузи [Электронный ресурс]: (Галифакс, Новая Шотландия).
2. База данных инновационных проектов [Электронный ресурс]:Cognit.ca, при поддержке NSERC (Канадского агентства природных ресурсов).
3. Репозиторий библиотеки Университета Торонто Метрополитен (TMU). Автор [Электронный ресурс]:– Markus Jesswein.

REFERENCES

1. Geosciences Journal (MDPI). The study was carried out by scientists from Dalhousie University [Electronic resource]: (Halifax, Nova Scotia).
2. Database of innovative projects [Electronic resource]:Cognit.ca , with the support of NSERC (Canadian Natural Resources Agency).
3. Repository of the Library of the University of Toronto Metropolitan University (TMU). Author [Electronic resource]:– Markus Jesswein.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ: ОТ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДО ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

КАРАНИК ВАЛЕРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научные руководители – Савина Е.Н., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Кулан А.В., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается автоматизация проектирования и расчёта несущих конструкций остановочного павильона в условиях городской застройки (г. Чериков, ул. Кастуся Калиновского, 9а). Методология основана на интеграции геоинформационных систем (Google Earth Pro), технологий информационного моделирования (Autodesk Revit), конечно-элементного анализа (SCAD Office) и генеративных нейросетевых алгоритмов. Показано, что автоматизированный перенос геометрии из BIM-модели в расчётный комплекс сокращает цикл подбора сечений стальных элементов с нескольких дней до пары часов. Сделан вывод о формировании сквозного цифрового конвейера, повышающего точность расчётов, снижающего металлоёмкость и улучшающего качество городской среды.

Ключевые слова: остановочный павильон, BIM, Autodesk Revit, SCAD Office, метод конечных элементов, генеративный дизайн, искусственный интеллект, городская среда.

AUTOMATION OF THE DESIGN AND ANALYSIS OF THE LOAD-BEARING STRUCTURES OF A BUS STOP IN URBAN CONDITIONS: FROM BIM MODELING TO GENERATIVE DESIGN

KARANIK VALERY ALEKSANDROVICH

2nd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisors – Savina E.N., Assistant Professor of the Department of Bridges and Tunnels

Kulan A.V., Assistant Professor at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the automation of the design and analysis of the load-bearing structures of a bus-stop pavilion in urban conditions (Cherikov, Kastus Kalinouski Street, 9a). The methodology is based on the integration of geographic information systems (Google Earth Pro), information modelling technologies (Autodesk Revit), finite-element analysis (SCAD Office) and generative neural-network algorithms. It is shown that the automated transfer of geometry from the BIM model to the analysis package reduces the cycle of selecting steel-element sections from several days to a couple of hours. It is concluded that an end-to-end digital pipeline is formed, increasing calculation accuracy, reducing metal consumption and improving the quality of the urban environment.

Keywords: bus stop pavilion, BIM, Autodesk Revit, SCAD Office, finite element method, generative design, artificial intelligence, urban environment.

ВВЕДЕНИЕ

Обновление объектов пассажирской инфраструктуры в регионах – значимый элемент повышения качества местной транспортной среды. В работе исследуется проектирование автопавильона, который планируется разместить в г. Черикове (Могилёвская область) по адресу ул. Кастуся Калиновского, 9а.

Проект носит выраженный социальный характер: его цель – создать для горожан и транзитных пассажиров безопасную, защищённую от непогоды и эстетичную зону ожидания. Конструктивное решение, рассчитанное на реальные эксплуатационные нагрузки, позволяет органично ввести новый элемент в городскую среду с минимальным вмешательством в сложившийся ландшафт.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методическую основу работы составляет совместное использование нескольких программных продуктов:

1. Google Earth Pro – пространственный анализ участка, оценка перепада высот и точная геопривязка объекта;
2. Autodesk Revit – построение цифровой информационной модели (BIM), выпуск графической документации и спецификаций;
3. SCAD Office – формирование расчётной схемы, конечно-элементный анализ и проверка несущей способности стальных элементов (колонн, балок покрытия);
4. нейросетевые генераторы изображений – концептуальный поиск и создание фотореалистичных эскизов для оценки визуального восприятия.

Начальный этап включал комплексный разбор градостроительной обстановки. Как видно из ситуационного плана (рисунок 1), площадка под павильон расположена на ул. Кастуся Калиновского, 9а, вблизи проезжей части и жилого сектора, а особенности рельефа потребовали индивидуальной проработки опорных узлов и фундаментного основания.

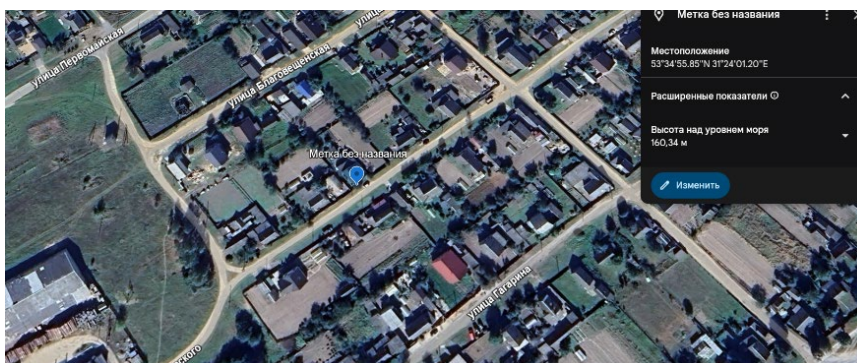


Рисунок 1 – Ситуационный план размещения автопавильона: г. Чериков, ул. Кастуся Калиновского, 9а

По полученным пространственным данным в Autodesk Revit была выстроена трёхмерная конструкция павильона (рисунок 2-3). Параметрический подход дал возможность гибко согласовать элементы стального каркаса, узловые соединения и обшивку, подстраивая общую геометрию под архитектурный контекст улицы.

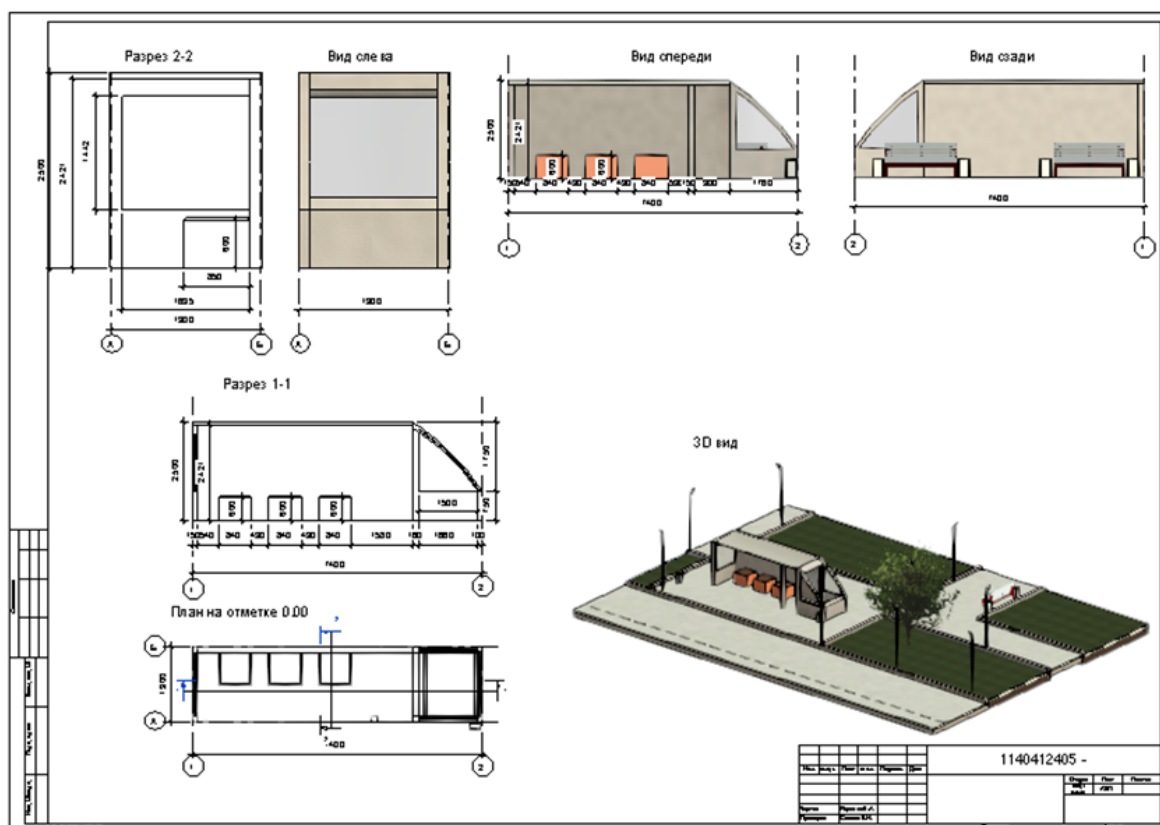


Рисунок 2 – Цифровая BIM-модель остановочного павильона в Autodesk Revit

Чтобы быстро оценить, как сооружение впишется в окружение, привлекались алгоритмы генеративного дизайна. Применение ИИ позволило оперативно перебрать варианты колористики, текстур и сочетаний материалов без затрат времени на классический рендеринг.



Рисунок 3 – Вариант архитектурно-художественного решения остановки в городской среде г. Черикова (генерация ИИ)

Ключевым звеном автоматизации стал импорт трёхмерной геометрии в расчётный модуль (рисунок 4): конструктивная схема павильона была преобразована в конечно-элементную сетку для прочностного анализа. Такой автоматизированный обмен данными сократил цикл подбора оптимальных сечений профильных стальных труб с нескольких дней до пары часов, а при корректировке архитектурной формы в Revit расчётная схема в SCAD оперативно обновляется.

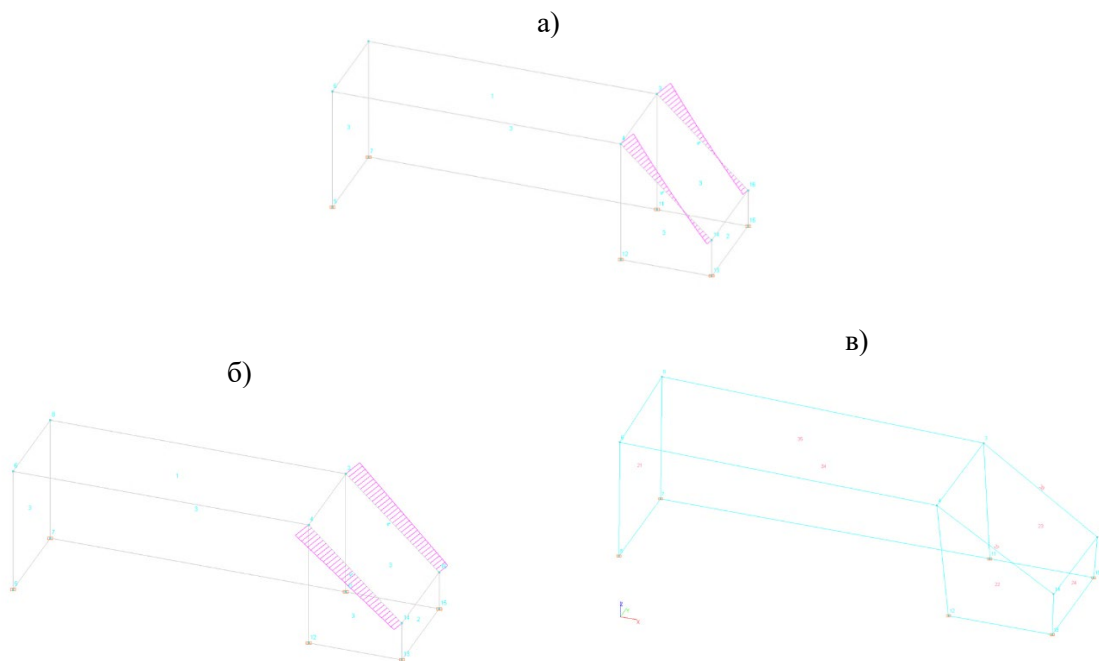


Рисунок 4 – Результаты расчёта: а) эпюра моментов; б) эпюра поперечных сил; в) картина деформированного состояния (перемещения).

ВЫВОДЫ

1. Формирование сквозного цифрового конвейера. Объединение геоинформационных систем, технологий информационного моделирования, конечно-элементного анализа и генеративных алгоритмов образует целостный технологический маршрут, обеспечивающий высокую эффективность проектирования малых архитектурных форм на всех стадиях – от градостроительного анализа до визуализации готового решения.

2. Повышение точности инженерных расчётов. Применение метода конечных элементов к объекту со сложной непрямоугольной геометрией обеспечивает требуемую жёсткость несущего каркаса, а дифференцированный подбор сечений по результатам численного моделирования снижает металлоёмкость конструкции в сравнении с традиционными аналитическими методиками.

3. Социально-эстетическая значимость. Новый остановочный пункт заметно повышает комфорт пассажирских перевозок в Чериковском районе, а современное объёмно-пространственное решение формирует выразительный архитектурный акцент на улице Кастуся Калиновского.

4. Направления дальнейшего развития. Перспективна разработка алгоритмов в среде Dynamo для Autodesk Revit, обеспечивающих прямую передачу аналитической модели из BIM в расчётные комплексы (SCAD Office, ЛИРА-САПР) без ручного перестроения, что снизит трудоёмкость и риск ошибок при передаче данных.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Integrated BIM-GIS and finite element-based framework for building planning and design [Электронный ресурс] // King Fahd University of Petroleum and Minerals. – Режим доступа: <https://pure.kfupm.edu.sa> (дата обращения: 17.03.2026).

2. Основы визуального программирования в Dynamo для Revit [Электронный ресурс] // BuildSoft.ru. – Режим доступа: <https://buildsoft.ru> (дата обращения: 17.03.2026).

3. SCAD для инженеров: как BIM-модели из Revit передавать в расчёт [Электронный ресурс] // CAD.kz. – 2025. – 19 авг. – Режим доступа: <https://cad.kz> (дата обращения: 17.03.2026).

4. Автоматизация аналитических моделей в Revit [Электронный ресурс] // Autodesk Knowledge Network. – 2025. – 9 марта. – Режим доступа: <https://help.autodesk.com> (дата обращения: 17.03.2026).

REFERENCES

1. Integrated BIM-GIS and finite element-based framework for building planning and design [Electronic resource] // King Fahd University of Petroleum and Minerals. – Access mode: <https://pure.kfupm.edu.sa> (accessed: 03/17/2026).

2. Fundamentals of visual programming in Dynamo for Revit [Electronic resource] // BuildSoft.ru. – Access mode: <https://buildsoft.ru> (accessed: 03/17/2026).

3. SCAD for engineers: how to transfer BIM models from Revit into calculations [Electronic resource] // CAD.kz. – 2025. – Aug 19. – Access mode: <https://cad.kz> (date of request: 03/17/2026).

4. Automation of analytical models in Revit [Electronic resource] // Autodesk Knowledge Network. – 2025. – March 9th. – Access mode: <https://help.autodesk.com> (date of request: 03/17/2026).

СТРОЙКА ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В ИТАЛИИ

КЕЦКО ГАВРИИЛ АНАТОЛЬЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение сквозных цифровых и роботизированных технологий при возведении подпорных и гидравлических сооружений в транспортном строительстве Италии по состоянию на 2026 год. Показано, что BIM-технологии (включая концепции 4D, 5D и Geotechnical BIM) образуют единую экосистему проекта с цифровыми двойниками, моделирующими гидродинамические нагрузки, а лазерное сканирование (наземное и с БПЛА) даёт цифровую модель рельефа с точностью 1–2 см. Описаны генеративный ИИ, оптимизирующий армирование и глубину заложения свай с учётом «зелёной» повестки, и робототехника – автоматические буровые и сваебойные установки, роботы-торкретировщики и подводные дроны ROV. Сделан вывод о движении к полной автономии строительных процессов при возрастающей роли инженера как контролёра технологической безопасности.

Ключевые слова: сквозные цифровые технологии, BIM, лазерное сканирование, генеративный дизайн, робототехника, подпорные стены, гидротехнические сооружения, Италия.

APPLICATION OF END-TO-END DIGITAL AND ROBOTIC TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN TRANSPORT CONSTRUCTION THE ITALIAN EXPERIENCE

KETSKO GAVRIIL ANATOLEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of end-to-end digital and robotic technologies in the construction of retaining and hydraulic structures in Italian transport construction as of 2026. It is shown that BIM technologies (including 4D, 5D and Geotechnical BIM concepts) form a unified project ecosystem with digital twins modeling hydrodynamic loads, while laser scanning (terrestrial and UAV-based) provides a digital terrain model with an accuracy of 1–2 cm. Generative AI optimizing reinforcement and pile depth within the 'green' agenda and robotics – automatic drilling and pile-driving rigs, shotcrete robots and underwater ROV drones – are described. It is concluded that there is a move toward full autonomy of construction processes with the growing role of the engineer as a controller of technological safety.

Keywords: end-to-end digital technologies, BIM, laser scanning, generative design, robotics, retaining walls, hydraulic structures, Italy.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современное транспортное строительство в Италии сталкивается с уникальным комплексом вызовов: сложным горным и прибрежным рельефом, высокой сейсмической активностью, жёсткими экологическими стандартами ЕС и необходимостью встраивать новую инфраструктуру в зоны плотной исторической застройки. В этих условиях возведение фундаментных опор, подпорных стен и гидротехнических сооружений (мостовых переходов, селезащитных дамб, берегоукреплений) классическими методами становится экономически и технологически неэффективным.

По состоянию на 2026 год строительный сектор Италии переживает глубокую трансформацию, связанную с обязательным внедрением BIM-технологий на государственных объектах и активной интеграцией искусственного интеллекта, лазерного сканирования и робототехники. Эти технологии оптимизируют проектирование основания, автоматизируют тяжёлый труд при устройстве глубоких фундаментов и обеспечивают непрерывный мониторинг сооружений в эксплуатации.

1. BIM-технологии как единая экосистема проекта. К 2026 году BIM-моделирование вышло за рамки трёхмерных чертежей: при строительстве подпорных сооружений в Италии применяются концепции 4D

(управление графиком) и 5D (управление стоимостью), интегрированные с геологическими данными (Geotechnical BIM). Для гидравлических сооружений создаются цифровые двойники, моделирующие гидродинамические нагрузки на опору в реальном времени; модель учитывает уровень грунтовых вод, сезонные паводки и фильтрацию грунтов, что позволяет с миллиметровой точностью рассчитать геометрию заложения ростверка и шаг свайного основания.

2. Лазерное сканирование (LiDAR) и фотограмметрия. В условиях итальянского рельефа – при стабилизации склонов в Лигурии или строительстве опор мостов в Альпах – лазерное сканирование служит базовым этапом (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Цифровая модель оползнеопасного склона (облако точек LiDAR) для проектирования защитных сооружений

Наземные и воздушные (с БПЛА) LiDAR-сканеры за считанные часы дают высокоточную цифровую модель рельефа с точностью 1–2 см, что при возведении подпорных стен критично для оценки крутизны откоса и выявления скрытых тектонических трещин, а полученное «облако точек» сразу импортируется в BIM, исключая ошибки геодезической съёмки.



Рисунок 2 – Автоматизированное нанесение набрызгбетона (торкретирование) при устройстве удерживающих стен

3. Искусственный интеллект и генеративный дизайн. ИИ в 2026 году стал инструментом предиктивного анализа и оптимизации: на этапе проектирования фундаментов ассистенты обрабатывают архивные данные о грунтах Италии, результаты статического зондирования и сейсмические записи за десятилетия, оптимизируя армирование подпорных стен и глубину заложения свай и минимизируя расход бетона (что важно для снижения углеродного следа в рамках «зелёной» повестки). На этапе стройки ИИ по камерам видеонаблюдения анализирует темпы возведения опор и корректирует логистику поставок.

4. Робототехника и автоматизация на стройплощадке. Устройство фундаментов – наиболее опасный и трудоёмкий этап, и роботизация решает проблему дефицита кадров и повышает безопасность. Автоматические буровые и сваебойные установки, управляемые по GPS/ГЛОНАСС и связанные с BIM-моделью, сами позиционируют буровой инструмент и устраивают буронабивные сваи; роботы-торкретировщики наносят набрызгбетон на арматурную сетку крутых склонов, исключая присутствие людей в зоне обвала (Рисунок 2); подводные дроны (ROV) при строительстве и инспекции гидравлических опор в руслах рек и прибрежных зонах (например, в Венецианской лагуне) выполняют лазерное сканирование подводной части фундамента на предмет размыва основания.

ВЫВОДЫ

Внедрение сквозных цифровых технологий в транспортное строительство Италии приближает полную автономию строительных процессов: если пять лет назад BIM-модель существовала отдельно от площадки, то в 2026 году они образуют единый «живой» организм. Главным драйвером выступает необходимость адаптации к климатическим изменениям – экстремальным паводкам и оползням, при которых расчёт фундаментов по нормативным таблицам прошлого века уже не гарантирует надёжность. Синергия ИИ, лазерного сканирования и BIM позволяет перейти от ликвидации аварий к их предотвращению, просчитывая поведение подпорной стены при аномальном давлении грунта ещё до начала земляных работ. Вместе с тем возрастает юридическая и инженерная ответственность за решения ИИ, поэтому роль геотехника смещается от расчётчика к оператору цифровых систем и контролёру технологической безопасности, сохраняющему инженерную интуицию и понимание физики грунтового массива.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с изменениями на 2024 г.). -М.: Минстрой России, 2024.
2. СП 301.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами. - М.: Стандартиформ, 2018 (с изм. 2025 г.).
3. Gaspari, F., Ioli, F., Pinto, L. et al. A 3D WebGIS Open-Source Prototype for Bridge Inspection Data Management: Case Study of Piacenza Province, Italy // Geomatics. - 2025. - Vol. 5, № 1. - P. 68–84.
4. Singh, J., Khan, S. AI-Driven Innovations in Tunnel Construction and Transport: Enhancing Efficiency with Advanced Machine Learning and Robotics // The Open Transportation Journal. - 2026. - Vol. 19. - Art. e266712.
5. Akbas, M., Geotechnical Digital Twins. Sustainable Digital Transformation in Geotechnical-Related Engineering Disciplines: An Integrated Framework // Sustainability. - 2025. - Vol. 17, № 20. - Art. 9153.

REFERENCES

1. SP 45.13330.2017. Earthworks, Foundations, and Foundations. Updated version of SNiP 3.02.01-87 (as amended in 2024). Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2024.
2. SP 301.1325800.2017. Information Modeling in Construction. Rules for Organizing Work by Production and Technical Departments. Moscow: Standartinform, 2018 (as amended in 2025).
3. Gaspari, F., Ioli, F., Pinto, L. et al. A 3D WebGIS Open-Source Prototype for Bridge Inspection Data Management: Case Study of Piacenza Province, Italy // Geomatics. - 2025. - Vol. 5, No. 1. - P. 68–84.
4. Singh, J., Khan, S. AI-Driven Innovations in Tunnel Construction and Transport: Enhancing Efficiency with Advanced Machine Learning and Robotics // The Open Transportation Journal. - 2026. - Vol. 19. - Art. e266712.
5. Akbas, M., Geotechnical Digital Twins. Sustainable Digital Transformation in Geotechnical-Related Engineering Disciplines: An Integrated Framework // Sustainability. - 2025. - Vol. 17, No. 20. - Art. 9153.

КОНЦЕПЦИЯ CONSTRUCTION 4.0 В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

КЛИМЕНКОВ ЕВГЕНИЙ ОЛЕГОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается внедрение концепции Construction 4.0 и методов искусственного интеллекта при проектировании, строительстве и эксплуатации подпорных и гидравлических сооружений Италии – страны с высокой геодинамической и гидрологической активностью. Выделены четыре ключевых направления: прогнозирование опасных геодинамических и гидрологических явлений мультиагентными системами на основе данных спутников и датчиков; интеллектуальный мониторинг состояния сооружений по данным IoT и радиолокационной интерферометрии InSAR; оптимизация проектирования генеративными ИИ-агентами; создание цифровых двойников плотин и дамб. Сделан вывод о повышении точности прогнозирования рисков, снижении материалоемкости и сокращении сроков проектирования на 30–50 %.

Ключевые слова: Construction 4.0, искусственный интеллект, мультиагентные системы, цифровой двойник, подпорные сооружения, гидротехнические сооружения, InSAR, Италия.

THE CONSTRUCTION 4.0 CONCEPT IN HYDRAULIC ENGINEERING: ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS FOR GEOECOLOGICAL SAFETY

KLIMENKOV EVGENIY OLEGOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the implementation of the Construction 4.0 concept and artificial intelligence methods in the design, construction and operation of retaining and hydraulic structures in Italy, a country of high geodynamic and hydrological activity. Four key areas are identified: forecasting hazardous geodynamic and hydrological phenomena by multi-agent systems using satellite and sensor data; intelligent monitoring of structures based on IoT data and InSAR radar interferometry; design optimization by generative AI agents; and the creation of digital twins of dams and embankments. It is concluded that risk-forecasting accuracy increases, material consumption decreases and design time is reduced by 30–50 %.

Keywords: Construction 4.0, artificial intelligence, multi-agent systems, digital twin, retaining structures, hydraulic structures, InSAR, Italy.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Италия расположена в одном из наиболее геодинамически активных регионов Европы: сочетание сейсмической опасности Апеннин, вулканической активности (Везувий, Этна, Стромболи) и интенсивной гидрологической нагрузки на речные системы (По, Тибр, Арно) обуславливает острую потребность в надёжных подпорных и гидравлических сооружениях. Тысячелетняя инженерная традиция страны, восходящая к римским акведукам, сегодня переживает качественную трансформацию благодаря концепции Construction 4.0 на основе ИИ-агентов, цифровых двойников и автономных систем мониторинга.

Внедрение искусственного интеллекта в проектирование, строительство и эксплуатацию подпорных и гидравлических сооружений Италии идёт по нескольким направлениям. Первое – прогнозирование опасных геодинамических и гидрологических явлений: ИИ-агенты в распределённой мультиагентной архитектуре (MAS) обрабатывают данные метеоспутников, наземных станций, гидропостов и сейсмических датчиков для предсказания паводков, оползней и обвалов. В бассейне реки По институты CNR и Политехнический университет Милана разработали нейросетевые модели, объединяющие данные программы

Сорегнис с наземными измерениями, что повышает точность прогноза пиковых расходов и уровней затопления по сравнению с традиционными гидродинамическими моделями.

Второе направление – интеллектуальный мониторинг состояния сооружений (Рисунок 1). ИИ-агенты анализируют потоки данных с датчиков IoT (акселерометры, деформационные датчики, пьезометры) на плотинах и подпорных стенах, а также изображения с дронов и радиолокационной интерферометрии InSAR. Алгоритмы машинного обучения в реальном времени выявляют аномалии, отличают нормальные колебания от опасных деформаций и прогнозируют развитие повреждений. В Калабрии и на Сицилии такие системы обеспечивают раннее предупреждение об оползнях, позволяя эвакуировать население и укрепить конструкции до катастрофы.

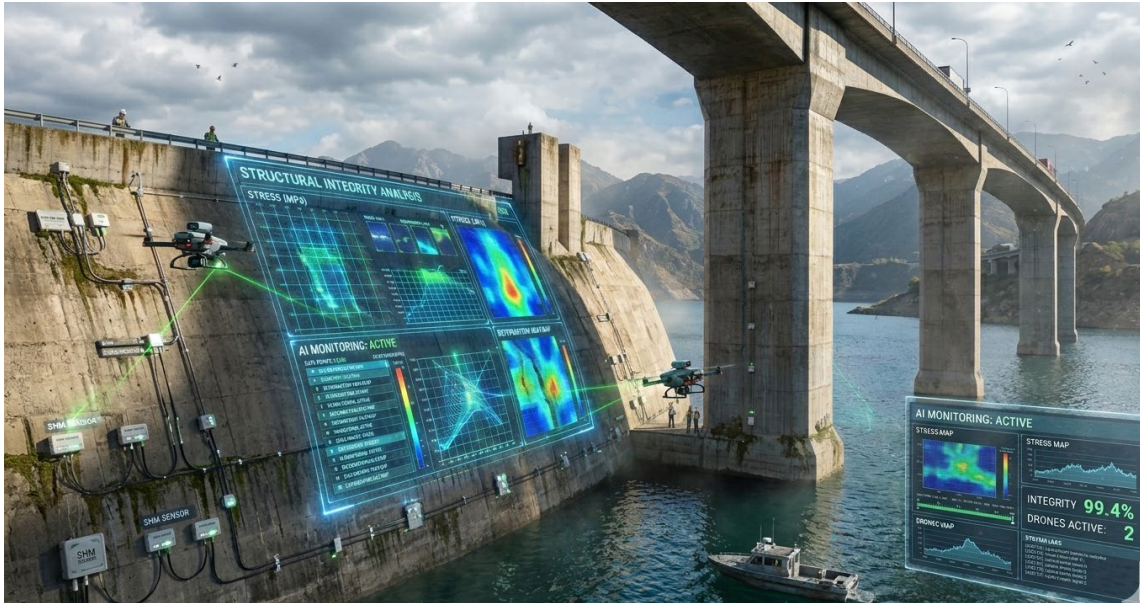


Рисунок 1 – Автоматизированный контроль напряжённо-деформированного состояния гидротехнических сооружений с помощью лазерного сканирования

Третье направление – оптимизация проектирования. Генеративные ИИ-агенты подбирают геометрию подпорных стен, обеспечивая максимальную устойчивость при минимальном расходе бетона и арматуры с учётом геологии участка, сейсмических норм, исторической ценности застройки и бюджета, сокращая сроки проектирования на 30–50 %. В проекте MOSE искусственный интеллект применяется для оптимизации подъёмных затворов и управления их эксплуатацией.

Четвёртое направление – создание цифровых двойников. Виртуальные модели плотин и дамб (в частности, на реке Адда в Ломбардии) обновляются в реальном времени по данным мониторинга, позволяя моделировать сценарии наводнений, землетрясений и износа материалов. Цифровые двойники интегрированы с системами управления плотинами, где ИИ автоматически решает вопрос об открытии и закрытии затворов с учётом прогноза осадков, расхода воды, уровня водохранилища и состояния сооружения.

ВЫВОДЫ

Внедрение искусственного интеллекта в подпорные и гидравлические сооружения Италии повысило точность прогнозирования геодинамических рисков, оптимизировало материалоемкость новых конструкций, сократило сроки проектирования и снизило опасность для персонала при строительстве и эксплуатации объектов.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Проект MOSE – Система защиты от высоких вод в Венецианской лагуне : [сайт]. – Венеция, 2024. – URL: <https://www.mosevenezia.eu> (<https://www.mosevenezia.eu/>) (дата обращения: 29.05.2026).

2. Адаптация к изменению климата и управление гидравлическими рисками в Италии : [сайт]. – Рим, 2025. – URL: <https://www.isprambiente.gov.it> ([https://www.isprambiente.gov.it/](https://www.isprambiente.gov.it)) (дата обращения: 29.05.2026).
3. Искусственный интеллект для мониторинга оползней в Калабрии и на Сицилии : [сайт]. – Козенца, 2025. – URL: <https://www.cnr.it> (<https://www.cnr.it/>) (дата обращения: 29.05.2026).
4. Технология цифрового двойника для безопасности плотин в Ломбардии : [сайт]. – Милан, 2025. – URL: <https://www.polimi.it> (<https://www.polimi.it/>) (дата обращения: 29.05.2026).
5. Технические нормы для строительства (NTC 2018) с интеграцией ИИ : [сайт]. – Рим, 2024. – URL: <https://www.cslp.it> (<https://www.cslp.it/>) (дата обращения: 29.05.2026).

REFERENCES

1. MOSE Project – High Water Protection System in the Venetian Lagoon : [website]. – Venice, 2024. – URL: <https://www.mosevenezia.eu> (<https://www.mosevenezia.eu/>) (date of access: 29.05.2026).
2. Climate Change Adaptation and Hydraulic Risk Management in Italy : [website]. – Rome, 2025. – URL: <https://www.isprambiente.gov.it> (<https://www.isprambiente.gov.it/>) (date of access: 29.05.2026).
3. Artificial Intelligence for Landslide Monitoring in Calabria and Sicily : [website]. – Cosenza, 2025. – URL: <https://www.cnr.it> (<https://www.cnr.it/>) (date of access: 29.05.2026).
4. Digital twin technology for dam safety in Lombardy : [website]. – Milan, 2025. – URL: <https://www.polimi.it> (<https://www.polimi.it/>) (date of access: 29.05.2026).
5. Technical regulations for construction (NTC 2018) with AI integration : [website]. – Rome, 2024. – URL: <https://www.cslp.it> (<https://www.cslp.it/>) (date of access: 29.05.2026).

ВОЗВЕДЕНИЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ОСНОВАНИЙ, ПОДПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ИТАЛИИ: ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АДАПТАЦИЯ К СЕЙСМИЧЕСКИМ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ

КОЛЕЧЕНОК ДАНИИЛ ДМИТРИЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение цифровых технологий (BIM, лазерное сканирование, робототехника, ИИ-помощники) при возведении фундаментных оснований дамб, плотин и подпорных стен в Италии по состоянию на 2026 год. Показано, что Италия одной из первых законодательно закрепила обязательность информационного моделирования, а BIM-модели опор интегрируют геотехнические, геофизические и гидрологические данные. Описано применение наземного и воздушного лазерного сканирования для контроля геометрии откосов и свайных рядов, цифровых двойников «умных плотин» (проект Punt dal Gall) и генеративных алгоритмов оптимизации подпорных стен. Отмечено, что роботизация пока находится на пилотной стадии, однако в сочетании с BIM и ИИ обеспечивает предиктивную аналитику и надёжность оснований в сейсмически активных районах.

Ключевые слова: BIM-технологии, лазерное сканирование, цифровой двойник, искусственный интеллект, подпорные стены, гидротехнические сооружения, умные плотины, Италия.

CONSTRUCTION OF FOUNDATION BASES, RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN ITALY: DIGITAL TECHNOLOGIES AND ADAPTATION TO SEISMIC AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

KOLECHENOK DANIL DMITRIEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of digital technologies (BIM, laser scanning, robotics, AI assistants) in the construction of foundation bases of dams, weirs and retaining walls in Italy as of 2026. It is shown that Italy was among the first to legally mandate information modeling, and BIM models of supports integrate geotechnical, geophysical and hydrological data. The use of terrestrial and aerial laser scanning to control the geometry of slopes and pile rows, digital twins of 'smart dams' (the Punt dal Gall project) and generative algorithms for optimizing retaining walls is described. It is noted that robotization is still at a pilot stage but, combined with BIM and AI, provides predictive analytics and reliability of foundations in seismically active areas.

Keywords: BIM, laser scanning, digital twin, artificial intelligence, retaining walls, hydraulic structures, smart dams, Italy.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рельеф Италии отличается высокой пересечённостью, разветвлённой речной сетью и значительными запасами гидроэнергии, что предъявляет жёсткие требования к устройству опорных конструкций гидроузлов и удерживающих барьеров. К 2026 году строительный сектор страны активно переходит на цифровые методы: классические инженерные подходы дополняются интеллектуальными алгоритмами, автоматизированными установками и высокоточной геодезией. Ниже рассмотрено внедрение BIM, лазерных измерительных систем, роботизированных средств и AI-помощников при возведении оснований дамб, плотин и подпорных стен в Италии.

Применение BIM при проектировании опорных баз. Италия одной из первых в Европе законодательно закрепила обязательность информационного моделирования: акт Министерства инфраструктуры и транспорта № 560 от 1 декабря 2017 года инициировал поэтапный перевод на BIM всех общественных строек и крупных инфраструктурных объектов, и к 2026 году эти требования охватили гидротехнические комплексы – плотины и укрепляющие стены вдоль автомобильных и железных дорог. Для опор плотин BIM-

модель строится на интеграции геотехнических показателей, геофизических изысканий и параметров водного режима, а трёхмерная визуализация наглядно отражает напластование грунтов, положение подземных вод и сейсмические угрозы. В ходе строительства модель пополняется данными датчиков, реализуя наблюдательный метод геотехники. Для удерживающих стен BIM обеспечивает параметрическое конструирование: изменение крутизны склона или высоты преграды автоматически пересчитывает нагрузки на основание, требуемый объём бетона и схему армирования, ускоряя подготовку проекта и снижая число ошибок при согласовании решений.

Лазерное сканирование и геодезические методы. Итальянские вузы и инженеринговые фирмы располагают современным парком геодезического оборудования. Лаборатория LARIG Болонского университета применяет наземные лидары (на принципах time-of-flight, триангуляции и структурированной подсветки) и беспилотники с тепловизионными сенсорами, что позволяет ещё до земляных работ формировать сверхточные электронные карты местности. Сканирование используется на всех стадиях жизненного цикла опор: на предпроектной – для построения цифрового рельефа и поиска геоморфологических аномалий, в ходе стройки – для проверки геометрии откосов, расположения свайных рядов и подсчёта объёмов грунта, при эксплуатации – для отслеживания подвижек удерживающих стен и берегозащитных сооружений (Рисунок 1). Особую ценность метод представляет для пограничной со Швейцарией плотины Punt dal Gall, где создание виртуального двойника повысило сейсмостойкость объекта за счёт компьютерного моделирования воздействий.



Рисунок 1 – Лазерное сканирование

Роботизированные системы и автоматизация. На 2026 год роботизация устройства фундаментов в Италии находится на начальной стадии: массового применения стройроботов нет, однако отдельные решения уже используются – например, роботизированные тахеометры для автоматического мониторинга деформаций и беспилотники для воздушного лазерного сканирования и фотосъёмки. Местные стартапы разрабатывают платформы в духе Physical AI, объединяющие датчики, аналитические алгоритмы и исполнительные механизмы в теле строительной техники; пример – система Tokbo с интеллектуальными болтовыми креплениями для контроля состояния узлов, адаптируемая под измерение напряжений в анкерных связях подпорных стен и арматурных каркасах плотин (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Мониторинг состояния фундаментов и конструкций

Помощники на базе ИИ при строительстве фундаментов. В итальянской гидроэнергетике активно продвигается идея «умных плотин» (smart dams): цифровые копии, собранные по показаниям датчиков, проектной документации и историям аварий, прогнозируют поведение опорных баз при наводнениях, подземных толчках и сезонных перепадах уровня воды. Нейросети обрабатывают данные гидрологических зондов, сейсмометров и инклинометров, встроенных в тело плотины и её основание, предсказывают нарастание деформаций и рекомендуют режимы работы водосливов и график профилактики. Искусственный интеллект также оптимизирует форму подпорных стен и фундаментных плит: алгоритмы глубокого обучения подбирают глубину закладки, угол наклона стены и конфигурацию дренажа с учётом местной геологии (Рисунок 3).

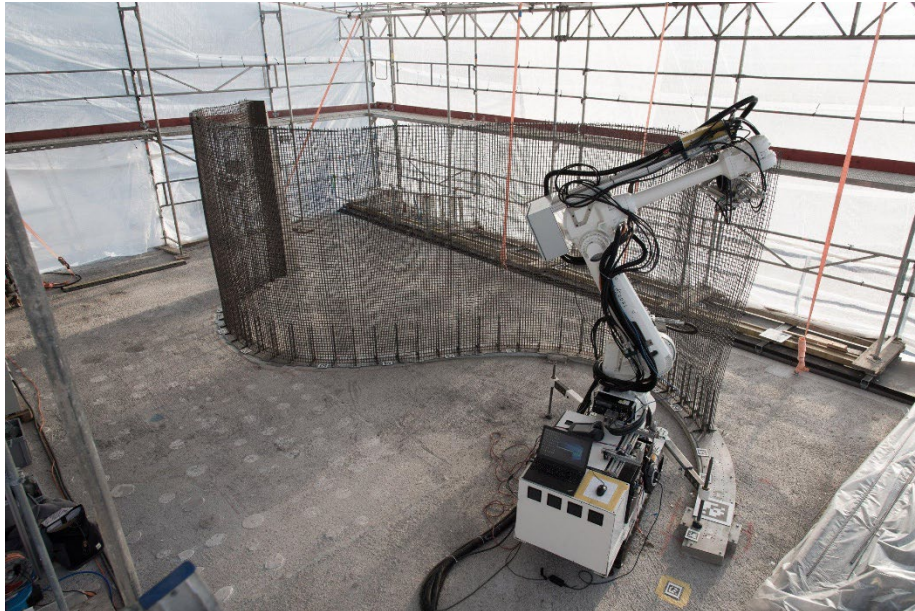


Рисунок 3 – Роботизированные системы и автоматизация строительства

На итало-швейцарском проекте Punt dal Gall цифровой двойник аккумулировал данные сейсмических наблюдений, гидрологических расчётов и структурного анализа основания, что позволило виртуально проверить устойчивость к землетрясениям ещё до начала работ и скорректировать армирующие элементы в теле фундамента. При прокладке автотрасс в области Кампания (подрядчик Engco S.r.l.) применялся целостный BIM-подход: цифровой рельеф готовился в Civil 3D, экспортировался в Revit для моделирования удерживающих стен и гидротехнических элементов, а проверка на коллизии в Navisworks заранее выявила конфликты между сваями виадука и проектируемой стенкой.

ВЫВОДЫ

Возведение опорных конструкций гидравлических и подпорных сооружений в Италии в 2026 году сочетает проверенную геотехнику с новейшими цифровыми разработками: BIM обеспечивает сквозное сопровождение от изысканий до эксплуатации, лазерная съёмка – миллиметровый геометрический контроль, а ИИ-помощники с цифровыми двойниками – предиктивную аналитику. Роботизация пока пилотная, но уже показывает потенциал автоматизации контроля качества и наблюдений. Синергия этих подходов повышает долговечность оснований в сейсмически активных и геологически сложных районах Апеннин и Альп.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 560 del 01.12.2017 – поэтапное внедрение BIM в общественном строительстве Италии.
2. NTC 2018. Norme Tecniche per le Costruzioni. – Roma: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, 2018.
3. UNI EN 1997-1. Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1. – Milano: UNI, 2013.

REFERENCES

1. Decree of the Ministry of Infrastructure and Transport no. 560 of 01.12.2017 – New BIM model in Italy.
2. NTC 2018. Technical Standards for Construction. – Rome: Ministry of Infrastructure and Transport, 2018.
3. UNI EN 1997-1. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1. – Milan: UNI, 2013.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В КАНАДЕ (СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ)

КОНДРУСЕВИЧ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологии 3D-лазерного сканирования при строительстве свайных фундаментов глубокого заложения в Канаде. Показано, что в суровых климатических условиях метод неразрушающего контроля обеспечивает пространственные измерения с миллиметровой точностью, минимизируя неопределённость на строительной площадке и предотвращая аварийные ситуации. Отмечено, что строительство регламентируется Национальным строительным кодексом Канады (NBC) и руководством CFEM, а технологии BIM применяются для расчёта, координации и оценки сроков и стоимости работ. Сделан вывод о высокой эффективности интеграции высокоточных измерений с канадскими строительными регламентами.

Ключевые слова: лазерное сканирование, свайные фундаменты, неразрушающий контроль, облако точек, BIM, NBC, CFEM, Канада.

APPLICATION OF LASER SCANNING TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS IN CANADA

KONDRUSEVICH MIKHAIL SERGEEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of 3D laser scanning technology in the construction of deep pile foundations in Canada. It is shown that, under harsh climatic conditions, this non-destructive testing method provides spatial measurements with millimetre accuracy, minimising uncertainty on the construction site and preventing emergencies. It is noted that construction is regulated by the National Building Code of Canada (NBC) and the Canadian Foundation Engineering Manual (CFEM), while BIM technologies are used for calculation, coordination and the estimation of timelines and costs. It is concluded that integrating high-precision measurements with Canadian building regulations is highly effective.

Keywords: laser scanning, pile foundations, non-destructive testing, point cloud, BIM, NBC, CFEM, Canada.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При строительстве свай в Канаде технологию лазерного сканирования применяют на объектах глубокого заложения, при возведении мостов и бетонных перекрытий: измерения с миллиметровой точностью снимают неопределённость на площадке и помогают предотвратить аварийные ситуации.

Возведение фундаментов в сложных климатических условиях требует высокой точности, надёжности и устойчивости проектных решений. В современной канадской практике мостостроения при устройстве свайных фундаментов глубокого заложения и массивных бетонных перекрытий активно используется 3D-лазерное сканирование (рисунок 1) – метод неразрушающего контроля, обеспечивающий пространственные измерения с миллиметровой точностью, что минимизирует неопределённость непосредственно на площадке и предупреждает аварийные и чрезвычайные ситуации.



Рисунок 1 – Применение лазерного сканера для транспортных сооружений

Строительство свайных фундаментов в Канаде регламентируется Национальным строительным кодексом (NBC) и руководством по проектированию фундаментов (Canadian Foundation Engineering Manual, CFEM), которые устанавливают требования к несущей способности, сейсмостойкости и безопасности.

Для фундаментов активно применяют BIM-технологии – для точного расчёта, координации и армирования фундаментных плит и свай с учётом канадских регламентов, а также для планирования сроков сдачи и оценки стоимости материалов, что особенно актуально при возведении оснований.

