

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.05

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.777-784

## Практическое применение дополненной реальности и технологий информационного моделирования в процессах капитального строительства

Василиса Васильевна Пашенкова<sup>1</sup>, Владислав Александрович Мурленко<sup>2</sup>,  
Сергей Николаевич Гуреев<sup>2</sup>, Виктор Сергеевич Евстратов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Газпром нефть информационно-технологический оператор (Газпром нефть ИТО);  
г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Газпром нефть; г. Санкт-Петербург, Россия;

<sup>3</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Цель настоящего исследования — проверить возможность использования программно-аппаратного решения, включающего применение алгоритмов искусственного интеллекта и технологий визуализации ТИМ-моделей в режимах дополненной (AR), смешанной (MR) и комбинированной (AMR) реальности в условиях капитального строительства, а также проверить гипотезу о том, что данное решение позволит повысить точность и оперативность контроля, улучшить управление процессами и сократить расходы за счет снижения числа переделок.

**Материалы и методы.** Испытания проводились сценарным методом, предусматривающим последовательное прохождение тестов, соответствующих реальным условиям использования: от подготовки площадки и проверки возможности сопоставления цифровой 3D-модели с физическим объектом до формирования итоговой отчетной документации.

**Результаты.** Проверены гипотеза о точности выявления геометрических несоответствий в оборудовании до его транспортировки на строительную площадку, стабильность работы платформы в условиях реального строительного контроля с применением технологии дополненной и смешанной реальности. Произведена оценка экономической и временной эффективности системы за счет автоматизации процессов обнаружения отклонений и формирования отчетности.

**Выводы.** Эксперименты продемонстрировали, что технология позволяет визуально совмещать ТИМ-модель и реальный объект, одновременно автоматизируя процесс фиксации отклонений и формируя отчеты, доступные для анализа как на площадке, так и в офисе. Подобная прозрачность и скорость обмена информацией дают возможность быстрее принимать решения и своевременно привлекать к устранению несоответствий всех заинтересованных специалистов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** дополненная реальность, капитальное строительство, строительный контроль, технологии информационного моделирования, коллизия

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Пашенкова В.В., Мурленко В.А., Гуреев С.Н., Евстратов В.С. Практическое применение дополненной реальности и технологий информационного моделирования в процессах капитального строительства // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 5. С. 777–784. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.777-784

Автор, ответственный за переписку: Виктор Сергеевич Евстратов, EvstratovVS@mgsu.ru.

## Practical application of augmented reality and information modelling technologies in capital construction processes

Vasilisa V. Pashchenkova<sup>1</sup>, Vladislav A. Murlenko<sup>2</sup>, Sergey N. Gureev<sup>2</sup>,  
Victor S. Evstratov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gazprom Neft Information Technology operator; St. Petersburg, Russian Federation;

<sup>2</sup> Gazprom Neft; St. Petersburg, Russian Federation;

<sup>3</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);  
Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The aim of this study is to test the possibility of using a hardware-software solution including the application of artificial intelligence algorithms and technologies for visualization of TIM models in the modes of augmented (AR), mixed (MR) and combined (AMR) reality in the conditions of capital construction, as well as to test the hypothesis that this solution will increase the accuracy and efficiency of control, improve process management and reduce costs by reducing the number of reworks.

**Materials and methods.** The tests were carried out by the scenario method, which provides for the consecutive passing of tests corresponding to the real conditions of use: from site preparation and checking the possibility of comparing the 3D digital model with the physical object to the formation of the final reporting documentation.

**Results.** The hypothesis about the accuracy of detection of geometrical discrepancies in the equipment before its transportation to the construction site, stability of the platform operation in the conditions of real construction control with the use of augmented and mixed reality technology were tested. The economic and time efficiency of the system due to automation of the processes of deviation detection and reporting has been evaluated.

**Conclusions.** The experiments demonstrated that the technology allows to visually combine the TIM-model and the real object, simultaneously automating the process of deviation detection and generating reports available for analysis both on the site and in the office. Such transparency and speed of information exchange enable faster decision-making and timely involvement of all interested specialists in the elimination of discrepancies.