ВЫВОДЫ

Таким образом, применение лазерного сканирования при строительстве свайных фундаментов в Канаде демонстрирует высокую эффективность в обеспечении точности и безопасности работ. Интеграция высокоточных измерений с канадскими строительными регламентами (NBC и CFEM) минимизирует риски на этапе подготовки площадки, гарантирует соответствие проектным нагрузкам и предотвращает нецелевой перерасход бюджета.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. ISCANO [Электронный ресурс]. – URL: <https://iscano.com/3d-laser-scanning-services/> (Дата обращения 22.05.2026).
2. MARS [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.marsbim.com/key-market/canada/> (Дата обращения 22.05.2026).
3. MDPI [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/6/1651> (Дата обращения 22.05.2026).
4. RADIODETECTION [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.radiodetection.com/en/products/noggin> (Дата обращения 22.05.2026).

REFERENCES

1. ISCANO [Electronic resource]. – URL: <https://iscano.com/3d-laser-scanning-services/> / (Date of issue 22.05.2026).
2. MARS [Electronic resource]. – URL: <https://www.marsbim.com/key-market/canada/> / (Date of issue 22.05.2026).
3. MDPI [Electronic resource]. – URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/6/1651> (Date of issue: 05/22/2026).
4. RADIODETECTION [Electronic resource]. – URL: <https://www.radiodetection.com/en/products/noggin> (Accessed 22.05.2026).

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДПОРНЫХ СТЕН В УСЛОВИЯХ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ США

КОРОЛЁНОК МАКСИМ МИХАЙЛОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются современные технологии строительства подпорных стен в условиях высокой сейсмической активности Западного побережья США (Калифорния, Орегон, Вашингтон). Обоснована целесообразность применения армогрунтовых конструкций (MSE-стен) с геосинтетическим армированием и сейсмоизолированных фундаментов вместо традиционных решений, дающих по методу Мононобе – Окабе завышенные сейсмические давления. Предложен уточнённый подход к определению сейсмического коэффициента с учётом высоты стены и рассеяния сейсмических волн, а также методика оценки допустимых постоянных смещений (метод скользящего блока Ньюмарка), позволяющая снизить сейсмический коэффициент до 50 % при сохранении безопасности. Анализ выполнен по нормам AASHTO LRFD, NCHRP, FHWA и Caltrans с численным моделированием в PLAXIS.

Ключевые слова: подпорные стены, сейсмостойкость, MSE-стены, геосинтетическое армирование, метод Мононобе – Окабе, метод Ньюмарка, AASHTO, США.

MODERN TECHNOLOGIES FOR THE CONSTRUCTION OF RETAINING WALLS UNDER THE SEISMIC ACTIVITY OF THE U.S. WEST COAST

KOROLENOK MAKSIM MIKHAYLOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers modern technologies for constructing retaining walls under the high seismic activity of the U.S. West Coast (California, Oregon, Washington). The expediency of using mechanically stabilized earth (MSE) walls with geosynthetic reinforcement and seismically isolated foundations instead of traditional solutions, which give overestimated seismic pressures by the Mononobe–Okabe method, is substantiated. A refined approach to determining the seismic coefficient taking into account wall height and seismic-wave scattering is proposed, as well as a methodology for estimating permissible permanent displacements (the Newmark sliding-block method) that allows the seismic coefficient to be reduced by up to 50 % while maintaining safety. The analysis is carried out according to AASHTO LRFD, NCHRP, FHWA and Caltrans standards with numerical modeling in PLAXIS.

Keywords: retaining walls, seismic resistance, MSE walls, geosynthetic reinforcement, Mononobe–Okabe method, Newmark method, AASHTO, USA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Актуальность исследования

- Западное побережье США (Калифорния, Орегон, Вашингтон) отличается высокой сейсмической активностью из-за разломов Сан-Андреас и Каскадия.
- Землетрясения 1994 года (Northridge, M 6,7) и 2019 года (Ridgecrest, M 7,1) выявили значительные повреждения подпорных конструкций транспортной инфраструктуры.
- Традиционные методы расчёта (Мононобе – Окабе) дают завышенные значения сейсмического давления грунта при сочетании высоких ускорений и крутых откосов над стеной, что требует совершенствования нормативной базы.
- Современные технологии (MSE-стены с геосинтетиками, армированные грунтовые массивы, сейсмоизолированные фундаменты) повышают сейсмостойкость при оптимизации затрат.

2. Цель и задачи исследования

Цель – разработать рекомендации по применению современных технологий строительства подпорных стен, обеспечивающих требуемую сейсмостойкость в условиях высокой сейсмической активности Западного побережья США.

Задачи: проанализировать требования AASHTO LRFD и NCHRP 12-49 к сейсмическому проектированию подпорных стен; сопоставить традиционные типы стен (гравитационные, анкерные, свайные) с MSE-конструкциями и армированными грунтовыми массивами; оценить эффективность метода допустимых постоянных смещений (Newmark sliding block); предложить уточнения методов расчёта с учётом высотного коэффициента сейсмичности и эффекта рассеяния волн.

3. Научная новизна

– Предложен уточнённый подход к определению сейсмического коэффициента с учётом высоты стены и рассеяния сейсмических волн в призме обрушения, что снижает избыточную консервативность проектирования.

– Обоснована целесообразность применения MSE-стен с геосинтетическим армированием в сеймоопасных районах Западного побережья по результатам численного моделирования и полевых испытаний.

– Разработана методика оценки допустимых постоянных смещений подпорных стен, позволяющая снизить сейсмический коэффициент на 50 % при сохранении безопасности эксплуатации.

4. Методология исследования

– Анализ нормативных документов: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, NCHRP Report 12-49, руководств FHWA и Caltrans Seismic Design Criteria.

– Численное моделирование методом конечных элементов (PLAXIS) для оценки деформаций стен при сейсмических воздействиях (Loma Prieta, Parkfield, Sierra Madre).

– Сравнительный анализ псевдостатических методов (Mononobe – Okabe) и методов предельного равновесия с обобщёнными моделями давления грунта.

– Кейс-стади: анализ повреждений подпорных конструкций при землетрясениях Западного побережья и верификация расчётных моделей.

5. Теоретическая база и нормативная основа

– AASHTO LRFD требует проектирования на 500-летнее событие с консервативными допущениями; коэффициент запаса прочности не превышает 1,5, что недостаточно для событий с ускорениями в 2–3 раза выше проектных.

– NCHRP 12-49 предлагает двухуровневое проектирование (EXP – 108 лет, MCE – 2500 лет) с явным учётом ускорений и уточнёнными коэффициентами грунтовых условий; для мягких грунтов коэффициенты усиления сейсмического воздействия существенно увеличены.

– FHWA и Caltrans задают требования к детализации, армированию и контролю уплотнения обратной засыпки (плотность более 95 % от максимальной по Proctor).

6. Основные результаты исследования

– Установлено, что проектирование на ускорение 0,1g (при PGA проектного землетрясения 0,2–0,4g) даёт оптимальное соотношение «выгода/затраты»: рост стоимости на ~25 % снижает деформации на ~30 %.

– Показано, что увеличение свободной длины анкеров на 10 % (с выносом за пределы активной призмы обрушения) улучшает деформационный отклик стены в среднем на 16 % при умеренном росте стоимости.

– Для MSE-стен высотой более 6 м получены уточнённые формулы высотного коэффициента с учётом нелинейного поведения грунта и контраста жёсткости между засыпкой и основанием.

– Определены критерии применимости псевдостатического анализа: для компетентных грунтов без потенциала разжижения допустим коэффициент безопасности 1,1, а при наличии насыщенных сыпучих грунтов требуется динамический анализ или метод скользящего блока.

7. Практическая значимость

– Результаты позволяют оптимизировать проектные решения для транспортных объектов Калифорнии (шоссе I-5, US-101) и Тихоокеанского побережья.

– Методики снижения сейсмических коэффициентов при допустимых смещениях экономят материалы при сохранении требуемой безопасности.

– Рекомендации могут быть использованы при обновлении отечественных нормативных документов с учётом зарубежного опыта сейсмостойкого строительства.

8. Степень достоверности и апробация

– Достоверность подтверждена верификацией численных моделей на данных полевых испытаний и кейс-стади землетрясений Западного побережья.

– Основные положения доложены на научной конференции и одобрены экспертами в области геотехнического и сейсмического проектирования.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. AASHTO. LRFD Bridge Design Specifications. 8th ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017.
2. NCHRP. Recommended LRFD Guidelines for the Seismic Design of Highway Bridges, Part 1 and 2. NCHRP Project 12-49. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 2003.
3. NCHRP. Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Slopes and Embankments, and Buried Structures. NCHRP Project 12-70. Washington, DC: Transportation Research Board, 2008.
4. FHWA. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: Design and Construction Guidelines. Publication No. FHWA-NHI-10-024. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2009.
5. Caltrans. Seismic Design Criteria, Version 2.0. Sacramento, CA: California Department of Transportation, 2019.

REFERENCES

1. AASHTO. LRFD Bridge Design Specifications. 8th ed. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2017.
2. NCHRP. Recommended LRFD Guidelines for the Seismic Design of Highway Bridges, Part 1 and 2. NCHRP Project 12-49. Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 2003.
3. NCHRP. Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Slopes and Embankments, and Buried Structures. NCHRP Project 12-70. Washington, DC: Transportation Research Board, 2008.
4. FHWA. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: Design and Construction Guidelines. Publication No. FHWA-NHI-10-024. Washington, DC: Federal Highway Administration, 2009.
5. Caltrans. Seismic Design Criteria, Version 2.0. Sacramento, CA: California Department of Transportation, 2019.

СТРОЙКА ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В БРИТАНИИ

КРАТЫНСКИЙ ТИМОФЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение искусственного интеллекта и робототехники при возведении фундаментных опор гидравлических и подпорных сооружений в Великобритании по состоянию на 2026 год. Показано, что ИИ-ассистенты, интегрированные с BIM, выполняют прогнозное моделирование рисков суффозии и генеративный дизайн свайного поля и бареттных опор, а робототехника (автономные буровые и сваебойные установки, подводные комплексы ROV с управлением через дополненную реальность) выводит человека из опасной зоны. Описано умное бетонирование с контролем сплошности под водой и беспроводными датчиками набора прочности. Отмечены сдерживающие факторы – вопросы юридической ответственности за решения ИИ и трансформация роли инженера в критического верификатора.

Ключевые слова: искусственный интеллект, робототехника, BIM, генеративный дизайн, фундаментные опоры, гидравлические сооружения, подводные дроны, Великобритания.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ROBOTICS IN THE CONSTRUCTION OF FOUNDATION SUPPORTS OF HYDRAULIC AND RETAINING STRUCTURES: THE UK EXPERIENCE

KRATYNSKIY TIMOFEY VALEREVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of artificial intelligence and robotics in the construction of foundation supports of hydraulic and retaining structures in the United Kingdom as of 2026. It is shown that AI assistants integrated with BIM perform predictive modeling of suffusion risks and generative design of pile fields and barrette supports, while robotics (autonomous drilling and pile-driving rigs, underwater ROV complexes controlled via augmented reality) removes humans from the danger zone. Smart concreting with continuity control underwater and wireless strength-gain sensors is described. Constraining factors are noted – questions of legal liability for AI decisions and the transformation of the engineer's role into a critical verifier.

Keywords: artificial intelligence, robotics, BIM, generative design, foundation supports, hydraulic structures, underwater drones, United Kingdom.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство гидравлических (дамбы, шлюзы, причалы) и подпорных сооружений относится к категории повышенной инженерной ответственности. Фундаментные опоры таких объектов испытывают колоссальные статические, динамические и гидродинамические нагрузки, а их возведение часто идёт в сложных условиях – при высоком уровне грунтовых вод, на нестабильных грунтах или прямо в акваториях, где традиционный геотехнический контроль и ручной труд достигают предела эффективности, безопасности и экологичности.

К 2026 году строительная отрасль Великобритании совершила качественный переход к цифровизации и автоматизации, чему способствовали жёсткие требования по снижению углеродного следа (Net Zero), дефицит квалифицированных кадров и необходимость модернизации гидротехнической инфраструктуры в условиях климатических изменений. Интеграция ИИ-ассистентов и робототехники в проектирование и монтаж фундаментных опор стала отраслевым стандартом, а не экспериментом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение передовых технологий здесь делится на два направления: интеллектуальное цифровое сопровождение (ИИ) и физическую автоматизацию процессов (робототехника).

1. ИИ-ассистенты в геотехническом анализе и проектировании. Проектирование опор для подпорных стен и дамб требует обработки огромных массивов данных о грунтах, поэтому британские инженеры используют ИИ-ассистентов, интегрированных со сквозным информационным моделированием (BIM). Прогнозное моделирование позволяет ИИ анализировать данные гидрогеологического мониторинга и мгновенно оценивать риски суффозии грунта или изменения несущей способности свай при резких приливах. Генеративный дизайн фундаментов по заданным параметрам (нагрузка, тип сооружения, бюджет) формирует оптимальную геометрию свайного поля или конфигурацию бареттных опор, минимизируя расход бетона без потери прочности (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Строительство гидравлических сооружений, Великобритания

2. Робототехника на этапе земляных и буровых работ. Устройство фундаментов в руслах рек и прибрежных зонах опасно для людей, и в Великобритании человека выводят из опасной зоны. Автономные буровые и сваебойные установки под управлением ИИ самостоятельно корректируют крутящий момент и скорость бурения по сопротивлению пластов, исключая поломку оборудования и гарантируя проектную глубину заложения (Рисунок 2). Подводные роботизированные комплексы (ROV) при строительстве опор мостов и портовых доков выполняют выемку грунта и подготовку постели фундамента под дистанционным управлением с помощью дополненной реальности (AR).

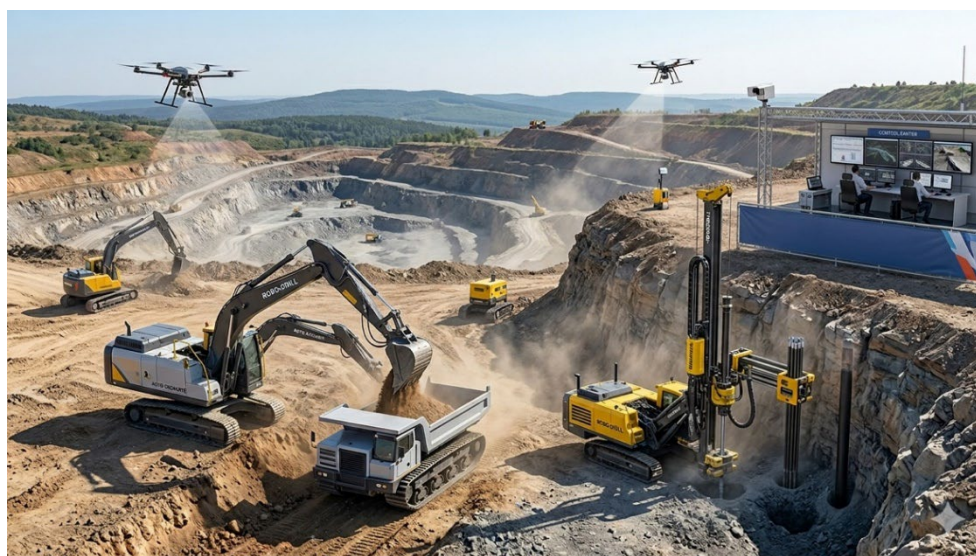


Рисунок 2 – Робототехника на этапе земляных и буровых работ

3. Умное бетонирование и контроль качества в реальном времени. Одна из ключевых проблем гидротехнического бетонирования – контроль сплошности сваи или монолитной опоры под водой. Роботизированная укладка ведётся через обсадные трубы под управлением автоматики, следящей за давлением и не допускающей смешивания бетона с водой. Оценка прочности через ИИ опирается на беспроводные датчики, закладываемые в тело фундамента при заливке: ассистент считывает температуру и влажность созревающего бетона, прогнозирует набор прочности и заранее сигнализирует о скрытых пустотах или трещинах ещё до ультразвукового контроля.

ВЫВОДЫ

Слияние ИИ и робототехники меняет саму философию возведения фундаментов: вместо «борьбы со стихией» и реактивного устранения ошибок приходит точное прогнозирование. Главным достижением автоматизации стало почти полное исключение «человеческого фактора» там, где цена ошибки особенно высока: когда робот бурит сваю подпорной стены по ежесекундному анализу плотности грунта, надёжность конструкции возрастает в разы по сравнению с управлением «на глаз».

Вместе с тем британский опыт обнажает и обратную сторону. Во-первых, остаётся открытым вопрос юридической ответственности: если автономная установка допустит ошибку, приводящую к деформации сооружения и затоплению, кто отвечает – разработчик алгоритма, производитель робота или подрядчик; в 2026 году этот правовой вакуум только начинает заполняться прецедентами. Во-вторых, меняется роль инженера: ИИ не заменяет человека, но отсекает специалистов, не умеющих работать с данными, – современный строитель фундаментов наполовину геотехник, наполовину дата-сайентист и прежде всего критический верификатор решений ИИ. В конечном счёте именно сочетание искусственного интеллекта и роботов открывает путь к инфраструктуре, способной выдержать климатические вызовы XXI века: сверхточное проектирование экономит материалы и снижает выбросы CO₂, а роботизация повышает безопасность на площадках.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1 Бахадори-Джахромии, А. Роль искусственного интеллекта и машинного обучения в развитии гражданского строительства: комплексный обзор / А. Бахадори-Джахромии // MDPI: Прикладные науки. – 2025. – Т. 15, № 19. – С. 104–121.

2 Грант, С. Тоннель Темз-Тайдудэй: цели, обзор, модель реализации и финансирование / С. Грант // Журнал Ассоциации крупных проектов Великобритании. – 2026. – № 25. – С. 45–58.

3 Мирзаванд, С. Существующие системы мониторинга земляных удерживающих сооружений, новые подходы и будущие тенденции: обзор / С. Мирзаванд // Preprints. Геотехника и транспортная инфраструктура. – 2026. – № 4. – С. 12–29.

REFERENCES

1 Bahadori-Jahromi, A. The Role of Artificial Intelligence and Machine Learning in Civil Engineering Development: A Comprehensive Review / A. Bahadori-Jahromi // MDPI: Applied Sciences. - 2025. - Vol. 15, No. 19. - Pp. 104-121.

2 Grant, S. Thames-Tideway Tunnel: Objectives, Review, Implementation Model and Financing / S. Grant // Journal of the Association of Major Projects of Great Britain. - 2026. - No. 25. - Pp. 45-58.

3 Mirzavand, S. Existing Earth Retaining Structure Monitoring Systems, New Approaches and Future Trends: A Review / S. Mirzavand // Preprints. Geotechnics and Transport Infrastructure. - 2026. - No. 4. - Pp. 12-29.

[УДК 624.19:625.7](#)

ЦИФРОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ОБЪЕКТА: АВТОДОРОЖНЫЙ ПОРТАЛ,
СОВМЕЩЕННЫЙ С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ, ШОТТОРФ (ШВЕЙЦАРИЯ)

КРИВОПУСТ ВЛАДИСЛАВ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 3 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажер кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлен цифровой технический паспорт автодорожного портала, совмещённого с многофункциональным комплексом (Шотторф, Швейцария). Систематизированы общие параметры объекта, геометрические характеристики трассы и обделки тоннеля, а также результаты статического расчёта: значения изгибающих моментов, продольных и поперечных сил в характерных сечениях монолитной сводчатой обделки. Приведены конструктивные и инженерно-геологические параметры (тип вмещающих пород, нагрузки, коэффициент упругого отпора) и расчётные толщины элементов обделки. Цифровой паспорт обеспечивает структурированное представление данных об объекте для задач проектирования, эксплуатации и мониторинга.

Ключевые слова: цифровой технический паспорт, автодорожный тоннель, портал, обделка тоннеля, внутренние усилия, многофункциональный комплекс, BIM, Швейцария.

DIGITAL TECHNICAL PASSPORT OF A FACILITY: A ROAD TUNNEL PORTAL COMBINED WITH A
MULTIFUNCTIONAL COMPLEX, SCHOTTORF (SWITZERLAND)

KRIVOPUST VLADISLAV ALEKSANDROVICH

3rd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisor – Shcherbo A.D., trainee lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents a digital technical passport of a road tunnel portal combined with a multifunctional complex (Schottorf, Switzerland). The general parameters of the object, the geometric characteristics of the alignment and the tunnel lining, and the results of static analysis are systematised: values of bending moments, longitudinal and shear forces in the characteristic sections of the monolithic vaulted lining. Structural and engineering-geological parameters (host rock type, loads, coefficient of elastic resistance) and the design thicknesses of the lining elements are given. The digital passport provides a structured representation of the object's data for design, operation and monitoring tasks.

Keywords: digital technical passport, road tunnel, portal, tunnel lining, internal forces, multifunctional complex, BIM, Switzerland.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ



Рисунок 1 – Общий вид портала, совмещённого с многофункциональным комплексом

Таблица 1 – Общие параметры объекта

Параметры	Значения	Примечание
Тип объекта	Автомобильный тоннель, портал совмещённый многофункциональным комплексом	Транспортный тоннель I-II категории
Количество надземных этажей	2	Включая первый, второй и третий этажи комплекса
Количество подземных этажей	0	Подвальные и цокольные помещения отсутствуют
Способ сооружения	Горный	Классический шахтный метод
Класс энергоэффективности	B (высокий)	Согласно теплотехническому расчёту по ТКП 45-2.04-43-2006
Протяжённость тоннеля, км	16	Перегон Эрге-
Тип обделки	Монолитная сводчатая, подковообразная	Бетон
Расчётная толщина обделки, м	1,0	По результатам расчёта МС
Радиус закругления в углах поворота, м	2800	В углах поворота трассы
Класс дороги	Автомобильная	Транзитный маршрут
Уровень ответственности	1 (повышенный)	Нормальный режим эксплуатации
Срок службы, лет	100	Для основных конструкций

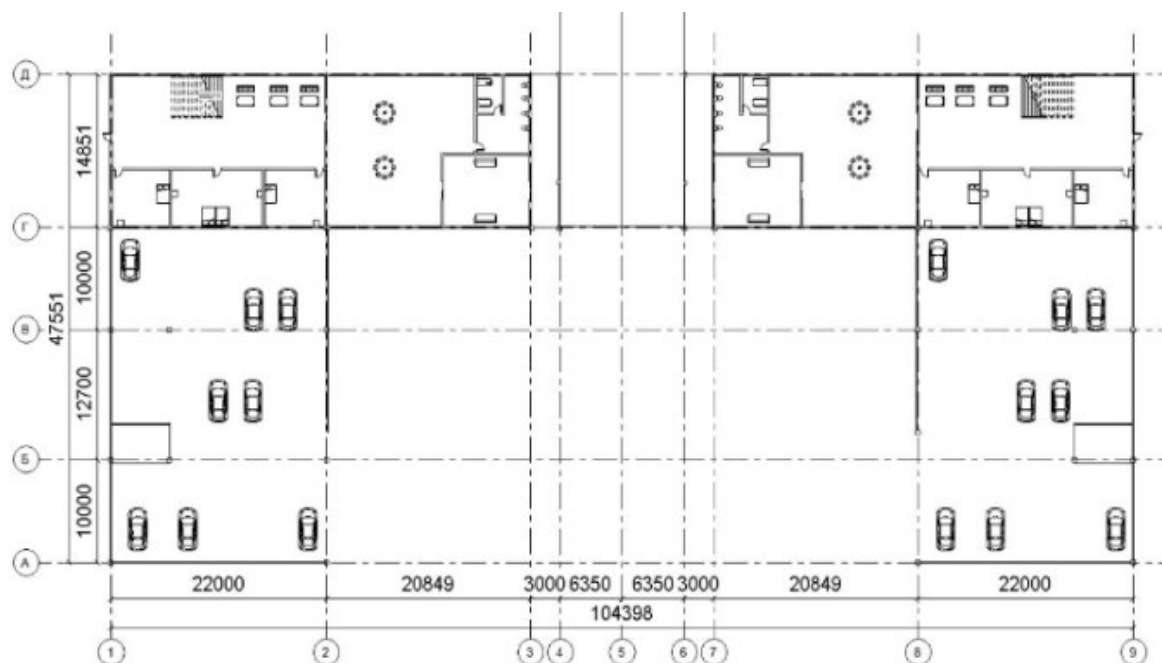


Рисунок 2 – План 1 этажа на отметке +0.000, м

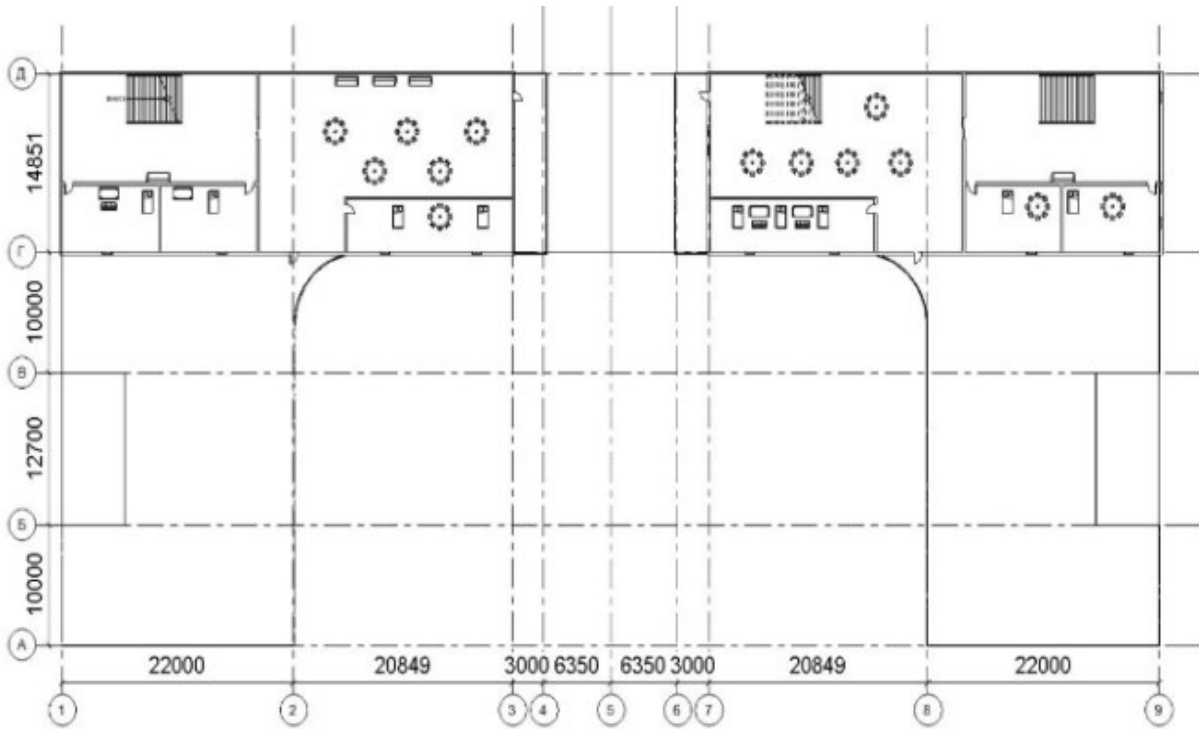


Рисунок 3 – План 2 этажа на отметке +4.000, м

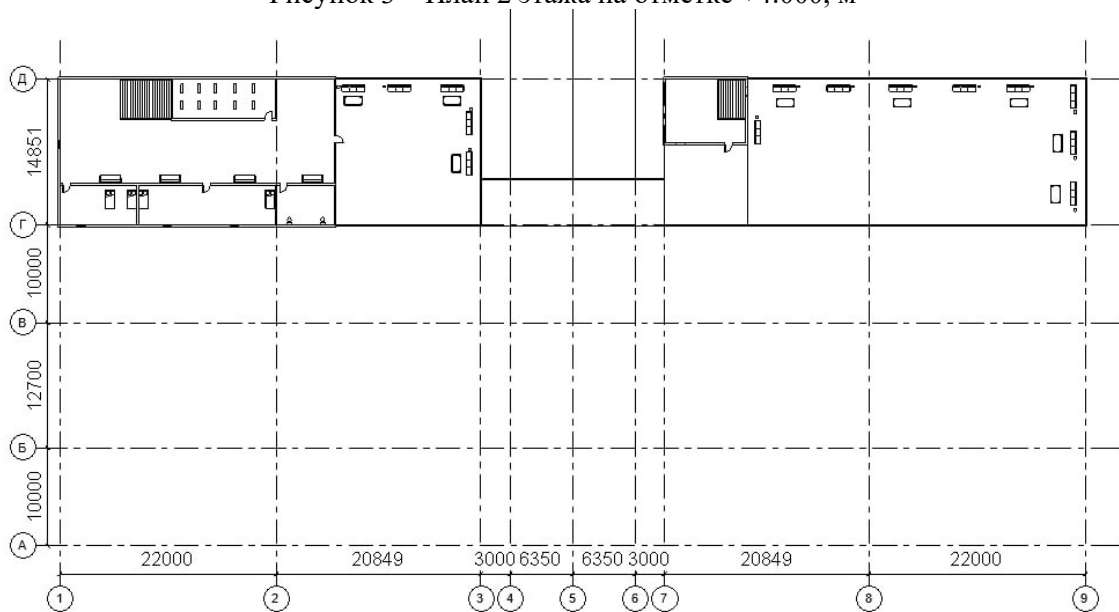


Рисунок 4 – План 3 этажа на отметке +8.000, м

Таблица 2 – Геометрические параметры трассы

Элемент обделки	Толщина, м	M, кН·м	N, кН
Замок свода (h_0)	0,40	808,81 (макс. положит.)	-736,51
Пята свода (h_n)	0,52	-609,50 (макс.)	-1897,64
Стена ($h_{ст}$)	0,60	497,32	-2961,50 (макс. по модулю)
Фундамент ($h_ф$)	0,72	-1312,84 (макс. отрицат.)	—

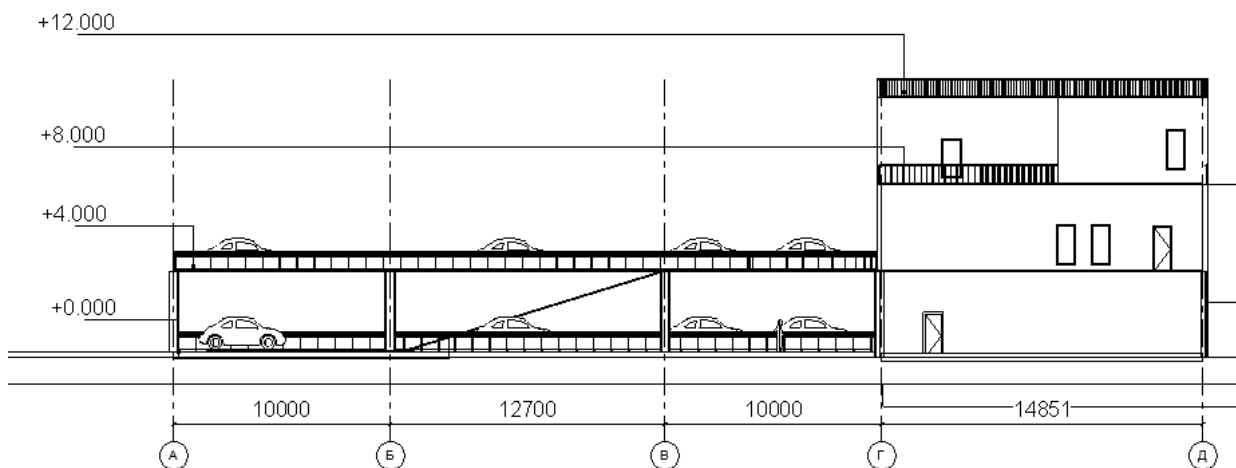


Рисунок 5 – Общий вид в осях А – Д

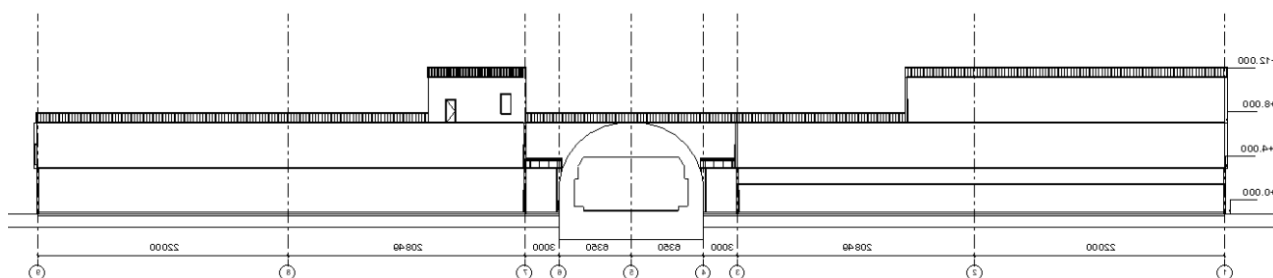


Рисунок 6 – Общий вид в осях 1 – 9

Таблица 3 – Геометрические параметры

План	Общая площадь, м ²	Жилая площадь, м ²	Высота этажа, м	Отметка пола, м	Периметр наружных стен, м
1-й этаж	3406,2	0	4	+0,500	346,8
2-й этаж	2146	0	4	+5,000	289,4

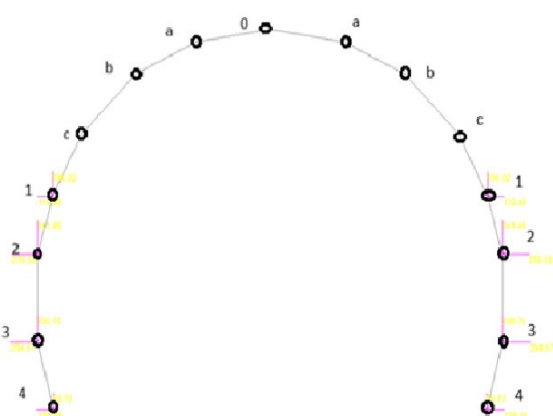


Рисунок 7 – Расчётная схема обделки тоннеля, кН

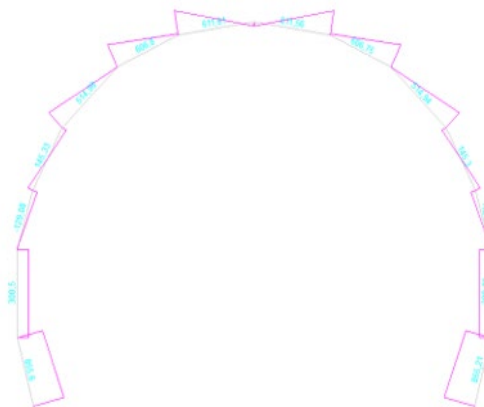


Рисунок 8 – Эпюра поперечных усилий Q, кН

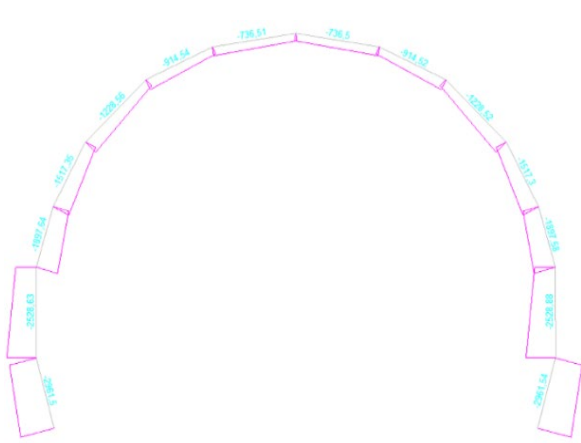


Рисунок 9 – Эпюра продольных сил N, кН,

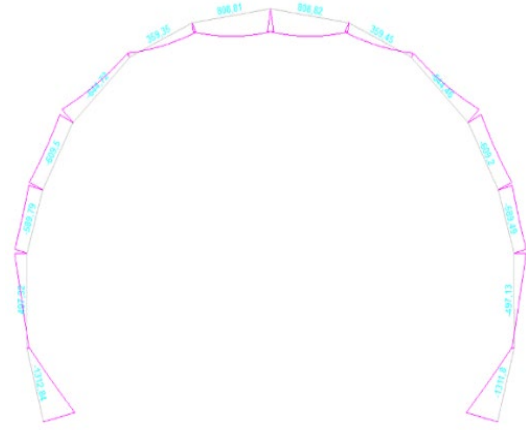


Рисунок 10 – Эпюра изгибающих моментов M, кН·м

Таблица 4 – Итоговые значения внутренних усилий M, N и R в сечениях обделки

Номер точки / сечения	Изгибающий момент M, кН·м	Продольная (сжимающая) сила N, кН	Поперечная сила R (или Q), кН
0 (замок)	808,81	-736,51	0,00
a	359,35	-914,54	606,82
b	-644,72	-1228,56	614,29
c	-609,50	-1517,35	145,33
1	-609,50	-1897,64	145,33
2	-589,79	-2528,63	-129,08
3	497,32	-2961,50	300,50
4 (пята)	-1312,84	-2961,54	856,60

Таблица 5 – Конструктивные и инженерные параметры

Элемент	Характеристика	Значение / Материал
Вмещающий массив	Тип породы, коэф. крепости f_n	Известняк мергелистый, $f_n = 8,3$
Удельный вес грунта γ	кН/м ³	25,1
Угол внутреннего трения φ	градусы	78°
Коэф. упругого отпора $K \cdot 10^5$	–	10
Нормативная вертик. нагрузка q_n	кН/м ²	9,786
Нормативная горизонт. нагрузка p_n	кН/м ²	179,83
Пролёт свода обрушения B	м	6,47
Высота свода обрушения h_1	м	0,389
Обделка	Тип, материал	Монолитная ж/б, бетон
Наибольший момент M (замок)	кН·м	808,81
Наибольшая сжимающая сила N (стена)	кН	-2961,5
Расчётный эксцентриситет e_0	м	1,54

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковский Л. В. Проектирование автодорожных и городских тоннелей: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 352 с.
2. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие / Кафедра «Мосты и тоннели» БНТУ. – Минск: БНТУ, 2005. – 94 с.
3. Колпашников Г. А. Инженерная геология: пособие для студентов специальностей вузов. – Минск: БНТУ, 2017.
4. Галкин А. Н. Инженерная геология Беларуси. Ч. 1: Грунты Беларуси: монография. – Минск, 2016.

REFERENCES

1. Makovskiy L. V. Designing of automobile and urban tunnels: Textbook for universities, Moscow: Transport, 1993– 352 p.
2. Designing tunnels constructed by mining method: textbook.- the method. manual / Department of Bridges and Tunnels of BNTU. Minsk: BNTU Publ., 2005. 94 p.
3. Kolpashnikov G. A. Engineering geology: a manual for university students. Minsk: BNTU, 2017.
4. Galkin A. N. Engineering Geology of Belarus. Part 1: Soils of Belarus: monograph. – Minsk, 2016.

ЦИФРОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ОБЪЕКТА: ЖИЛОЙ ДОМ С ТЕРРАСОЙ И ЭРКЕРОМ

КРИШКЕВИЧ МАКСИМ АНДРЕЕВИЧ

студент 1 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научный руководитель – Щербо А.Д., преподаватель-стажер кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлен цифровой технический паспорт отдельно стоящего двухэтажного жилого дома с террасой и эркером. Систематизированы общие параметры здания, геометрические характеристики этажей, параметры фасадов (ориентация, материалы отделки, цвета по RAL, площади остекления) и разрезов. Приведены конструктивные и инженерные характеристики основных элементов: фундамента, наружных стен, перекрытий, кровли и окон с указанием материалов и теплотехнических показателей. Цифровой паспорт обеспечивает компактное и структурированное представление проектных данных объекта для целей строительства и эксплуатации.

Ключевые слова: цифровой технический паспорт, жилой дом, BIM, параметры фасадов, конструктивная схема, энергоэффективность, теплотехнический расчёт.

DIGITAL TECHNICAL PASSPORT OF A FACILITY: A RESIDENTIAL HOUSE WITH A TERRACE AND A BAY WINDOW

KRISHKEVICH MAXIM ANDREEVICH

1st year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisor – Shcherbo A.D., trainee lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents a digital technical passport of a detached two-storey residential house with a terrace and a bay window. The general parameters of the building, the geometric characteristics of the floors, the facade parameters (orientation, finishing materials, RAL colours, glazing areas) and the sections are systematised. The structural and engineering characteristics of the main elements (foundation, external walls, floors, roof and windows) are given, indicating the materials and thermal-performance indicators. The digital passport provides a compact and structured representation of the object's design data for construction and operation.

Keywords: digital technical passport, residential house, BIM, facade parameters, structural scheme, energy efficiency, thermal performance.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ



Рисунок 1 – Аксонометрия жилого дома

Таблица 1 – Общие параметры здания

Параметры	Значения	Примечание
Тип объекта	Жилой дом, отдельно стоящий	–
Количество надземных этажей	2	Включая первый и мансардный этажи
Количество подземных этажей	0	Подвальные и цокольные помещения отсутствуют
Высота от уровня земли до карниза, м	9,23	Измеряется по фасаду
Конструктивная схема	Стеновая	С несущими продольными и поперечными стенами
Класс энергоэффективности	В (высокий)	Согласно теплотехническому расчету по ТКП 45-2.04-43-2006
Срок службы, лет	50	Для основных конструкций
Уровень ответственности здания	2	нормальный

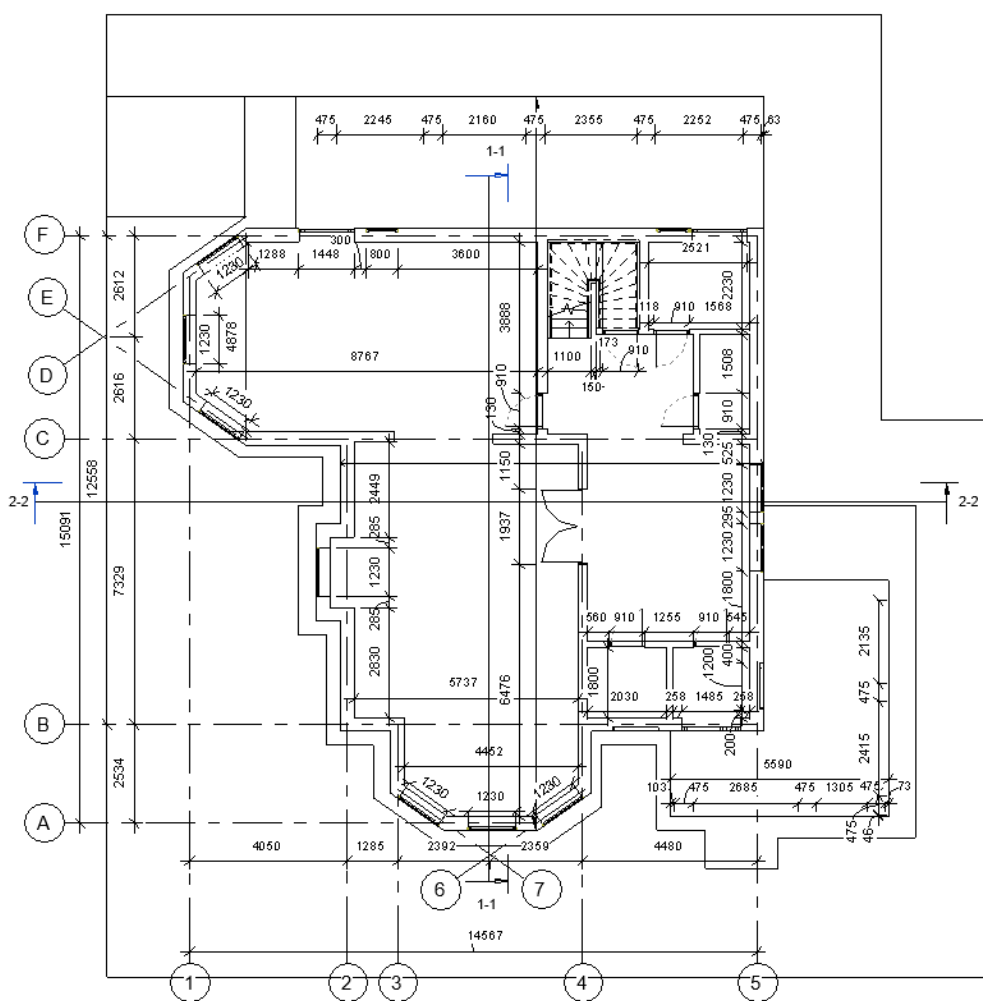


Рисунок 2 – План 1 этажа на отм. +0.420

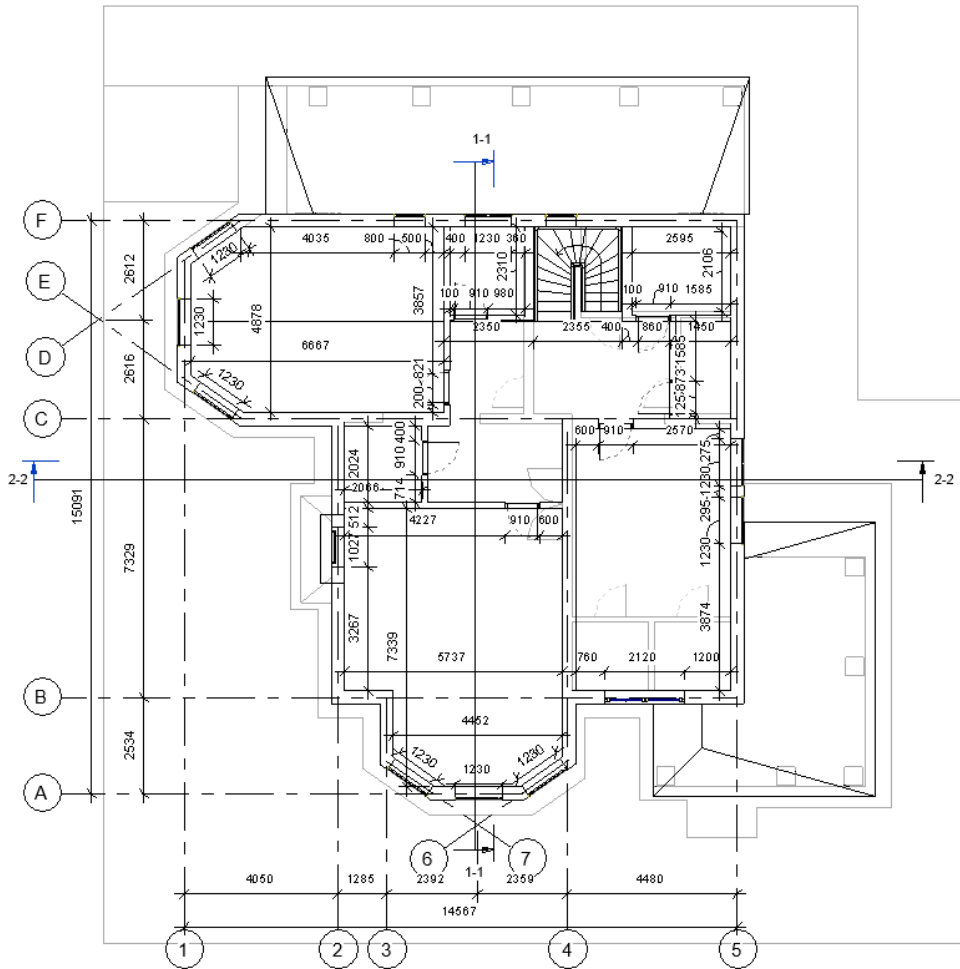


Рисунок 3 – План 2 этажа на отм. +3.420

Таблица 2 – Геометрические параметры

План	Общая площадь, м ²	Жилая площадь, м ²	Высота этажа, м	Отметка пола, м	Периметр наружных стен, м
1-й этаж	165,0	72,4	3	+0.420	67,5
2-й этаж	135	98,6	2,7	+3,420	58,2

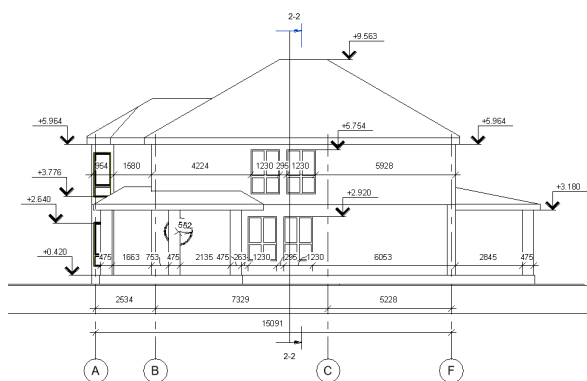


Рисунок 4 – Фасад в осях А-Ф

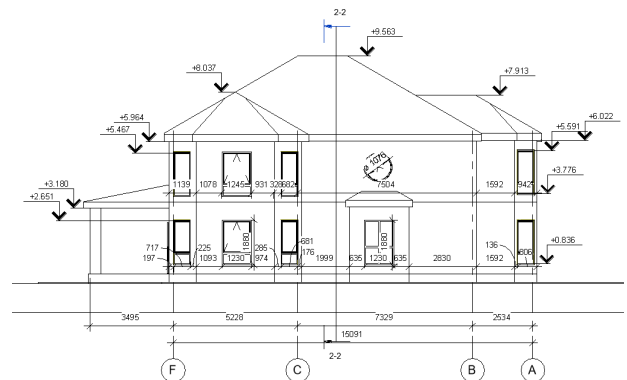


Рисунок 5 – Фасад в осях F-A

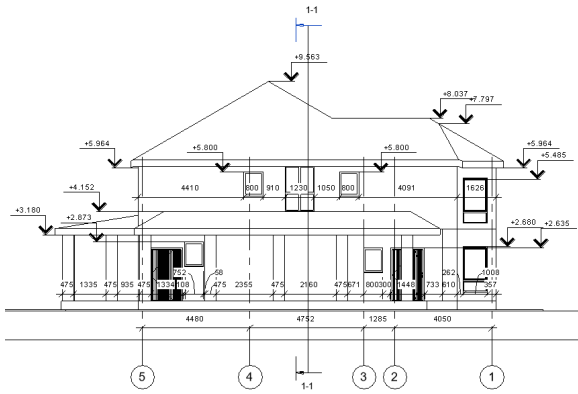


Рисунок 6 – Фасад в осях 5-1

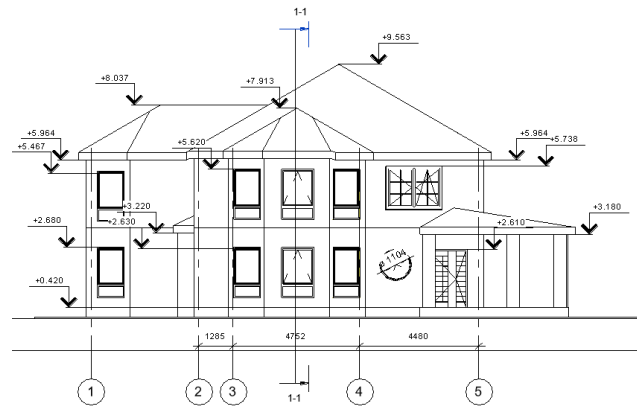


Рисунок 7 – Фасад в осях 1-5

Таблица 3 – Параметры фасадов

Фасад в осях	Ориентация	Материал отделки	Цвета по RAL	Площадь окон, м2	Площадь дверей, м2	Уклон отмостки, %	Отметка карниза, м
1-5	Ю	Декоративная штукатурка деревянные планкен-панели облицовка камнем	RAL 1013 + (Слоновая кость) / Орех RAL 7035 + (Светло-серый)	24,5	5,4	5	+6,022
С-В	В	Облицовочный камень (цоколь) штукатурка (гаражный блок)	RAL 7035 + (Светло-серый)	4,8	2,1	5	+5,964
В-С	З	Декоративная штукатурка панорамное остекление	RAL 1013 + (Слоновая кость)	6,2	0	5	+5,964
5-1	С	Декоративная штукатурка облицовка камнем	RAL 1013 + (Слоновая кость) / Орех	18,6	2,2	5	+6,022

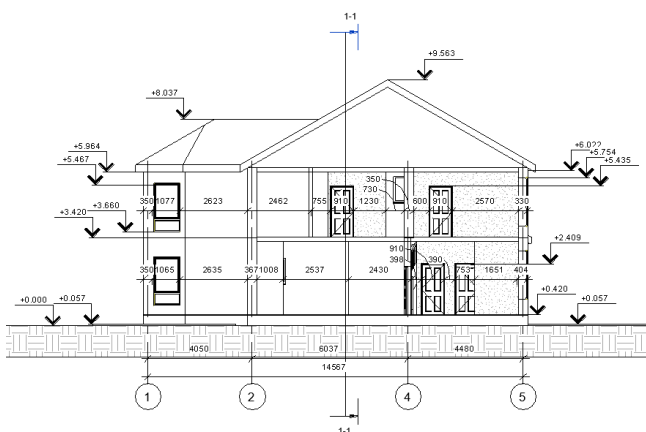


Рисунок 8 – Разрез 1-1

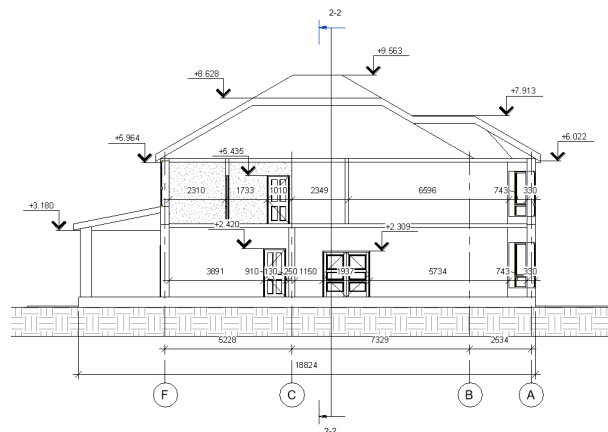


Рисунок 9 – Разрез 2-2

Таблица 4 – Параметры разрезов

Разрез	Отметка низа фундамента, м	Толщина ленточного фундамента, м	Толщина перекрытия, м	Уклон кровли, %	Материал кровли	Высота в коньке (от пола 1-го эт.), м
1-1	-2,400	0,5	0,2	35	Профнастил оцинкованный	5.964
2-2	-2,400	05	0,2	35	Профнастил оцинкованный	5.964

Таблица 5 – Конструктивные и инженерные параметры

Элемент	Характеристика	Значение / Материал
Фундамент	Тип, глубина заложения	Ленточный ж/б, 2,4 м
Стены наружные	Состав (от внутр. к наруж.)	Газоблок 300 мм + утеплитель 100 мм + кирпич 120 мм
Перекрытия	Тип, звукоизоляция	Сборно-монолитное, 220 мм + стяжка 50 мм
Кровля	Стропильная система, пароизоляция	Деревянная, скатная, уклон 35°
Окна	Сопротивление теплопередаче	Двухкамерный стеклопакет, 0,8 м ² ·°С/Вт

ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков В. И. Теплотехника зданий: учебник для вузов. – М.: Изд-во, 2018.
2. Иванов П. Г., Петров А. С. Архитектурное проектирование малоэтажных жилых домов. – М.: Стройиздат, 2016.
3. Smith J., Brown L. Building Information Modeling: Principles and Practice. – London: Construction Press, 2019.
4. Комнатный, Д. В. Техническая эксплуатация зданий и сооружений : учебное пособие / Д. В. Комнатный. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 318 с.
5. Шерешевский, И. А. Конструирование гражданских зданий : учебное пособие / И. А. Шерешевский. – М. : Архитектура-С, 2017. – 176 с.

REFERENCES

1. Sivkov V. I. Heat engineering of buildings: a textbook for universities. Moscow: Publishing House, 2018.
2. Ivanov P. G., Petrov A. S. Architectural design of low-rise residential buildings. Moscow: Stroyizdat, 2016.
3. Smith J., Brown L. Building Information Modeling: Principles and Practice. London: Construction Press, 2019.
4. Roomny, D. V. Technical operation of buildings and structures : a textbook / D. V. Roomny. Minsk : Higher School, 2021. 318 p.
5. Shereshevsky, I. A. Designing civil buildings: a textbook / I. A. Shereshevsky. Moscow : Architecture, 2017, 176 p.

ЦИФРОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ОБЪЕКТА: ДВУХЭТАЖНЫЙ ЖИЛОЙ ДОМ

КУЛАГА ДАНИИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 1 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научные руководители – Щербо А.Д., преподаватель-стажер кафедры «Мосты и тоннели»

Яковлев Александр Александрович, старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлен цифровой технический паспорт отдельно стоящего двухэтажного жилого дома. Систематизированы общие параметры здания, геометрические характеристики этажей, параметры фасадов (ориентация, отделочные материалы, цвета по RAL, площади окон и дверей) и разрезов. Приведены конструктивные и инженерные характеристики фундамента, наружных стен, перекрытий, кровли и окон с указанием материалов и теплотехнических показателей. Цифровой паспорт обеспечивает структурированное представление проектных данных объекта для задач строительства и последующей эксплуатации.

Ключевые слова: цифровой технический паспорт, жилой дом, BIM, параметры фасадов, конструктивная схема, энергоэффективность, теплотехнический расчёт.

DIGITAL TECHNICAL PASSPORT OF A FACILITY: A TWO-STOREY RESIDENTIAL HOUSE

KULAGA DANIIL ALEKSANDROVICH

1st year student of the department "Bridges and Tunnels"

Scientific supervisors – Shcherbo A.D., trainee lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Yakovlev Alexander Alexandrovich, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents a digital technical passport of a detached two-storey residential house. The general parameters of the building, the geometric characteristics of the floors, the facade parameters (orientation, finishing materials, RAL colours, window and door areas) and the sections are systematised. The structural and engineering characteristics of the foundation, external walls, floors, roof and windows are given, indicating the materials and thermal-performance indicators. The digital passport provides a structured representation of the object's design data for construction and subsequent operation.

Keywords: digital technical passport, residential house, BIM, facade parameters, structural scheme, energy efficiency, thermal performance.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

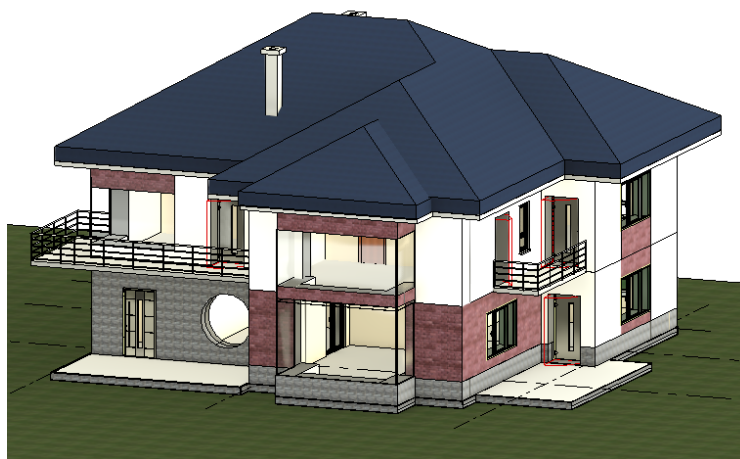


Рисунок 1 – Аксонометрия жилого дома

Таблица 1 – Общие параметры здания

Параметры	Значения	Примечание
Тип объекта	Жилой дом, отдельно стоящий	–
Количество надземных этажей	2	Включая первый и второй этажи
Количество подземных этажей	0	Подвальные и цокольные помещения отсутствуют
Высота от уровня земли до карниза, м	6,03	Измеряется по фасаду
Конструктивная схема	Стеновая	С несущими продольными и поперечными стенами
Класс энергоэффективности	В (высокий)	Согласно теплотехническому расчету по ТКП 45-2.04-43-2006
Срок службы, лет	50	Для основных конструкций
Уровень ответственности здания	2	нормальный

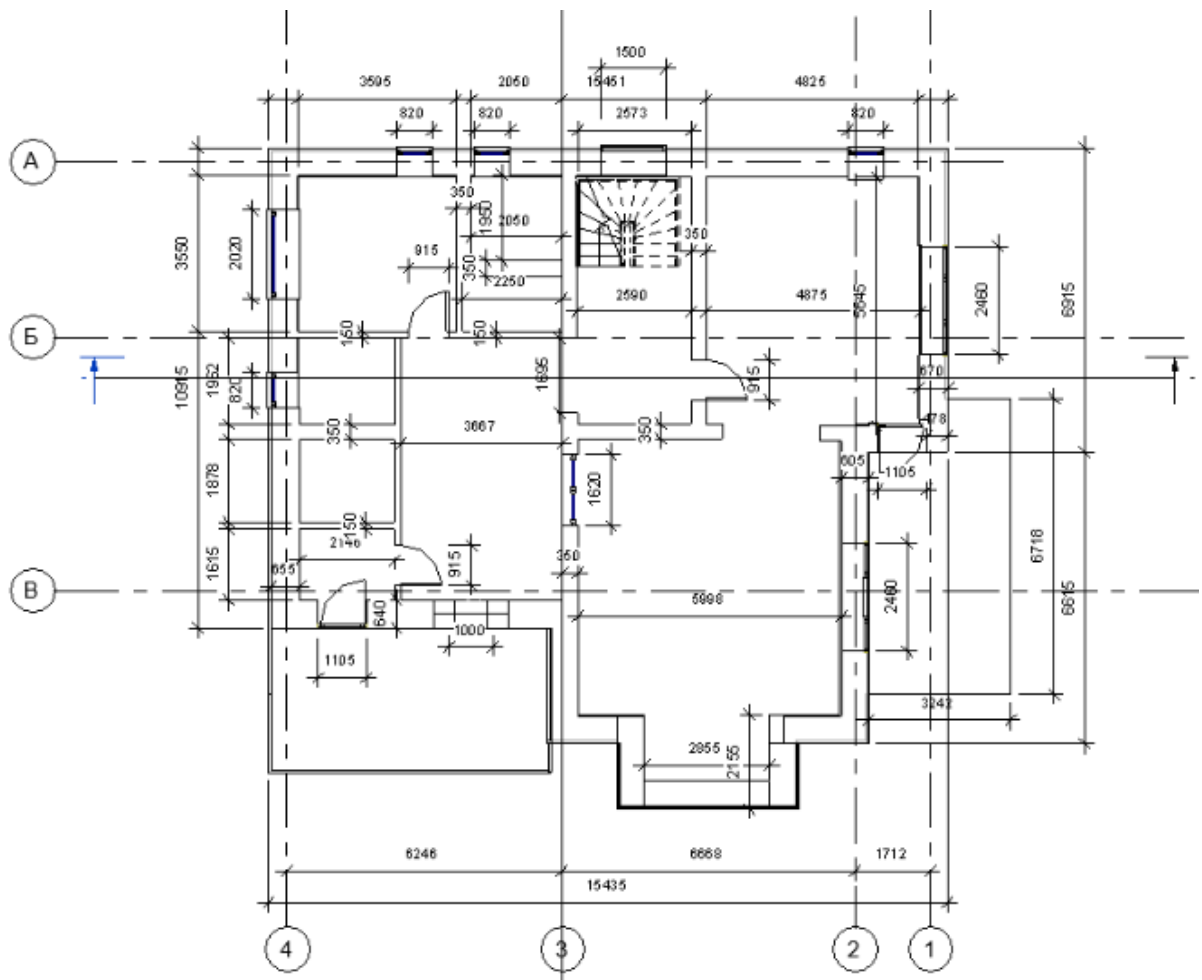


Рисунок 2 – План 1 этажа на отметке +0.000

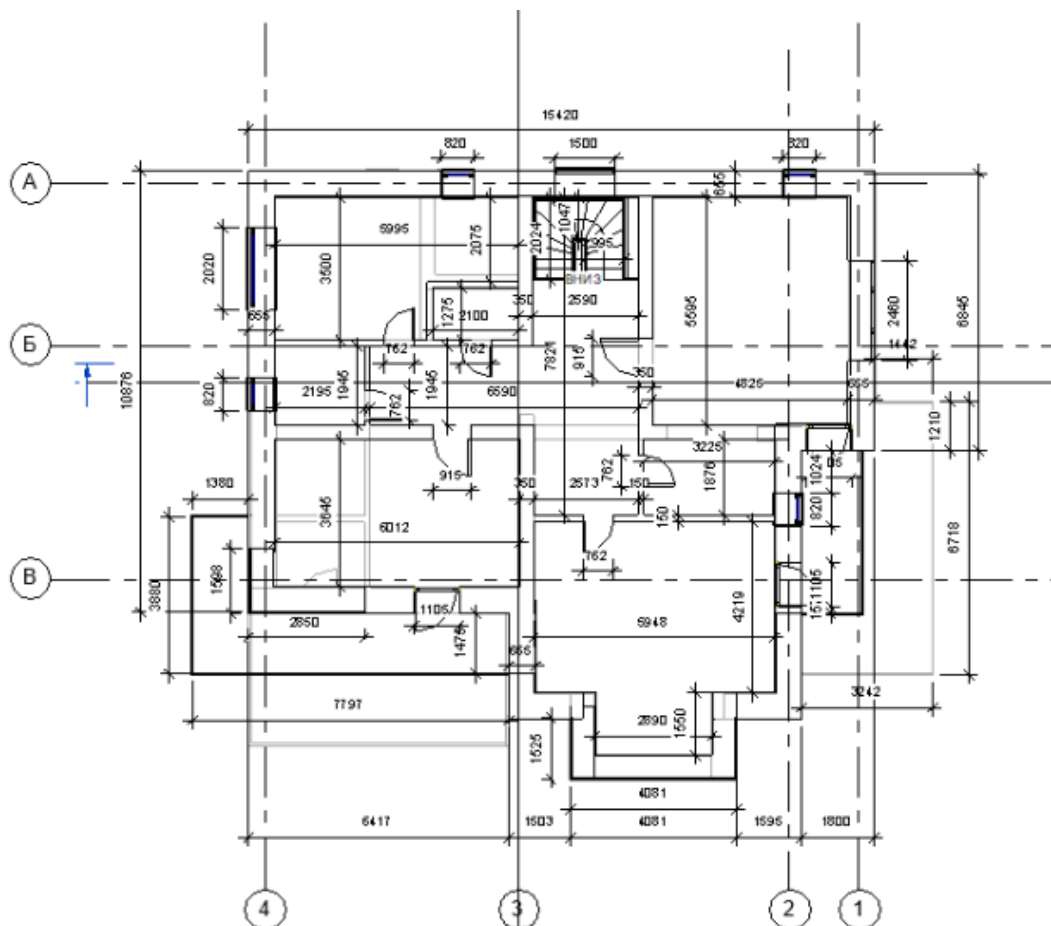


Рисунок 3 – План 2 этажа на отметке +3,005

Таблица 2 – Геометрические параметры

План	Общая площадь, м ²	Жилая площадь, м ²	Высота этажа, м	Отметка пола, м	Периметр наружных стен, м
1-й этаж	140	78,5 (3 жилых помещения)	3,05	+0,00	30
2-й этаж	129	99	6,05	+3,005	25

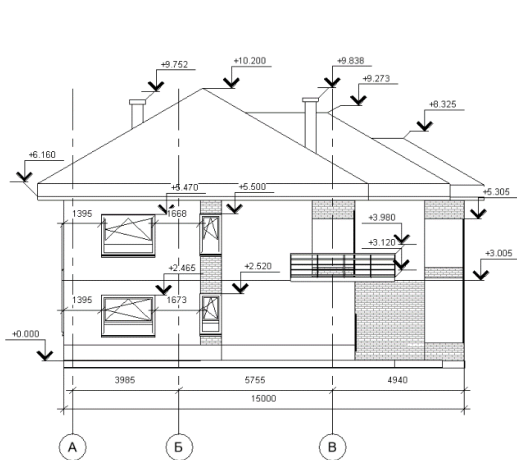


Рисунок 4 – фасад в осях А-В

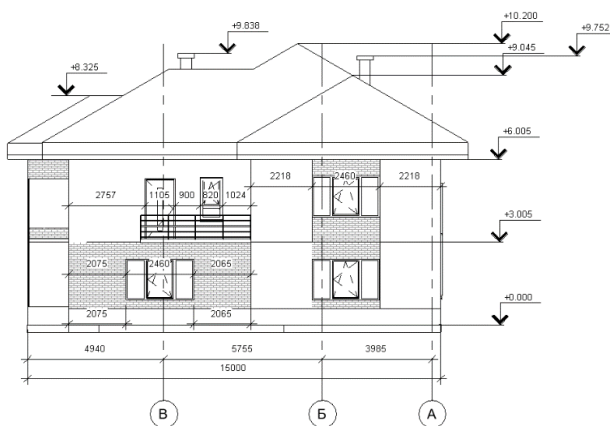


Рисунок 5 – фасад в осях В-А

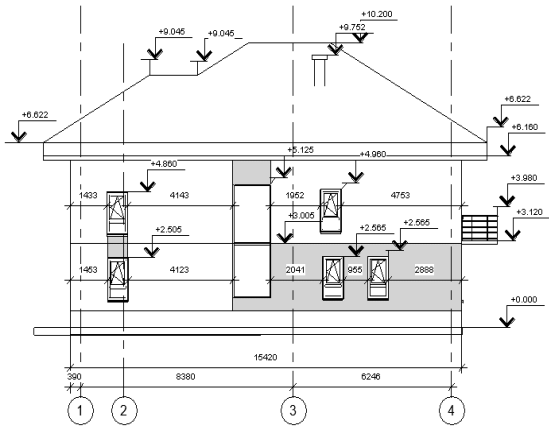


Рисунок 6 – фасад в осях 1-4

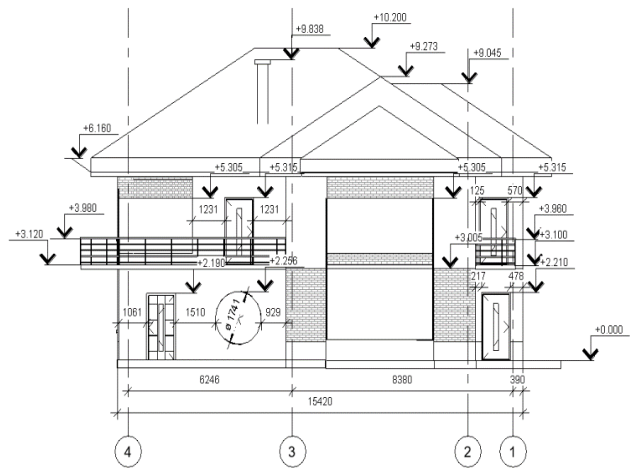


Рисунок 7 – фасад в осях 4-1

Таблица 3 – Параметры фасадов

Фасад в осях	Ориентация	Материал отделки	Цвета по RAL	Площадь окон, м ²	Площадь дверей, м ²	Уклон отмостки, %	Отметка карниза, м
В-А	Ю	Декоративная штукатурка + кирпич+ облицовка камнем	RAL 9003- (Сигнальный белый) RAL 8004- (Медно-коричневый) RAL-7045 (Телегей 1)	12	1,89	5	+6,005
А-В	В	Декоративная штукатурка + кирпич+ облицовка камнем	RAL 9003- (Сигнальный белый) RAL 8004- (Медно-коричневый) RAL-7045 (Телегей 1)	17,43	0	5	+6,005
1-4	З	Декоративная штукатурка+кирпич+ облицовка камнем	RAL 9003- (Сигнальный белый) RAL 8004- (Медно-коричневый) RAL-7045 (Телегей 1)	12,36	0	5	+6,005
4-1	С	Декоративная штукатурка +кирпич+ облицовка камнем+ панорамное остекление	RAL 9003- (Сигнальный белый) RAL 8004- (Медно-коричневый) RAL-7045 (Телегей 1)	23,8	7,56	5	+6,005

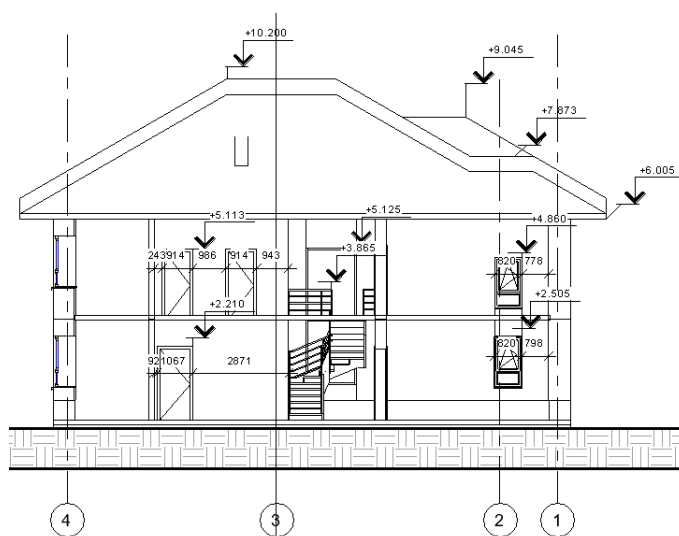


Рисунок 8 – разрез 1-1

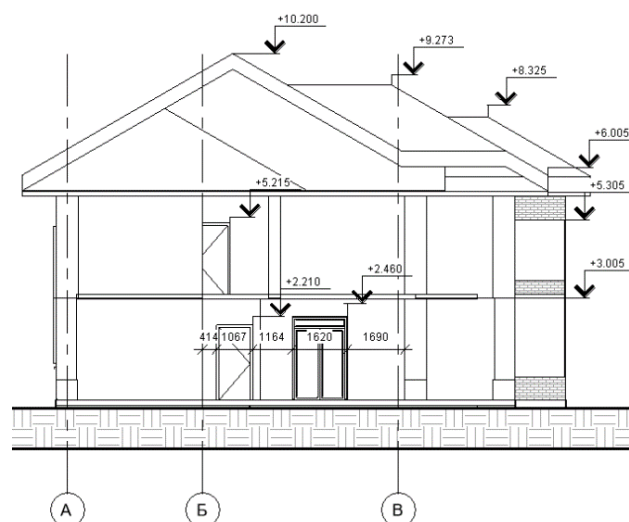


Рисунок 9 – разрез 2-2

Таблица 4 – Параметры разрезов

Разрез	Отметка низа фундамента, м	Толщина ленточного фундамента, м	Толщина перекрытия, м	Уклон кровли, %	Материал кровли	Высота в коньке (от пола 1-го эт.), м
1-1	-1,200	0,15	0,15	35	Интенсивная синяя кровля	6,662
2-2	-1,200	0,15	0,15	35	Интенсивная синяя кровля	6,662

Таблица 5 – Конструктивные и инженерные параметры

Элемент	Характеристика	Значение / Материал
Фундамент	Тип, глубина заложения	Ленточный ж/б, 1,5 м
Стены наружные	Состав (от внутр. к наруж.)	утеплитель 50 мм + кирпич 600 мм
Перекрытия	Тип, звукоизоляция	Сборно-монолитное, 220 мм + стяжка 50 мм
Кровля	Стропильная система, пароизоляция	Деревянная, скатная, уклон 35°
Окна	Сопротивление теплопередаче	Двухкамерный стеклопакет, 0,8 м ² ·°С/Вт

ЛИТЕРАТУРА

1. Перминова, О. И. Современное строительство энергоэффективных зданий в Республике Беларусь / О. И. Перминова, А. В. Шумак, Д. Г. Ливанский // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : сборник статей IV международной научной конференции. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2022. – С. 146–153.

2. Малков, И. И. Энергосбережение в жилищном строительстве. Пассивный и умный дом : учеб.-метод. пособие / И. И. Малков ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 19 с.

3. Лазовский, Е. Д. Строительные конструкции : учебное пособие / Е. Д. Лазовский, С. Н. Леонович. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 450 с.

4. Малоэтажное гражданское здание из мелкоформатных элементов (2010/2012 гг.) / Н. М. Фомичева, Т. С. Журавская

REFERENCES

1. Perminova, O. I. Modern construction of energy-efficient buildings in the Republic of Belarus / O. I. Perminova, A.V. Shumak, D. G. Livansky // Architectural and construction complex: problems, prospects, innovations : collection of articles of the IV International scientific conference. Novopolotsk : Polotsk State University, 2022. pp. 146-153.
2. Malkov, I. I. Energy saving in housing construction. Passive and smart home : studies.- the method. manual / I. I. Malkov ; Ministry of Education of the Republic of Tatarstan. Belarus, Byelorussian State University of Transport– Gomel : BelGUT, 2012– 19 p.
3. Lazovsky, E. D. Building structures: a textbook / E. D. Lazovsky, S. N. Leonovich. – Minsk : IVC of the Ministry of Finance, 2019. – 450 p.
4. Low-rise civil building made of small-sized elements (2010/2012) / N. M. Fomicheva, T. S. Zhuravskaya

СТРОИТЕЛЬСТВО ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ

ЛЕБЕДЕВСКИЙ ВЛАДИСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий лазерного сканирования (LiDAR) при строительстве фундаментных опор, подпорных стен и гидравлических сооружений в Великобритании. Показано, что сканирование используется для контроля исполнительной документации (As-Built съёмка), когда облако точек автоматически сопоставляется с проектной моделью с миллиметровой точностью, и для непрерывного автоматизированного мониторинга деформаций при строительстве вблизи действующей инфраструктуры (линий метрополитена, железных дорог) с мгновенной подачей сигнала тревоги. Для гидротехнического строительства применяется воздушное и батиметрическое сканирование, формирующее цифровые модели рельефа высокой плотности для моделирования зон затопления. Сделан вывод о переходе лазерного сканирования из вспомогательной съёмки в обязательный элемент контроля качества и безопасности.

Ключевые слова: лазерное сканирование, LiDAR, облако точек, исполнительная съёмка, мониторинг деформаций, подпорные стены, гидротехнические сооружения, Великобритания.

CONSTRUCTION OF FOUNDATION SUPPORTS, RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN THE UNITED KINGDOM

LEBEDEVSKIY VLADISLAV MIKHAYLOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of laser scanning (LiDAR) technologies in the construction of foundation supports, retaining walls and hydraulic structures in the United Kingdom. It is shown that scanning is used for as-built documentation control, where the point cloud is automatically compared with the design model at millimeter accuracy, and for continuous automated deformation monitoring during construction near operating infrastructure (metro lines, railways) with instant alarm signaling. For hydraulic construction, aerial and bathymetric scanning is used to form high-density digital terrain models for flood-zone modeling. It is concluded that laser scanning has moved from an auxiliary survey to a mandatory element of quality and safety control.

Keywords: laser scanning, LiDAR, point cloud, as-built survey, deformation monitoring, retaining walls, hydraulic structures, United Kingdom.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство фундаментных опор, подпорных стен и гидравлических сооружений в Великобритании ведётся в условиях жёстких пространственных ограничений, сложных грунтов и строгих нормативных требований, и обеспечить надёжность таких конструкций без высокоточного геодезического контроля невозможно. Ключевым инструментом в британской практике стали технологии лазерного сканирования (LiDAR), позволяющие оперативно получать точные трёхмерные данные об объектах, снижая влияние человеческого фактора и повышая безопасность строительства.

1. Контроль исполнительной документации (As-Built съёмка). После завершения этапа работ – заливки массивной фундаментной плиты, устройства свайного поля или монтажа элементов подпорной стены – выполняется лазерное сканирование объекта. Полученное детальное «облако точек» автоматически сопоставляется с исходной проектной моделью, что позволяет инженерам мгновенно выявлять малейшие отклонения от проектных осей с миллиметровой точностью – это критично для проверки несущей способности фундаментов и подпорных стен до приложения полной эксплуатационной нагрузки (Рисунок 1).

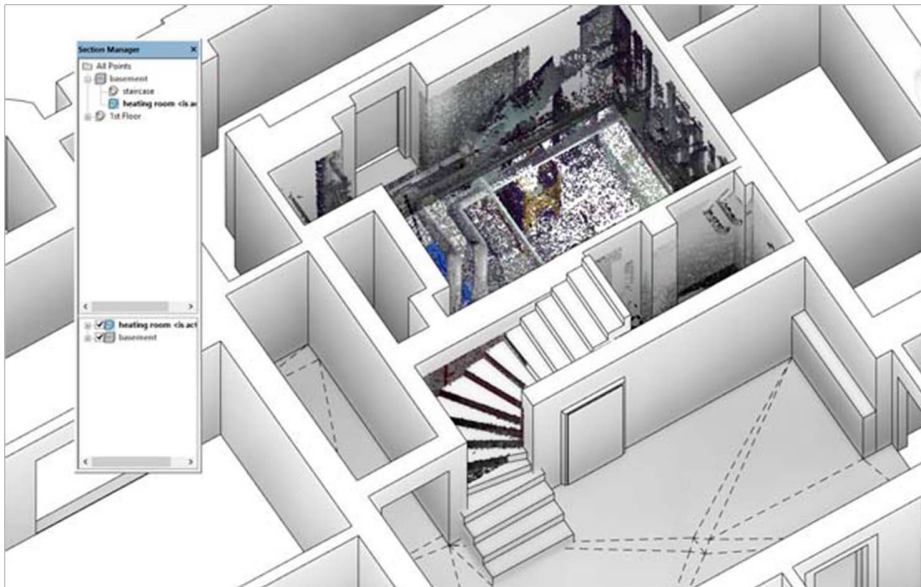


Рисунок 1 – As-Built съёмка

2. Непрерывный автоматизированный мониторинг деформаций. Когда подпорные сооружения или глубокие фундаменты возводят вблизи действующей инфраструктуры – линий лондонского метрополитена или путей Network Rail, – на площадке устанавливают стационарные лазерные сканеры и роботизированные тахеометры. Они ведут непрерывную съёмку конструкций котлована и окружающих зданий в реальном времени, и при смещении подпорной стены или фундамента соседнего дома даже на долю допустимого предела система мгновенно передаёт сигнал тревоги диспетчеру, предотвращая аварию (Рисунок 2).

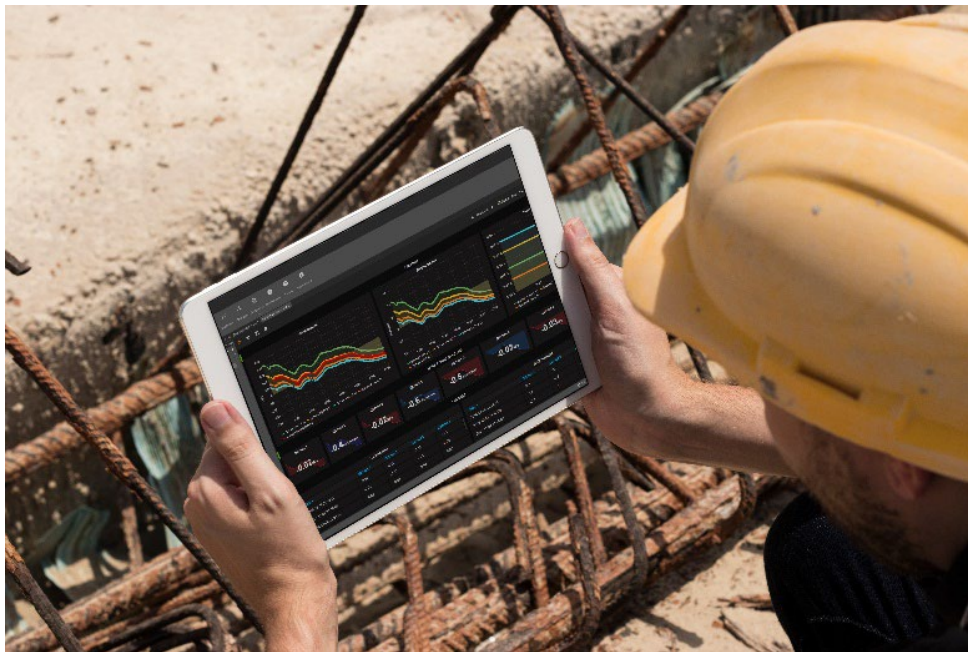


Рисунок 2 – Мониторинг деформаций

3. Высокоточная съёмка рельефа для гидротехнического строительства. Для проектирования дамб, шлюзов и систем защиты от наводнений нужны точные данные о рельефе, поэтому британские специалисты сочетают воздушное лазерное сканирование с БПЛА для картографирования береговой зоны и батиметрическую лазерную съёмку для изучения рельефа дна. По этим данным строят цифровые модели рельефа высокой плотности, необходимые для математического моделирования зон затопления при паводках и штормовых нагонах и расчёта оптимальных параметров и высоты гидротехнических сооружений (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Съёмка рельефа для гидротехнического строительства

ВЫВОДЫ

Анализ применения лазерного сканирования в Великобритании позволяет заключить следующее. Во-первых, технология обеспечивает переход от выборочного контроля отдельных точек к полному трёхмерному анализу всей конструкции, исключая критические ошибки при возведении ответственных фундаментов и подпорных стен. Во-вторых, работа сканирующих систем в реальном времени позволяет строить в сверхстеснённых условиях исторических городов без риска обрушения соседней инфраструктуры. В-третьих, в гидротехническом строительстве лазерное сканирование стало незаменимым инструментом моделирования рисков, позволяя создавать долговечные защитные сооружения на основе точных цифровых моделей местности. В целом британский опыт показывает, что лазерное сканирование перешло из разряда вспомогательной съёмки в статус обязательного элемента контроля качества и безопасности на всех этапах геотехнического строительства.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Bentley Systems. 2026 Year in Infrastructure Awards: Key takeaways for project engineers – 2026. – [Электронный ресурс]. (официальный сайт программного обеспечения для цифровых двойников).
2. Quickbase Blog. What's ahead for construction in 2026: Key shifts and opportunities (AI, Robotics, Labor Shortage). – 2026. – [Электронный ресурс].
3. DroneDeploy. Drones in civil engineering: how teams capture sites faster (LiDAR and Photogrammetry for Earthworks). – 2026. – [Электронный ресурс].
4. ASCE Denver Branch. Expert Lecture Series – AI and Machine Learning in Geotechnical Engineering (Dr. Youssef M. A. Hashash). – 2026. – [Электронный ресурс].
5. AGC Colorado. Best Practices Series – Practical Applications of Virtual Design in Construction (VDC, BIM 4D/5D). – 2026. – [Электронный ресурс].

REFERENCES

1. Bentley Systems. 2026 Year in Infrastructure Awards: Key Takeaways for Project Engineers – 2026. – [Electronic resource]. (Official website of digital twin software).
2. Quickbase Blog. What's Ahead for Construction in 2026: Key Shifts and Opportunities (AI, Robotics, Labor Shortage). – 2026. – [Electronic resource].
3. DroneDeploy. Drones in Civil Engineering: How Teams Capture Sites Faster (LiDAR and Photogrammetry for Earthworks). – 2026. – [Electronic resource].
4. ASCE Denver Branch. Expert Lecture Series – AI and Machine Learning in Geotechnical Engineering (Dr. Youssef M. A. Hashash). – 2026. – [Electronic resource].
5. AGC Colorado. Best Practices Series – Practical Applications of Virtual Design in Construction (VDC, BIM 4D/5D). – 2026. – [Electronic resource].

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ

ЛЕБЕДЬ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: В работе рассматриваются особенности проектирования фундаментных опор, подпорных конструкций и гидротехнических сооружений в Великобритании с учетом сложных геологических и климатических условий. Описано применение BIM-технологий, ИИ-ассистентов, робототехники и лазерного сканирования для повышения эффективности и безопасности строительства. Особое внимание уделено использованию облаков точек LiDAR для контроля геометрии конструкций.

Ключевые слова (RU): Фундаментные опоры, подпорные конструкции, гидротехнические сооружения, BIM, лазерное сканирование, LiDAR, Великобритания.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF FOUNDATION SUPPORTS, RETAINING STRUCTURES AND HYDRAULIC STRUCTURES IN THE UK

LEBED ALEXANDER SERGEYEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract: This paper examines the design of foundation piers, retaining structures, and hydraulic structures in the UK, taking into account challenging geological and climatic conditions. The application of BIM technologies, AI assistants, robotics, and laser scanning to improve construction efficiency and safety is described. Particular attention is paid to the use of LiDAR point clouds for structural geometry verification.

Keywords (EN): Foundation supports, retaining structures, hydraulic structures, BIM, laser scanning, LiDAR, United Kingdom.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство фундаментных опор, подпорных и гидравлических сооружений в Великобритании требует учёта сложных геологических и климатических условий, а также соответствия жёстким нормативным требованиям. Для повышения эффективности и безопасности строительства в Великобритании активно внедряются современные технологии: BIM-технологии, ИИ-ассистенты, робототехника, лазерное сканирование.

В Великобритании чаще всего используют три типа фундаментов: свайные, плитные и ленточные. Свайные применяют на слабых грунтах, когда нагрузку нужно передать на глубокие слои – это типично для Лондона и востока Англии с толстыми слоями глины. Плитные фундаменты хороши там, где нужно равномерно распределить нагрузку по большой площади, поэтому их часто ставят в многоквартирных домах. Ленточные фундаменты проще и дешевле, их выбирают для малоэтажных зданий на устойчивых грунтах, когда нагрузки небольшие и глубина промерзания нормальная.

Для предотвращения осыпания насыпи обычно применяют подпорные стенки, которые удерживают грунт и повышают устойчивость откоса. Стенки бывают разные – монолитные бетонные, блочные, анкеры и конструкции с геосинтетикой; выбор зависит от типа грунта, нагрузки и доступного места. При проектировании учитывают влияние воды и нагрузку от транспорта.

В работах по фундаментам, подпорным стенам и гидросооружениям ИИ применяют для анализа больших объёмов данных, распознавания дефектов на фото и лазерных сканах, а также для прогнозирования риска деформаций и просадок. В целом ИИ выступает как полезный помощник, повышая точность и безопасность работ, но не как самостоятельный исполнитель.

Лазерное сканирование и LiDAR (рис 1) позволяют быстро получать «облака точек» с наземных сканеров, мобильных систем или дронов: прибор посылает лазерные импульсы и по времени их возвращения вычисляет координаты множества точек на поверхности. Эти облака используют, чтобы сверить реальное

состояние с проектной моделью и заметить отклонения, а при повторных съёмках – чтобы отслеживать деформации и сдвиги во времени. На их основе можно получить детализированные 3D-модели, которые затем интегрируют в BIM для дальнейшей работы и управления объектом.