**KEYWORDS:** augmented reality, capital construction, construction control, information modelling technologies, collision

**FORCITATION:** Pashchenkova V.V., Murlenko V.A., Gureev S.N., Evstratov V.S. Practical application of augmented reality and information modelling technologies in capital construction processes. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(5):777-784. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.5.777-784 (rus.).

Corresponding author: Victor S. Evstratov, EvstratovVS@mgsu.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

В условиях капитального строительства одной из ключевых задач является обеспечение ранней поставки и монтажа оборудования длительного цикла изготовления [1]. Любое отклонение от технических условий или рабочей документации может привести к внеплановым корректировкам в полевых условиях, что негативно сказывается на сроках и качестве реализации проекта. Применение технологии дополненной/смешанной реальности (AR/MR) и технологий информационного моделирования (ТИМ) позволяет минимизировать влияние человеческого фактора за счет автоматизации анализа данных и наглядного представления проектных решений [2–4].

Технологии информационного моделирования служат основой для внедрения технологий дополненной реальности (AR/MR/AMR) в строительстве [5–9]. AR-технологии, в свою очередь, делают ТИМ-модели более адаптированными, наглядными и применимыми для оперативного принятия решений на строительной площадке [10–15]. Основные мировые тренды говорят о ежегодном увеличении объема рынка AR-технологий<sup>1</sup> [16–19].

Цель настоящего исследования — проверить возможность использования программно-аппаратного решения, включающего использование алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ) и технологий визуализации ТИМ-моделей в режимах дополненной (AR), смешанной (MR) и комбинированной (AMR) реальностей в условиях капитального строительства, а также проверить гипотезу о том, что это решение позволит повысить точность и оперативность контроля, улучшить управление процессами и сократить расходы за счет снижения числа переделок.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытания проводились сценарным методом, предусматривающим последовательное прохожде-

ние тестов, соответствующих реальным условиям использования: от подготовки площадки и проверки возможности сопоставления цифровой 3D-модели с физическим объектом до формирования итоговой отчетной документации. В основу сценариев были положены характерные процессы, происходящие при поставке оборудования и строительстве объектов. Исследование выполнялось на площадке одного из промышленных объектов ГК ПАО «Газпром нефть» с подготовленным блочным оборудованием для испытаний.

Основные задачи в рамках исследования:

- проверка гипотезы о точности выявления геометрических несоответствий в оборудовании до его транспортировки на строительную площадку;
- проверка стабильности работы платформы в условиях реального строительного контроля с применением технологии дополненной и смешанной реальности;
- оценка экономической и временной эффективности системы за счет автоматизации процессов обнаружения отклонений и формирования отчетности.

При этом ключевыми метриками и проверками стали: работоспособность программного обеспечения (ПО) в режимах AR, MR и AMR при загрузке полной ТИМ-модели, работа устройства в автономном режиме (без сети интернет), корректность автоматизированного формирования отчетов, выявление расхождений между фактическим объектом и 3D-моделью с точностью до  $\pm 15$  мм и полнота обнаружения отклонений по сравнению со списком заранее известных несоответствий.

Для осуществления исследования использовалась площадка с подготовленным для испытаний блочным оборудованием и ТИМ-моделью объекта в форматах r3db и nwc. Эта модель включала архитектурные решения, оборудование и коммуникации, а также отображала плановое размещение всего комплекса относительно строительной сетки и привязку по высоте к отметкам балтийской системы координат. Была сформирована группа специалистов с необходимыми навыками в сфере строительного

<sup>1</sup> URL: <https://www.statista.com/outlook/amo/ar-vr/worldwide#revenue>

контроля и ТИМ-проектирования, которая обеспечивала корректность процедуры замеров и анализа данных.