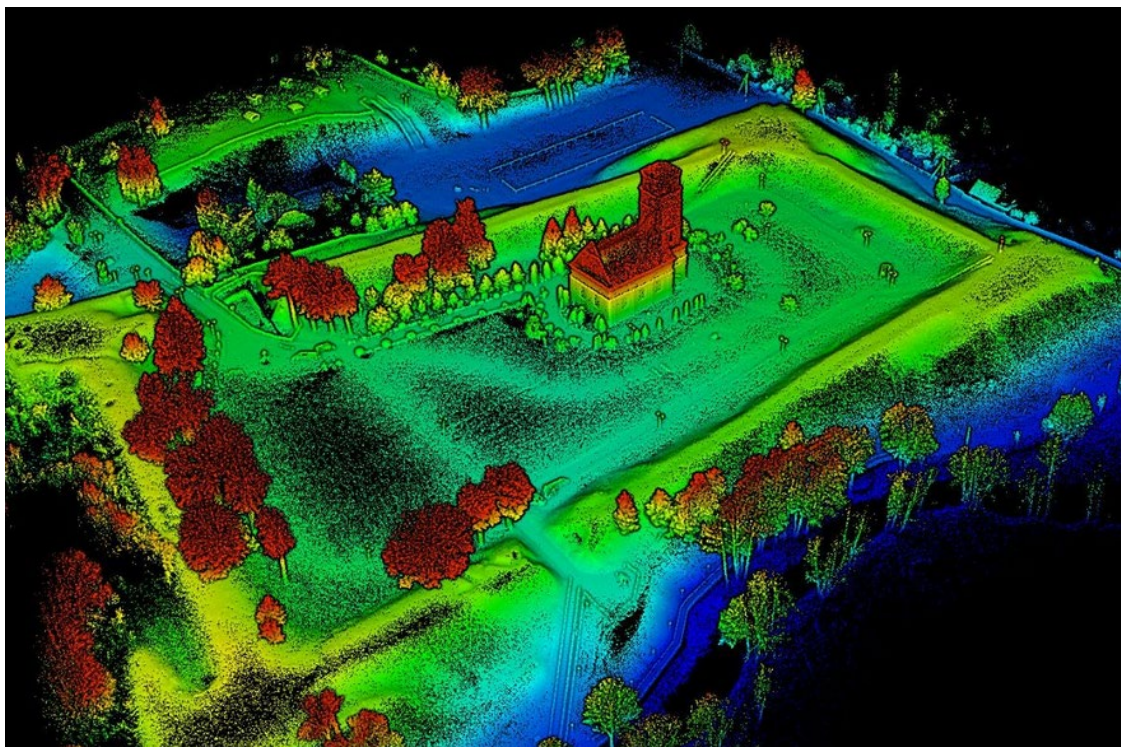


Рисунок 1 – Облако точек лазерного сканирования (LiDAR)

ВЫВОДЫ

Строительство фундаментных опор, подпорных и гидравлических сооружений в Великобритании требует комплексного подхода, учитывающего геологические и климатические условия, а также строгие нормативные требования. Внедрение современных технологий, таких как BIM, ИИ, робототехника и лазерное сканирование, значительно повышает эффективность и безопасность строительных процессов. Разнообразие типов фундаментов, включая свайные, плитные и ленточные, позволяет адаптировать проекты к условиям грунта и нагрузкам. Применение ИИ и лазерных технологий для анализа данных и мониторинга состояния конструкций способствует более точному и безопасному строительству.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Геодезическое обеспечение строительства: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. – URL : https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/3834/Geodezicheskoe_obespechenie_stroitelstva.pdf?sequence=10&isAllowed=y
2. Технология высокоточного монтажа кинематической сейсмоизолирующей опоры [Электронный ресурс]. – URL : <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-vysokotochnogo-montazha-kinematcheskoy-seysmoizoliruyushey-opory/viewer>

REFERENCES

1. Geodetic Support for Construction: A Tutorial [Electronic resource]. – URL: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/3834/Geodezicheskoe_obespechenie_stroitelstva.pdf?sequence=10&isAllowed=y
2. Technology for High-Precision Installation of Kinematic Seismic Isolation Bearings [Electronic resource]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-vysokotochnogo-montazha-kinematcheskoy-seysmoizoliruyushey-opory/viewer>

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ

ЛЕВКОВСКИЙ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение искусственного интеллекта при строительстве фундаментных опор, подпорных и гидротехнических сооружений в Великобритании. Показано, что ИИ обрабатывает данные геологических изысканий, прогнозирует поведение грунта и осадки и подбирает оптимальный тип фундамента, интегрируясь в BIM-модели. Для подпорных сооружений алгоритмы выполняют численное моделирование устойчивости и анализ бокового давления грунта, а для гидротехнических – гидродинамическое моделирование течений и уровней воды с учётом климатических изменений. Сделан вывод о том, что ИИ снижает число расчётных ошибок и ускоряет выбор решений, не заменяя инженера, чья роль смещается к контролю и интерпретации результатов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, фундаментные опоры, подпорные стены, гидротехнические сооружения, BIM, численное моделирование, осадки, Великобритания.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONSTRUCTION OF FOUNDATION SUPPORTS, RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN THE UNITED KINGDOM

LEVKOVSKIY ANDREY VLADIMIROVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of artificial intelligence in the construction of foundation supports, retaining and hydraulic structures in the United Kingdom. It is shown that AI processes geological survey data, predicts soil behavior and settlement and selects the optimal type of foundation, integrating into BIM models. For retaining structures, algorithms perform numerical stability modeling and analysis of lateral earth pressure, and for hydraulic structures – hydrodynamic modeling of currents and water levels taking climate change into account. It is concluded that AI reduces the number of design errors and speeds up decision-making without replacing the engineer, whose role shifts toward control and interpretation of results.

Keywords: artificial intelligence, foundation supports, retaining walls, hydraulic structures, BIM, numerical modeling, settlement, United Kingdom.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство фундаментных опор, подпорных и гидротехнических сооружений – важная часть современной строительной отрасли: эти объекты возводят при сооружении мостов, дорог, зданий, портов и дамб, и от их надёжности зависят безопасность эксплуатации и устойчивость конструкций. Великобритания, с её влажным климатом, обилием рек и протяжённым морским побережьем, обладает большим опытом инженерного строительства и для защиты территорий от разрушения и затопления активно возводит гидротехнические и подпорные сооружения, применяя современные технологии устройства фундаментных опор.

Фундаментные опоры в Великобритании проектируют с учётом сложных грунтов – глинистых и водонасыщенных слоёв, высокого уровня грунтовых вод; широко применяются свайные, буронабивные сваи и комбинированные системы оснований, передающие нагрузку на более устойчивые слои. Искусственный интеллект здесь обрабатывает данные геологических изысканий: на больших массивах он прогнозирует поведение грунта, оценивает осадки и подбирает оптимальный тип фундамента, а интеграция в BIM-модели позволяет автоматически корректировать проектные решения при изменении входных данных.

Подпорные сооружения применяют в дорожном строительстве, при укреплении берегов и в городской застройке с перепадами высот; основные типы – железобетонные гравитационные стены, анкерные си-

стемы и шпунтовые ограждения, а их расчёт связан с анализом бокового давления грунта и водонасыщения. ИИ выполняет численное моделирование устойчивости, перебирая десятки вариантов нагрузок и геометрии, что сокращает сроки проектирования и снижает вероятность ошибок – это особенно ценно в плотной застройке Лондона, где важна точная оценка влияния новых сооружений на существующую инфраструктуру.

Гидротехнические сооружения Великобритании включают дамбы, шлюзы, волнорезы и системы защиты от наводнений; их проектируют с учётом климатических изменений, повышения уровня моря и экстремальной погоды. ИИ применяют для гидродинамического моделирования: обрабатывая данные о течениях, уровне воды и погоде, он формирует прогнозные модели поведения водных масс, что позволяет оптимизировать форму защитных сооружений и повысить их устойчивость, а в ряде проектов – вести автоматический мониторинг состояния дамб и береговых укреплений. Таким образом, искусственный интеллект встраивается в инженерный цикл от анализа исходных данных до контроля эксплуатации.



Рисунок 1 – Применение искусственного интеллекта при строительстве фундаментных опор, подпорных и гидротехнических сооружений в Великобритании

ВЫВОДЫ

С инженерной точки зрения применение искусственного интеллекта снижает число расчётных ошибок и ускоряет выбор конструктивных решений, однако полностью исключить участие инженера невозможно: окончательные решения требуют профессиональной оценки и проверки. Роль ИИ будет усиливаться, особенно в гидротехническом строительстве и проектировании фундаментов в сложных грунтах, а инженер постепенно перейдёт от ручных расчётов к контролю и интерпретации результатов интеллектуальных систем – это изменит характер инженерной работы, сместив её в сторону аналитики и управления проектными решениями, но не заменит её полностью.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Jallow H., Renukappa S., Suresh S., Rahimian F. Artificial Intelligence and the UK Construction Industry – Empirical Study (2022) <https://wlv.openrepository.com/items/97d27f5e-3302-4e5c-8ff8-8d8fb2a429c6>
2. Taiwo R. и др. Generative AI in the Construction Industry: A State-of-the-art Analysis (2024) <https://arxiv.org/abs/2402.09939>

REFERENCES

1. Jallow H., Renukappa S., Suresh S., Rahimian F. Artificial Intelligence and the UK Construction Industry – Empirical Study (2022) <https://wlv.openrepository.com/items/97d27f5e-3302-4e5c-8ff8-8d8fb2a429c6>
2. Taiwo R. и др. Generative AI in the Construction Industry: A State-of-the-art Analysis (2024) <https://arxiv.org/abs/2402.09939>

[УДК 624.131.524:004.8](#)

ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ, ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ВЕЛИКОБРИТАНИИ

ЛИННИК РОМАН ПАВЛОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается опыт Великобритании по внедрению цифровых технологий – BIM, лазерного сканирования и искусственного интеллекта – при строительстве фундаментных опор гидротехнических и подпорных сооружений. Показано, что BIM-моделирование объединяет геометрию, характеристики грунтов и материалов в единой цифровой модели, лазерное сканирование (наземное и с БПЛА) обеспечивает высокоточный контроль рельефа и деформаций, а ИИ прогнозирует осадки и изменение напряжённого состояния грунта. Описано применение цифровых двойников для непрерывного мониторинга состояния объектов и строительной робототехники для повышения точности и безопасности работ.

Ключевые слова: BIM-технологии, лазерное сканирование, LiDAR, искусственный интеллект, цифровые двойники, робототехника, фундаментные опоры, Великобритания.

THE USE OF BIM TECHNOLOGIES, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LASER SCANNING IN THE CONSTRUCTION OF FOUNDATION PILLARS OF HYDRAULIC AND RETAINING STRUCTURES IN THE UK

LINNIK ROMAN PAVLOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper examines the UK's experience in implementing digital technologies – BIM, laser scanning and artificial intelligence – in the construction of foundation supports of hydraulic and retaining structures. It is shown that BIM modeling combines geometry, soil and material properties in a single digital model, laser scanning (terrestrial and UAV-based) provides high-precision control of terrain and deformations, and AI predicts settlement and changes in the stress state of the soil. The use of digital twins for continuous monitoring of facilities and construction robotics to improve accuracy and safety is described.

Keywords: BIM technologies, laser scanning, LiDAR, artificial intelligence, digital twins, robotics, foundation supports, United Kingdom.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Великобритания – один из европейских лидеров по внедрению цифровых технологий в строительство, и особое значение цифровизация приобретает при возведении гидротехнических сооружений, подпорных стен и фундаментных опор в прибрежных районах, речных долинах и зонах подтопления. В 2026 году британские компании активно применяют информационное моделирование (BIM), лазерное сканирование, искусственный интеллект и роботизированные системы для повышения надёжности и долговечности инженерных сооружений.

Ключевой инструмент проектирования – BIM-моделирование. В отличие от традиционного подхода, оно объединяет в единой цифровой модели геометрию объекта, характеристики грунтов и материалов и данные о строительных процессах. При проектировании фундаментных опор подпорных стен и гидротехнических сооружений это позволяет заранее оценить влияние нагрузок, спрогнозировать деформации основания и выбрать наиболее эффективную конструктивную схему, снижая вероятность ошибок и затраты на последующие корректировки.



Рисунок 1 – Использование BIM-моделей в дорожном строительстве

Важную роль играет лазерное сканирование. На подготовительном этапе беспилотные аппараты и наземные сканеры формируют высокоточную трёхмерную модель площадки, по которой анализируют рельеф, выявляют зоны возможных оползней и контролируют устойчивость склонов. При возведении подпорных сооружений сканирование фиксирует даже незначительные смещения грунтового массива, позволяя своевременно корректировать проектные решения.

Широко распространены и системы искусственного интеллекта, встроенные в мониторинг и управление строительством. ИИ анализирует данные геодезических измерений, результаты испытаний грунтов и показания датчиков на технике, прогнозируя осадки фундаментов, вероятность деформаций и изменение напряжённого состояния массива – это особенно важно при строительстве в районах с высоким уровнем грунтовых вод и сложными инженерно-геологическими условиями.

Перспективное направление – цифровые двойники: после завершения строительства цифровая модель продолжает получать данные от датчиков в фундаментных конструкциях, что позволяет контролировать техническое состояние объекта в реальном времени и заранее выявлять опасные изменения. В Великобритании двойники активно внедряют при модернизации набережных, берегозащитных сооружений и портовой инфраструктуры. Заметное развитие получила и строительная робототехника – роботизированные комплексы выполняют геодезические работы, контроль качества бетонных поверхностей и автоматизированный мониторинг площадки, снижая влияние человеческого фактора и сокращая сроки.

ВЫВОДЫ

Таким образом, опыт Великобритании показывает, что сочетание BIM, лазерного сканирования, искусственного интеллекта и робототехники формирует новый подход к строительству фундаментных опор гидротехнических и подпорных сооружений – переход от управления на основе периодических проверок к непрерывному цифровому контролю на всех этапах жизненного цикла. Дальнейшее развитие этих технологий ведёт к созданию интегрированных систем, способных самостоятельно анализировать состояние сооружений, прогнозировать дефекты и предлагать решения ещё до аварийных ситуаций, что повышает безопасность и экономическую эффективность.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. – Hoboken: Wiley, 2023.

2. UK National Digital Twin Programme. Digital Built Britain Report. – London, 2025.
3. Construction Leadership Council. Industry Innovation Strategy 2026. – London, 2026.
4. Smith P. BIM and the Digital Transformation of Infrastructure Projects // Journal of Civil Engineering. – 2025. – Vol. 18. – P. 55–67.

REFERENCES

1. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. – Hoboken: Wiley, 2023.
2. UK National Digital Twin Programme. Digital Built Britain Report. – London, 2025.
3. Construction Leadership Council. Industry Innovation Strategy 2026. – London, 2026.
4. Smith P. BIM and the Digital Transformation of Infrastructure Projects // Journal of Civil Engineering. – 2025. – Vol. 18. – P. 55–67.

СТРОИТЕЛЬСТВО ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ – ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

ЛОПУНОВА НИКОЛИНА ВЛАДИМИРОВНА

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение лазерного сканирования при возведении плитных фундаментов. Описан принцип работы 3D-сканера, формирующего облако точек путём бесконтактного измерения расстояний до поверхности объекта. Показано, что при устройстве плитного фундамента сканирование выполняется на основных этапах: при контроле котлована и подушки с расчётом необходимого объёма бетона, проверке армокаркаса и защитного слоя, а также при исполнительной съёмке готовой поверхности. Отмечено, что в отличие от ручных замеров и нивелирования технология обеспечивает сплошной контроль геометрии и минимизирует влияние человеческого фактора.

Ключевые слова: плитный фундамент, лазерное сканирование, 3D-сканер, облако точек, армокаркас, исполнительная съёмка, контроль геометрии.

CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS USING LASER SCANNING

LOPUNOVA NIKOLINA VLADIMIROVNA

2nd year student of the department "Highways"

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., senior lecturer of the department "Bridges and Tunnels"
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of laser scanning in the construction of mat foundations. The operating principle of a 3D scanner that forms a point cloud through non-contact measurement of distances to the object's surface is described. It is shown that, in the construction of a mat foundation, scanning is performed at the main stages: controlling the pit and the cushion with calculation of the required concrete volume, checking the reinforcement cage and the protective layer, and the as-built survey of the finished surface. It is noted that, unlike manual measurements and levelling, the technology provides continuous geometry control and minimises the influence of the human factor.

Keywords: mat foundation, laser scanning, 3D scanner, point cloud, reinforcement cage, as-built survey, geometry control.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Лазерное сканирование в строительстве – современная технология создания высокоточных 3D-моделей. Специальные сканеры измеряют расстояние до объекта и формируют «облако точек», которое используется для дальнейшего проектирования (рисунок 1).



Рисунок 1 – Лазерное сканирование

По принципу действия технология близка к радару: лазерный луч заданной частоты отражается от вращающегося зеркала, достигает цели и возвращается в исходное положение; при одновременном излучении нескольких лучей удаётся получить сведения о крупных деталях объекта. 3D-сканеры просты в применении, поскольку работают бесконтактно и оснащены подвижной измерительной головкой, вращающейся по горизонтали и вертикали на 360°, и не требуют дополнительного оборудования. Их используют при работе со зданиями, внутренней отделке, а также при разметке фундамента.

Плитный фундамент – это монолитное железобетонное основание, заливаемое под всю площадь будущего здания. При работе с ним сначала сканируют котлован и подушку, по результатам чего рассчитывают необходимый объём бетона; на втором этапе контролируют армокаркас – его положение и защитный слой; завершает работу исполнительная съёмка бетона, в ходе которой сканер строит 3D-модель поверхности.

Перед ручными замерами у лазерного сканирования есть преимущества: сканируется вся поверхность плиты, тогда как нивелиром снимаются лишь отдельные точки, а главное – вероятность ошибки крайне мала, поскольку исключается человеческий фактор (рисунок 2).

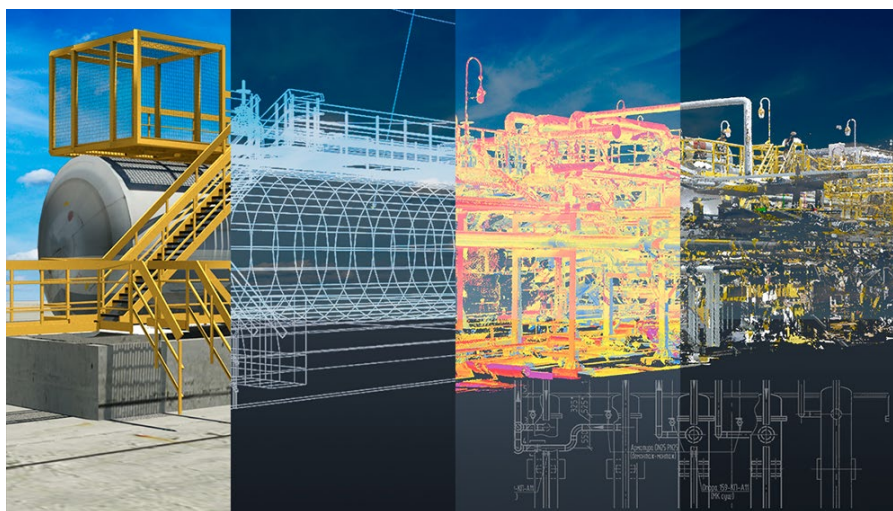


Рисунок 2 – Лазерное 3D-сканирование

ВЫВОДЫ

Лазерное сканирование – высокоточная и эффективная современная технология создания 3D-моделей в строительстве. В отличие от ручных замеров и нивелирования, оно охватывает всю поверхность объекта (например, фундаментной плиты) и сводит к минимуму вероятность ошибок. Применение 3D-сканеров на всех этапах – от расчёта объёма котлована до контрольной съёмки бетона – обеспечивает надёжный контроль геометрии армокаркаса и готового основания, что делает технологию незаменимой при работе с фундаментами, отделке и разметке.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Фомин Н.И., Исупов Н.С. «Применение лазерного сканирования для определения фактического объёма бетонных работ: подход Scan-vs-BIM» (дата обращения 08.05.2026)
2. Рожков А.В. «Применение лазерного сканирования при возведении монолитного каркаса здания» (дата обращения: 12.05.2026)

REFERENCES

1. Fomin N.I., Isupov N.S. "The use of laser scanning to determine the actual volume of concrete work: the Scan-vs-BIM approach" (accessed 05/08/2026)
2. Rozhkov A.V. "The use of laser scanning in the construction of a monolithic building frame" (accessed: 05/12/2026)

[УДК 624.131.524:004.8](#)

УМНАЯ СТРОЙКА: РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ПОДГОТОВКИ ОСНОВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ РОБОТОТЕХНИКИ (ЯПОНИЯ)

ЛУКАШОНОК НИКОЛАЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе анализируется применение робототехники для решения проблем строительной отрасли Японии, связанных со старением населения, падением рождаемости и снижением экономической продуктивности. Рассмотрен опыт компании Komatsu, внедрившей сервис «умной стройки» (Smart Construction) с автономными бульдозерами и экскаваторами, действия которых корректируются дронами Skycatch, выполняющими трёхмерное сканирование площадки в реальном времени. Описан прототип человекоподобного строительного робота HRP-5P, разработанного институтом AIST. Отмечены институциональные и социальные барьеры на пути «робореволюции», в том числе сложность коммерциализации прототипов и высокая конкуренция на рынке промышленных роботов.

Ключевые слова: робототехника, умная стройка, Smart Construction, Komatsu, беспилотные летательные аппараты, робот HRP-5P, автоматизация строительства, Япония.

SMART CONSTRUCTION: SOLVING THE PROBLEMS OF FOUNDATION CONSTRUCTION IN JAPAN WITH ROBOTICS

LUKASHONOK NIKOLAY ALEKSANDROVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper analyses the application of robotics to solving the problems of the Japanese construction industry associated with an ageing population, declining birth rate and falling economic productivity. The experience of Komatsu, which has introduced a «Smart Construction» service with autonomous bulldozers and excavators whose actions are corrected by Skycatch drones performing real-time 3D site scanning, is considered. The prototype of the HRP-5P humanoid construction robot developed by the AIST institute is described. Institutional and social barriers to the «robot revolution» are noted, including the difficulty of commercialising prototypes and strong competition in the industrial-robot market.

Keywords: robotics, smart construction, Komatsu, unmanned aerial vehicles, HRP-5P robot, construction automation, Japan.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В работе анализируется применение робототехники для решения проблем, связанных с падением рождаемости, старением населения и снижением экономической продуктивности в Японии.

В поисках выхода компания Komatsu начала развивать строительный сервис, который называет «умной стройкой» (Smart Construction). Команда роботизированных бульдозеров и экскаваторов расчищает площадку без человека за рулём, а их действия корректирует группа беспилотных летательных аппаратов, в реальном времени сканирующих рабочее пространство в трёх измерениях и отслеживающих перемещение больших объёмов грунта и бетона. Применение дронов Skycatch позволило Komatsu резко снизить погрешность и существенно сократить время картографирования площадки (рисунок 1).



Рисунок 1 – Цифровизация строительной отрасли – работа команды Smart Construction

В 2018 году японский Институт передовых промышленных наук и технологий (AIST) представил прототип робота HRP-5P, предназначенного для выполнения отдельных работ на строительных площадках в условиях дефицита рабочей силы. Робот и управляющее им программное обеспечение разрабатывались с максимальным копированием движений человека в сложной среде строящихся объектов (рисунок 2).



Рисунок 2 – Опытный образец - Робот HRP-5P

ВЫВОДЫ

Однако, несмотря на мощную производственную базу и накопленный опыт автоматизации, на пути к «робореволюции» Японии предстоит преодолеть ряд институциональных и социальных препятствий:

- трудности с превращением прототипов в коммерчески доступные продукты;
- снижение интереса японцев к технологическим профессиям;
- сильную конкуренцию на рынке промышленных роботов.

Таким образом, чтобы японская «робореволюция» состоялась, потребуется снять ряд барьеров, часть которых имеет глубокие культурные корни и потому едва ли преодолима быстро.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. ТЭО Строительство Пскемской ГЭС на реке Пскем в Бостанлыкском районе Ташкентской области. Том 1. Техническая часть. Общая пояснительная записка № 1921-Т1. Тошкент 2020.
2. Баранов, А.Н. Геодезия в тоннелестроении, часть I / А.Н. Баранов, К.И. Егунов, Е.И. Зельцер и др. / М.: Изд-во геодезической и картографической литературы, 1952. - 503с.
3. Лиманов, Ю.А. Содержание и реконструкция тоннелей. / Ю.А. Лиманов, В.А. Подчекаев, Н.М. Корольков и др.- М.: Транспорт, 1976.- 192 с.

REFERENCES

1. Feasibility study for the construction of the Pskem HPP on the Pskem River in the Bostanlyk district of the Tashkent region. Volume 1. Technical part. General Explanatory Note No. 1921-T1. Tashkent 2020.
2. Baranov, A.N. Geodesy in tunneling, part I / A.N. Baranov, K.I. Egunov, E.I. Zeltser et al. / Moscow: Publishing House of geodetic and cartographic literature, 1952. - 503s.
3. Limanov, Yu.A. Maintenance and reconstruction of tunnels. / Yu.A. Limanov, V.A. Podchekaev, N.M. Korolkov, and others, Moscow: Transport, 1976, 192 p.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДПОРНЫХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В СОВРЕМЕННОМ РОССИЙСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

МАТИНЧИК ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Тезисы посвящены анализу современных методов строительства подпорных и гидротехнических сооружений в России. Рассмотрены инновационные технологии: применение геосинтетических материалов, подводное бетонирование, цифровизация процессов через BIM-технологии и геоинформационные системы. Освещены вопросы нормативно-правового регулирования и перспективы развития отрасли в условиях ужесточения экологических требований.

Ключевые слова: подпорные сооружения, гидротехнические сооружения, BIM-технологии, геосинтетика, цифровизация строительства, нормативное регулирование, Россия.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR THE CONSTRUCTION OF RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN MODERN RUSSIAN CONSTRUCTION

MATINCHIK DMITRIY IVANOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The theses are devoted to the analysis of modern methods of construction of retaining and hydraulic structures in Russia. Innovative technologies such as the use of geosynthetic materials, underwater concreting, and the digitalization of processes through BIM technologies and geoinformation systems are considered. The issues of regulatory regulation and prospects for the development of the industry under stricter environmental requirements are highlighted.

Keywords: retaining structures, hydraulic structures, BIM technologies, geosynthetics, digitalization of construction, regulatory framework, Russia.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Современное состояние и актуальность проблемы

– В России эксплуатируется значительный парк гидротехнических сооружений (ГТС), часть которого нуждается в реконструкции или замене.

– Развитие транспортной и городской инфраструктуры увеличивает объёмы строительства подпорных стенок, берегоукреплений и дренажных систем.

– Ключевые задачи отрасли – повышение долговечности, сокращение сроков строительства и снижение экологического воздействия.

2. Инновационные технологии возведения подпорных сооружений

– Применение сборно-монолитных и преднапряжённых железобетонных конструкций с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

– Использование геосинтетических материалов (георешёток, геотекстиля) для армирования грунтовых массивов и устройства гравитационных подпорных стенок.

– Развитие «зелёных» подпорных стен, сочетающих инженерные конструкции с озеленением (биоинженерные методы).

3. Прогрессивные методы строительства гидротехнических сооружений

– Внедрение наплавных и понтонных технологий при работах в водной среде.

– Подводное бетонирование и применение противофильтрационных материалов (бентонитовых матов, геомембран).

– Модернизация укрепления русел и берегов: габионные конструкции, маты из геосинтетиков, каменно-набросные сооружения с цементацией.

4. Цифровизация проектирования и строительного контроля

- Внедрение BIM-технологий на стадиях проектирования и сопровождения строительства ГТС и подпорных сооружений.
 - Использование геоинформационных систем (ГИС) для мониторинга состояния объектов и прогнозирования рисков.
 - Применение беспилотных летательных аппаратов и лазерного сканирования для контроля геометрии и выявления деформаций.
5. Нормативно-правовое регулирование и тенденции развития
- Анализ действующих сводов правил (СП) и ГОСТов в области проектирования гидротехнических и подпорных сооружений.
 - Переход к национальным стандартам на базе еврокодов и адаптация зарубежного опыта к российским условиям.
 - Ужесточение требований к экологической безопасности и устойчивости инфраструктурных объектов.
6. Практический опыт и перспективы
- Обзор реализованных проектов в разных климатических зонах России (Крымский мост, объекты Северного морского пути, берегоукрепление в Санкт-Петербурге и др.).
 - Перспективные направления: новые композитные материалы, роботизированные технологии, аддитивное производство элементов сооружений.
 - Необходимость подготовки кадров и развития научно-исследовательской базы гидротехнического строительства.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа студентов и ученых Пермского Политеха автоматизирует инженерные расчеты армогрунтовых подпорных стен // CNews. – 2025.
2. Конференция «Гидротехнические сооружения: современные технологии проектирования, строительства и эксплуатации» // Строительная газета. – 2026.
3. СП 38.13330.2018 «Ограждения глубоких котлованов и подпорные стенки».

REFERENCES

1. The program of students and scientists of Perm Polytechnic University automates engineering calculations of armored retaining walls // CNews. – 2025.
2. Conference "Hydraulic engineering structures: modern technologies of design, construction and operation" // Stroitel'naya gazeta. – 2026.
3. SP 38.13330.2018 "Fences of deep pits and retaining walls" .

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ОСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА: ОТ BIM-МОДЕЛИРОВАНИЯ ДО ГЕНЕРАТИВНОГО ДИЗАЙНА

МИЦУЛЯ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научные руководители – Савина Е.Н. ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Кулан А.В., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается автоматизация проектирования и расчёта несущих конструкций пассажирской остановки в условиях сложного рельефа (ландшафтный комплекс «Мозырские яры», Гомельская область). Для реализации задачи использован комплекс программного обеспечения: Google Earth Pro для анализа топографии и геопривязки, Autodesk Revit для построения параметрической BIM-модели, SCAD Office для конечно-элементного анализа и нейросетевые генераторы изображений для визуализации. Показано, что автоматизированный перенос геометрии в расчётный комплекс сокращает время подбора сечений металлических элементов с нескольких дней до нескольких часов. Сделан вывод о формировании единой цифровой проектной среды, повышающей расчётную обоснованность нестандартных решений и гармонично вписывающей объект в природный ландшафт.

Ключевые слова: остановочный пункт, сложный рельеф, BIM, Autodesk Revit, SCAD Office, метод конечных элементов, генеративный дизайн, Мозырские яры.

AUTOMATION OF THE DESIGN AND ANALYSIS OF THE LOAD-BEARING STRUCTURES OF A BUS STOP IN COMPLEX TERRAIN: FROM BIM MODELING TO GENERATIVE DESIGN

MITSULYA EVGENY ALEKSANDROVICH

2nd year student of the department Bridges and tunnels

Scientific supervisors – Savina E.N. Assistant of the department Bridges and tunnels

Kulan A.V., assistant of the department Bridges and tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the automation of the design and analysis of the load-bearing structures of a passenger bus stop in complex terrain (the «Mozyr Ravines» landscape complex, Gomel region). A suite of software is used to accomplish the task: Google Earth Pro for terrain analysis and geo-referencing, Autodesk Revit for building a parametric BIM model, SCAD Office for finite-element analysis and neural-network image generators for visualisation. It is shown that the automated transfer of geometry to the analysis package reduces the time for selecting metal-element sections from several days to several hours. It is concluded that a unified digital design environment is formed, increasing the analytical validity of non-standard solutions and harmoniously integrating the object into the natural landscape.

Keywords: bus stop, complex terrain, BIM, Autodesk Revit, SCAD Office, finite element method, generative design, landscape integration.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие транспортной инфраструктуры в регионах – один из ключевых факторов повышения качества жизни населения. Объектом исследования служит пассажирская остановка в уникальном ландшафтном комплексе «Мозырские яры» (Гомельская область, координаты 52.017529, 29.296934), для которого характерны сложный рельеф и высокая экологическая ценность. Социальная значимость проекта определяется необходимостью обеспечить безопасное и комфортное ожидание транспорта для местных жителей и туристов природного парка. Внедрение современной, рассчитанной на нагрузки конструкции улучшает транспортную доступность и при этом гармонично вписывает объект в природный ландшафт, не нарушая экосистему яров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения задачи использовался комплекс программных средств:

1. Google Earth Pro – анализ ситуационного плана, определение топографии и привязка объекта к координатам;
2. Autodesk Revit – создание параметрической 3D-модели (BIM), разработка чертежей и спецификаций элементов;
3. SCAD Office – построение расчётной схемы, конечно-элементный анализ напряжённо-деформированного состояния и подбор сечений металлических колонн и прогонов;
4. нейросетевые генераторы изображений – создание фотореалистичных визуализаций концепции.

На первом этапе выполнен анализ местности. Как показывает ситуационный план (рисунок 1), остановка размещается вдоль трассы Р-31 рядом с лесным массивом и жилой застройкой, а особенности рельефа «Мозырских яров» потребовали адаптации фундаментной части конструкции.

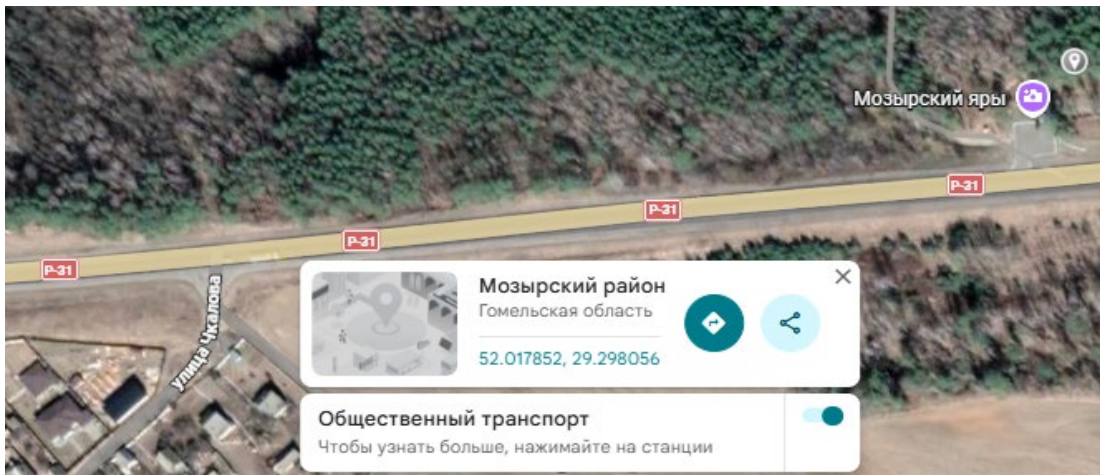


Рисунок 1 – Ситуационный план расположения объекта в районе «Мозырские яры», Гомельская область

По полученным данным в среде Autodesk Revit построена детальная трёхмерная модель сооружения (рисунок 2-3).

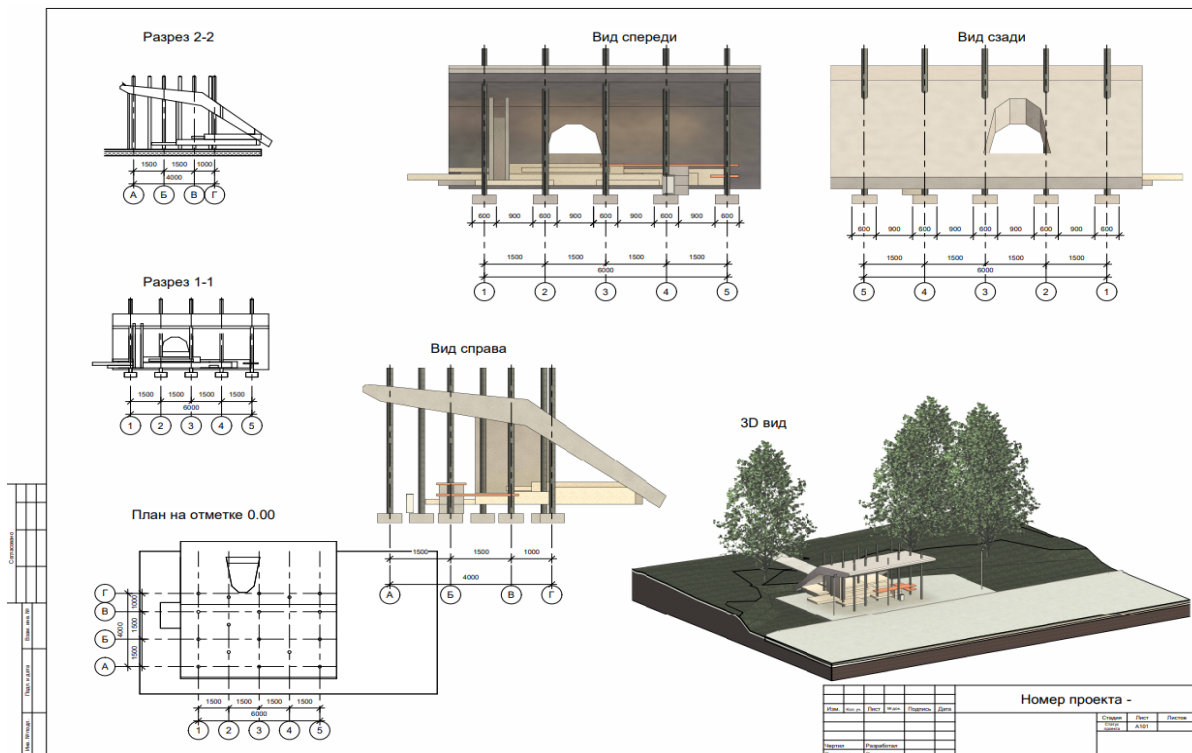


Рисунок 2 – Параметрическая 3D-модель остановки, разработанная в Autodesk Revit

Для оценки эстетического восприятия объекта в окружающей среде выполнена генеративная визуализация средствами искусственного интеллекта, что позволило быстро перебирать варианты отделки и материалов без трудоёмкого рендеринга.



Рисунок 3 – Концептуальная визуализация остановки в среде «Мозырских яров» (сгенерировано ИИ)

Ключевой этап автоматизации – перенос геометрической модели в расчётный комплекс (рисунок 4): каркас был экспортирован и дискретизирован на конечные элементы. Автоматизация этого шага сократила время проверки гипотез по сечениям профильных труб с нескольких дней до нескольких часов, а изменение геометрии в Revit быстро отражается в расчётной схеме для проверки альтернативных вариантов.

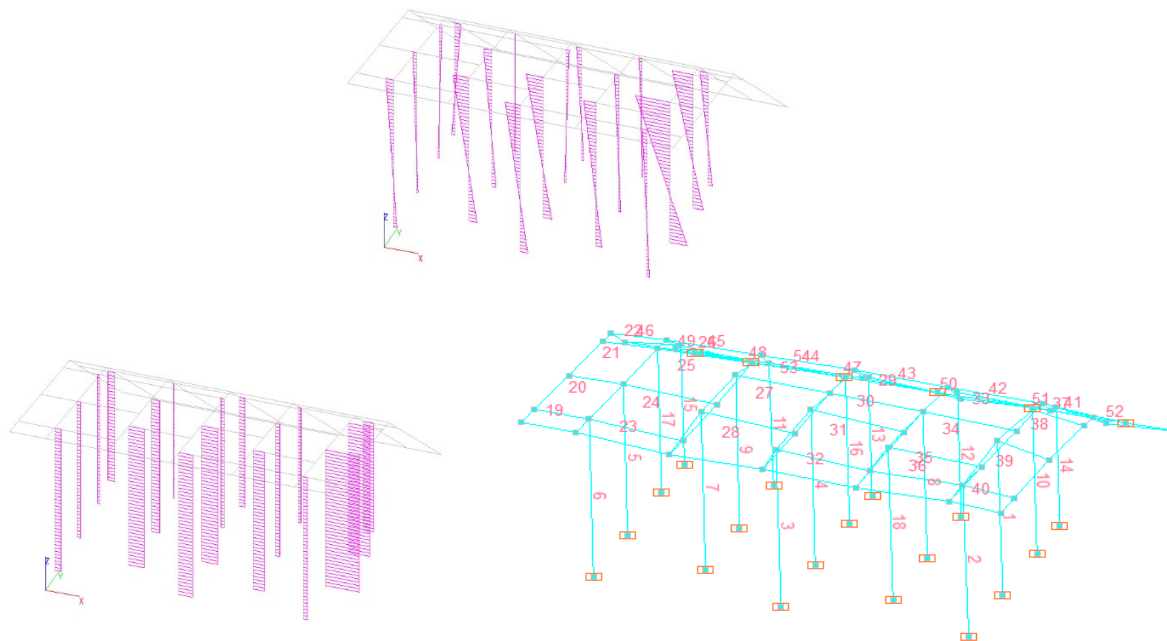


Рисунок 4 – Результаты расчёта: а) эпюра изгибающих моментов; б) эпюра поперечных сил; в) картина деформированного состояния (перемещения).

ВЫВОДЫ

1. Формирование единой цифровой среды. Объединение геоинформационных платформ, BIM-технологий, численных методов расчёта и генеративных нейросетей образует непрерывный проектный цикл – от пространственного анализа территории к детальной проработке конструкций и фотореалистичной презентации малых архитектурных объектов.

2. Расчётная обоснованность нестандартных решений. Конечно-элементное моделирование объекта со сложной криволинейной геометрией в районе «Мозырских яров» обеспечивает необходимую пространственную жёсткость несущего остова, а оптимизация поперечных сечений по результатам численного эксперимента уменьшает расход металла без снижения надёжности.

3. Социально-градостроительный эффект. Новый остановочный пункт повышает комфорт ожидания транспорта и, выполненный в современной стилистике, становится композиционным ориентиром, обогащая средовую палитру территории.

4. Приоритетные направления автоматизации. Дальнейшее развитие связано с созданием алгоритмов в среде Дупато, обеспечивающих бесшовную передачу расчётных схем из Revit в комплексы SCAD и ЛИРА-САПР без ручного перестроения, что сокращает время и повышает достоверность результатов.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Integrated BIM-GIS and finite element-based framework for building planning and design [Электронный ресурс] // King Fahd University of Petroleum and Minerals. – Режим доступа: <https://pure.kfupm.edu.sa> (дата обращения: 17.05.2026).

2. Основы визуального программирования в Дупато для Revit [Электронный ресурс] // BuildSoft.ru. – Режим доступа: <https://buildsoft.ru> (дата обращения: 17.05.2026).

3. SCAD для инженеров: как BIM-модели из Revit передавать в расчёт [Электронный ресурс] // CAD.kz. – 2025. – 19 авг. – Режим доступа: <https://cad.kz> (дата обращения: 17.05.2026).

4. Автоматизация аналитических моделей в Revit [Электронный ресурс] // Autodesk Knowledge Network. – 2025. – 9 марта. – Режим доступа: <https://help.autodesk.com> (дата обращения: 17.05.2026).

REFERENCES

1. Integrated BIM-GIS and finite element-based framework for building planning and design [Electronic resource] // King Fahd University of Petroleum and Minerals. – Access mode: <https://pure.kfupm.edu.sa> (date of access: 05/17/2026).

2. Fundamentals of visual programming in Dynamo for Revit [Electronic resource] // BuildSoft.ru. – Access mode: <https://buildsoft.ru> (date of access: 05/17/2026).

3. SCAD for engineers: how to transfer BIM models from Revit into calculations [Electronic resource] // CAD.kz. – 2025. – Aug 19. – Access mode: <https://cad.kz> (date of request: 05/17/2026).

4. Automation of analytical models in Revit [Electronic resource] // Autodesk Knowledge Network. – 2025. – March 9th. – Access mode: <https://help.autodesk.com> (date of request: 05/17/2026).

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ (ГЕРМАНИЯ)

ОРАЗДУРДЫЕВА ГОВХЕР

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности при строительстве фундаментов в Германии. Показано, что нормы DIN 1054 и Еврокод 7 предъявляют высокие требования к точности геотехнических работ, а AR-системы (очки Microsoft HoloLens, планшеты) визуализируют расположение свай и геометрию плитных фундаментов непосредственно на рабочей поверхности с миллиметровой точностью на основе BIM-модели. Отмечено, что VR-симуляторы используются для обучения персонала и планирования сложных работ. По опыту компаний Zueblin и Hochtief внедрение VR/AR сокращает время подготовки персонала на 50 % и снижает количество брака до 80 %.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, VR, AR, фундаменты, BIM, HoloLens, DIN 1054, Еврокод 7, Германия.

APPLICATION OF VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN FOUNDATION CONSTRUCTION IN GERMANY

ORAZDURDYEVA GOVHER

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., Senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of virtual (VR) and augmented (AR) reality technologies in foundation construction in Germany. It is shown that the DIN 1054 and Eurocode 7 codes impose high requirements on the accuracy of geotechnical work, while AR systems (Microsoft HoloLens glasses, tablets) visualise the location of piles and the geometry of mat foundations directly on the work surface with millimetre accuracy based on the BIM model. It is noted that VR simulators are used for personnel training and planning complex work. According to the experience of Zueblin and Hochtief, the adoption of VR/AR reduces personnel preparation time by 50 % and decreases defects by up to 80 %.

Keywords: virtual reality, augmented reality, VR, AR, foundations, BIM, HoloLens, DIN 1054, Eurocode 7, Germany.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В Германии строительство фундаментов регламентируется нормами DIN 1054 («Основания. Безопасность конструкций») и Еврокодом 7, предъявляющими высокие требования к точности геотехнических работ. Немецкие строительные компании активно внедряют виртуальную (VR) и дополненную (AR) реальность для повышения качества и эффективности возведения фундаментов различных типов.

Дополненную реальность применяют на площадках для визуализации проектных данных непосредственно в поле зрения рабочего: с помощью AR-очков Microsoft HoloLens или планшетов строители видят голографические проекции расположения свай, глубины заложения и геометрии плитных фундаментов прямо на рабочей поверхности (рисунок 1). Система сопрягается с BIM-моделью и обеспечивает миллиметровую точность позиционирования.



Рисунок 1 – Применение AR-технологии на стройплощадке фундамента (Германия)

Виртуальная реальность используется для обучения персонала и планирования сложных фундаментных работ: на VR-симуляторах рабочие отрабатывают последовательность бетонирования свай и укладки арматуры плит ещё до выхода на реальную площадку (рисунок 2). Компании Züblin и Hochtief внедрили комплексные системы VR/AR, сокращающие время подготовки персонала на 50 % и снижающие количество брака при возведении фундаментов до 80 %.

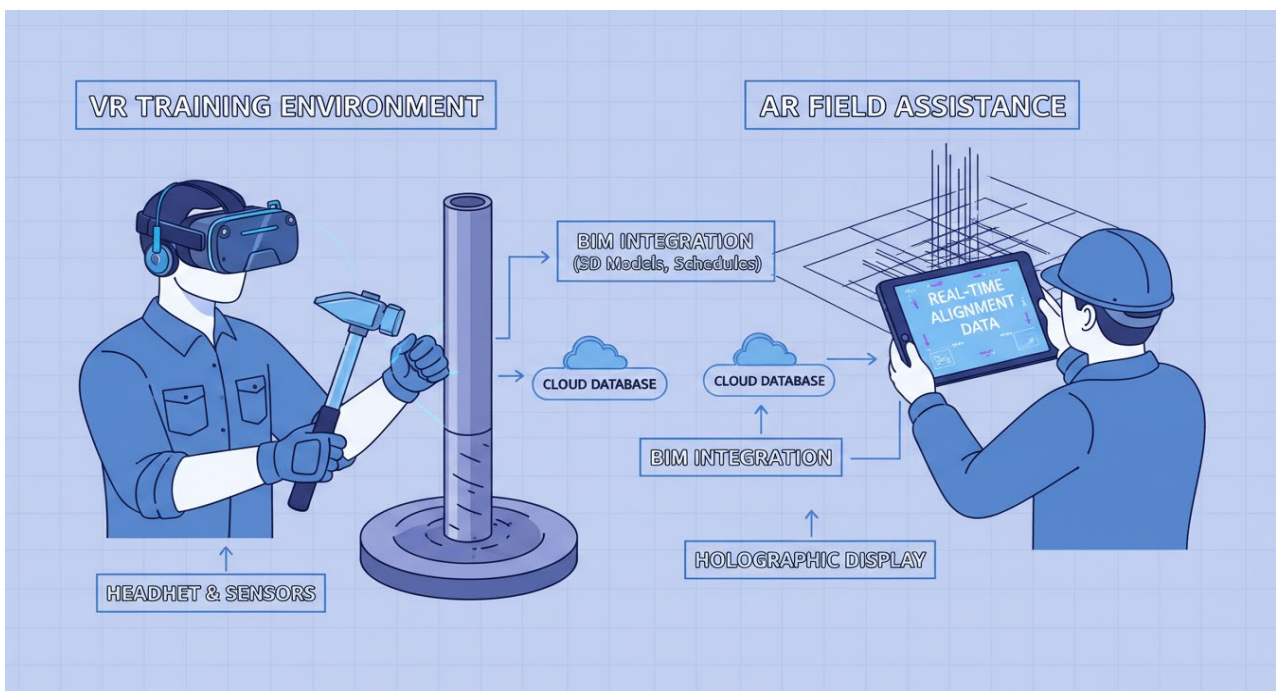


Рисунок 2 – Архитектура VR/AR системы – фундаменты

ВЫВОДЫ

1. Технологии VR и AR при строительстве фундаментов в Германии обеспечивают визуализацию проектных данных в реальном времени, повышают точность позиционирования элементов фундамента и сокращают время подготовки персонала на 50 %.

2. Интеграция VR/AR-систем с BIM-моделями и геодезическим оборудованием позволяет достичь миллиметровой точности при возведении фундаментов, снизить производственный брак до 80 % и обеспечить полное соответствие выполненных работ проектной документации по нормам DIN 1054 и Еврокоду 7.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. DIN 1054:2010-12. Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergaenzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. - Berlin: Beuth Verlag, 2010.
2. DIN EN 1997-1:2014-03. Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. - Berlin: Beuth Verlag, 2014.
3. Whyte J. Virtual Reality and the Built Environment / J. Whyte. - London: Routledge, 2018. - 192 p.
4. Zueblin AG. Digital Construction: VR/AR in Foundation Engineering [Electronic resource]. - URL: <https://www.zueblin.de/> (Date of access: 23.05.2026).

REFERENCES

1. DIN 1054:2010-12. Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergaenzende Regelungen zu DIN EN 1997-1. - Berlin: Beuth Verlag, 2010.
2. DIN EN 1997-1:2014-03. Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik. - Berlin: Beuth Verlag, 2014.
3. Whyte J. Virtual Reality and the Built Environment / J. Whyte. - London: Routledge, 2018. - 192 p.
4. Zueblin AG. Digital Construction: VR/AR in Foundation Engineering [Electronic resource]. - URL: <https://www.zueblin.de/> (Date of access: 23.05.2026).

СТРОИТЕЛЬСТВО ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В США С ПОМОЩЬЮ BIM ТЕХНОЛОГИЙ

ПОПЛАВСКАЯ ЕЛИЗАВЕТА ЮРЬЕВНА

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий информационного моделирования (BIM) при строительстве плитных фундаментов в США. Показано, что BIM представляет собой процесс создания проекта на основе 3D-модели, объединяющей данные о геометрии, материалах и сроках на всех стадиях жизненного цикла сооружения. Отмечено, что к 2026 году BIM является стандартом строительного сектора США, где более половины инфраструктурных контрактов требуют его применения, что повышает производительность и сокращает отходы и затраты. Приведено состояние внедрения BIM при проектировании плитных фундаментов в Беларуси, где ведущую роль играет институт «БелНИИС».

Ключевые слова: плитный фундамент, BIM, информационное моделирование, 3D-модель, жизненный цикл, автоматизация проектирования, США, Беларусь.

CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS USING BIM TECHNOLOGIES IN THE USA

POPLAVSKAYA ELIZAVETA YURIEVNA

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of building information modelling (BIM) technologies in the construction of mat foundations in the United States. It is shown that BIM is a process of creating a project based on a 3D model that combines data on geometry, materials and timelines at all stages of the structure's life cycle. It is noted that, by 2026, BIM is a standard of the U.S. construction sector, where more than half of infrastructure contracts require its use, which increases productivity and reduces waste and costs. The state of BIM adoption in the design of mat foundations in Belarus is presented, where the leading role is played by the BelNIIS institute.

Keywords: mat foundation, BIM, information modeling, 3D model, life cycle, design automation, USA, Belarus.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

BIM – это процесс создания проекта на основе трёхмерной модели. Такие технологии помогают и при проектировании, и при строительстве, поскольку объединяют данные об объекте: геометрию, характеристики материалов и сроки. BIM позволяет рассчитать полный жизненный цикл сооружения – проектирование, строительство, эксплуатацию, реконструкцию и утилизацию.

Информационная модель снабжает виртуальную среду наглядными 3D-проекциями, дающими более чёткое представление об объекте, чем традиционные чертежи. В США проектирование плитных фундаментов с применением BIM строится на взаимодействии архитектурной модели с расчётом состояния грунта (рисунок 1).

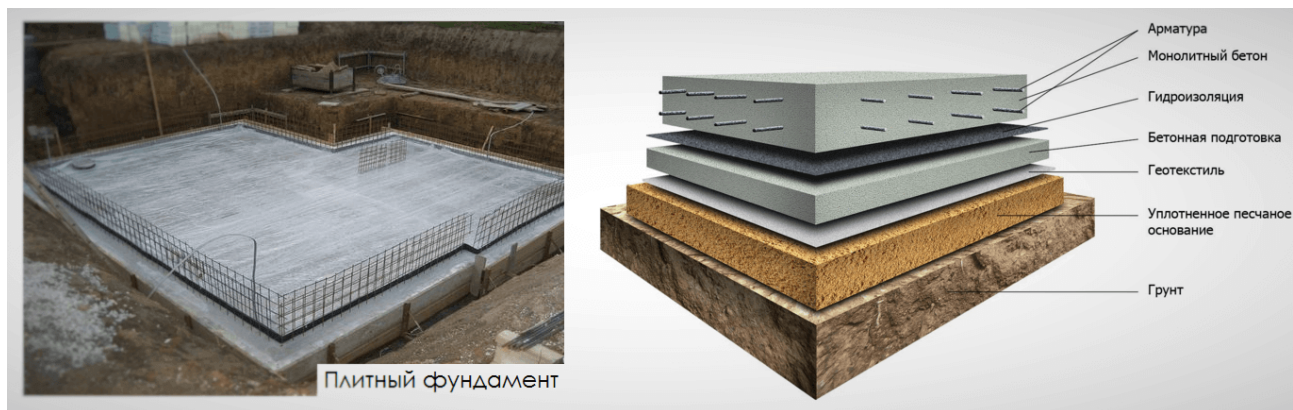


Рисунок 1 – Плитный фундамент (3D-модель)

К 2026 году BIM-технологии стали неотъемлемым стандартом строительного сектора США: более половины инфраструктурных контрактов в стране требуют их применения. Это помогает автоматизировать задачи планирования и проектирования и повышает производительность, а также заметно сокращает отходы и затраты на проектирование сооружений.

С каждым годом BIM развивается и приходит на смену традиционным чертежам и 2D-моделям, и всё больше стран используют информационное моделирование при проектировании сооружений в различных отраслях.

ВЫВОДЫ

В Беларуси строительство плитных фундаментов с помощью BIM находится в стадии активного развития: научная база и нормативная документация уже есть, а широкое внедрение в практику только начинается. Ведущий профильный институт «БелНИИС» и кафедра «Мосты и тоннели» (БНТУ) занимается внедрением BIM технологий, совершенствованием расчётов для плитных фундаментов и разработкой необходимой методической базы.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://proekt-m.by/uslugi/proektirovanie-s-ispolzovaniem-bim-tehnologij/> (дата обращения 21.05.2026)
2. <https://www.tn.ru/journal/chto-takoe-bim-tehnologii-i-kak-oni-oblegchayut-stroitelstvo/> (дата обращения 21.05.2026)
3. <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/109067/111-121.pdf?sequence=1> (дата обращения 21.05.2026).

REFERENCES

1. <https://proekt-m.by/uslugi/proektirovanie-s-ispolzovaniem-bim-tehnologij/> (дата обращения 21.05.2026)
2. <https://www.tn.ru/journal/chto-takoe-bim-tehnologii-i-kak-oni-oblegchayut-stroitelstvo/> (дата обращения 21.05.2026)
3. <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/109067/111-121.pdf?sequence=1> (дата обращения 21.05.2026).

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ – СОВРЕМЕННЫЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ (ГЕРМАНИЯ)

РЕДЖЕПАЛЫЙЕВ МАКСАТ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение роботизированных комплексов с элементами искусственного интеллекта при устройстве буронабивных свай в Германии. Отмечено, что жёсткие экологические нормы, плотная городская застройка и сложные грунты, а также требования норм DIN EN 1536 и Еврокода 7 обуславливают высокие требования к точности свайных работ. Описана система из трёх роботизированных модулей: робота-бурильщика с ИИ, робота-армировщика и робота-бетонщика с ультразвуковым контролем, объединённых единой IoT-платформой. По опыту строительства высокоскоростной железной дороги Stuttgart-Ulm и реконструкции моста через Рейн в Кёльне отклонение свай от вертикали не превысило 0,2 %, время бурения сократилось на 35 %, расход бетона оптимизирован на 12 %, а число дефектных свай снижено на 85 %.

Ключевые слова: свайные фундаменты, буронабивные сваи, робототехника, искусственный интеллект, георадар, IoT, DIN EN 1536, Еврокод 7, Германия.

CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS USING ROBOTICS IN GERMANY

REDZHEPALYEV MAKSAT

2nd year student of the department Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., senior lecturer of the department Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of robotic systems with elements of artificial intelligence in the construction of bored piles in Germany. It is noted that strict environmental standards, dense urban development and complex soils, as well as the requirements of the DIN EN 1536 and Eurocode 7 codes, impose high requirements on the accuracy of piling work. A system of three robotic modules is described: a drilling robot with AI, a reinforcing robot and a concreting robot with ultrasonic monitoring, combined into a single IoT platform. According to the experience of constructing the Stuttgart-Ulm high-speed railway and the reconstruction of the Rhine bridge in Cologne, the pile verticality deviation did not exceed 0.2 %, drilling time was reduced by 35 %, concrete consumption was optimised by 12 %, and the number of defective piles was reduced by 85 %.

Keywords: pile foundations, bored piles, robotics, artificial intelligence, ground-penetrating radar, IoT, DIN EN 1536, Eurocode 7, Germany.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В условиях жёстких экологических норм, высокой плотности застройки в крупных агломерациях (Берлин, Мюнхен, Франкфурт-на-Майне) и распространения сложных грунтов (лёссовые просадочные, карстовые, сильно обводнённые) Германия предъявляет исключительно высокие требования к устройству свайных фундаментов. Активное развитие инфраструктурных проектов – железных дорог, мостов, тоннелей – дополнительно требует минимизации вибраций и шума при погружении свай.

Технические нормы DIN EN 1536 (исполнение буронабивных свай) и Еврокод 7 (EN 1997-1) совместно с национальными приложениями регламентируют допустимые отклонения при бурении, установке арматуры и бетонировании. Традиционные методы с участием оператора буровой установки и геодезиста не всегда обеспечивают требуемую точность (особенно при глубине свыше 25 м) и сопряжены с большими затратами времени на контроль и перебазировку. Для решения этих задач немецкие компании (Bauer Spezialtiefbau, Liebherr, Herrenknecht, Porr) внедряют роботизированные комплексы с элементами искусственного интеллекта (рисунок 1), автоматизирующие позиционирование, бурение, контроль вертикальности и подачу бетона.

В работе рассмотрена система из трёх роботизированных модулей для устройства буронабивных свай в сложных геологических условиях (рисунок 2). Робот-бурильщик с элементами ИИ по данным георадара и цифровой 3D-модели участка автоматически корректирует ось скважины с погрешностью не более 10

мм, контролирует вертикальность лазерными гироскопами и изменяет крутящий момент и скорость бурения в зависимости от типа грунта (пески, глины, известняки, валуны).

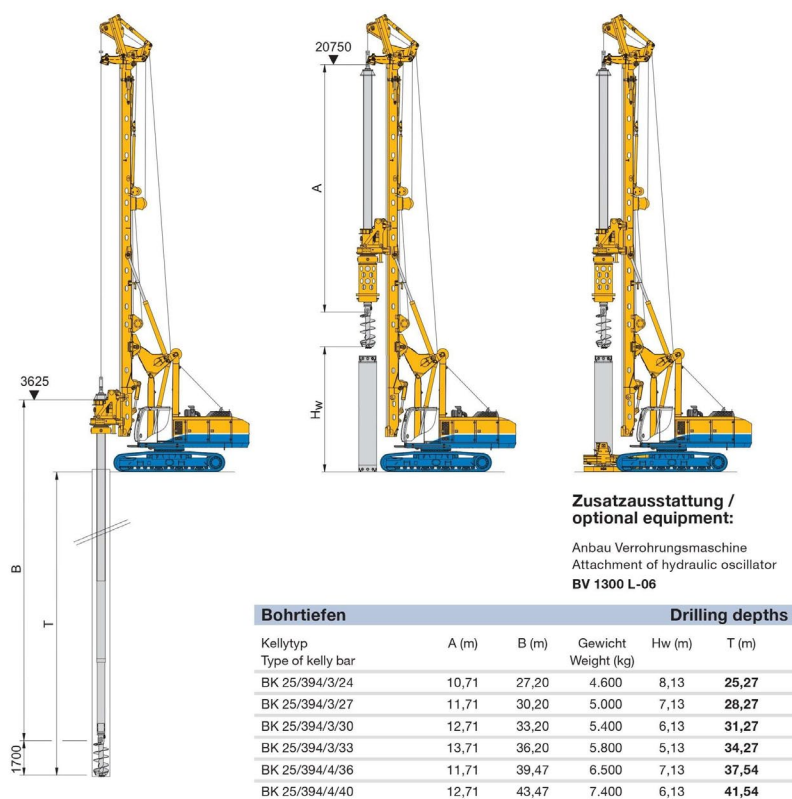


Рисунок 1 – Роботизированная буровая установка BAUER BG-R с системой GNSS и лазерного позиционирования (Германия)

Робот-армировщик захватным манипулятором поднимает и центрирует арматурный каркас массой до 6 тонн, фиксирует защитный слой ультразвуковыми датчиками и опускает каркас в скважину с контролем отсутствия заклинивания. Робот-бетонщик с ультразвуковым контролем управляет подачей смеси по лифтовой трубе, измеряет высоту подъема трубы и объем уложенного бетона, регистрируя возможные пустоты и засоры. Все три устройства работают в единой системе управления (IoT-платформа), где инженер-геотехник в реальном времени видит параметры каждой сваи.

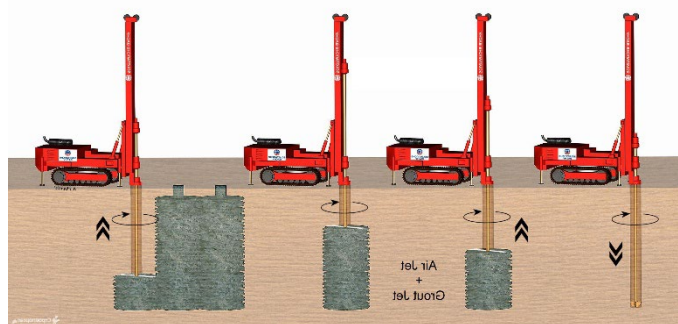


Рисунок 2 – Система взаимодействия роботизированных модулей при устройстве свайного фундамента (Германия)

Опыт внедрения комплексов на строительстве высокоскоростной железной дороги Stuttgart – Ulm (участок с карстовыми воронками) и при реконструкции моста через Рейн в Кёльне показал следующие результаты: отклонение свай от вертикали не превысило 0,2 % (при норме DIN 0,5 %), время бурения скважины сократилось на 35 %, расход бетона оптимизирован на 12 % за счёт точной подачи, а число дефектных свай снижено на 85 %. Роботы действуют по заданным алгоритмам, адаптируясь к данным геотехнического мониторинга: при резком изменении условий (например, переходе к плотным валунным отложениям) система за доли секунды пересчитывает режим бурения без остановки процесса и выдаёт рекомендации оператору.

ВЫВОДЫ

Вместе с тем роботизированные комплексы не способны самостоятельно принимать решения в нестандартных ситуациях, требующих экспертной оценки (обнаружение карстовой полости, близость существующих коммуникаций, аварийное обрушение стенок скважины). Окончательный контроль, корректировка технологии и принятие решений остаются за инженером-геотехником, а роботы рассматриваются как высокоточный и надёжный инструмент, позволяющий соблюдать жёсткие немецкие нормы по качеству, экологии и безопасности при снижении трудоёмкости и сроков работ.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. DIN EN 1536:2015-08. Ausführung von Bohrpfählen – Execution of bored piles. – Beuth Verlag, Berlin, 2015. – 98 S.
2. Eurocode 7 – EN 1997-1:2014. Geotechnical design – Part 1: General rules. – CEN, 2014. – 210 p.
3. Schmitt L., Weber R. Robotik im Spezialtiefbau – Erfahrungen aus Großprojekten in Deutschland // Geotechnik (Zeitschrift der DGGT). – 2024. – Bd. 47, Nr. 2. – S. 112–120.
4. Bauer AG. Automatisierte Pfahlgründung mit KI-gestützten Robotersystemen – Weissbuch 2025. – Schrottenhausen: Bauer Maschinen GmbH, 2025. – 76 S.

REFERENCES

1. DIN EN 1536:2015-08. Ausführung von Bohrpfählen – Execution of bored piles. – Beuth Verlag, Berlin, 2015. – 98 S.
2. Eurocode 7 – EN 1997-1:2014. Geotechnical design – Part 1: General rules. – CEN, 2014. – 210 p.
3. Schmitt L., Weber R. Robotik im Spezialtiefbau – Erfahrungen aus Großprojekten in Deutschland // Geotechnik (Zeitschrift der DGGT). – 2024. – Bd. 47, Nr. 2. – S. 112–120.
4. Bauer AG. Automatisierte Pfahlgründung mit KI-gestützten Robotersystemen – Weissbuch 2025. – Schrottenhausen: Bauer Maschinen GmbH, 2025. – 76 S.

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА – ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

РЕДЖЕПОВ МУХАММЕТ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение мультиагентных систем искусственного интеллекта в проектировании фундаментов. Показано, что сложность геотехнических условий и многообразие нормативных требований обуславливают актуальность автоматизации интеллектуальных операций. Описана система из четырёх автономных ИИ-агентов: геотехнического, структурного, нормативного и координирующего, взаимодействующих как единый алгоритм и интегрированных с BIM-платформами и системами лазерного сканирования. Отмечено, что при изменении входных параметров агенты автоматически пересчитывают проект, сокращая время проектирования на 50-70 %, при этом окончательное решение остаётся за инженером.

Ключевые слова: мультиагентные системы, искусственный интеллект, ИИ-агенты, проектирование фундаментов, BIM, лазерное сканирование, автоматизация, несущая способность.

MULTI-AGENT ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS IN FOUNDATION DESIGN

REJEPOV MUKHAMMET

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor - Yakovlev A.A., senior lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of multi-agent artificial intelligence systems in foundation design. It is shown that the complexity of geotechnical conditions and the variety of regulatory requirements make the automation of intelligent operations relevant. A system of four autonomous AI agents is described: geotechnical, structural, code-checking and coordinating, interacting as a single algorithm and integrated with BIM platforms and laser-scanning systems. It is noted that, when the input parameters change, the agents automatically recalculate the project, reducing design time by 50-70 %, while the final decision remains with the engineer.

Keywords: multi-agent systems, artificial intelligence, AI agents, foundation design, BIM, laser scanning, automation, bearing capacity.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционные методы расчёта фундаментов требуют значительных временных затрат и высокой квалификации проектировщика. Многообразие грунтовых условий, обилие нормативных требований и необходимость согласования смежных разделов проекта делают актуальной автоматизацию интеллектуальных операций. Перспективным направлением такой автоматизации выступают мультиагентные системы на основе искусственного интеллекта.

Рассматриваемая система объединяет четыре автономных агента, работающих как единый вычислительный механизм. Геотехнический агент интерпретирует сведения о грунтах и выдаёт зоны осадки, глубину промерзания и коэффициент постели. Структурный агент подбирает геометрию фундамента, класс бетона и параметры армирования. Нормативный агент контролирует соответствие расчётов строительным нормам. Координирующий агент распределяет задания, отслеживает ошибки и компоует итоговый проект (рисунок 1).

Для получения исходных данных комплекс агентов сопрягается с BIM-платформами и системами лазерного сканирования. При изменении входных параметров – например, геотехнической обстановки или нагрузок – агенты автоматически пересчитывают проект без вмешательства человека, что сокращает сроки проектирования на 50–70 % и устраняет ошибки, обусловленные человеческим фактором. При этом окончательное решение всегда принимает инженер, а система берёт на себя рутину и предлагает оптимальные варианты (рисунок 2).



Рисунок 1 – Мультиагентная система ИИ для проектирования фундаментов

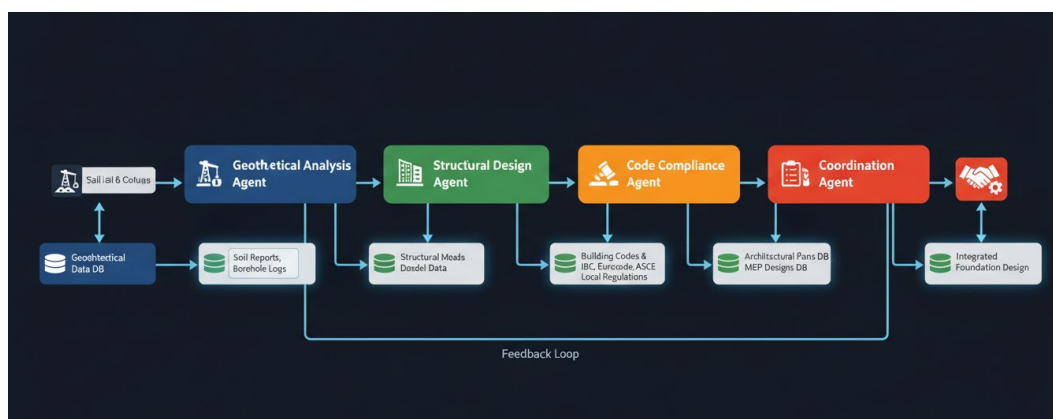


Рисунок 2 – Архитектура мультиагентной системы проектирования фундаментов

ВЫВОДЫ

1. Мультиагентные системы искусственного интеллекта позволяют автоматизировать до 80 % рутинных операций проектирования фундаментов, обеспечивая быстрый перебор вариантов материалов и геометрии с одновременной проверкой нормативных требований.

2. ИИ-агенты не подменяют инженера-конструктора, а выступают интеллектуальным инструментом повышения точности и скорости проектирования; итоговое решение всегда остаётся за специалистом, оценивающим предложенные системой варианты.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. - American Concrete Institute, 2019. - 524 p.
2. IBC 2024. International Building Code. - International Code Council, 2024.
3. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. - John Wiley & Sons, 2009. - 486 p.
4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. - М.: Минстрой России, 2018.

REFERENCES

1. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. - American Concrete Institute, 2019. - 524 p.
2. IBC 2024. International Building Code. - International Code Council, 2024.
3. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems / M. Wooldridge. - John Wiley & Sons, 2009. - 486 p.
4. SP 22.13330.2016. Foundations of buildings and structures. Updated edition of SNiP 52-01-2003. Moscow: Ministry of Construction of Russia, 2018.

ПРИМЕНЕНИЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ИИ-АГЕНТОВ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ ФУНДАМЕНТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ

РОМАНЦОВ ДАНИИЛ ДМИТРИЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение киберфизических систем и ИИ-агентов при возведении фундаментов гидротехнических и подпорных сооружений в России, прежде всего в Арктической зоне и на Дальнем Востоке. Показано, что при устройстве подводных частей ГТС применяются телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) тяжёлого класса, а технология роевого интеллекта обеспечивает миллиметровую точность стыковки элементов при сильном течении и нулевой видимости. Описаны роботизированные буровые установки, формирующие цифровой двойник скважины и автоматически корректирующие режим бурения, а также системы предиктивной аналитики, регулирующие скорость заливки самоуплотняющегося бетона для предотвращения температурных трещин. По сравнению с традиционным методом точность позиционирования опор повышается до значений менее 1 см, а скорость работ – на 40–55 %.

Ключевые слова: киберфизические системы, ИИ-агенты, роевой интеллект, ТНПА, гидротехнические сооружения, подпорные стены, цифровой двойник, Россия.

APPLICATION OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS AND AI AGENTS IN THE CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS OF HYDRAULIC AND RETAINING STRUCTURES IN RUSSIA

ROMANTSOV DANIIL DMITRIEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of cyber-physical systems and AI agents in the construction of foundations of hydraulic and retaining structures in Russia, primarily in the Arctic zone and the Far East. It is shown that heavy-class remotely operated underwater vehicles (ROVs) are used for the underwater parts of hydraulic structures, while swarm-intelligence technology ensures millimeter accuracy of element docking under strong currents and zero visibility. Robotic drilling rigs that form a digital twin of the borehole and automatically adjust the drilling mode are described, as well as predictive-analytics systems that regulate the pouring rate of self-compacting concrete to prevent thermal cracking. Compared with the traditional method, support positioning accuracy improves to values below 1 cm, and work speed by 40–55 %.

Keywords: cyber-physical systems, AI agents, swarm intelligence, ROV, hydraulic structures, retaining walls, digital twin, Russia.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современный этап развития строительной отрасли России связан с масштабным освоением территорий со сложными инженерно-геологическими условиями, включая Арктическую зону и Дальний Восток. Возведение гидротехнических сооружений (ГТС) и подпорных стен в таких регионах сопряжено с высокими рисками, экстремальными климатическими нагрузками и сложными подводными работами, а традиционные методы устройства фундаментных опор достигают здесь предела экономической и технологической эффективности. Поэтому в 2025–2026 годах на ведущих стройплощадках страны началось активное внедрение киберфизических систем, основу которых составляют агенты искусственного интеллекта и автономные строительные роботы.

Особое значение роботизация приобретает при устройстве фундаментов подводных частей ГТС – причальных стенок, молов, волноломов. В российской практике 2025 года успешно прошли испытания телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) тяжёлого класса, оснащённые манипуляторами для позиционирования шпунтовых свай и кессонов (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА)

ИИ-агенты, управляющие группой таких аппаратов по технологии роевого интеллекта, обеспечивают миллиметровую точность стыковки элементов даже при сильном течении и нулевой видимости, что прежде требовало привлечения десятков водолазов высокой квалификации.

При возведении подпорных сооружений на оползнеопасных склонах Черноморского побережья и в зоне вечной мерзлоты применяются роботизированные буровые установки. Встроенный в систему управления ИИ-агент в реальном времени анализирует крутящий момент, давление на забой и акустическую эмиссию породы, формирует цифровой двойник скважины и автоматически корректирует режим бурения под буронабивные сваи, исключая обрушение стенок. Сопоставление ключевых показателей традиционного и нового подходов приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов возведения фундаментных опор

Критерий оценки	Традиционный механизированный метод	Метод с применением ИИ-агентов и робототехники
Точность позиционирования опор	Допускаются отклонения до 5-10 см	Высокоточная (отклонения менее 1 см)
Скорость выполнения работ	Зависит от человеческого фактора и погодных условий	Выше на 40-55%, возможна круглосуточная работа
Безопасность персонала	Высокие риски при подводных и высотных работах	Нулевой риск в зоне непосредственного контакта с грунтом
Адаптивность к сложным грунтам	Требует ручной корректировки проекта инженером	Автоматическая корректировка параметров на лету

ВЫВОДЫ

Важным достижением 2026 года стали отечественные системы предиктивной аналитики для бетонных работ: при заливке массивных ростверков и плитных фундаментов ГТС роботы-манипуляторы ведут непрерывную подачу самоуплотняющегося бетона, а ИИ-агенты регулируют скорость заливки, предотвращая температурные трещины. Это критически важно при строительстве портовой инфраструктуры Северного морского пути, где перепады температур нарушают гидратацию цемента.

Таким образом, переход к роботизированному возведению фундаментов ГТС и подпорных стен под управлением ИИ-агентов формирует новый технологический уклад в строительной отрасли России: он решает проблему дефицита узкопрофильных кадров в отдалённых регионах и существенно повышает надёжность сооружений первой и второй категорий ответственности. Дальнейшее развитие связано с обучением ИИ-моделей на данных уже построенных роботизированными комплексами объектов, что в перспективе позволит полностью автоматизировать нулевой цикл строительства.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников, Р. А. Автономные роботизированные комплексы в геотехнике Арктики / Р. А. Мельников, С. В. Дмитриев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2025. – № 2. – С. 45–51.
2. Цифровизация и ИИ в гидротехническом строительстве : национальный доклад [Электронный ресурс] : [сайт]. – Москва, 2026. (дата обращения: 29.05.2026).
3. Сидорова, Е. К. Мультиагентные системы управления роем подводных дронов при возведении причальных сооружений / Е. К. Сидорова. – Санкт-Петербург : Политех-Пресс, 2026. – 198 с.
4. Проектирование подпорных стен с использованием предиктивного искусственного интеллекта / В. И. Ковалев [и др.] // Строительные материалы и технологии. – 2025. – Т. 14, № 4. – С. 112–120.

REFERENCES

1. Melnikov, R. A. Autonomous robotic systems in Arctic geotechnics / R. A. Melnikov, S. V. Dmitriev // Foundations, foundations and soil mechanics. - 2025. - No. 2. - Pp. 45-51.
2. Digitalization and AI in hydraulic engineering: national report [Electronic resource]: [website]. - Moscow, 2026. (date accessed: 05/29/2026).
3. Sidorova, E. K. Multi-agent control systems for a swarm of underwater drones in the construction of berthing structures / E. K. Sidorova. - St. Petersburg: Politech-Press, 2026. - 198 p.
4. Design of retaining walls using predictive artificial intelligence / V. I. Kovalev [et al.] // Construction materials and technologies. - 2025. - Vol. 14, No. 4. - P. 112–120.

[УДК 624.19:625.7](#)

ЦИФРОВОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ ОБЪЕКТА: ПОРТАЛ, СОВМЕЩЕННЫЙ С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ ОРСЬЕР (ФРАНЦИЯ)

РУСАК АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ

студент 3-го курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научный руководитель – Щербо А.Д. преподаватель-стажёр кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе представлен цифровой технический паспорт автодорожного портала, совмещённого с многофункциональным комплексом (трасса Орсьер - Ле Лаванше, Франция). Систематизированы общие параметры объекта, геометрические характеристики обделки и комплекса, а также результаты статического расчёта: изгибающие моменты, продольные и поперечные силы в характерных сечениях подковообразной обделки. Приведено сопоставление результатов ручного расчёта и расчёта в программном комплексе SCAD, показавшее расхождение в пределах 1-4 %. Цифровой паспорт обеспечивает структурированное представление конструктивных и инженерно-геологических данных объекта для задач проектирования и эксплуатации.

Ключевые слова: цифровой технический паспорт, автодорожный тоннель, портал, обделка тоннеля, внутренние усилия, SCAD, многофункциональный комплекс, Франция.

DIGITAL TECHNICAL PASSPORT OF A FACILITY: A TUNNEL PORTAL COMBINED WITH A MULTIFUNCTIONAL COMPLEX, ORSIERES (FRANCE)

RUSAK ALEXANDER VLADIMIROVICH

3rd year student of the department Bridges and Tunnels

Scientific supervisor – Shcherbo A.D. trainee teacher of the Department Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents a digital technical passport of a road tunnel portal combined with a multifunctional complex (the Orsieres - Le Lavanchet route, France). The general parameters of the object, the geometric characteristics of the lining and the complex, and the results of static analysis are systematised: bending moments, longitudinal and shear forces in the characteristic sections of the horseshoe-shaped lining. A comparison of the results of manual calculation and calculation in the SCAD software package is given, showing a discrepancy within 1-4 %. The digital passport provides a structured representation of the structural and engineering-geological data of the object for design and operation tasks.

Keywords: digital technical passport, road tunnel, portal, tunnel lining, internal forces, SCAD, multifunctional complex, France.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

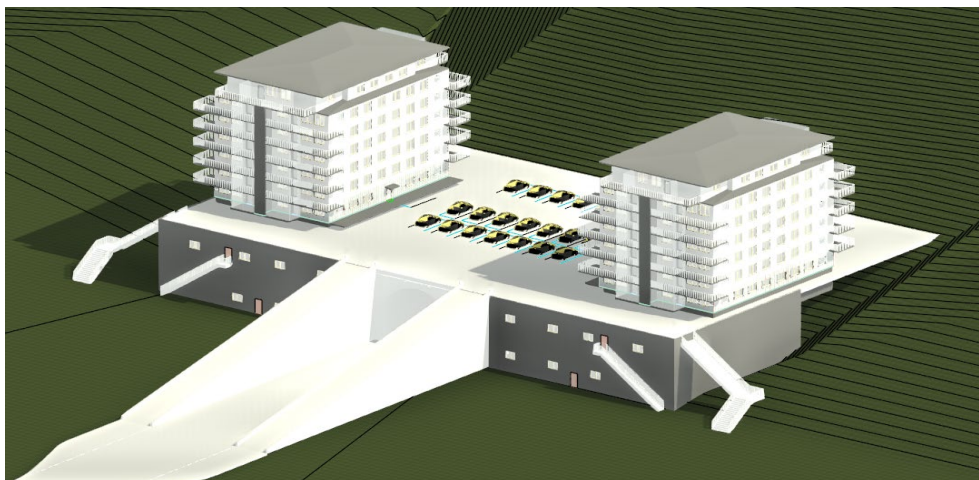


Рисунок 1 – Общий вид портала, совмещённого с многофункциональным комплексом

Таблица 1 – Общие параметры объекта

Параметр	Значение	Примечание
Тип объекта	Автодорожный тоннель, портал совмещённый с многофункциональным комплексом	Трасса Орсьер – Ле Лаванше(Франция)
Количество надземных этажей	9	Комплекс обслуживания
Количество подземных этажей	0	Подвальные и цокольные помещения отсутствуют
Категория грунта	Мергелистый известняк	$f = 8,4$
Ширина выработки b , м	12,7	По проекту
Высота выработки h , м	10,7	По проекту
Высота свода обрушения h_1 , м	0,178	Расчёт по Протодьяконову
Срок службы, лет	100	Для основных конструкций
Уровень ответственности	1 (повышенный)	Транспортная инфраструктура
Количество надземных этажей комплекса	9	
Назначение 1–2 этажей	Общественное	Зоны обслуживания пользователей дороги
Назначение 3–9 этажей	Жилое	Апартаменты / гостиничные помещения
Конструктивная схема комплекса	Монолитный железобетонный каркас	Совмещённое сооружение

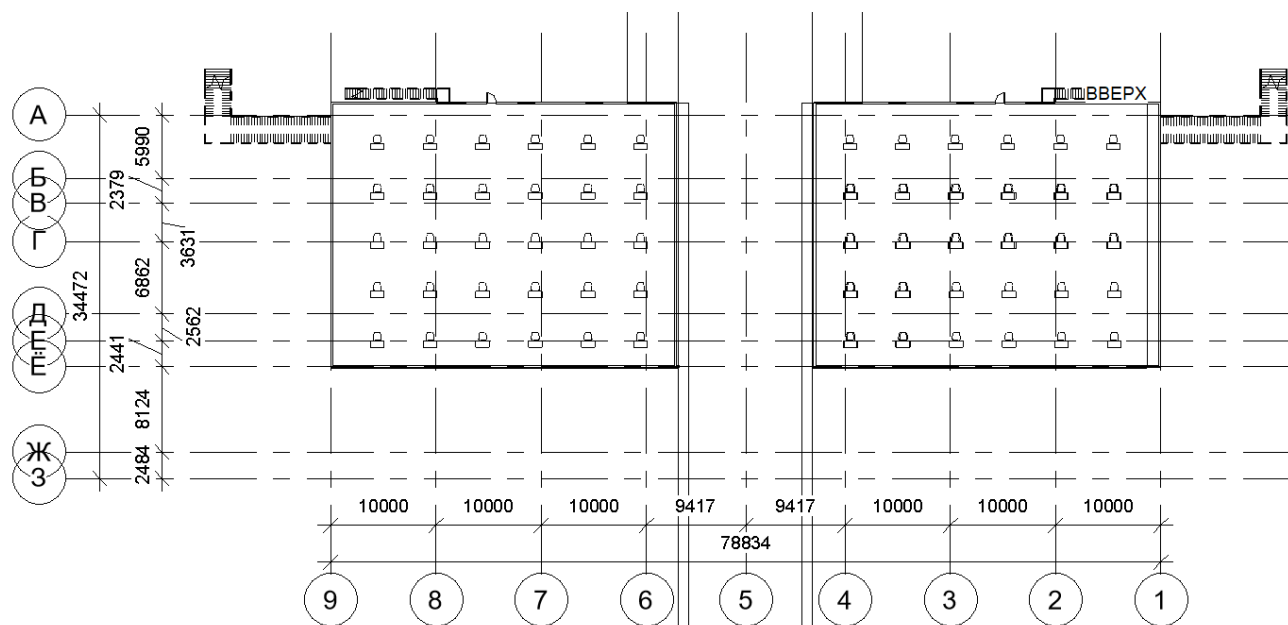


Рисунок 2 – План 1-2 этажа

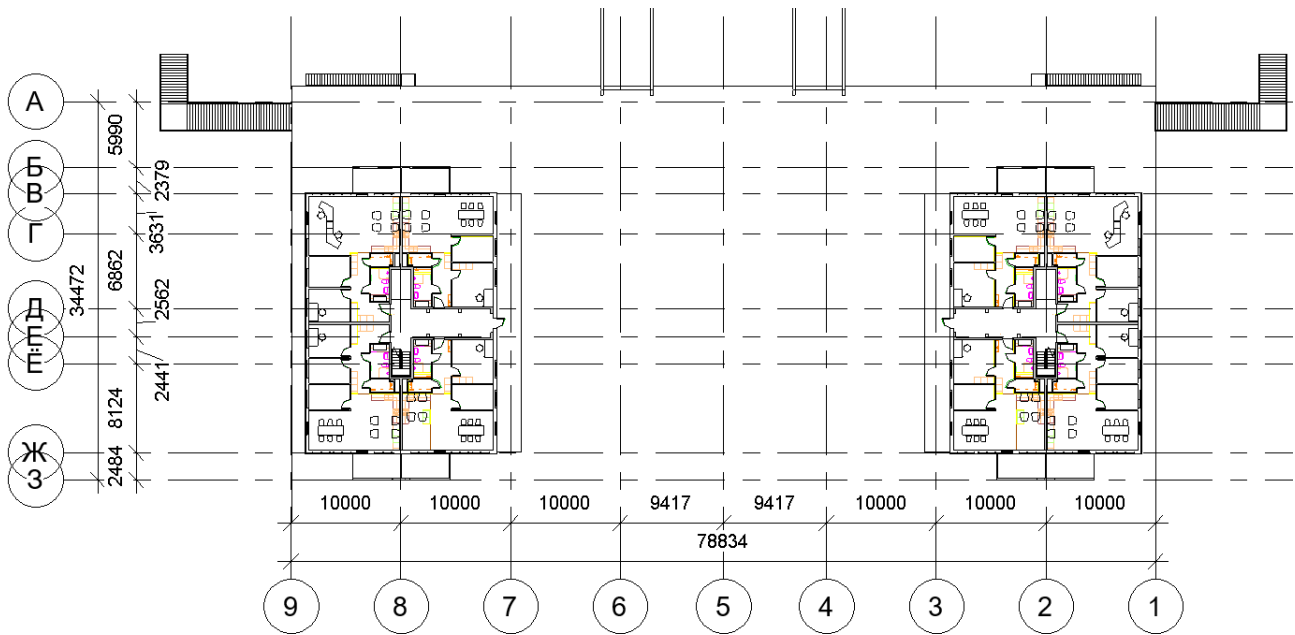


Рисунок 3 – План 3-9 этажа

Таблица 2 – Параметры поперечного сечения обделки

Элемент обделки	Толщина, м	М, кН·м	N, кН
Замок свода (h _о)	0,40	145	-211,2
Пята свода (h _п)	0,52	131,4	-536,3
Стена (h _{ст})	0,60	-97,7	-390,3
Фундамент (h _ф)	0,72	—	—

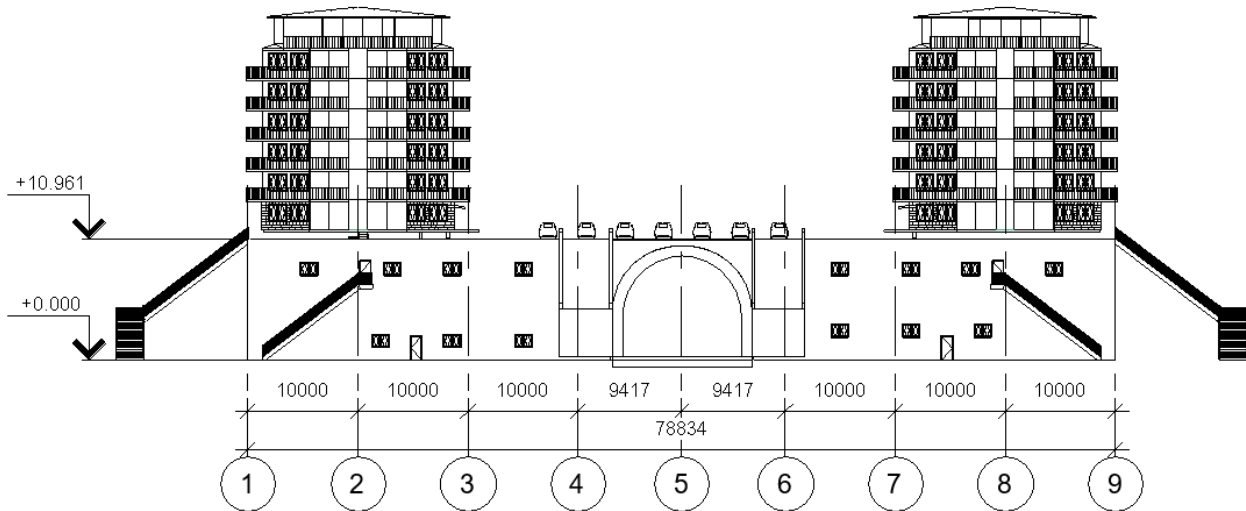


Рисунок 4 – Фасад в осях 1–9

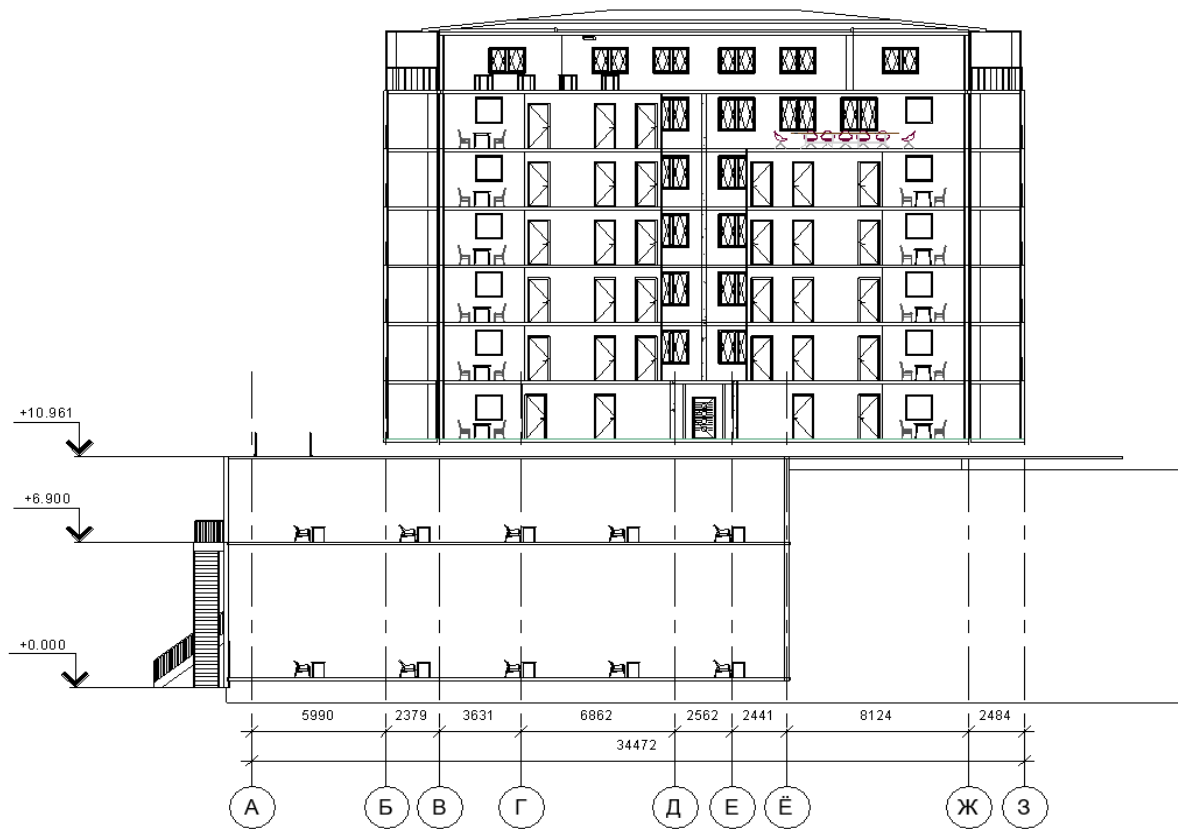


Рисунок 5 – Фасад в осях А–З

Таблица 3 – Геометрические параметры

План	Общая площадь, м ²	Жилая площадь, м ²	Высота этажа, м	Отметка пола, м	Периметр наружных стен, м
1-й этаж	1896	0	5	+0,500	186,8
2-й этаж	1896	0	5	+5,000	186,8
3-й – 9-й этаж	3360	3360	2,5	+10,000	88