В качестве аппаратных средств применялись тахеометр, лазерный дальномер Ada cosmo 70 и мобильный ТИМ-сканер, способный визуализировать объект в режимах AR, MR и AMR реальности. Программное обеспечение, установленное на ТИМ-сканере, позволяло загружать полные ТИМ-модели и управлять ими с помощью алгоритмов ИИ на архитектурах HITNet и YOLO для быстрой идентификации потенциальных отклонений. При этом учитывалась автономная работа комплекса без подключения к сети интернет, что обеспечивало независимость от внешней инфраструктуры.

Программа испытаний предусматривала выполнение серии тестов, соответствующих техническому заданию. К ним относились проверка корректности отображения всех разделов проекта (архитектура, конструкция, инженерные сети) в режиме визуализации, оценка возможности устройства функционировать без сетевого соединения, тестирование автоматической генерации отчетов по результатам анализа, а также измерение точности определения расхождений до  $\pm 15$  мм при сопоставлении реального оборудования с цифровой моделью. Для этого проводилась последовательность действий, начиная с загрузки полной модели и включения всех доступных разделов, после чего оператор производил наложение 3D-изображения на реальный объект. Затем в условиях отключенного интернета проверялась бесперебойность работы системы и способность корректно совмещать модель с физическими объектами. Чтобы удостовериться в правильности и полноте обнаружения коллизий, сравнивали реальные размеры и координаты, определенные тахеометром, с виртуальными значениями, полученными в процессе наложения. Выявленные несоответствия фиксировались при помощи фотофиксации и комментариев, после чего программа формировала итоговый отчет, доступный на устройстве и компьютере.

Методика испытаний организована таким образом, чтобы каждое требование, сформулированное в программе (оценка работоспособности ПО, автономной функциональности, точности выявления отклонений и полноты детекции), проверялось с применением четких критериев. С целью оценки интерфейса и скорости отклика использовалась балльная шкала, где пользователи фиксировали общее удобство работы и время реакции системы. Для подтверждения точности сопоставления реальных и проектных параметров осуществлялись геодезические измерения точек  $A_i$  и  $B_i$ , в результате которых вычислялись расстояния  $R_i$ . В цифровой среде аналогичные пары точек фиксировались как  $L_i$ . Далее определялось отклонение  $d_i$ , т.е. модуль разницы между  $R_i$  и  $L_i$ , а усредненное значе-

ние  $D$  указывало на общее расхождение. Испытания считались успешными, если максимальное отклонение  $d_i$  не превышало 15 мм и если среднее значение  $D$  оставалось в пределах 10 мм. Полнота обнаружения коллизий оценивалась путем сопоставления заранее известных несоответствий с теми, что были найдены системой: рассчитывался показатель  $K$ , отражающий отношение подтвержденных отклонений к их общему количеству, умноженное на десять. При достижении уровня  $K \geq 8$  результат считался удовлетворительным.

Таким образом, примененная совокупность методов (геодезическое измерение, визуализация в AR/MR/AMR-режимах, балльная оценка интерфейса, анализ полноты обнаружения коллизий) и предоставленные материалы (ТИМ-модель, аппаратура для замеров и ПО) обеспечили всестороннюю проверку исследуемой технологии и позволили сделать выводы о ее эффективности и практической применимости.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе испытаний оценивались несколько ключевых параметров, связанных с точностью, удобством и полнотой обнаружения коллизий. Каждый из проведенных тестов приурочен к определенному сценарию, отражающему возможные условия эксплуатации на реальных строительных площадках. Ниже последовательно представлены полученные результаты с указанием соответствующих таблиц.

На первом этапе проверялась работоспособность ПО в режимах AR, MR и AMR при одновременной загрузке полной ТИМ-модели, включающей все основные разделы проекта (архитектурные, инженерные, конструктивные). Оценка проводилась по трем критериям: возможность просмотра всей модели, скорость отклика интерфейса и субъективная оценка удобства использования. Каждый критерий оценивался по балльной шкале, а итоговый показатель определялся путем усреднения (табл. 1).

Несмотря на то, что система корректно отображала всю модель, у участников эксперимента возникли задержки при быстром переключении между обширными разделами, поэтому окончательная итоговая оценка составила 7,6 баллов. Это считается удовлетворительным результатом, позволяющим использовать программно-аппаратный комплекс (ПАК) в реальных условиях.