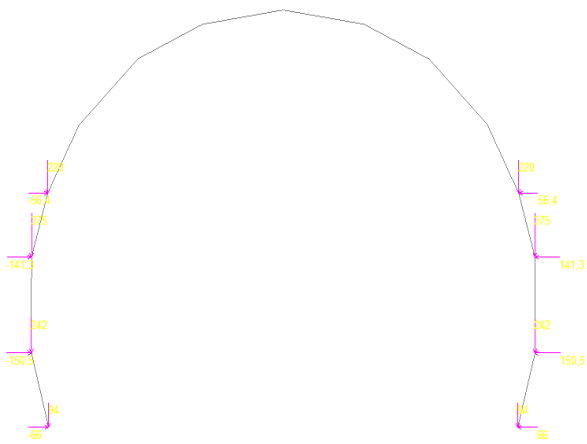


Рисунок 6 – Расчётная схема обделки тоннеля, кН

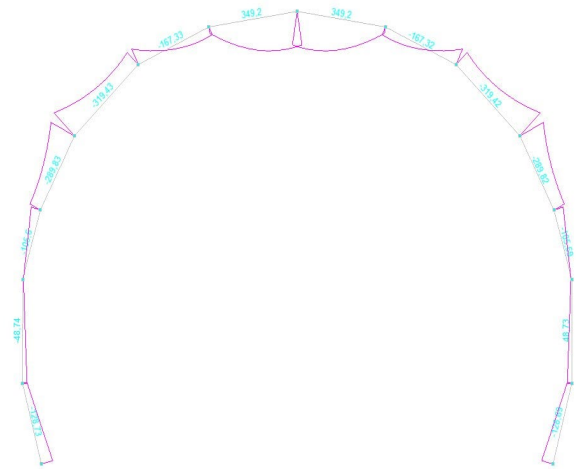


Рисунок 7 – Эпюра изгибающих моментов М

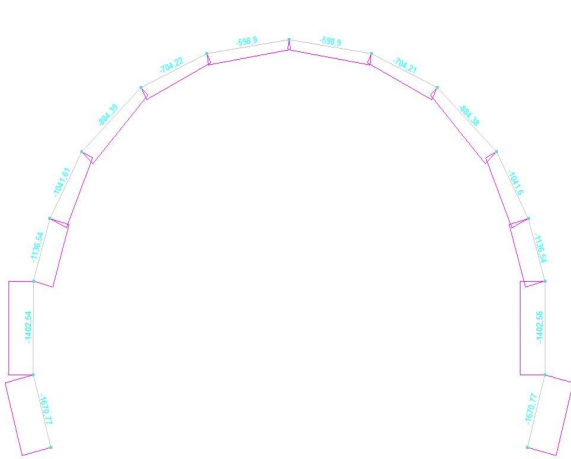


Рисунок 8 – Эпюра продольных сил N, кН

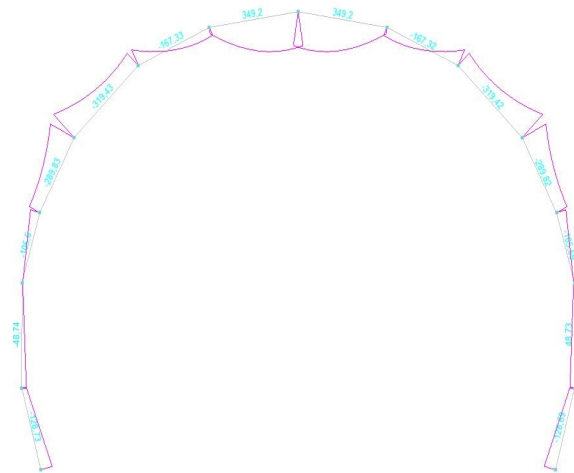


Рисунок 9 – Эпюра поперечных усилий Q, кН

Таблица 4 – Сравнение результатов ручного расчёта и расчёта в SCAD

Сечение	M ручн., кН·м	M SCAD, кН·м	Δ, %	N ручн., кН	N SCAD, кН
0 (замок)	145,0	143,4	1,2	211,2	213,73
b (макс. M)	220,5	228,8	4	333,6	346,9
1	-97,7	-101,9	4,3	390,3	407,1
3 (пята, провер.)	131,4	136,2	3,7	536,3	556,14

Таблица 5 – Конструктивные параметры обделки и порталов

Элемент	Характеристика	Значение / Материал
Обделка тоннеля	Тип, материал	Монолитный бетон В25, подковообразная форма
Марки бетона	Морозостойкость / водонепрон.	F150 / W2 (СНБ 5.03.01-02)
Коэф. упругого отпора K	кН/м ³	4 · 10 ⁵
Портальная стена	Тип, толщина	Врезная прямая, ж/б В25, 0,9 м
Предпортальная выемка	Глубина, м	20 м, скальный грунт VIII кат.
Прочность: сечение «3»	N < N _{пр} , условие	1465,53 кН < 1 684,8 кН

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-5.03-227-2010 (02250). Тоннели транспортные. Нормы проектирования. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2011. – 54 с.
2. Проектирование тоннелей, сооружаемых горным способом: учеб.-метод. пособие / Кафедра «Мосты и тоннели» БНТУ. – Минск: БНТУ, 2005. – 94 с.
3. Галкин, А. Н. Инженерная геология Беларуси. Ч. 1. Грунты Беларуси: монография / А. Н. Галкин. – Минск: Беларуская навука, 2016. – 411 с.
4. Колпашников, Г. А. Инженерная геология: учебное пособие / Г. А. Колпашников. – Минск: БНТУ, 2017. – 328 с.

5. СНБ 5.03.01-02. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003. – 139 с.
6. СН 303-2019. Автомобильные дороги. Тоннели. Правила проектирования. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2020. – 78 с.

REFERENCES

1. ТКР 45-5.03-227-2010 (02250). Transport tunnels. Design standards. Minsk: Ministry of Construction and Architecture of the Republic of Belarus, 2011. 54 p.
2. Designing tunnels constructed by mining method: textbook.- the method. manual / Department of Bridges and Tunnels of BNTU. Minsk: BNTU Publ., 2005. 94 p.
3. Galkin, A. N. Engineering geology of Belarus. Part 1. Soils of Belarus: a monograph / A. N. Galkin. Minsk: Belorusskaya nauka Publ., 2016. 411 p.
4. Kolpashnikov, G. A. Engineering geology: a textbook / G. A. Kolpashnikov. – Minsk: BNTU, 2017. – 328 p.
5. NSS 5.03.01-02. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Minsk: Ministry of Construction and Architecture of the Republic of Belarus, 2003. 139 p.
6. СН 303-2019. Highways. Tunnels. Design rules. Minsk: Ministry of Construction Architecture of the Republic of Belarus, 2020. 78 p.

АВТОНОМНЫЙ ДРОН ДЛЯ ПРИЁМОЧНОГО КОНТРОЛЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА С ПОСТРОЕНИЕМ 3D-МОДЕЛИ

САЗАНЧУК ЭМИЛИЯ ПАВЛОВНА

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение автономных дронов для приёмочного контроля плитных фундаментов с построением трёхмерной модели. Отмечено, что традиционные методы контроля трудоёмки, субъективны и связаны с работой персонала в опасных зонах. Показано, что автономный дрон выполняет полёт по заранее заданному маршруту, удерживая высоту и положение с помощью спутниковой навигации, и формирует по перекрывающимся снимкам точную исполнительную 3D-модель фундамента. Полученная модель позволяет сравнивать фактическую геометрию с проектом, контролировать ровность и уклоны, выявлять трещины и дефекты. Сделан вывод о повышении полноты и точности контроля, безопасности труда и эффективности при условии решения вопросов начальных инвестиций, подготовки персонала и соблюдения регуляторных требований.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, дрон, приёмочный контроль, плитный фундамент, 3D-модель, фотограмметрия, контроль качества, облако точек.

AN AUTONOMOUS DRONE FOR ACCEPTANCE INSPECTION OF A MAT FOUNDATION WITH 3D MODEL RECONSTRUCTION

SAZANCHUK EMILIA PAVLOVNA

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of autonomous drones for the acceptance inspection of mat foundations with the reconstruction of a three-dimensional model. It is noted that traditional control methods are labour-intensive, subjective and involve personnel working in hazardous areas. It is shown that an autonomous drone flies along a pre-set route, maintaining altitude and position using satellite navigation, and forms an accurate as-built 3D model of the foundation from overlapping images. The resulting model makes it possible to compare the actual geometry with the design, control flatness and slopes, and detect cracks and defects. It is concluded that the completeness and accuracy of control, occupational safety and efficiency are increased, provided that issues of initial investment, personnel training and compliance with regulatory requirements are resolved.

Keywords: unmanned aerial vehicle, drone, acceptance inspection, mat foundation, 3D model, photogrammetry, quality control, point cloud.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительная отрасль стремительно цифровизируется, и одним из самых заметных нововведений стали дроны, которые всё чаще применяют для проверки, наблюдения и контроля качества. Они строят точные трёхмерные модели уже возведённых конструкций, позволяя сопоставлять их с чертежами и нормами. Долгие годы приёмка фундаментов выполнялась вручную: такие методы проверены, но трудоёмки, субъективны, зависят от доступности зон и нередко дают неточную привязку замеров к проекту, а инспекторы работают в потенциально опасных условиях. Автономные дроны предлагают принципиально иной подход (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Применение дронов для мониторинга строительных площадок

Дрон летит по заранее проложенному маршруту без участия человека, что обеспечивает повторяемость и стабильную точность. Для приёмки плитного фундамента аппарат полностью сканирует поверхность, удерживая высоту и положение средствами спутниковой навигации. Обычно используется многороторная платформа – квадро- или гексакоптер, устойчивая и манёвренная; встроенные датчики предотвращают столкновения, а защищённый корпус позволяет работать при дожде и ветре. Времени полёта в 25–30 минут достаточно для покрытия типового фундамента.

Наземная станция управляет полётом, планирует маршрут и следит за безопасностью, а программное обеспечение обрабатывает снимки: строит 3D-модель, измеряет размеры, сравнивает фактическое состояние с проектом, выявляет дефекты и формирует отчёт. Процесс начинается с подготовки – инженеры загружают чертежи, задают маршрут, перекрытие снимков, высоту, скорость, режимы сенсоров и запретные зоны. В полёте дрон проходит точки маршрута, а камеры выполняют перекрывающиеся снимки; после возвращения специализированное ПО обрабатывает данные, накладывая текстуры на полигональную сетку и формируя точную модель «как построено». Совмещение модели с проектом наглядно показывает отклонения, ровность и уклоны поверхности, а также видимые трещины и дефекты.

Трёхмерная модель позволяет провести всестороннюю проверку: сопоставить длину, ширину и толщину фундамента с проектом (с допусками порядка 10–20 мм), оценить горизонтальность и ровность по всей площади, проверить уклоны для водоотвода и измерить расстояние между арматурными стержнями и их количество. Преимущества дронов очевидны: сплошной охват вместо отдельных замеров, объективность цифровых данных, автоматическое сохранение результатов в цифровом архиве и повышение безопасности труда – персоналу не нужно перемещаться по неровным и скользким площадкам, приближаться к технике или работать на высоте.

Успешное внедрение требует внимания к ряду практических вопросов: построения опорной геодезической сети для точной привязки, учёта погодных условий, подготовки площадки, наличия мощных средств хранения и обработки больших объёмов данных, соблюдения регуляторных норм (разрешения на полёты, сертификаты пилотов, страхование, защита приватности) и обучения персонала. Сохраняются и ограничения: высокие начальные вложения, сложность техники, необходимость подготовки специалистов, зависимость от погоды, различия в требованиях разных юрисдикций, а также сохранение отдельных параметров за традиционным или разрушающим контролем там, где датчики бессильны.

ВЫВОДЫ

Технологии быстро развиваются: искусственный интеллект уже распознаёт и классифицирует дефекты, снижая зависимость от субъективной интерпретации; группы дронов ускоряют сканирование

крупных фундаментов; сенсоры становятся компактнее и точнее, а интеграция решений в системы управления строительством делает контроль качества всё более автономным. Таким образом, автономные дроны с построением 3D-модели – важный шаг в управлении качеством строительства: они расширяют охват контроля, повышают его точность и безопасность и обеспечивают полное, всегда доступное цифровое представление возведённого фундамента, тогда как традиционные методы сохраняются лишь там, где живой осмотр пока незаменим.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Liu, X.; Zhang, Y. UAV-Based 3D Reconstruction for Construction Quality Inspection // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 124. – Article 103556.
2. Zhang, C.; Elaksher, A. An Autonomous Drone System for Concrete Surface Inspection // Journal of Construction Engineering and Management. – 2020. – Vol. 146, №6.

REFERENCES

1. Liu, X.; Zhang, Y. UAV-Based 3D Reconstruction for Construction Quality Inspection // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 124. – Article 103556.
2. Zhang, C.; Elaksher, A. An Autonomous Drone System for Concrete Surface Inspection // Journal of Construction Engineering and Management. – 2020. – Vol. 146, №6.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В РОССИИ

СВИРИДЕНКО АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение искусственного интеллекта при строительстве фундаментных опор, подпорных и гидравлических сооружений в России на всех этапах – от проектирования до эксплуатации. Показано, что ИИ оптимизирует геотехнические расчёты с учётом вечной мерзлоты и сейсмичности, а машинное обучение анализирует массивы данных по грунтам и подбирает параметры свайных фундаментов. Для гидравлических сооружений выполняется численное моделирование статической и сейсмической безопасности плотин, на этапе строительства дроны и системы компьютерного зрения ведут мониторинг работ и контроль техники безопасности, а информационно-диагностические системы отслеживают состояние плотин и подпорных стен. Отмечено, что создание цифровых двойников и автономная строительная техника повышают точность, безопасность и рентабельность работ в сложных условиях.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, гидротехнические сооружения, подпорные стены, цифровой двойник, мониторинг, вечная мерзлота, Россия.

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONSTRUCTION OF HYDRAULIC STRUCTURES IN RUSSIA

SVIRIDENKO ALEXEY SERGEEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of artificial intelligence in the construction of foundation supports, retaining and hydraulic structures in Russia at all stages, from design to operation. It is shown that AI optimizes geotechnical calculations taking permafrost and seismicity into account, while machine learning analyzes soil data and selects pile-foundation parameters. For hydraulic structures, numerical modeling of the static and seismic safety of dams is performed; during construction, drones and computer-vision systems monitor work and safety, and diagnostic information systems track the condition of dams and retaining walls. It is noted that the creation of digital twins and autonomous construction equipment increase the accuracy, safety and profitability of work in difficult conditions.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, hydraulic structures, retaining walls, digital twin, monitoring, permafrost, Russia.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Искусственный интеллект активно применяется при строительстве фундаментных опор, подпорных и гидравлических сооружений в России, преобразуя традиционные подходы на всех этапах – от проектирования до эксплуатации. На стадии проектирования ИИ оптимизирует сложные геотехнические расчёты для фундаментов опор, особенно учитывая характерные для страны условия – вечную мерзлоту и сейсмичность, а алгоритмы машинного обучения анализируют большие массивы данных по грунтам и подбирают оптимальные параметры свайных фундаментов и глубину заложения. Для гидравлических сооружений выполняется численное моделирование статической и сейсмической безопасности плотин и водосбросов, что критически важно для предотвращения аварий.

На этапе строительства дроны с искусственным интеллектом обрабатывают фото- и видеоданные для мониторинга работ в реальном времени, выявляя отклонения от проекта, а системы компьютерного зрения контролируют соблюдение техники безопасности и перемещение рабочих и материалов. Для гидросооружений применяются информационно-диагностические системы мониторинга состояния плотин и дамб, непрерывно отслеживающие ключевые параметры и предупреждающие о проблемах. ИИ прогнозирует

риски обрушения подпорных стен, анализируя устойчивость грунтовых массивов и откосов, и предсказывает вероятность аварий на гидравлических сооружениях, позволяя своевременно их предотвратить. Автоматизация типовых операций планирования снижает число человеческих ошибок, а создание цифровых двойников и 6D-моделей позволяет проверять соответствие проекту и тестировать строительные гипотезы заранее, экономя ресурсы; автономная строительная техника с ИИ повышает эффективность работ в труднодоступных регионах (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Использование современных технологий при строительстве гидротехнических сооружений

ВЫВОДЫ

В результате искусственный интеллект становится фактором рентабельности и прогресса российской строительной отрасли: технологии уже применяются для мониторинга, управления роботизированным оборудованием и анализа данных, а отказ от них нецелесообразен ввиду их быстрого развития и практической пользы. В целом ИИ обеспечивает более точное проектирование, безопасное строительство и надёжную эксплуатацию фундаментных опор, подпорных и гидравлических сооружений, особенно в сложных климатических и геологических условиях России.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Искусственный интеллект в проектировании [Электронный ресурс] // eneca.by. – 2024. – URL: <https://eneca.by/iskusstvennyu-intellekt/> (дата обращения: 29.05.2026).
2. Как использовать ИИ в геотехническом проектировании? [Электронный ресурс] // LinkedIn. – URL: <https://ru.linkedin.com/pulse/how-use-ai-geotechnical-engineering-saalg geomechanics-vygcf?tl=ru> (дата обращения: 29.05.2026).
3. Помощь ИИ при инженерных изысканиях для строительства [Электронный ресурс] // prom-terra.ru. – URL: <https://www.prom-terra.ru/articles/pomoshch-ii-pri-izyskaniyakh-dlya-stroitelstva.html> (дата обращения: 29.05.2026)

REFERENCES

1. Artificial Intelligence in Design [Electronic resource] // eneca.by. – 2024. – URL: <https://eneca.by/iskusstvennyu-intellekt/> (date of access: 29.05.2026).
2. How to Use AI in Geotechnical Design? [Electronic resource] // LinkedIn. – URL: <https://ru.linkedin.com/pulse/how-use-ai-geotechnical-engineering-saalg geomechanics-vygcf?tl=ru> (date of access: 29.05.2026).
3. AI Assistance in Engineering Surveys for Construction [Electronic resource] // prom-terra.ru. – URL: <https://www.prom-terra.ru/articles/pomoshch-ii-pri-izyskaniyakh-dlya-stroitelstva.html> (accessed: 05/29/2026)

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В США (ПЛИТНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ)

СИВЕЦ ИЛЬЯ АНДРЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности при строительстве плитных фундаментов в США. Показано, что к 2026 году VR/AR перешли из экспериментальной фазы в производственную практику: объём рынка решений расширенной реальности (XR) в строительстве превысил 23 млрд долларов при среднегодовом темпе роста 24 %. Приведены примеры внедрения: обязательные VR-тренировки у генподрядчиков Bechtel и Turner, управление роботом-армировщиком через VR-шлем (стартап Buildroid), а также система Engineering Grade Augmented Reality компании XYZ Reality, проецирующая BIM-модель на основание с точностью до 3 мм и сертифицированная для федеральных объектов. Отмечена перспектива интеграции VR с искусственным интеллектом для создания «умных фундаментов».

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, VR, AR, расширенная реальность, плитный фундамент, BIM, искусственный интеллект, США.

APPLICATION OF VIRTUAL REALITY IN THE CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS IN THE USA

SIVETS ILYA ANDREEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of virtual (VR) and augmented (AR) reality technologies in the construction of mat foundations in the United States. It is shown that, by 2026, VR/AR have moved from the experimental phase into production practice: the volume of the extended-reality (XR) solutions market in construction exceeded 23 billion dollars with an average annual growth rate of 24 %. Examples of adoption are given: mandatory VR training at the general contractors Bechtel and Turner, control of a reinforcing robot via a VR helmet (the Buildroid startup), and the Engineering Grade Augmented Reality system of XYZ Reality, which projects a BIM model onto the base with an accuracy of up to 3 mm and is certified for federal facilities. The prospect of integrating VR with artificial intelligence to create «smart foundations» is noted.

Keywords: virtual reality, augmented reality, VR, AR, extended reality, mat foundation, BIM, artificial intelligence, USA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство – одна из самых традиционных отраслей, долго сохранявшая приверженность классическим методам, однако в последние годы цифровизация проникает во все её сферы, а виртуальная реальность (VR) становится ключевым инструментом оптимизации процессов. К 2026 году технологии виртуальной и дополненной реальности (VR/AR) в строительстве США окончательно перешли из экспериментальной фазы в рутинную производственную практику: объём американского рынка решений расширенной реальности (XR) превысил 23 млрд долларов при среднегодовом росте около 24 %. Ведущие генподрядчики (Bechtel, Turner Construction) с 2025 года сделали VR-тренировки обязательным этапом первичного инструктажа, компания Stellar применяет платформу Autodesk Workshop XR, интегрированную с Revit и Navisworks, для координационных сессий в VR без экспорта данных, а стартап Buildroid из Остина (Техас) предложил управление роботами-армировщиками через VR-шлем: оператор задаёт траекторию укладки стержней, а робот точно её воспроизводит, что идеально для типовых плитных фундаментов (рисунок 1).



Рисунок 1 – Строительно-монтажные работы

Компания XYZ Reality разработала систему Engineering Grade Augmented Reality, проецирующую BIM-модель фундамента на бетонное основание с точностью до 3 мм: бригадир в AR-очках видит голограмму расположения арматуры и закладных и сверяет её с реальностью (рисунок 2). К 2026 году технология сертифицирована для федеральных объектов США – военных баз и центров NASA.

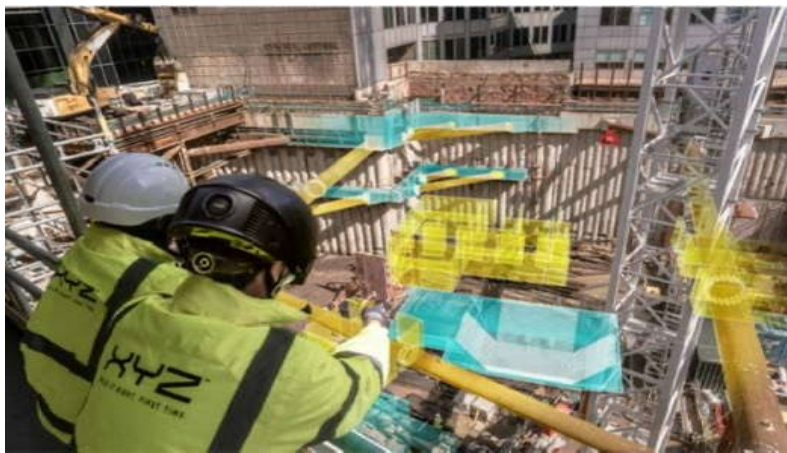


Рисунок 2 – Виртуальная реальность в строительстве

ВЫВОДЫ

Будущее связано с интеграцией VR и искусственного интеллекта. В MIT и Стэнфорде тестируются «умные фундаменты»: VR-интерфейс позволяет в реальном времени менять шаг арматуры, а нейросеть мгновенно пересчитывает несущую способность и стоимость.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Research and Markets. Construction Extended Reality Market Report 2026 [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.researchandmarkets.com/reports/6170912/construction-extended-reality-market-report?srsltid=AfmBOoqIiLJZ85dwMsInKtZ9uNciOwZXhUmzLrAJ-hGKH5ccjJuW0wGl> (Дата обращения: 24.05.2026).

2. Autodesk: Workshop XR. AEC Design Reviews in VR (2025) [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.autodesk.com/products/workshop-xr/overview> (Дата обращения: 24.05.2026).

REFERENCES

1. Research and Markets. Construction Extended Reality Market Report 2026 [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.researchandmarkets.com/reports/6170912/construction-extended-reality-market-report?srsltid=AfmBOoqIiLJZ85dwMsInKtZ9uNciOwZXhUmzLrAJ-hGKH5ccjJuW0wGl> (Дата обращения: 24.05.2026).

2. Autodesk: Workshop XR. AEC Design Reviews in VR (2025) [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.autodesk.com/products/workshop-xr/overview> (Дата обращения: 24.05.2026).

ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (LIDAR) ДЛЯ МОНИТОРИНГА И РЕКОНСТРУКЦИИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ (ИТАЛИЯ)

СЛАПИК ПОЛИНА ВИКТОРОВНА

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе анализируется применение лазерного сканирования (Lidar) для мониторинга и реконструкции свайных фундаментов в Италии в условиях высокой сейсмической активности и плотной исторической застройки. Показано, что традиционные методы (геодезическое нивелирование) не обеспечивают полной картины деформационного состояния, тогда как лазерное сканирование позволяет получать миллионы точек и выявлять микросмещения и скрытые деформации. Рассмотрены примеры применения: фиксация локальных просадок при испытаниях на разжижение (Университет Павии, сканер Trimble SX10) и батиметрическое сканирование размывов свайных опор моста Веспуччи во Флоренции. Приведена классификация применяемого оборудования (высокоточные, мобильные и батиметрические системы); сделан вывод о переходе от точечных измерений к цифровым двойникам объектов.

Ключевые слова: лазерное сканирование, Lidar, облако точек, свайные фундаменты, мониторинг деформаций, батиметрическая съёмка, цифровой двойник, BIM, Италия.

APPLICATION OF LASER SCANNING (LIDAR) FOR MONITORING AND RECONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS IN ITALY

SLAPIK POLINA VIKTOROVNA

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper analyses the application of laser scanning (Lidar) for the monitoring and reconstruction of pile foundations in Italy under conditions of high seismic activity and dense historical development. It is shown that traditional methods (geodetic levelling) do not provide a complete picture of the deformation state, whereas laser scanning makes it possible to obtain millions of points and detect micro-displacements and hidden deformations. Examples of application are considered: recording local subsidence during liquefaction tests (University of Pavia, Trimble SX10 scanner) and bathymetric scanning of the scoured pile supports of the Vespucci Bridge in Florence. A classification of the equipment used is given (high-precision, mobile and bathymetric systems); it is concluded that there is a transition from point measurements to digital twins of objects.

Keywords: laser scanning, Lidar, point cloud, pile foundations, deformation monitoring, bathymetric survey, digital twin, BIM, Italy.

ВВЕДЕНИЕ

В работе анализируется применение лазерного сканирования (Lidar) для мониторинга и реконструкции свайных фундаментов в Италии: рассматриваются методы контроля деформаций, обследования подводных опор и интеграция облаков точек в BIM-модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Высокая сейсмическая активность, сложный рельеф и плотная историческая застройка предъявляют в Италии повышенные требования к контролю свайных фундаментов. Традиционные приёмы, например геодезическое нивелирование, не дают полной картины деформационного состояния, тогда как лазерное сканирование позволяет получить миллионы точек и выявить микросмещения и скрытые деформации.

Так, исследователи Университета Павии (Casella & Franzini, 2022) использовали сканер Trimble SX10 для фиксации локальных просадок грунта при испытаниях на разжижение, что критически важно для прогноза осадки свайных полей в сейсмических зонах.

Мост Веспуччи (Флоренция).

Из-за размыва дна реки Арно обнажились свайные опоры моста. Применённое батиметрическое лазерное сканирование позволило построить трёхмерную модель подводной части и рассчитать объём вымытого грунта для последующего проектирования укреплений (рисунок 1).

Применяемое оборудование можно разделить на три типа:

1. высокоточные лазерные сканеры – формируют детальное 3D-облако точек для мониторинга осадок, деформаций и реверс-инжиниринга (например, Riegl VZ-600i, Optech ILRIS-3D; Рисунок 1);
2. мобильные и портативные системы – предназначены для оперативной съёмки в стеснённых условиях (котлованы, подвалы, подмостовое пространство);
3. батиметрическое оборудование для подводной съёмки – используется для диагностики опор мостов и подводных частей свай (рисунок 2).



Рисунок 1 – Методика выполнения работ (лазерный сканер)

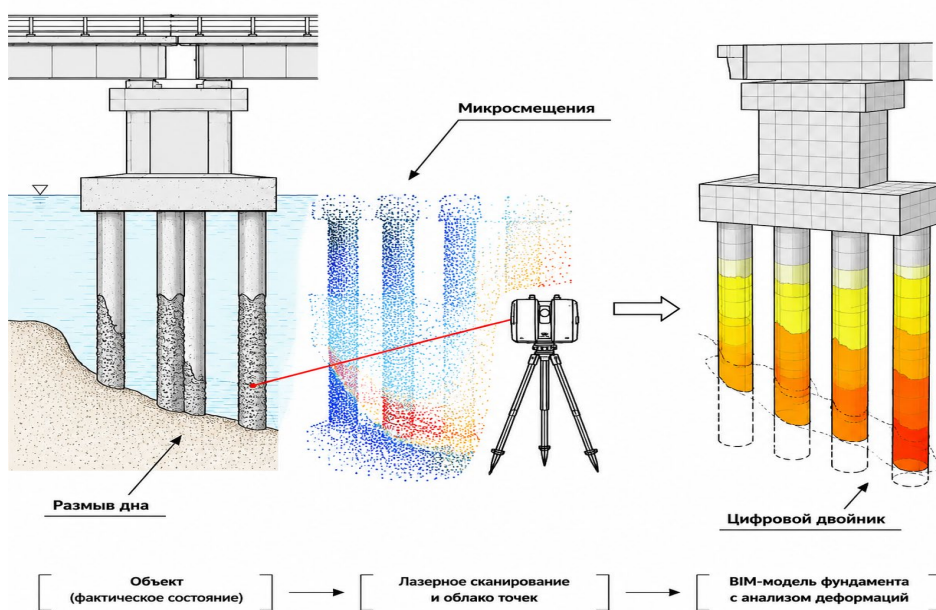


Рисунок 2 – Интеграция лазерного сканирования в мониторинг свайных фундаментов

ВЫВОДЫ

Итальянский опыт показывает, что лазерное сканирование становится обязательным этапом работы со свайными фундаментами в сложных геологических и исторических условиях. Оно обеспечивает переход от точечных геодезических измерений к полноценным цифровым двойникам объектов, что особенно важно при реконструкции мостов и зданий в сейсмоопасных зонах.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. HEXAGON [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/products/3d-laser-scanning> (Дата обращения 23.05.2026).
2. GEXCEL [Электронный ресурс]. – URL: <https://gexcel.it/en/heron-scanning-system> (Дата обращения 23.05.2026).

REFERENCES

1. HEXAGON [Электронный ресурс]. – URL: <https://hexagon.com/products/3d-laser-scanning> (Дата обращения 23.05.2026).
2. GEXCEL [Электронный ресурс]. – URL: <https://gexcel.it/en/heron-scanning-system> (Дата обращения 23.05.2026).

ПРИМЕНЕНИЕ VR-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ В КНР

ТАРАНОВИЧ КОНСТАНТИН ОЛЕГОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий виртуальной реальности (VR) при устройстве плитных фундаментов транспортных объектов в Китайской Народной Республике. Отмечено, что массивные фундаментные плиты вокзалов и мостовых переходов воспринимают колоссальные нагрузки, а их проектирование осложняется плотным армированием, риском температурного растрескивания бетона и неоднородностью грунтов. Показано, что китайские компании используют VR-среду, интегрированную с информационным моделированием (BIM), на трёх этапах: анализе взаимодействия плиты с основанием, виртуальной проверке арматурных каркасов и моделировании укладки бетонной смеси. Сделан вывод о том, что технология снижает риск брака, исключает пространственные ошибки армирования и оптимизирует логистику, повышая надёжность основания.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR, плитный фундамент, транспортные объекты, BIM, армирование, укладка бетона, КНР.

APPLICATION OF VR TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS OF TRANSPORT FACILITIES IN CHINA

TARANOVICH KONSTANTIN OLEGOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of virtual reality (VR) technologies in the construction of mat foundations of transport facilities in the People's Republic of China. It is noted that the massive foundation slabs of railway stations and bridge crossings carry enormous loads, while their design is complicated by dense reinforcement, the risk of thermal cracking of concrete and soil heterogeneity. It is shown that Chinese companies use a VR environment integrated with information modelling (BIM) at three stages: analysing the slab-base interaction, virtually checking the reinforcement cages and simulating the placement of the concrete mix. It is concluded that the technology reduces the risk of defects, eliminates spatial reinforcement errors and optimises logistics, increasing the reliability of the base.

Keywords: virtual reality, VR, mat foundation, transport facilities, BIM, reinforcement, concrete placement, China.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство крупных транспортных узлов, вокзалов и мостовых переходов требует устройства массивных плитных фундаментов, воспринимающих колоссальные нагрузки. Проектирование таких конструкций осложняется плотным армированием, риском температурного растрескивания бетона и неоднородностью подстилающих грунтов. Чтобы снизить число ошибок при возведении массивных фундаментных плит, в Китайской Народной Республике (КНР) активно внедряют технологии виртуальной реальности (VR), интегрированные с информационным моделированием (BIM). Китайские инфраструктурные компании используют VR-среду как рабочий инструмент контроля на трёх основных этапах: анализе взаимодействия плиты с грунтовым основанием, виртуальной проверке арматурных каркасов и моделировании процесса укладки бетонной смеси (рисунок 1).

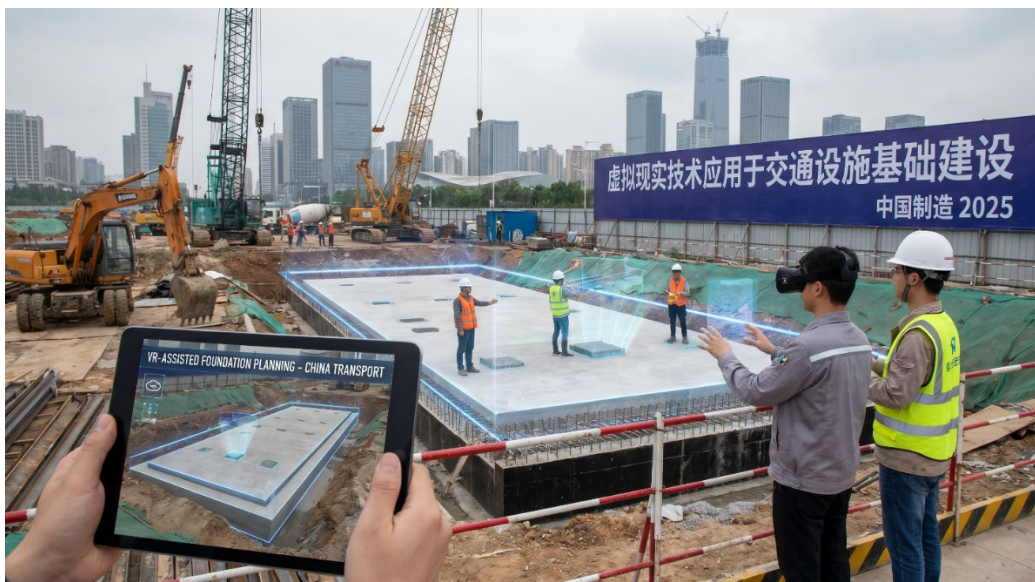


Рисунок 1 – Использование VR-технологий при устройстве плитных фундаментов в КНР

ВЫВОДЫ

Опыт КНР подтверждает, что применение виртуальной реальности при устройстве плитных фундаментов позволяет связать расчётную геотехническую модель с реальными условиями стройплощадки. Технология снижает риск брака при укладке массивного бетона, исключает пространственные ошибки армирования и оптимизирует логистику техники, обеспечивая надёжность основания транспортного сооружения.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Опыт применения BIM и VR корпорацией CRCC в транспортном секторе [Электронный ресурс]. – URL : <https://www.crcc.cn/> (Дата обращения: 23.05.2026).
2. Реализация проекта вокзала Сюньхуа и технологии контроля фундаментов [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.chinabuilding.com.cn/> (Дата обращения: 23.05.2026).

REFERENCES

1. Experience of using BIM and VR by CRCC Corporation in the transport sector [Electronic resource]. – URL : <https://www.crcc.cn/> / (Date of access: 05/23/2026).
2. Implementation of the Xunhua Railway Station project and foundation control technology [Electronic resource]. – URL : <http://www.chinabuilding.com.cn/> / (Date of access: 05/23/2026).

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ – СТРОИТЕЛЬСТВО ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ (ОПЫТ ИТАЛИИ)

ТАРЕЛКИН КИРИЛЛ СЕРГЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение технологий виртуальной реальности (VR) при устройстве плитных фундаментов на примере опыта Италии. Отмечено, что плитный фундамент предъявляет жёсткие требования к горизонтальности и равномерности толщины бетонного слоя, а интеграция VR с BIM-моделями позволяет «погрузиться» в цифровой двойник объекта в масштабе 1:1 до начала работ. Рассмотрены четыре этапа применения технологии: виртуальное проектирование (Meta Quest 3, Microsoft HoloLens 2), контроль опалубки и арматуры средствами дополненной реальности, симуляция заливки бетона (продукт Edificius BIM компании ACCA Software) и формирование исполнительной документации с картой отклонений. Показано, что внедрение VR/AR сокращает количество ошибок армирования на 15-20 % и перерасход бетона до 3-5 %.

Ключевые слова: виртуальная реальность, VR, дополненная реальность, плитный фундамент, BIM, цифровой двойник, Edificius, Италия.

CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS USING VIRTUAL REALITY (THE ITALIAN EXPERIENCE)

TARELKIN KIRILL SERGEEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of virtual reality (VR) technologies in the construction of mat foundations using the Italian experience as an example. It is noted that a mat foundation imposes strict requirements on the horizontality and uniform thickness of the concrete layer, while the integration of VR with BIM models makes it possible to «immerse» oneself in the digital twin of the object at a 1:1 scale before work begins. Four stages of applying the technology are considered: virtual design (Meta Quest 3, Microsoft HoloLens 2), control of formwork and reinforcement using augmented reality, simulation of concrete pouring (the Edificius BIM product of ACCA Software) and the formation of as-built documentation with a deviation map. It is shown that the adoption of VR/AR reduces reinforcement errors by 15-20 % and concrete overruns by up to 3-5 %.

Keywords: virtual reality, VR, augmented reality, mat foundation, BIM, digital twin, Edificius, Italy.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Сплошная фундаментная плита – это монолитная бетонная или железобетонная конструкция, перекрывающая всю площадь застройки и выравнивающая давление сооружения на основание. Для неё критичны ровность опорной поверхности и одинаковая толщина бетонного слоя, поскольку отступления более чем на 1–2 см ведут к избыточному расходу материала и искажению арматурной сетки. По мере цифровизации строительства всё активнее используются технологии виртуальной реальности (VR), и здесь показателен опыт Италии с её сильной инженерной традицией.

В Италии VR развивается в русле концепции информационного моделирования (BIM). Так, компания Fraunhofer Italia (г. Больцано) подготовила методические рекомендации по совместному применению BIM и VR/AR в строительном контроле, включая фундаментные работы. Объединение виртуальной реальности с BIM-моделью позволяет ещё до выхода на площадку «войти» в цифровой двойник объекта в натуральном масштабе 1:1 и заранее обнаружить расхождения с проектом. Ниже описаны ключевые стадии применения VR при устройстве плитных фундаментов (рисунок 1).

- арматурная сетка
- бетонная плита
- гидроизоляция

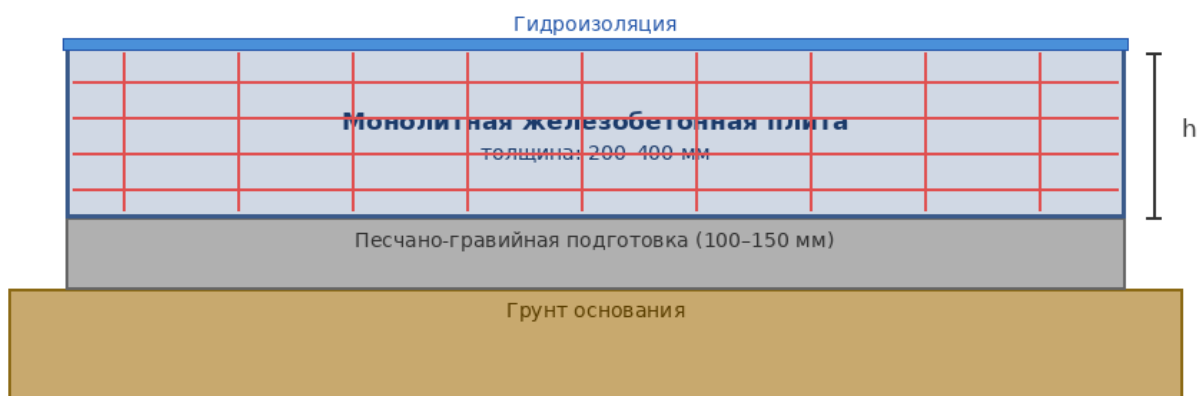


Рисунок 1 – Схема плитного фундамента

Первая стадия – виртуальное проектирование. До начала земляных работ инженер в гарнитуре (Meta Quest 3 либо Microsoft HoloLens 2) осматривает цифровую модель будущей плиты, а система подсвечивает проблемные зоны: недостаточную несущую способность грунта, коллизии армирования и нарушения уклона.

Вторая стадия – контроль опалубки и арматуры. Дополненная реальность совмещает виртуальный арматурный каркас с реальным котлованом: через планшет или шлем прораб видит, где фактическое положение стержней расходится с проектным, и устраняет отклонения ещё до бетонирования (рисунок 2).

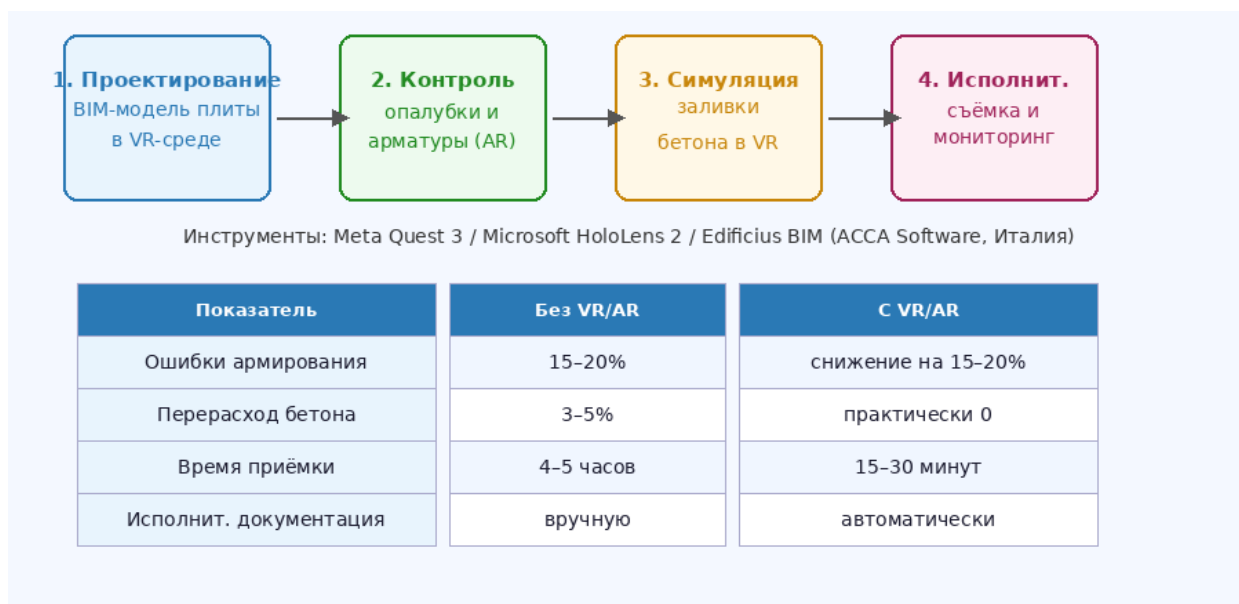


Рисунок 2 – Применение VR/AR для контроля выполненных работ при изготовлении плитного фундамента

Третья стадия – симуляция бетонирования. На VR-тренажёре операторы бетоносмесительных установок отрабатывают сценарий заливки в виртуальной среде; в итальянской практике такое решение реализовано компанией ACCA Software (г. Аверса) в продукте Edificius BIM с функцией иммерсивной виртуальной реальности (VRiBIM), что снижает вероятность переливов и недоливов.

Четвёртая стадия – исполнительная документация и мониторинг. После завершения работ результаты сканирования готовой плиты сводятся с VR-моделью, образуя актуализированный цифровой двойник;

программа выстраивает карту отклонений с цветовой индикацией (зелёный – норма, красный – брак) и подсчитывает фактический объём уложенного бетона.

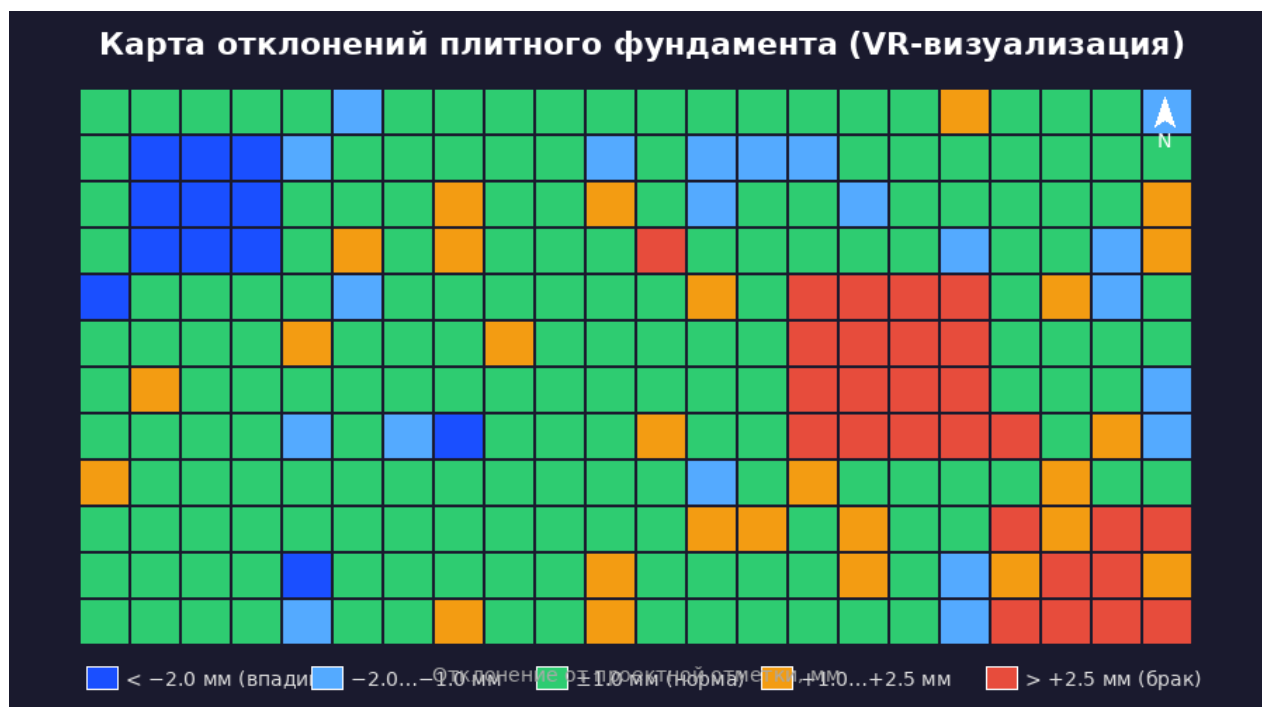


Рисунок 3 – Карта отклонений плитного фундамента в VR-среде (цветовая индикация)

ВЫВОДЫ

Применение виртуальной реальности переводит возведение плитных фундамента на новый уровень цифрового контроля. Итальянский опыт показывает, что связка VR/AR с BIM сокращает число ошибок армирования на 15–20 %, уменьшает перерасход бетона до 3–5 % и ускоряет приёмку за счёт автоматически формируемой исполнительной документации, окупаясь уже на первом крупном объекте. Целесообразно закреплять требование о применении VR/AR-инструментов в техническом задании на строительный контроль ответственных фундамента.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Fraunhofer Italia (2025): «BIM-Leitfaden für Bauwesen, Infrastruktur und Holzbau». Bozen/Bolzano. <https://www.fraunhofer.it/> (дата обращения 24.05.2026)
2. ACCA Software (2026): «Edificius BIM ONE – Realtà Virtuale Immersiva (VRiBIM)». Acerra. <https://www.accasoftware.com/it/vrbim> (дата обращения 24.05.2026)
3. Program-Ace (2026): «7 Ways to Benefit from VR in Construction». program-ace.com. <https://program-ace.com/> (дата обращения 24.05.2026)

REFERENCES

1. Fraunhofer Italia (2025): «BIM-Leitfaden für Bauwesen, Infrastruktur und Holzbau». Bozen/Bolzano. <https://www.fraunhofer.it/> (дата обращения 24.05.2026)
2. ACCA Software (2026): «Edificius BIM ONE – Realtà Virtuale Immersiva (VRiBIM)». Acerra. <https://www.accasoftware.com/it/vrbim> (дата обращения 24.05.2026)
3. Program-Ace (2026): «7 Ways to Benefit from VR in Construction». program-ace.com. <https://program-ace.com/> (дата обращения 24.05.2026)

СТРОЙКА ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В РОССИИ

ТИМОШЕНКОВ ПАВЕЛ ОЛЕГОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе анализируется внедрение цифровых технологий – BIM, искусственного интеллекта, лазерного сканирования и робототехники – в российское строительство подпорных и гидротехнических сооружений. Показано, как эти технологии повышают точность расчётов, сокращают сроки строительства и минимизируют риски в сложных климатических условиях, при сохранении ключевой роли инженера в управлении процессами.

Ключевые слова: BIM-технологии, искусственный интеллект, робототехника, лазерное сканирование, гидротехнические сооружения, подпорные стены, цифровизация, Россия.

CONSTRUCTION OF FOUNDATION PILLARS, RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN RUSSIA

TIMOSHENKOV PAVEL OLEGOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper analyzes the introduction of digital technologies (BIM, artificial intelligence, laser scanning, robotics) in the Russian construction of retaining and hydraulic structures. It is shown how these technologies can improve the accuracy of calculations, shorten construction time and minimize risks in difficult climatic conditions, while maintaining the key role of an engineer in process management.

Keywords: BIM technologies, artificial intelligence, robotics, laser scanning, hydraulic structures, retaining walls, digitalization, Russia.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство фундаментных опор, подпорных стен и гидротехнических сооружений всегда относилось к наиболее сложным направлениям инженерной деятельности: такие объекты работают под воздействием воды, давления грунта, сезонных деформаций и вибраций, а ошибки проектирования или строительства грозят не только финансовыми потерями, но и авариями. Поэтому в 2026 году строительная отрасль России активно внедряет цифровые технологии, повышающие точность расчётов, сокращающие сроки и минимизирующие человеческий фактор.

Особую роль играют искусственный интеллект, робототехника, лазерное сканирование и BIM-технологии, применение которых стало не модным трендом, а необходимостью для реализации сложных гидротехнических и подпорных сооружений. Российские компании постепенно переходят от традиционных методов к цифровому сопровождению объектов на всех этапах – от изысканий до эксплуатации.

Наиболее заметное направление – BIM-технологии (Building Information Modeling). BIM представляет собой цифровую информационную модель, объединяющую данные о конструкции, материалах, нагрузках, геологии и этапах строительства. При устройстве подпорных стен и гидротехнических сооружений она позволяет заранее моделировать поведение конструкции под воздействием воды и грунта, выявлять ошибки и корректировать проект до начала работ. В России BIM активно применяется при строительстве транспортных развязок, мостовых опор, набережных и защитных сооружений, особенно в сложных геологических условиях и районах с повышенной влажностью; в плотной застройке модель помогает учитывать расположение коммуникаций и снижать риск повреждений, а также облегчает взаимодействие проектировщиков, подрядчиков и заказчика.

Всё более востребованы ИИ-ассистенты: искусственный интеллект анализирует инженерные данные, прогнозирует деформации грунта и оценивает риски, обрабатывая большие массивы информации с датчиков влажности, давления и подвижек конструкции, что позволяет заранее выявлять опасные участки.

ИИ применяют и для автоматизации проектирования – подбора расположения опор, расчёта расхода материалов и формирования графиков работ, что особенно актуально в регионах со сложным климатом и коротким строительным сезоном.

Важное направление – робототехника: на площадках появляются автоматизированные буровые установки, роботизированные комплексы сварки арматуры и беспилотная техника, позволяющие выполнять работы в опасных условиях – при повышенной влажности, на большой глубине или вблизи нестабильных грунтов. В России робототехника внедряется постепенно, однако крупные проекты уже используют автоматизированный контроль качества бетона, беспилотный мониторинг площадок и роботизированные геодезические системы, снижая вероятность ошибок и повышая безопасность.

Особое значение имеет лазерное сканирование: с помощью сканеров создают точные трёхмерные модели местности и существующих конструкций, что позволяет с высокой точностью определять отклонения, контролировать деформации и анализировать состояние объекта. При строительстве гидротехнических сооружений оно помогает отслеживать изменения береговой линии, состояние дамб и опор мостов, а для подпорных стен – контролировать смещения конструкции на ранних стадиях; в российских проектах сканирование активно сочетается с беспилотными аппаратами, ускоряя инженерные обследования.

Все перечисленные технологии наиболее эффективны в комплексе: данные лазерного сканирования автоматически загружаются в BIM-модель, после чего искусственный интеллект анализирует их и прогнозирует риски, формируя так называемое «цифровое строительство» – основу современной инженерной отрасли.



Рисунок 1 – Применение цифровых технологий при строительстве гидротехнических и подпорных сооружений в России (BIM, ИИ, лазерное сканирование и робототехника)

ВЫВОДЫ

Внедрение искусственного интеллекта, BIM-технологий, робототехники и лазерного сканирования постепенно меняет сам подход к строительству гидротехнических и подпорных сооружений в России: если раньше внимание уделялось прежде всего прочности конструкции, то сегодня важны скорость обработки информации, точность прогнозирования и возможность постоянного цифрового контроля. При этом технологии не заменяют инженера – напротив, чем сложнее цифровые системы, тем выше требования к профессиональному мышлению специалиста, который должен не только пользоваться инструментами, но и понимать физические процессы в грунте и конструкции. Будущее отрасли связано именно с сочетанием

инженерного опыта и цифровых технологий, что делает сооружения более надёжными, безопасными и долговечными.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев В. М. Современные технологии гидротехнического строительства. – Санкт-Петербург: Лань, 2022.
2. Журнал «Промышленное и гражданское строительство». Выпуски 2023–2026 гг.
3. Autodesk BIM для инфраструктурных объектов: практическое применение в России. – Учебное пособие. – 2024.

REFERENCES

1. Lebedev V. M. Modern technologies of hydraulic engineering construction. – St. Petersburg: Lan, 2022.
2. Industrial and Civil Engineering Magazine. Issues 2023-2026.
3. Autodesk BIM for infrastructure facilities: practical application in Russia. – Training manual. – 2024.

ЦИФРОВАЯ СТРОЙКА КИТАЯ: РОБОТИЗАЦИЯ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И 3D-СКАНИРОВАНИЕ В ВОЗВЕДЕНИИ ФУНДАМЕНТОВ И ПОДПОРНЫХ СТЕН

ТУМЕЛЬ ТИМОФЕЙ АНДРЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение робототехники, искусственного интеллекта и лазерного сканирования при возведении фундаментных опор, подпорных стен и гидравлических сооружений в Китае. Показано, что лазерные строительные роботы с лидарами, ИИ-алгоритмами и 5G-связью выполняют выравнивание поверхности бетона с миллиметровой точностью втрое быстрее человека, сокращая трудозатраты на 40 %, а установку тяжёлых панелей подпорных стен ускоряют втрое при снижении аварийности на 90 %. Отмечено, что ИИ-алгоритмы анализируют геологические данные и нагрузки, подбирая оптимальную конструкцию фундамента и прогнозируя дефекты, а лазерные сканеры формируют точные трёхмерные модели местности, что особенно важно для гидравлических сооружений. Сделан вывод о том, что сочетание робототехники, ИИ и лазерного сканирования делает китайское строительство быстрее, безопаснее и точнее.

Ключевые слова: робототехника, искусственный интеллект, лазерное сканирование, фундаментные опоры, подпорные стены, гидравлические сооружения, 3D-модель, Китай.

DIGITAL CONSTRUCTION IN CHINA: ROBOTIZATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND 3D SCANNING IN THE CONSTRUCTION OF FOUNDATIONS AND RETAINING WALLS

TUMEL TIMOFEY ANDREEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of robotics, artificial intelligence and laser scanning in the construction of foundation supports, retaining walls and hydraulic structures in China. It is shown that laser construction robots with lidars, AI algorithms and 5G communication level concrete surfaces with millimeter accuracy three times faster than humans, reducing labor costs by 40 %, and accelerate the installation of heavy retaining-wall panels threefold while reducing accidents by 90 %. AI algorithms analyze geological data and loads, selecting the optimal foundation design and predicting defects, while laser scanners form accurate three-dimensional terrain models, which is especially important for hydraulic structures. It is concluded that the combination of robotics, AI and laser scanning makes Chinese construction faster, safer and more accurate.

Keywords: robotics, artificial intelligence, laser scanning, foundation supports, retaining walls, hydraulic structures, 3D model, China.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Китай – мировой лидер масштабного строительства: от высотных зданий и мостов до гигантских гидравлических сооружений вроде плотины Трёх ущелий. В последние годы страна активно внедряет искусственный интеллект, робототехнику и лазерное сканирование, которые кардинально меняют подход к возведению фундаментных опор, подпорных стен и гидравлических объектов, делая строительство быстрее, безопаснее и точнее.

Фундаментные опоры – основа любого крупного сооружения, и в Китае при их возведении всё чаще применяют специализированных строительных роботов. На крупнейших объектах в экстремальных условиях лазерные роботы с лидарами, ИИ-алгоритмами и 5G-связью выравнивают поверхность бетона с миллиметровой точностью втрое быстрее человека, сокращая трудозатраты на 40 %. Если раньше эта работа при 40-градусной жаре приводила к тепловым ударам, то теперь её выполняют дистанционно из прохладных укрытий. При возведении подпорных стен и фасадов роботы устанавливают 800-килограммовые панели с миллиметровой точностью, ускоряя монтаж втрое и снижая риск аварий на 90 % по сравнению с ручным подъёмом десятками рабочих.

В целом роботизация в Китае уже утроила среднюю производительность труда и почти вдвое сократила трудозатраты, а число аварий, связанных с безопасностью, уменьшилось на 90 %.

ИИ-алгоритмы анализируют геологические данные и нагрузку на грунт, помогая выбрать оптимальную конструкцию фундамента и подпорной стены, что особенно важно в горной местности Китая со сложным рельефом и рекордными летними температурами. Нейросети прогнозируют возможные задержки, аварии и дефекты по данным датчиков и камер, позволяя строить быстрее, безопаснее и «умнее» даже в экстремальных условиях летней жары Чунцина.

Лазерные сканеры создают точные трёхмерные модели местности, позволяя инженерам заранее выявить проблемы с рельефом, грунтом и подземными водами; для гидравлических сооружений, где даже небольшая ошибка может привести к катастрофе, это критически важно.



Рисунок 1 – Наземное лазерное сканирование транспортного тоннеля

ВЫВОДЫ

Таким образом, строительство фундаментных опор, подпорных и гидравлических сооружений в Китае сегодня тесно связано с передовыми технологиями: робототехника берёт на себя тяжёлые, опасные и трудоёмкие операции, искусственный интеллект обеспечивает анализ данных, контроль качества и прогнозирование рисков, а лазерное сканирование даёт точную цифровую модель объекта и контроль соответствия проекту. Опыт страны показывает, что сочетание инженерных традиций и цифровых технологий открывает новые возможности для создания прочных и долговечных сооружений.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация строительных работ в Китае [Электронный ресурс] // ChinaHI.tech. – 2022. – 31 декабря. – URL: https://chinahi.tech/construction_robots_china (дата обращения: 29.05.2026).

2. Как роботы помогают в строительстве в Китае? [Электронный ресурс] // News.cn. – 2022. – 19 августа. – URL: <http://russian.news.cn/20220820/664c177d503147599ba67f136f2233af/c.html> (дата обращения: 29.05.2026).

3. Доклад Александра Брагина (АО «ПРИН») на XV Международной научно-практической конференции «Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъемка, Навигация» [Видео] // YouTube. – 2024. – 16 февраля. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=UIVuWKQ6FB8> (дата обращения: 29.05.2026).

4. Лазерное 3D-сканирование в строительстве – области применения [Электронный ресурс] // IQB.ru. – URL: <https://iqb.ru/industries/construction-and-architecture/> (дата обращения: 29.05.2026).

REFERENCES

1. Automation of construction work in China [Electronic resource] // ChinaHI.tech. - 2022. - December 31. - URL: https://chinahi.tech/construction_robots_china (date of access: 05/29/2026).

2. How do robots help in construction in China? [Electronic resource] // News.cn. - 2022. - August 19. - URL: <http://russian.news.cn/20220820/664c177d503147599ba67f136f2233af/c.html> (date of access: 05/29/2026).

3. Report by Alexander Bragin (JSC PRIN) at the XV International Scientific and Practical Conference "Geodesy. Mine Surveying. Aerial Photography, Navigation" [Video] // YouTube. - 2024. - February 16. - URL: <https://www.youtube.com/watch?v=UIVuWKQ6FB8> (date of access: 29.05.2026).

4. Laser 3D scanning in construction - areas of application [Electronic resource] // IQB.ru. - URL: <https://iqb.ru/industries/construction-and-architecture/> (date of access: 29.05.2026).

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ (США)

ЧАРЬЕВА МАЙСА

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение робототехники при строительстве плитных фундаментов в США. Отмечено, что нормы ACI 318 и IBC жёстко регулируют расчёт плитных фундаментов, а традиционные методы армирования и бетонирования трудоёмки и подвержены человеческому фактору. Описана роботизированная система TyBOT компании Advanced Construction Robotics, автономно укладывающая арматурные стержни с точностью до 2 мм при помощи машинного зрения и лазерного позиционирования. Показано, что роботизация охватывает разметку, укладку арматуры, вибрирование бетона и контроль качества поверхности, сокращая сроки армирования на 40-60 % и снижая травматизм. Сделан вывод о повышении точности укладки до 99,5 % и интеграции роботизированных систем с технологиями BIM.

Ключевые слова: робототехника, плитный фундамент, TyBOT, армирование, машинное зрение, лазерное позиционирование, BIM, ACI 318, США.

APPLICATION OF ROBOTICS IN THE CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS IN THE USA

CHARYEVA MAISA

2nd year student of the department Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., senior lecturer of the department Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of robotics in the construction of mat foundations in the United States. It is noted that the ACI 318 and IBC codes strictly regulate the calculation of mat foundations, while traditional reinforcement and concreting methods are labour-intensive and subject to the human factor. The TyBOT robotic system of Advanced Construction Robotics, which autonomously lays reinforcing bars with an accuracy of up to 2 mm using machine vision and laser positioning, is described. It is shown that robotisation covers marking, reinforcement laying, concrete vibration and surface quality control, reducing reinforcement time by 40-60 % and decreasing injuries. It is concluded that the laying accuracy is increased to 99.5 % and that robotic systems are integrated with BIM technologies.

Keywords: robotics, mat foundation, TyBOT, reinforcement, machine vision, laser positioning, BIM, ACI 318, USA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В современном строительстве США плитные фундаменты мелкого заложения широко применяются при возведении многоэтажных зданий и промышленных объектов. Их расчёт по несущей способности и деформациям жёстко регулируют нормы ACI 318 и IBC, тогда как традиционные методы армирования и бетонирования трудоёмки и подвержены человеческому фактору.

В последние годы в США активно внедряют робототехнику на стадии возведения плитных фундаментов. Компания Advanced Construction Robotics создала систему TyBOT, которая автономно укладывает арматурные стержни с точностью до 2 мм (рисунок 1); оснащённая машинным зрением и лазерным позиционированием, она работает в любое время суток и при различной погоде.

Роботизация при строительстве плитных фундаментов охватывает несколько ключевых операций: автоматизированную разметку, роботизированную укладку арматуры, автоматическое вибрирование бетона и контроль качества поверхности. Управление ведётся с центрального пульта, где оператор в реальном времени отслеживает все параметры (рисунок 2). Применение роботов сокращает сроки армирования на 40–60 % и заметно снижает производственный травматизм.



Рисунок 1 – Роботизированная система формирования арматурного каркаса при изготовлении плитного фундамента

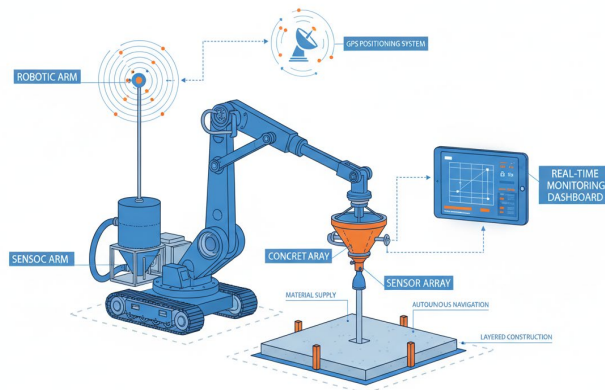


Рисунок 2 – Схема роботизированной системы изготовления плитных фундамента

ВЫВОДЫ

1. Применение робототехники при строительстве плитных фундаментах в США повышает точность укладки арматуры до 99,5 % и сокращает сроки работ на 40–60 % по сравнению с ручными методами.
2. Роботизированные системы интегрируются с BIM-технологиями и системами лазерного позиционирования, что обеспечивает полную автоматизацию процесса и минимизирует влияние человеческого фактора при возведении фундаментах.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. □ American Concrete Institute, 2019. □ 524 с.
2. IBC 2024. International Building Code. □ International Code Council, 2024.
3. Advanced Construction Robotics [Electronic resource]. – URL: <https://www.advancedconstructionrobotics.com/> (Date of access: 23.05.2026).
4. Bock T. Robots in Construction / T. Bock, T. Linner. – Cambridge University Press, 2016. – 368 p.

REFERENCES

1. ACI 318-19. Building Code Requirements for Structural Concrete. □ American Concrete Institute, 2019. □ 524 с.
2. IBC 2024. International Building Code. □ International Code Council, 2024.
3. Advanced Construction Robotics [Electronic resource]. – URL: <https://www.advancedconstructionrobotics.com/> (Date of access: 23.05.2026).
4. Bock T. Robots in Construction / T. Bock, T. Linner. – Cambridge University Press, 2016. – 368 p.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОЕКТИРОВАНИИ
ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM)

ЧЕКАВЫЙ НИКИТА АНДРЕЕВИЧ

студент 3 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научные руководители – Савина Е.Н., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Кулан А.В., ассистент кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются перспективы применения искусственного интеллекта в проектировании транспортных сооружений на базе технологий информационного моделирования (BIM). Отмечено, что переход от традиционного проектирования к BIM-моделированию и параметризации через скрипты в связке Revit-Dynamo заложил основу для внедрения ИИ в мостостроение. Описан текущий базис автоматизации (алгоритмизация рутинных процессов, цепочки узлов для математического описания конструкций) и перспективные направления: генеративный дизайн на основе машинного обучения, интеллектуальный контроль коллизий с использованием больших языковых моделей и компьютерного зрения, а также адаптивная параметризация. Сделан вывод о том, что ИИ трансформирует параметрические скрипты из «инструментов исполнения» в «системы принятия решений», позволяя сократить сроки разработки на 30-40 %.

Ключевые слова: искусственный интеллект, BIM, параметрическое проектирование, Revit, Dynamo, генеративный дизайн, транспортные сооружения, мостостроение.

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DESIGN OF
TRANSPORT STRUCTURES BASED ON BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

CHEKAVY NIKITA ANDREEVICH

3rd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisors – Savina E.N., Assistant of the Department of Bridges and Tunnels

Kulan A.V., Assistant of the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper examines the prospects for applying artificial intelligence in the design of transport structures based on building information modelling (BIM). It is noted that the transition from traditional design to BIM modelling and parametrisation through scripts in the Revit-Dynamo bundle has laid the foundation for introducing AI into bridge engineering. The current basis of automation (algorithmisation of routine processes, node chains for the mathematical description of structures) and promising directions are described: generative design based on machine learning, intelligent clash control using large language models and computer vision, and adaptive parametrisation. It is concluded that AI transforms parametric scripts from «execution tools» into «decision-making systems», making it possible to reduce development time by 30-40 %.

Keywords: artificial intelligence, BIM, parametric design, Revit, Dynamo, generative design, transport structures, bridge engineering.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проектирование мостовых переходов и путепроводов отличается высокой комплексностью, жёсткими требованиями к безопасности и необходимостью одновременно учитывать геологию, гидрологию и транспортные потоки. Переход от традиционных приёмов к информационному моделированию и параметризации через скрипты подготовил почву для внедрения искусственного интеллекта в мостостроение (рисунок 1-3).

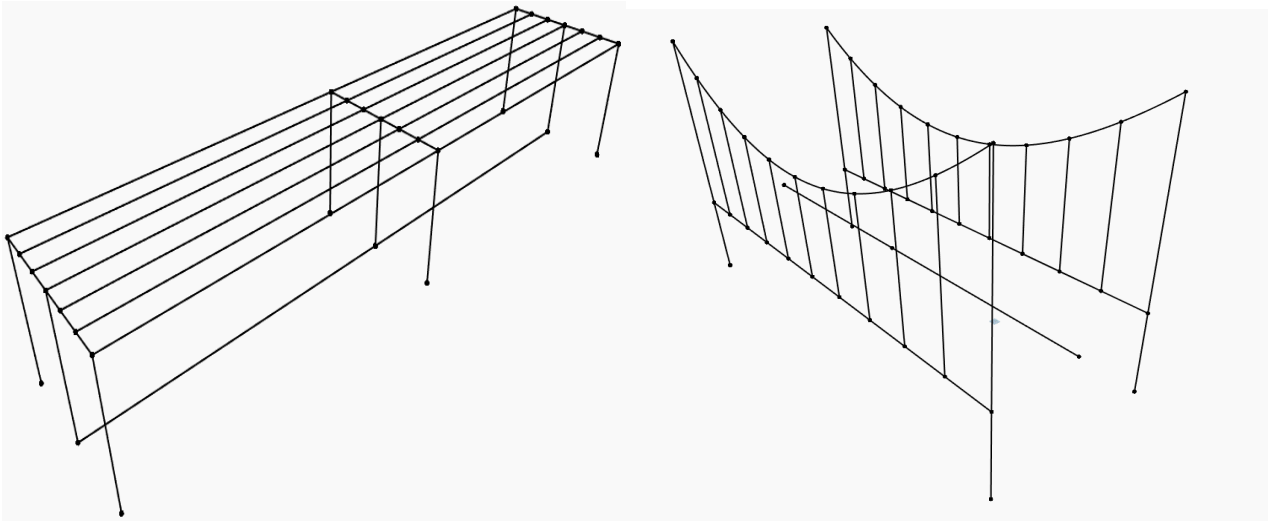


Рисунок 1 – Модели сооружений (DYNAMO)

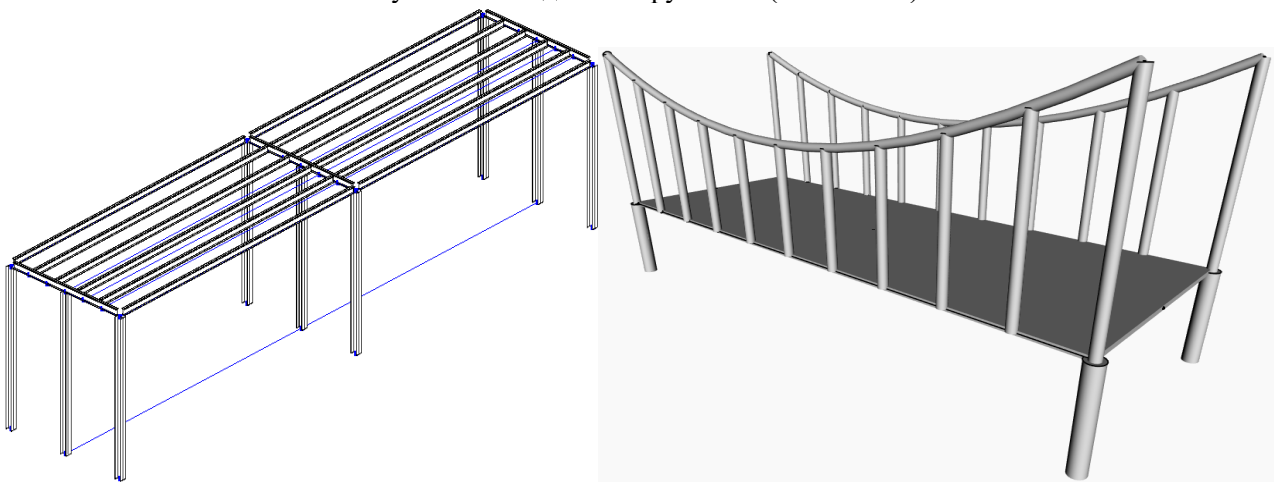


Рисунок 2 – Модели сооружений (Revit)



Рисунок 3 – Модели сооружений (сгенерированы ИИ)

Текущий уровень автоматизации (на основе данных пользователя) можно охарактеризовать двумя положениями. Во-первых, алгоритмизация рутинных операций связывает геометрические параметры элементов (высоту, выравнивание по осям) со структурными типами данных Revit – ригелями, стойками, балками пролётных строений. Во-вторых, применение цепочек узлов (`StructuralFraming.BeamByCurve`, `ColumnByCurve`, `Geometry.Translate`) подтверждает эффективность математического описания мостовых конструкций, исключая человеческий фактор при их расстановке.

Развитие базового подхода связано с несколькими направлениями применения ИИ.

1. Генеративный дизайн на основе машинного обучения (Generative Design). Сейчас проектировщик вручную задаёт координаты, шаги и диапазоны (через IntegerSlider или Code Block) для поиска рационального положения опор и балок. С привлечением ИИ нейросеть сама генерирует тысячи вариантов геометрии моста, исходя из внешних условий (нагрузки, ландшафт, стоимость материалов), и предлагает инженеру пять наиболее устойчивых и экономичных конфигураций, опираясь на опыт прошлых успешных проектов.

2. Интеллектуальный контроль коллизий и предиктивный аудит параметров. Сегодня скрипт лишь считывает параметры (GetParameterValueByName) и перезаписывает их (SetParameterByName), поэтому ошибка во входных данных слайдера приводит к некорректной модели. С привлечением ИИ интеграция больших языковых моделей и компьютерного зрения позволит «прочитывать» технические задания, автоматически сопоставлять их с моделью Revit, заранее предсказывать скрытые коллизии и выявлять аномалии в атрибутивных данных элементов моста.

3. Автоматическая адаптация к изменяющимся условиям (умная параметризация). Вместо жёстко прописанной логики скрипта ИИ сможет на лету перестраивать геометрию пролётных строений и опор при изменении трассы или данных инженерно-геологических изысканий, самостоятельно подбирая типы семейств – например, меняя марку балки или сечение стойки в зависимости от прогнозных нагрузок.

ВЫВОДЫ

Комплекс Revit + Dynamo подтверждает готовность транспортного проектирования к бесшовной интеграции искусственного интеллекта. ИИ не заменит инженера-мостовика, но преобразует параметрические скрипты из средств выполнения операций в инструмент выработки проектных решений, что позволит сократить сроки разработки конструкций мостов на 30–40 %, снизить число ошибок и заметно уменьшить материалоемкость транспортных сооружений.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Autodesk Dynamo Primer. – URL: <https://primer.dynamobim.org>
2. Autodesk Revit API Documentation. – Autodesk, 2024.
3. OpenAI. GPT-4 Technical Report. – OpenAI, 2023.
4. Anthropic. Claude Model Card and System Card. – Anthropic, 2024.
5. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook. – Wiley, 2018.

REFERENCES

1. Autodesk Dynamo Primer. – URL: <https://primer.dynamobim.org>
2. Autodesk Revit API Documentation. – Autodesk, 2024.
3. OpenAI. GPT-4 Technical Report. – OpenAI, 2023.
4. Anthropic. Claude Model Card and System Card. – Anthropic, 2024.
5. Sacks R., Eastman C., Lee G., Teicholz P. BIM Handbook. – Wiley, 2018.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ-АГЕНТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ (США)

ШАБОТКО АЛЕКСЕЙ ИГОРЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение агентов искусственного интеллекта при строительстве свайных фундаментов в США. Отмечено, что главным ограничением классических ИИ-систем является их «пассивность», которую преодолевают ИИ-агенты, контролирующие строительную площадку с помощью датчиков и камер и снижающие участие человека. Показано, что в свайном строительстве мультиагентные системы рассчитывают логистику и последовательность работ, выполняют геодезические и геологические задачи и контролируют качество; приведён пример автономных комплексов компании Built Robotics (робот-сортировщик, робот-позиционер, автономный копёр). По обобщённым показателям внедрение технологий ускоряет строительство на 20-25 %, снижает себестоимость на 15-20 % и углеродный след на 50-70 %, уменьшая число инцидентов до 90 %.

Ключевые слова: искусственный интеллект, ИИ-агенты, мультиагентные системы, свайные фундаменты, робототехника, Built Robotics, автоматизация строительства, США.

THE USE OF AI AGENTS IN THE CONSTRUCTION OF PILE FOUNDATIONS IN THE USA

SHABOTKO ALEXEY IGOREVICH

2nd year student of the department Highways

Scientific supervisor – Yakovlev A.A., senior lecturer of the department Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the application of artificial intelligence agents in the construction of pile foundations in the United States. It is noted that the main limitation of classical AI systems is their «passivity», which is overcome by AI agents that control the construction site using sensors and cameras and reduce human involvement. It is shown that, in pile construction, multi-agent systems calculate logistics and the sequence of work, perform surveying and geological tasks and control quality; an example of the autonomous systems of Built Robotics (a sorting robot, a positioning robot and an autonomous pile driver) is given. According to generalised indicators, the adoption of the technologies accelerates construction by 20-25 %, reduces costs by 15-20 % and the carbon footprint by 50-70 %, decreasing the number of incidents by up to 90 %.

Keywords: artificial intelligence, AI agents, multi-agent systems, pile foundations, robotics, Built Robotics, construction automation, USA.

ВВЕДЕНИЕ

В 2026 году искусственный интеллект и робототехника применяются всё шире. В США их активно внедряют в строительство, и это показывает, насколько существенно можно сократить долю ручного труда: рабочих заменяют роботы, контроль качества берут на себя ИИ и сканеры, а часть проектных задач – программы на основе искусственного интеллекта. При этом полностью заменить человека пока нельзя – из-за недостаточной зрелости технологий специалист по-прежнему контролирует работу роботов и проверяет расчёты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Главная проблема классического ИИ – его «пассивность». Её решают с помощью ИИ-агентов, которые контролируют всю строительную площадку посредством датчиков и камер, сокращая участие человека и позволяя точнее планировать этапы работ и распределение мощностей. В свайном строительстве применяют мультиагентные системы, способные рассчитывать логистику и последовательность работ, выполнять и анализировать геодезические и геологические изыскания и контролировать качество возведённой конструкции.

Использование ИИ в управлении техникой (рисунок 1) позволяет точнее регулировать силу забивки свай. Например, компания Built Robotics поставляет автономные комплексы для устройства свайных полей, где робот-сортировщик раскладывает сваи, робот-позиционер стабилизирует их по лазерным створам, а автономный копёр выполняет погружение.

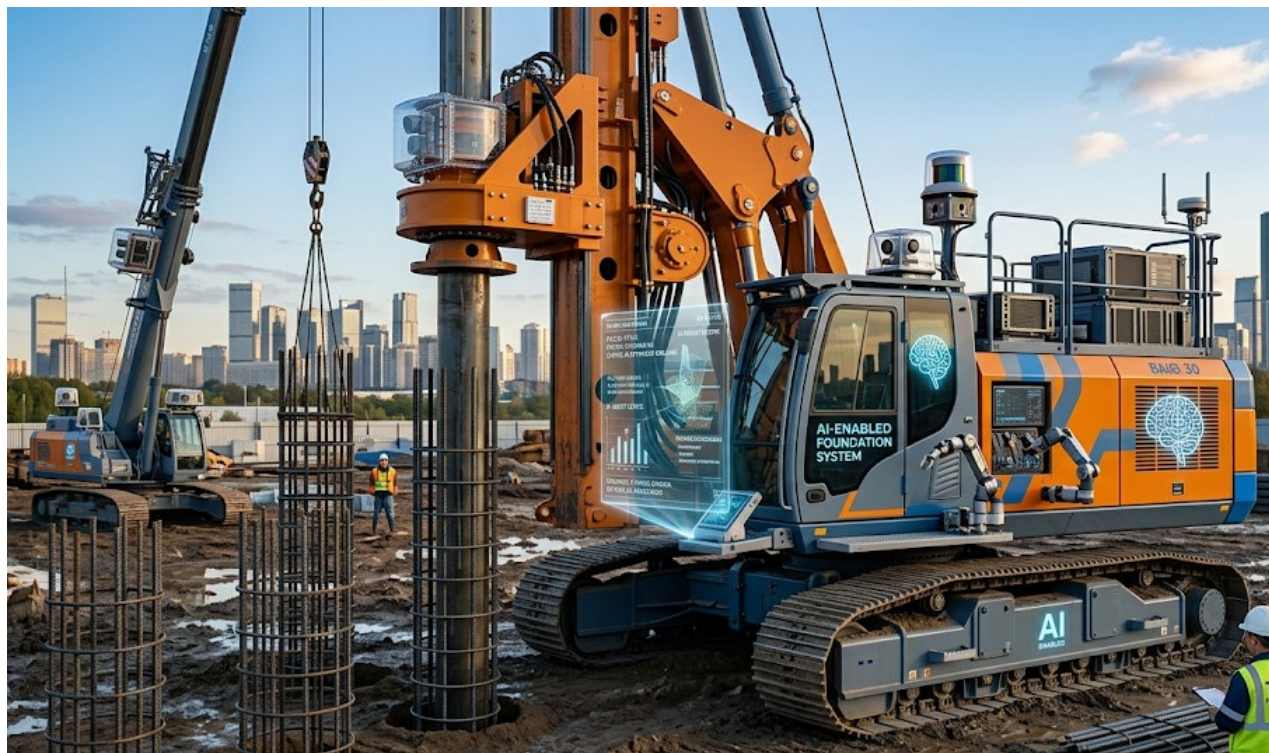


Рисунок 1 – Применение автономных бурильно-копровых комплексов под управлением мультиагентных систем ИИ

В таких комплексах межагентное взаимодействие роботизированных единиц координируется по нескольким направлениям: комплексирование данных, синхронизация технологических циклов, онлайн-верификация и паспортизация. Обобщённые показатели эффективности внедрения этих технологий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Комплексные показатели эффективности внедрения ИИ-агентов в США

Параметр эффективности	Реальный показатель	Фактор достижения результата
Ускорение темпов строительства	на 20–25%	Непрерывный рабочий цикл, ликвидация простоев на ручную геодезическую разметку
Снижение себестоимости	на 15–20%	Экономия топлива, минимизация затрат на исправление дефектов и выравнивание свай
Сокращение углеродного следа	на 50–70%	Оптимизация режимов работы гидравлики алгоритмами и применение электрокопров
Безопасность труда	До 90% меньше инцидентов	Полный вывод рабочих из опасной зоны перемещения тяжелых грузов и ударов молота

Безопасность труда до 90 % меньше инцидентов Полный вывод рабочих из опасной зоны перемещения тяжёлых грузов и ударов молота

ВЫВОДЫ

[К оглавлению](#)

Отсюда следует, что применение искусственного интеллекта в строительстве не только снижает затраты на оплату труда, но и повышает безопасность работ и скорость возведения, а также позволяет точнее формировать конструкции.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Автономные технологии в энергетическом строительстве : [Электронный ресурс] // Built Robotics. – Сан-Франциско, 2024. – URL: <https://www.builtrobotics.com> (дата обращения: 18.05.2026).
2. Оптимизация геотехнических процессов в США : [Электронный ресурс] // Procore Technologies. – Карпинтерия, 2025. – URL: <https://www.procore.com> (дата обращения: 21.05.2026).

REFERENCES

1. Autonomous technologies in energy construction : [Electronic resource] // Built Robotics. – San Francisco, 2024. – URL: <https://www.builtrobotics.com> (date of access: 05/18/2026).
2. Optimization of geotechnical processes in the USA : [Electronic resource] // Procore Technologies. – Carpinteria, 2025. – URL: <https://www.procore.com> (date of request: 05/21/2026).

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ВОЗВЕДЕНИЕ ФУНДАМЕНТНЫХ ОСНОВАНИЙ, ПОДПОРНЫХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ КИТАЙСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ

ШВЕД ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается проектирование и возведение фундаментных оснований, подпорных и гидротехнических сооружений в Китае в рамках концепции «Умной инфраструктуры» по состоянию на 2026 год. Показано, что BIM-технологии (модели 5D и 6D) образуют единое цифровое ядро проекта, интегрируя гидродинамические нагрузки и углеродный след материалов, а лазерное сканирование (LiDAR) обеспечивает непрерывный высокоточный мониторинг с автоматическим сопоставлением облаков точек с моделью. Описаны робототехника (беспилотные самосвалы, катки с GPS/BeiDou-управлением, подводные роботы ROV) и ИИ-ассистенты, оптимизирующие рецептуры бетона и прогнозирующие риски оползней. Сделан вывод о том, что сочетание ИИ, робототехники, LiDAR и BIM снижает аварийность и сокращает сроки работ на 25–30 %.

Ключевые слова: BIM-технологии, лазерное сканирование, LiDAR, искусственный интеллект, робототехника, подпорные стены, гидротехнические сооружения, Китай.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF FOUNDATION BASES, RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN CHINA

SWED OLEG ALEKSANDROVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the design and construction of foundation bases, retaining and hydraulic structures in China within the 'Smart Infrastructure' concept as of 2026. It is shown that BIM technologies (5D and 6D models) form a unified digital core of the project, integrating hydrodynamic loads and the carbon footprint of materials, while laser scanning (LiDAR) provides continuous high-precision monitoring with automatic comparison of point clouds with the model. Robotics (unmanned dump trucks, GPS/BeiDou-controlled rollers, underwater ROV robots) and AI assistants optimizing concrete mixes and predicting landslide risks are described. It is concluded that the combination of AI, robotics, LiDAR and BIM reduces accident rates and shortens work schedules by 25–30 %.

Keywords: BIM technologies, laser scanning, LiDAR, artificial intelligence, robotics, retaining walls, hydraulic structures, China.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2026 году строительный сектор Китая совершил качественный переход к концепции «Умной инфраструктуры»: возведение критически важных объектов – фундаментных опор, подпорных стен и гидротехнических сооружений (ГЭС, дамб, шлюзов) – базируется на полной цифровизации и автоматизации процессов ради безопасности и снижения углеродного следа.

BIM-технологии служат единым цифровым ядром проекта: модели 5D и 6D объединяют не только геометрию и календарные графики, но и гидродинамические нагрузки в реальном времени, а также углеродный след материалов; при возведении подпорных сооружений BIM позволяет прогнозировать деформации грунта ещё до начала земляных работ.

Лазерное сканирование (LiDAR) применяется для непрерывного высокоточного мониторинга: наземные и беспилотные сканеры мгновенно оцифровывают рельеф береговых линий и котлованов, а полученные облака точек автоматически сопоставляются с BIM-моделью, выявляя отклонения геометрии фундаментных опор и плотин с точностью до миллиметра.



Рисунок 1 – Применение технологии воздушного лазерного сканирования (LiDAR) для картографирования местности

Робототехника и автоматизация заменяют человека в опасных зонах: при строительстве гидросооружений в Китае используются беспилотные самосвалы, автоматические катки с GPS/BeiDou-управлением для послойной укладки дамб и подводные роботы (ROV) для инспекции и бетонирования опорных частей гидроузлов в условиях сильного течения.

ИИ-ассистенты и генеративные сети выступают главным аналитическим центром: искусственный интеллект оптимизирует рецептуры бетонных смесей для массивных гидротехнических конструкций с учётом влажности и температуры воздуха, а алгоритмы машинного обучения в реальном времени анализируют данные датчиков давления на подпорные стены, прогнозируя риски оползней и оптимизируя шаг установки анкерных крепей.