Во втором тесте проверялась работа устройства в автономном режиме без подключения к интернету. Для этого ПАК перезагружался с отключенной сетью, затем осуществлялось совмещение ТИМ-модели с реальным объектом. Критерием успешности являлась возможность корректной привязки цифровой модели к физическому окружению. Тест завершился положительно, комплекс не потерял основные функции.

Табл. 1. Итоговая оценка программного обеспечения при загрузке полной ТИМ-модели

Table 1. Final software evaluation when loading the full TIM model

Оцениваемый параметр Estimated parameter	Критерий оценки Evaluation criterion	Шкала оценки / Rating scale	Оценка, баллы Score, points
Возможность просмотра всей модели / Ability to view the entire model	Возможно/невозможно Possible/impossible	Возможно — 10 баллов, невозможно — 0 баллов Possible — 10 points, impossible — 0 points	5
Скорость отклика интерфейса Interface response speed	Время реакции ПО Response time of the software	>10 с — 0 баллов, >1 с — 5, <1 с — 10 >10 s — 0 points, >1 s — 5, <1 s — 10	10
Возможность использования ПАК / Ability to use the PAC	Субъективная оценка Subjective assessment	0–10 (шаг 1 балл) / 0–10 (step 1 point)	8
Средний балл / Average score	–	Усреднение по трем критериям Averaging by three criteria	7,6

На третьем этапе проверялась корректность формирования автоматизированных отчетов по результатам визуализации и анализа. Во время осмотра оборудования оператор добавлял в систему фотографии, текстовые комментарии и пометки на элементе модели, после чего формировался общий отчет, доступный как на устройстве, так и на персональном компьютере. Согласно итоговой проверке, отчет содержал все внесенные данные и корректно воспроизводился на разных устройствах.

Следующий этап — обнаружение отклонений между 3D-моделью и фактическим состоянием объекта. Определялось, насколько система способна

выявлять расхождения в пределах  $\pm 15$  мм. Для этого геодезистами выбирались характерные точки  $A_i$  и  $B_i$  на блочном оборудовании, выполнялись контрольные замеры с помощью тахеометра  $R_i$ , а затем оператор в цифровой среде фиксировал расстояния  $L_i$ . В результате по каждой паре точек вычислялась величина  $d_i = |R_i - L_i|$ . В качестве иллюстрации приведены усредненные данные пяти повторных измерений (табл. 2), где собраны ключевые пары точек с наибольшим влиянием на общий итог.

Как видно из табл. 2, среднее отклонение  $D$  составило 24 мм, что превышает установленный допуск  $\pm 15$  мм. Максимальное расхождение 71 мм

Табл. 2. Сравнение расстояний, полученных при геодезической съемке и с помощью ПАК

Table 2. Comparison of distances obtained by geodetic survey and by PAC

Замеряемые точки Measured points	Расстояние по геодезической съемке $R_i$ , мм Geodetic survey distance $R_i$ , mm	Расстояние по ПАК $L_i$ , мм PAC distance $L_i$ , mm	Отклонение $d_i$ , мм Deviation $d_i$ , mm
1–2	6062	5991,2	70,8
2–3 (разница высот) 2–3 (height difference)	2465	2425	40
1–4 (разница высот) 1–4 (height difference)	98	106,6	–8,6
1–5 (разница высот) 1–5 (height difference)	365	382	–17
1–6 (разница высот) 1–6 (height difference)	741	744	–3
1–7 (разница высот) 1–7 (height difference)	1322	1316,4	5,6

Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Замеряемые точки Measured points	Расстояние по геодезической съемке $R_i$ , мм Geodetic survey distance $R_i$ , mm	Расстояние по ПАК $L_i$ , мм PAC distance $L_i$ , mm	Отклонение $d_p$ , мм Deviation $d_p$ , mm
Среднее отклонение $D$ Mean deviation $D$	–	–	24
Максимальное отклонение Maximum deviation	–	–	71

выявлено по паре точек 1–2 и значительно превосходит требуемое значение. Тем не менее повторяемость измерений оказалась высокой, система выявляла основные, наиболее крупные несоответствия геометрии, что важно для раннего контроля. Для задач высокой точности без дополнительных доработок комплекс не подходит.