ВЫВОДЫ

Сочетание ИИ, робототехники, LiDAR и BIM превратило возведение гидротехнической и опорной инфраструктуры в КНР в прецизионный «фабричный» процесс. Опыт Китая 2026 года показывает, что цифровизация тяжёлого строительства радикально снижает аварийность, сокращает сроки работ на 25–30 % и обеспечивает долговечность сооружений в условиях меняющегося климата.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Статья: Китай планирует построить 180-метровую гидроэлектростанцию с использованием автономных роботов и технологий 3D-печати [Электронный ресурс]. – URL: <https://roboticsbusinessnews.com/news/21/2949/china-plans-590-foot-ai-built-hydropower-dam-using-autonomous-robots-and-3d-printing-technology.html>
2. Пресс-релиз: Китай делает роботов с искусственным интеллектом основой национальной стратегии [Электронный ресурс]. – URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/china-makes-ai-powered-robots-core-of-national-strategy>
3. Событие: GASCCE [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.bim.cic.hk/en/events/page/GASCCE>

REFERENCES

1. Article: China Plans 180-Meter Hydropower Dam Using Autonomous Robots and 3D Printing [Electronic resource]. – URL: <https://roboticsbusinessnews.com/news/21/2949/china-plans-590-foot-ai-built-hydropower-dam-using-autonomous-robots-and-3d-printing-technology.html>
2. Press Release: China Makes AI Robots Core of National Strategy [Electronic resource]. – URL: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/china-makes-ai-powered-robots-core-of-national-strategy>
3. Event: GASCCE [Electronic resource]. – URL: <https://www.bim.cic.hk/en/events/page/GASCCE>

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ (BIM + ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ) НА ПРИМЕРЕ ПОРТАЛА

ШЕПШУК ЕГОР ДМИТРИЕВИЧ

студент 3 курса кафедры «Мосты и тоннели»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к цифровой трансформации транспортного строительства на примере мостов, тоннелей, вокзальных комплексов и иных линейных сооружений. Выполнен анализ возможностей технологий информационного моделирования (BIM), лазерного сканирования, дополненной и виртуальной реальности, а также интеллектуальных агентов и ассистентов на основе искусственного интеллекта. Показано, что интеграция технологий формирования цифровых двойников позволяет обеспечить непрерывное сопровождение объекта на протяжении полного жизненного цикла – от инженерных изысканий и проектирования до эксплуатации, реконструкции и вывода из эксплуатации. Особое внимание уделено вопросам автоматизации обработки облаков точек, выявления дефектов строительных конструкций, организации коллективной работы участников инвестиционно-строительного процесса и повышения эффективности принятия управленческих решений. Предложена концептуальная схема применения искусственного интеллекта в транспортном строительстве, включающая интеллектуальный анализ данных мониторинга, прогнозирование технического состояния сооружений и поддержку принятия решений. Результаты исследования могут быть использованы при разработке цифровых платформ управления транспортной инфраструктурой.

Ключевые слова: BIM, информационное моделирование, цифровой двойник, транспортные сооружения, мосты, тоннели, лазерное сканирование, дополненная реальность, виртуальная реальность, искусственный интеллект, AI-ассистенты.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE DESIGN AND OPERATION OF TRANSPORT STRUCTURES (BIM + ARTIFICIAL INTELLIGENCE) USING THE EXAMPLE OF A PORTAL

SHEPSHUK EGOR DMITRIEVICH

3rd year student of the Department of Bridges and Tunnels

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper discusses modern approaches to the digital transformation of transport construction, focusing on bridges, tunnels, railway stations and other linear infrastructure facilities. The capabilities of Building Information Modeling (BIM), terrestrial laser scanning, augmented and virtual reality technologies, as well as intelligent agents and AI assistants are analyzed. The integration of digital twin technologies is shown to provide continuous support throughout the entire life cycle of an infrastructure asset, from surveying and design to operation, rehabilitation and decommissioning. Particular attention is paid to automated point cloud processing, defect detection in structural elements, collaborative work organization and decision-making support. A conceptual framework for the application of artificial intelligence in transport construction is proposed, including predictive analytics, structural health monitoring and intelligent management systems. The research findings can be applied in the development of digital platforms for transport infrastructure management.

Keywords: BIM, digital twin, transport infrastructure, bridges, tunnels, laser scanning, augmented reality, virtual reality, artificial intelligence, AI assistants.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие транспортной инфраструктуры является одним из ключевых факторов социально-экономического роста территорий. Современные мосты, тоннели, транспортно-пересадочные узлы и железнодорожные станции представляют собой сложные инженерные системы, характеризующиеся значительными

объемами проектной документации, высокой стоимостью строительства и длительным сроком эксплуатации.

Традиционные методы проектирования и управления строительством постепенно уступают место цифровым технологиям, обеспечивающим повышение качества проектных решений, снижение количества ошибок и оптимизацию затрат. В настоящее время наиболее перспективными направлениями цифровизации транспортного строительства являются технологии информационного моделирования зданий и сооружений (Building Information Modeling), методы наземного и мобильного лазерного сканирования, системы дополненной и виртуальной реальности, а также алгоритмы искусственного интеллекта.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особую актуальность приобретает концепция цифрового двойника, объединяющего геометрическую, семантическую и эксплуатационную информацию об объекте в единой цифровой среде. Создание цифровых двойников транспортных сооружений позволяет перейти от периодического контроля технического состояния к непрерывному мониторингу и прогнозированию остаточного ресурса конструкций. Мною была разработана модель в программном комплексе «Revit» позволяющая выполнять параметризацию элементов и использовать ее как в дальнейшем как цифровой двойник (рисунок 1).

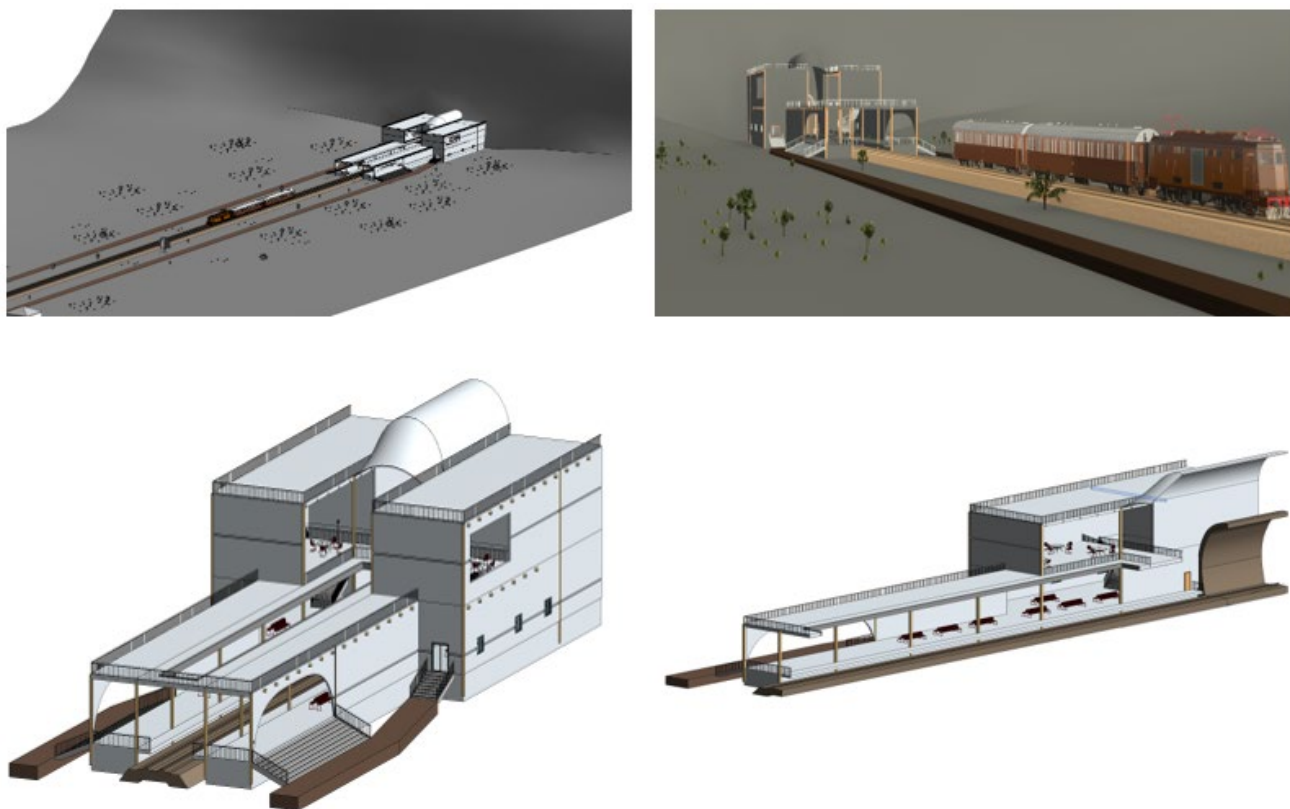


Рисунок 1 – Концепция транспортного сооружения (Revit) – собственная разработка

Применение BIM-технологий в области промышленного и гражданского строительства в настоящее время является общепринятой практикой. Однако транспортные сооружения обладают рядом особенностей, которые усложняют процессы информационного моделирования.

К числу таких особенностей относятся:

- большая протяженность объектов;
- сложные инженерно-геологические условия;
- необходимость учета взаимодействия с существующей инфраструктурой;
- наличие большого количества конструктивных элементов;
- повышенные требования к надежности и безопасности эксплуатации.

Информационная модель транспортного сооружения должна содержать не только трехмерную геометрию конструкций, но и сведения о материалах, нормативных характеристиках, этапах строительства, стоимости работ, а также параметрах технического обслуживания.

На практике формирование BIM-моделей мостов и тоннелей позволяет решать следующие задачи:

- автоматизированное получение чертежей и спецификаций;
- проверка коллизий между инженерными системами;
- моделирование строительных процессов в формате 4D;
- анализ стоимости строительства в формате 5D;
- организация единой среды общих данных;
- сопровождение объекта на стадии эксплуатации.

Представленные визуализации демонстрируют возможность создания комплексной информационной модели транспортного объекта, включающей платформенные зоны, пассажирские пространства, навесные конструкции и элементы благоустройства. Подобные модели могут использоваться как основа для формирования цифрового двойника сооружения.

Одним из наиболее эффективных методов получения достоверной геометрической информации является лазерное сканирование. Современные сканирующие системы позволяют получать миллионы измерений в секунду с точностью до нескольких миллиметров. Результатом измерений является облако точек, содержащее пространственные координаты исследуемых поверхностей.

Для транспортных сооружений лазерное сканирование применяется при решении следующих задач:

- исполнительная съемка строительных работ;
- обследование мостовых конструкций;
- контроль деформаций тоннельных обделок;
- создание цифровых моделей существующих объектов;
- оценка объемов земляных работ;
- мониторинг технического состояния сооружений.

Несмотря на высокую информативность, обработка облаков точек остается трудоемким процессом. Значительная часть операций, связанных с классификацией объектов, удалением шумов и построением параметрических моделей, до настоящего времени выполняется вручную. В связи с этим перспективным направлением исследований является использование методов машинного обучения и компьютерного зрения для автоматического распознавания конструктивных элементов мостов и тоннелей. Алгоритмы глубокого обучения позволяют идентифицировать балки, колонны, ригели, опоры контактной сети, элементы крепления инженерного оборудования и другие объекты с высокой степенью достоверности.

Развитие XR-технологий (Extended Reality) открывает новые возможности для визуализации и анализа проектных решений. Использование виртуальной реальности позволяет специалистам перемещаться внутри цифровой модели объекта и оценивать ее пространственные характеристики еще до начала строительства. Дополненная реальность обеспечивает совмещение цифровой модели с реальным объектом.

При помощи мобильных устройств или специальных очков инженер получает возможность визуализировать скрытые инженерные коммуникации, контролировать соответствие строительно-монтажных работ проектной документации и оперативно фиксировать выявленные отклонения.

В тоннелестроении дополненная реальность может использоваться для контроля положения анкеров, арматурных каркасов и закладных деталей.

Для мостовых сооружений технология позволяет выполнять инспекцию труднодоступных участков и отображать результаты инструментального обследования непосредственно на поверхности конструкции.

Искусственный интеллект и интеллектуальные агенты

Стремительное развитие искусственного интеллекта приводит к формированию нового класса цифровых инструментов – интеллектуальных агентов и AI-ассистентов. В транспортном строительстве такие системы способны выполнять функции виртуального эксперта, обеспечивая поддержку принятия решений на основе накопленных данных.

Возможности применения искусственного интеллекта включают:

- анализ нормативной документации;
- автоматическую генерацию технических отчетов;
- прогнозирование сроков строительства;
- выявление потенциальных рисков;
- оценку вероятности возникновения дефектов;
- формирование рекомендаций по техническому обслуживанию сооружений.

Особый интерес представляет концепция мультиагентных систем.

В рамках данной концепции отдельные программные агенты могут отвечать за различные направления деятельности:

- агент проектирования – выполняет проверку BIM-модели на соответствие нормативным требованиям;
- агент мониторинга – анализирует данные датчиков и выявляет аномальные изменения;

- агент диагностики – определяет возможные причины возникновения дефектов;
- агент управления – формирует рекомендации по проведению ремонтных мероприятий.

Интеграция подобных решений с информационной моделью объекта позволяет создать самообучающуюся систему управления инфраструктурой. Цифровой двойник транспортного сооружения может быть представлен в виде совокупности взаимосвязанных информационных компонентов:

- геометрическая модель BIM;
- облака точек лазерного сканирования;
- данные геотехнического мониторинга;
- информация от датчиков деформаций и вибраций;
- эксплуатационная документация;
- модуль искусственного интеллекта.

В процессе эксплуатации цифровой двойник непрерывно обновляется за счет поступления новых данных мониторинга. Искусственный интеллект выполняет анализ временных рядов, определяет тенденции изменения параметров конструкций и прогнозирует развитие дефектов. Подобный подход позволяет перейти от планово-предупредительной системы обслуживания к стратегии предиктивного управления состоянием сооружений.

ВЫВОДЫ

Современные транспортные сооружения становятся объектами цифровой инфраструктуры, функционирующими в едином информационном пространстве. Интеграция BIM-технологий, лазерного сканирования, дополненной и виртуальной реальности, а также методов искусственного интеллекта создает предпосылки для формирования полноценных цифровых двойников мостов, тоннелей и вокзальных комплексов.

Использование интеллектуальных агентов позволяет автоматизировать значительную часть процессов проектирования, мониторинга и эксплуатации инженерных сооружений, повысить качество принимаемых решений и сократить затраты на содержание инфраструктуры.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка специализированных нейросетевых алгоритмов обработки облаков точек, создание отечественных платформ цифровых двойников транспортных объектов и внедрение мультиагентных систем управления жизненным циклом сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савина, Е. Н. Социальные и технические аспекты применения БПЛА и облака точек на примере транспортного сооружения при создании BIM-модели / Е. Н. Савина, Е. А. Мойсейчик, А. А. Яковлев // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 1 (35). – С. 48–57.
2. Савина, Е. Н. Экспериментальное исследование применения BIM-технологий, технологий дополненной и виртуальной реальности для транспортных сооружений / Е. Н. Савина, Е. А. Мойсейчик, А. А. Яковлев, А. В. Кулан // Автомобильные дороги и мосты. – 2025. – № 2 (36). – С. 32–41.
3. Савина, Е. Н., Мойсейчик, Е. А., Яковлев, А. А., Кулан, А. В. (2026). опыт применения лазерного сканирования при проведении натурных испытаний железобетонной плиты перекрытия над автомобильным паркингом совместно с BIM-технологиями. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки, (1), 34-41. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2026-44-1-34-41>
4. Савина, Е. Н., Яковлев, А. А., Кулан, А. В., Мойсейчик, Е. А. (2026). Системы мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций в составе цифрового двойника зданий и транспортных сооружений с применением дополненной и виртуальной реальности. Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки, (1), 42-49. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2026-44-1-42-49>

REFERENCES

1. Savina, E. N. Social and technical aspects of the use of UAVs and point clouds on the example of a transport structure when creating a BIM model / E. N. Savina, E. A. Moiseychik, A. A. Yakovlev // Highways and bridges. – 2025. – № 1 (35). – Pp. 48-57.

2. Savina, E. N. Experimental study of the application of BIM technologies, augmented and virtual reality technologies for transport facilities / E. N. Savina, E. A. Moiseychik, A. A. Yakovlev, A.V. Kulan // Highways and bridges. – 2025. – № 2 (36). – Pp. 32-41.

3. Savina, E. N., Moiseychik, E. A., Yakovlev, A. A., & Kulan, A.V. (2026). the experience of using laser scanning when conducting field tests of reinforced concrete floor slabs above a parking lot in conjunction with BIM technologies. Bulletin of the Polotsk State University. Series F. Construction. Applied Sciences, (1), 34-41. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2026-44-1-34-41>

4. Savina, E. N., Yakovlev, A. A., Kulan, A.V., & Moiseychik, E. A. (2026). Systems for monitoring the stress-strain state of structures as part of a digital twin of buildings and transport structures using augmented and virtual reality. Bulletin of the Polish State University. Series F. Construction. Applied Sciences, (1), 42-49. <https://doi.org/10.52928/2070-1683-2026-44-1-42-49>

СТРОИТЕЛЬСТВО ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР, ПОДПОРНЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ В КИТАЕ

ШУМСКАЯ АЛЕКСАНДРА АЛЕКСАНДРОВНА

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается внедрение цифровых технологий и систем искусственного интеллекта при строительстве гидротехнических сооружений в Китае. Особое внимание уделяется применению BIM-моделирования, ИИ-агентов и роботизированных комплексов в городе Ичан для повышения точности строительства, управления качеством бетонных работ и прогнозирования деформаций на этапе эксплуатации.

Ключевые слова: BIM-моделирование, искусственный интеллект, гидротехнические сооружения, ИИ-агенты, роботизированные комплексы, мониторинг деформаций, Китай.

CONSTRUCTION OF FOUNDATION PILLARS, RETAINING AND HYDRAULIC STRUCTURES IN CHINA

SHUMSKAYA ALEXANDRA ALEKSANDROVNA

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the introduction of digital technologies and artificial intelligence systems in the construction of hydraulic structures in China. Special attention is paid to the use of BIM modeling, AI agents and robotic complexes in the city of Yichang to improve the accuracy of construction, quality management of concrete works and prediction of deformations during the operational phase.

Keywords: BIM modeling, artificial intelligence, hydraulic structures, AI agents, robotic complexes, deformation monitoring, China.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Современный этап развития строительной индустрии характеризуется глобальной цифровизацией и масштабной автоматизацией технологических процессов. Особую сложность представляют гидротехнические сооружения (ГТС), возведение которых сопряжено с тяжёлыми гидрогеологическими условиями, высокими экологическими рисками и строгими требованиями к долговечности несущих конструкций. В Китае, в частности в крупном гидротехническом центре – городе Ичан (провинция Хубэй) на реке Янцзы, наблюдается наиболее активное внедрение интеллектуальных систем. Строительство фундаментов ГТС и подпорных стенок здесь осложнено переменным гидродинамическим режимом реки, высокой сейсмической активностью и спецификой аллювиальных грунтов. Исходной точкой цифрового цикла служит разработка высокоточной информационной модели в среде BIM, выступающей единым источником данных для всех участников проекта (Рисунок 1).

Связующим звеном между виртуальной моделью и площадкой выступают специализированные ИИ-агенты, которые в реальном времени оптимизируют траектории движения тяжёлой техники и определяют параметры забивки или бурения свай, что критически важно при устройстве глубоких фундаментов опор и массивных подпорных стенок под напором воды. Основную механическую работу в Ичане выполняют роботизированные комплексы – автономные буровые установки, роботизированные бетоноукладчики и беспилотные катки. Манипуляторы с обратной связью обеспечивают прецизионное армирование буронабивных свай и контроль плотности укладки бетона, в том числе под водой, а спутниковая навигация BeiDou, лидары и ультразвуковые датчики на каждой единице техники гарантируют точность позиционирования до нескольких миллиметров.

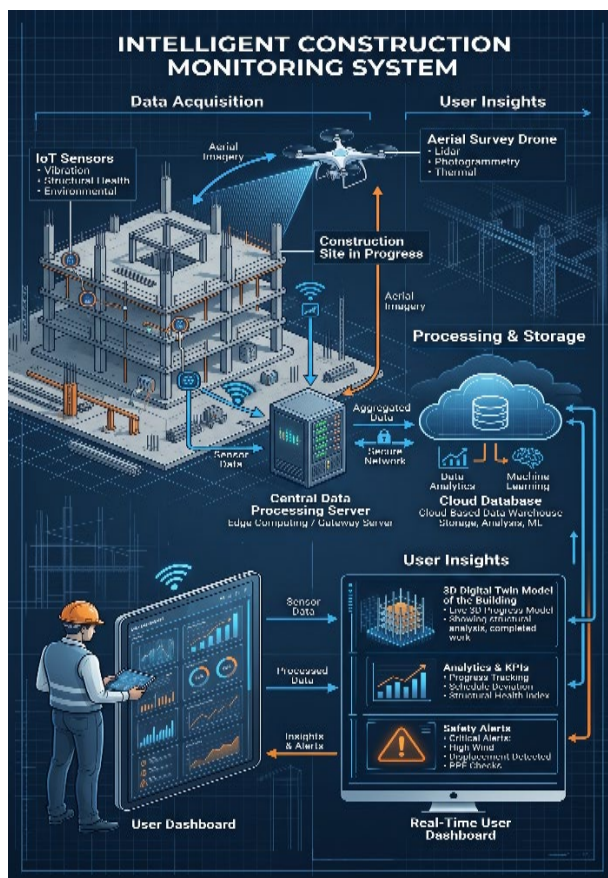


Рисунок 1 – Взаимодействие компонентов интеллектуальной системы строительного мониторинга

Автоматизированный контроль укладки бетонной смеси практически исключает внутренние дефекты – пустоты и температурные трещины, наиболее частые при возведении массивных подпорных стенок; при этом ИИ-агенты управляют внутренним охлаждением бетона, регулируя подачу холодной воды по заложенным в тело плотины трубам на основе показаний распределённых температурных датчиков. Цифровой двойник продолжает работать и после завершения строительства: на этапе эксплуатации интеллектуальные алгоритмы прогнозируют деформации, оползневые явления и подмывы основания, заблаговременно сигнализируя о необходимости превентивного ремонта. Таким образом, комплексное внедрение интеллектуальных систем на всех этапах жизненного цикла обеспечивает высокую точность строительства, эффективное управление качеством бетонных работ и надёжное прогнозирование деформаций гидротехнических и подпорных сооружений.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Research on Electromechanical Intelligent Construction of Multi-fusion Hydropower Station Based on BIM Technology // IEEE Xplore. – 2025.
2. Team develops HydroBIM platform for design of hydropower hub buildings // EurekAlert. – 2023.
3. Digital Twins' Application for Geotechnical Engineering: A Review of Current Status and Future Directions in China // MDPI. – 2025.

REFERENCES

1. Research on Electromechanical Intelligent Construction of Multi-fusion Hydropower Station Based on BIM Technology // IEEE Xplore. – 2025.
2. Team develops HydroBIM platform for design of hydropower hub buildings // EurekAlert. – 2023.
3. Digital Twins' Application for Geotechnical Engineering: A Review of Current Status and Future Directions in China // MDPI. – 2025.

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ И ИИ-АГЕНТЫ (РФ)

ЮРАНОВ ВЛАДИСЛАВ ДМИТРИЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются возможности применения агентов искусственного интеллекта при проектировании и возведении свайных фундаментов в Российской Федерации. Отмечено, что традиционные подходы к расчёту свайных оснований требуют значительных затрат на изыскания и полевые испытания, тогда как нейросетевые системы способны прогнозировать несущую способность и осадку свай по ограниченному набору данных. Проанализирована отечественная разработка Пермского национального исследовательского политехнического университета, автоматически рассчитывающая характеристики свайного фундамента. Описана структура ИИ-агента (понимание контекста, декомпозиция задач, доступ к внешним данным, способность к обучению) и его функции по анализу вариантов, управлению рисками и автономному контролю. Сделан вывод о том, что внедрение технологии сокращает затраты на полевые испытания и повышает экономическую эффективность строительства.

Ключевые слова: свайные фундаменты, искусственный интеллект, ИИ-агенты, нейронная сеть, несущая способность свай, осадка, цифровизация строительства, Россия.

PILE FOUNDATIONS AND AI AGENTS IN THE RUSSIAN FEDERATION

YURANOV VLADISLAV DMITRIEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the possibilities of applying artificial intelligence agents in the design and construction of pile foundations in the Russian Federation. It is noted that traditional approaches to the calculation of pile foundations require significant expenditure on surveys and field tests, whereas neural-network systems are able to predict the bearing capacity and settlement of piles from a limited set of data. A domestic development of Perm National Research Polytechnic University, which automatically calculates the characteristics of a pile foundation, is analysed. The structure of an AI agent (context understanding, task decomposition, access to external data, the ability to learn) and its functions for analysing options, managing risks and autonomous control are described. It is concluded that the adoption of the technology reduces the cost of field tests and increases the economic efficiency of construction.

Keywords: pile foundations, artificial intelligence, AI agents, neural network, pile bearing capacity, settlement, construction digitalization, Russia.

ВВЕДЕНИЕ

Свайные фундаменты – один из наиболее востребованных типов оснований в современном строительстве: они позволяют возводить объекты различного назначения, от малоэтажных домов до многофункциональных небоскрёбов, даже в сложных инженерно-геологических условиях. Их основная задача – передать нагрузку от сооружения на более глубокие прочные слои грунта, когда поверхностные отложения не обладают достаточной несущей способностью. Однако проектирование свайных фундаментов требует учёта множества взаимосвязанных факторов и значительных затрат на изыскания. В последние годы активно развиваются методы искусственного интеллекта (ИИ), способные автоматизировать сложные расчёты и оптимизировать принятие решений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Цель работы – рассмотреть возможности применения ИИ-агентов при проектировании и возведении свайных фундаментов, проанализировать отечественную разработку и оценить её практическую значимость.

Технология свайных фундаментов даёт возможность строить как частные дома, так и небоскрёбы там, где, казалось бы, строить нельзя. Её цель – укрепить грунт и сделать его достаточно устойчивым для основного сооружения; для этого применяют опорные конструкции, уходящие на десятки метров вглубь. Сваи равномерно распределяют нагрузку от постройки на твёрдые слои почвы, а их несущую способность обеспечивает давление окружающего уплотнённого грунта (рисунок 1).

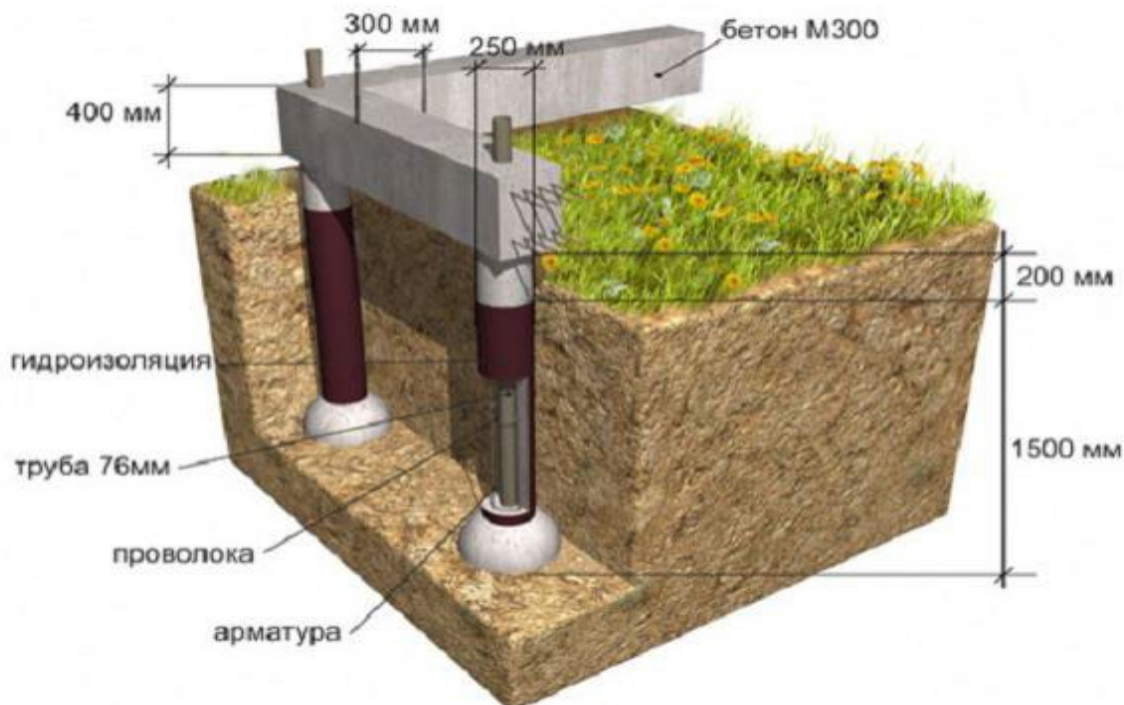


Рисунок 1 – Свайный фундамент

Обычно проектирование свайных фундаментов тщательно рассчитывают по множеству параметров, влияющих на осадку и устойчивость будущего сооружения, из-за чего проектировщикам приходится принимать завышенные значения длины свай либо проводить дорогостоящие полевые испытания и лабораторные анализы грунта.

Агенты искусственного интеллекта – это автономные системы, способные принимать решения, анализировать данные и самостоятельно выполнять задачи без постоянного участия человека. В современном бизнесе они составляют основу так называемых «организаций, ориентированных на ИИ», автоматизируя сложные процессы и освобождая людей от рутины.

Российские разработчики из Пермского национального исследовательского политехнического университета создали инновационную программу на основе искусственного интеллекта для проектирования фундаментов: нейросеть автоматически рассчитывает характеристики свайного фундамента, заметно упрощая и ускоряя проектирование. В основе работы такого агента лежат четыре элемента:

- «мозг» системы, отвечающий за понимание контекста и построение умозаключений;
- способность разбивать сложную задачу на более мелкие логические шаги;
- доступ к веб-браузерам и базам данных для взаимодействия с внешним миром;
- способность запоминать предыдущие взаимодействия и учиться в процессе достижения целей.

Разработанная система анализирует тысячи вариантов несущей способности грунта и расхода бетона, выбирая наиболее экономичное геотехническое решение. Она управляет рисками – ведёт мониторинг состояния грунта и воды в реальном времени и автоматически оповещает о нарушениях стандартов, – а также выполняет автономный контроль: анализирует строительную документацию и предупреждает инженеров о потенциальных рисках.

Внедрение технологии позволит застройщикам существенно сократить расходы на дорогостоящие полевые испытания, поскольку предварительные расчёты ИИ дают достаточно точные результаты. Это ускорит проектирование и повысит экономическую эффективность строительства, что особенно важно в современных условиях развития отрасли. Разработка пермских учёных открывает новые возможности для цифровизации строительной отрасли и служит примером успешного применения искусственного интеллекта в практической деятельности проектировщиков.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены актуальные вопросы применения агентов искусственного интеллекта при проектировании и устройстве свайных фундаментов. Показано, что традиционные подходы к расчёту таких конструкций требуют значительных затрат на геологические изыскания и полевые испытания, тогда как современные нейросетевые системы способны с высокой точностью прогнозировать несущую способность и осадку свай по ограниченному набору входных данных.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Архитектурное материаловедение: Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-69 01 01 «Архитектура» / Сост. А.А. Бакатовича, Л.М. Парфеновой, А.М. Иваненко; под общ. ред. А.А. Бакатовича – Новополюцк: ПГУ, 2005.
2. science.mail.ru: ИИ поможет испытывать сваи фундаментов: разработка из Перми [Электронный ресурс]. – URL : <https://science.mail.ru/news/1851-model-dlya-ispytaniy-svaj/> (Дата обращения: 19.05.2026).
3. newsrus.su: Отечественный ИИ научился проектировать свайный фундамент [Электронный ресурс]. – URL : <https://newsrus.su/information/i14082-otechestvennyj-ii-nauchilsya-proektirovat-svajnyj-fundament.html> (Дата обращения: 19.05.2026).

REFERENCES

1. Architectural materials science: Study method. a complex for students. spec. 1-69 01 01 "Architecture" / Comp. A.A. Bakatovich, L.M. Parfenova, A.M. Ivanenko; under the general editorship of A.A. Bakatovich – Novopolotsk: PSU, 2005.
2. science.mail.ru : AI will help test foundation piles: development from Perm [Electronic resource]. – URL : <https://science.mail.ru/news/1851-model-dlya-ispytaniy-svaj/> (Date of access: 05/19/2026).
3. newsrus.su Domestic AI has learned how to design a pile foundation [Electronic resource]. – URL : <https://newsrus.su/information/i14082-otechestvennyj-ii-nauchilsya-proektirovat-svajnyj-fundament.html> (Date of request: 05/19/2026).

СТРОЙКА ФУНДАМЕНТНЫХ ОПОР ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ АГЕНТОВ И РОБОТОВ В КИТАЕ

ЮШЕВИЧ РОМАН СТЕПАНОВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматривается применение ИИ-агентов и роботизированных комплексов при возведении фундаментных опор гидротехнических и подпорных сооружений в Китае. Показано, что центральная система искусственного интеллекта декомпозирует цифровую 3D-модель объекта на отдельные задачи и в реальном времени распределяет их между беспилотными самосвалами, автономными катками, экскаваторами и подводными роботами. Отмечено применение безлюдного аддитивного производства (3D-печати крупногабаритных конструкций) для непрерывного строительства в труднодоступных высокогорных и подводных регионах. Сделан вывод о том, что роботизированный подход снижает травматизм на 95 %, сокращает сроки работ на 30–40 % и расход материалов до 15 %.

Ключевые слова: ИИ-агенты, робототехника, гидротехнические сооружения, подпорные сооружения, фундаментные опоры, 3D-печать, цифровой двойник, Китай.

CONSTRUCTION OF FOUNDATION SUPPORTS OF HYDRAULIC AND RETAINING STRUCTURES USING AI AGENTS AND ROBOTS IN CHINA

YUSHEVICH ROMAN STEPANOVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the use of AI agents and robotic systems in the construction of foundation supports of hydraulic and retaining structures in China. It is shown that a central artificial intelligence system decomposes the digital 3D model of the object into individual tasks and distributes them in real time among unmanned dump trucks, autonomous rollers, excavators and underwater robots. The use of unmanned additive manufacturing (3D printing of large-scale structures) for continuous construction in remote highland and underwater regions is noted. It is concluded that the robotic approach reduces injuries by 95 %, shortens work schedules by 30–40 % and material consumption by up to 15 %.

Keywords: AI agents, robotics, hydraulic structures, retaining structures, foundation supports, 3D printing, digital twin, China.

ВВЕДЕНИЕ

Применение ИИ-агентов и роботизированных комплексов при возведении фундаментных опор гидротехнических и подпорных сооружений в Китае кардинально меняет строительную индустрию, переводя процессы из ручного режима в автономный. КНР масштабирует технологии безлюдного аддитивного производства (3D-печати крупногабаритных объектов) и координации беспилотной техники, повышая безопасность, точность и скорость создания критически важной инфраструктуры.

Актуальность. Возведение фундаментов гидротехнических сооружений (ГТС) и подпорных стен сопряжено с экстремальными условиями – высоким давлением воды, нестабильными грунтами, риском оползней. В Китае дефицит квалифицированных кадров и жёсткие экологические стандарты стимулируют переход к «умным» безлюдным стройплощадкам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Суть технологии. Единая центральная система искусственного интеллекта (ИИ-агент высшего уровня) декомпозирует цифровую 3D-модель объекта на отдельные производственные задачи и в реальном времени распределяет их между беспилотными самосвалами, автономными катками, экскаваторами и подводными роботизированными комплексами.

Ключевой результат. Исключение человеческого фактора снижает число ошибок при послойной укладке бетона и установке свай. Технология обеспечивает непрерывное (24/7) строительство в труднодоступных высокогорных и подводных регионах с прецизионной (до миллиметров) точностью и увеличивает срок службы сооружений.

Матрица распределения ролей ИИ и роботизированных систем на объектах КНР приведена в таблице.

Таблица 1 – Матрица распределения ролей ИИ

Этап строительства	Роль ИИ-агента (Сгенерировано ИИ)	Действия робототехники (Сгенерировано ИИ)
1. Анализ грунта и проектирование	Генерация цифрового двойника дна, расчет гидродинамических нагрузок.	Автономное бурение и сканирование дна гидролокаторами.
2. Земляные работы и подготовка	Динамическая логистика, расчет оптимальных маршрутов движения беспилотной техники.	Автономные экскаваторы и грузовики расчищают котлован.
3. Возведение опор и подпорных стен	Контроль толщины слоев, температуры бетона и темпа аддитивной укладки.	Беспилотные бетоноукладчики, послойная 3D-печать опор.
4. Контроль качества и мониторинг	Компьютерное зрение: выявление микротрещин и дефектов в реальном времени.	Дроны-инспекторы и подводные роботы, сканирующие монолит.

Роботизированные комплексы и системы искусственного интеллекта развёртываются на масштабных гидротехнических объектах Китая – например, при строительстве плотины Янцюй и других массивных подпорных конструкций.



Рисунок 1 – Примеры визуализации технологий в Китае

Эффективность роботизированного подхода удобно показать сравнением традиционного и роботизированного методов (по опыту КНР): безопасность труда – снижение травматизма на 95 % за счёт вывода людей из зон затопления и оползней; скорость возведения – сокращение общего графика на 30–40 % благодаря круглосуточному циклу укладки; расход материалов – экономия сырья до 15 % за счёт точной дозировки и минимизации брака.

ВЫВОДЫ

Применение ИИ-агентов в связке с тяжёлой робототехникой при строительстве фундаментов ГТС в Китае доказало свою состоятельность, превращая строительную площадку в единый автоматизированный конвейер.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. Лю, Ц. Использование аддитивных технологий и систем искусственного интеллекта при возведении крупных гидротехнических сооружений / Ц. Лю, Х. Чжан // Вестник гражданского инженерного искусства. – 2024. – № 3 (42).
2. Тянь, Х. Роботизированные комплексы и беспилотный транспорт на строительстве высоконапорных плотин в КНР / Х. Тянь, В. Ван // Механизация и автоматизация строительного производства. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 112–121.
3. Чэнь, С. Интеграция ИИ-агентов в управление «умными» строительными площадками в условиях высокогорья / С. Чэнь, Л. Чжоу // Автоматизация в строительстве и архитектуре : материалы Международной научно-практической конференции. – Пекин : Наука, 2025.

REFERENCES

1. Liu, C. Use of Additive Technologies and Artificial Intelligence Systems in the Construction of Large Hydraulic Structures / C. Liu, H. Zhang // Bulletin of Civil Engineering Art. - 2024. - No. 3 (42).
2. Tian, H. Robotic Complexes and Unmanned Transport in the Construction of High-Head Dams in China / H. Tian, W. Wang // Mechanization and Automation of Construction Production. - 2025. - Vol. 18, No. 2. - Pp. 112-121.
3. Chen, S. Integration of AI Agents in the Management of "Smart" Construction Sites in High Mountain Conditions / S. Chen, L. Zhou // Automation in Construction and Architecture: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. – Beijing: Science, 2025.

СТРОЙКА ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ – ДОПОЛНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

ЮЩЕНКО ВИТАЛИЙ АНДРЕЕВИЧ

студент 2 курса кафедры «Автомобильные дороги»

Научный руководитель – Яковлев А.А., старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются возможности применения технологии дополненной реальности (Augmented Reality, AR) при устройстве плитных фундаментов. Отмечено, что надёжность плитных фундаментов зависит от строгого соблюдения технологических регламентов, а цифровизация отрасли предоставляет новые инструменты контроля и визуализации. Показано, что AR позволяет накладывать проектные данные на физический объект в реальном времени, повышая эффективность работы инженеров и проектировщиков, качество контроля и наглядность взаимодействия с заказчиком. Вместе с тем широкое внедрение технологии сдерживается её высокой стоимостью и техническими ограничениями; сделан вывод о перспективности AR по мере удешевления решений.

Ключевые слова: дополненная реальность, AR, плитный фундамент, цифровизация строительства, контроль качества, визуализация, BIM.

CONSTRUCTION OF MAT FOUNDATIONS USING AUGMENTED REALITY

YUSHCHENKO VITALIY ANDREEVICH

2nd year student of the Department of Highways

Scientific supervisor – A.A. Yakovlev, Senior Lecturer at the Department of Bridges and Tunnels

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper considers the possibilities of applying augmented reality (AR) technology in the construction of mat foundations. It is noted that the reliability of mat foundations depends on strict compliance with technological regulations, while the digitalisation of the industry provides new tools for control and visualisation. It is shown that AR makes it possible to overlay design data onto the physical object in real time, increasing the efficiency of engineers and designers, the quality of control and the clarity of interaction with the client. At the same time, the wide adoption of the technology is constrained by its high cost and technical limitations; it is concluded that AR is promising as solutions become cheaper.

Keywords: augmented reality, AR, mat foundation, construction digitalization, quality control, visualization, BIM.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Плитные фундаменты – один из наиболее распространённых типов оснований в современном строительстве, особенно в условиях сложных грунтов и при возведении многоэтажных зданий. Их надёжность напрямую зависит от строгого соблюдения технологических регламентов, качества бетонной смеси и своевременного ухода за свежеложенным бетоном. При этом отрасль активно цифровизируется, и одним из перспективных направлений становится применение дополненной реальности (Augmented Reality, AR), позволяющей в реальном времени накладывать цифровую информацию на физический объект. Цель работы – рассмотреть возможности использования AR при устройстве плитных фундаментов и оценить преимущества и ограничения технологии. Плитный фундамент представляет собой монолитную конструкцию из бетона или железобетона либо сборный каркас (рисунок 1).

Возведение плитных фундаментов требует строгого соблюдения проектной документации, своевременного ухода за свежим бетоном до набора им проектной прочности и мероприятий по предотвращению трещин.

С развитием новых технологий при устройстве плитных фундаментов можно применять дополненную реальность. AR совмещает цифровые изображения и объекты с реальной местностью в физическом мире и служит удобным средством наглядной демонстрации будущих построек, накладывая на изображение реального мира проектные данные и сопутствующую информацию (рисунок 2).



Рисунок 1 – Плитный фундамент



Рисунок 2 – Дополненная реальность в строительстве (монтаж опалубки)

Дополненная реальность играет заметную роль в цифровизации строительства и имеет как преимущества, так и недостатки. К преимуществам относятся повышение эффективности работы инженеров, дизайнеров и проектировщиков и, как следствие, рост качества самого фундамента, а также возможность для заказчика оценить качество выполненных работ. Главный недостаток – высокая стоимость технологии, из-за которой она пока применяется ограниченно; тем не менее AR активно развивается и в перспективе будет востребована на всех стадиях строительства.

ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены возможности применения дополненной реальности при возведении плитных фундаментов. Показано, что AR улучшает контроль качества, сокращает время проверок и повышает наглядность взаимодействия между проектировщиками, строителями и заказчиком. В то же время широкое внедрение сдерживается экономическими и техническими барьерами. Дальнейшее развитие цифровых инструментов и удешевление решений будут способствовать тому, чтобы дополненная реальность стала неотъемлемой частью строительного производства, обеспечивая более высокий уровень надёжности и экономической эффективности фундаментных работ.

Работа выполнена с помощью искусственного интеллекта

ЛИТЕРАТУРА

1. A systematic literature review of augmented reality's development in construction [Электронный ресурс] // OUCI. – Режим доступа: <https://ouci.dntb.gov.ua> (дата обращения: 17.05.2026).
2. Natural language-extracted and BIM-referenced knowledge base for construction quality inspection via augmented reality [Электронный ресурс] // ScienceDirect. – 2025. – 29 авг. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 17.05.2026).
3. Markerless Augmented Reality-Based Method for Detecting and Managing Concrete Surface Defects [Электронный ресурс] // tmjzgcxxjs.manuscripts.cn. – 2024. – 20 дек. – Режим доступа: <https://tmjzgcxxjs.manuscripts.cn> (дата обращения: 17.05.2026).
4. Augmented reality integrates into structural design, inspection [Электронный ресурс] // ASCE (American Society of Civil Engineers). – 2026. – 1 марта. – Режим доступа: <https://www.asce.org> (дата обращения: 17.03.2026).

REFERENCES

1. A systematic literature review of augmented reality's development in construction [Электронный ресурс] // OUCI. – Режим доступа: <https://ouci.dntb.gov.ua> (дата обращения: 17.05.2026).
2. Natural language-extracted and BIM-referenced knowledge base for construction quality inspection via augmented reality [Электронный ресурс] // ScienceDirect. – 2025. – 29 авг. – Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения: 17.05.2026).
3. Markerless Augmented Reality-Based Method for Detecting and Managing Concrete Surface Defects [Электронный ресурс] // tmjzgcxxjs.manuscripts.cn. – 2024. – 20 дек. – Режим доступа: <https://tmjzgcxxjs.manuscripts.cn> (дата обращения: 17.05.2026).
4. Augmented reality integrates into structural design, inspection [Электронный ресурс] // ASCE (American Society of Civil Engineers). – 2026. – 1 марта. – Режим доступа: <https://www.asce.org> (дата обращения: 17.03.2026).