Дополнительно анализировалась полнота обнаружения отклонений. В эксперименте присутствовал список заранее известных коллизий, составляющих  $d_k$ . Система нашла общее количество отклонений  $d_f$ . Поскольку ложных срабатываний не выявили ( $d_n = 0$ ), полученное соотношение  $K = (d_f - d_n) / d_k \cdot 10$  достигло верхнего значения 10, что соответствует высокому уровню детекции. Те же несоответствия, которые возникли из-за расхождения между проектной документацией и реальными узлами, были корректно зафиксированы и подтверждены по факту осмотра.

Во время испытаний также установлено, что при возвращении к исходной метке после обхода объекта с разных сторон периодически происходила потеря позиционирования, что связано с недостаточным количеством опорных точек. Также обнаружено несоответствие загруженной в ПАК 3D-модели и рабочей документации, что ограничивает возможности автоматического обнаружения коллизий и повышает риск пропуска важных деталей, поэтому перед использованием системы необходимо своевременно актуализировать цифровые модели. Дополнительно зафиксирована потеря позиционирования при появлении движущихся объектов (техника, люди) в зоне прямой видимости между комплексом и обследуемым оборудованием, указывающая на необходимость совершенствования алгоритмов слежения. Также оператору нередко приходится перемещаться назад с удержанием фокуса на объекте обследования, что создает риск столкновений и травм в динамичной среде строительной площадки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперименты продемонстрировали, что технология позволяет визуально совмещать ТИМ-модель и реальный объект, одновременно автоматизируя процесс фиксации отклонений и формируя отчеты, доступные для анализа как на площадке, так и в офисе. Подобная прозрачность и скорость обмена информацией дает возможность быстрее принимать решения и своевременно привлекать к устранению несоответствий всех заинтересованных специалистов.

Несмотря на то, что выявлено превышение допустимого предела точности (максимальное отклонение достигло 71 мм при требуемых  $\pm 15$  мм), практика показала высокую повторяемость измерений. Это свидетельствует о перспективности развития алгоритмов позиционирования, которые при дополнительной калибровке способны приблизить результаты к требуемой точности. Кроме того, единообразная и подробная отчетность, формируемая в ходе осмотра, дает возможность не только фиксировать все несоответствия, но и аккумулировать информацию, необходимую для дальнейшего анализа и корректировки проектной документации.

Полученные результаты позволяют сделать выводы о возможной применимости технологии не только для монтажа блочно-модульного оборудования, но и для других сценариев капитального строительства. Желательна дополнительная проверка применимости при реконструкции действующих производств для оперативной сверки проектных решений с фактическими условиями, в контрольных процедурах ввода объектов в эксплуатацию, когда требуется быстрое и точное выявление несоответствий инженерных систем, а также в процессе мониторинга крупногабаритных элементов на складских площадках, где важно раннее обнаружение дефектов и отклонений от проектных координат.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Изотова О.* Требования к строительству объектов капитального строительства // Сметно-договорная работа в строительстве. 2020. № 9. С. 68–72. EDN OAUUVF.
2. *Zheleznov M.* A lifecycle management system for capital construction facilities based on a digital cloud platform implementing information modeling methods and technologies // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 281. P. 04007. DOI: 10.1051/e3sconf/202128104007. EDN ZBNTPY.
3. *Евтушенко С.И., Куценко М.Д.* Использование технологии дополненной реальности на этапах жизненного цикла объекта капитального строительства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 11. С. 1813–1820. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.11.1813-1820. EDN IOBIMY.
4. *Александрин А.В.* Использование информационных технологий на этапе строительства объекта // Строительство и реконструкция. 2023. № 4 (108). С. 132–137. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-108-4-132-137. EDN BVHWWU.
5. *Адамцевич Л.А., Воробьев П.Ю., Железнов Е.М.* Технология мониторинга объектов капитального строительства на этапах жизненного цикла методами дистанционного зондирования с использованием беспилотных летательных аппаратов (дронов) на основе высокоточной цифровой модели объекта // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 3. С. 51–55. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-51-55. EDN YSZJCM.
6. *Адамцевич Л.А., Харисов И.З.* Обзор технологий Индустрии 4.0 для разработки системы дистанционного управления строительной площадкой // Строительство и архитектура. 2021. Т. 9. № 4. С. 91–95. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-4-91-95. EDN RLENTY.
7. *Адамцевич Л.А., Харисов И.З., Камаева Ю.В.* Международный опыт применения технологий Индустрии 4.0 для мониторинга актуального состояния строительного производства // Строительное производство. 2022. № 3. С. 58–66. DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_58. EDN EUJSKM.
8. *Адамцевич Л.А., Сорокин И.В., Настычук А.В.* Перспективные в условиях цифровой трансформации строительной отрасли технологии индустрии 4.0 // Строительство и архитектура. 2022. Т. 10. № 4. С. 101–105. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-10-4-101-105. EDN GGNGAU.
9. *Адамцевич Л.А., Камаева Ю.В.* Использование VR, AR, MR-технологий в строительстве на этапах жизненного цикла объектов капитального строительства // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2022 : сб. докл. Третьей национальной науч. конф. 2023. С. 800–804. EDN HBUDKK.
10. *Пименов С.И., Коклюгина Л.А.* Строительная информационная модель как инструмент снижения информационной неопределенности в оперативном управлении строительством // Construction and Geotechnics. 2023. Т. 14. № 2. С. 116–127. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.09. EDN OLAZTN.
11. *Рудь А.В., Буквина Е.А., Буквина М.А., Панченко А.Ю., Фалеева Е.В.* Использование технологий виртуальной и дополненной реальности при проектировании и строительстве инфраструктурных объектов // Проектирование развития региональной сети железных дорог. 2021. № 9. С. 104–107. EDN TMISSY.
12. *Бондаренко А.В., Преображенский А.П.* Исследование возможностей применения технологий виртуальной и дополненной реальности в строительной сфере // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2023. № 1 (44). С. 47–51. EDN HEZTQO.
13. *Разянов Р.В.* AR технологии в строительном производстве // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2021. № 4. С. 19–27. DOI: 10.37153/2618-9283-2021-4-19-27. EDN SPKNAF.
14. *Girgin S., Fruchter R., Fischer M.* A case study towards assessing the impact of mixed reality-based inspection and resolution of MEP issues during construction // Journal of Information Technology in Construction. 2025. Vol. 30. Pp. 461–476. DOI: 10.36680/j.itcon.2025.020
15. *Ghani B.A.* Augmented Reality in Construction: Enhancing Efficiency and Collaboration // International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology. 2025. Vol. 11. Issue 2. Pp. 1836–1844. DOI: 10.32628/cseit23112550
16. *Yigitbas E., Nowosad A., Engels G.* Supporting Construction and Architectural Visualization through BIM and AR/VR : a Systematic Literature Review // ArXiv. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2306.12274
17. *Monla Z., Assila A., Beladjine D., Zghal M.* Maturity Evaluation Methods for BIM-Based AR/VR in Construction Industry : a Literature Review // IEEE Access. 2023. Vol. 11. Pp. 101134–101154. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3281265
18. *Schiavi B., Havard V., Beddiar K., Baudry D.* BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction // Automation in Construction. 2022. Vol. 134. P. 104054. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104054
19. *Ma S.* Research on construction management based on BIM-AR/VR technology // E3S Web of Conferences. 2025. Vol. 606. P. 04007. DOI: 10.1051/e3sconf/202560604007

Поступила в редакцию 23 декабря 2024 г.

Принята в доработанном виде 10 февраля 2025 г.

Одобрена для публикации 13 февраля 2025 г.

Об авторах: **Василиса Васильевна Пашенкова** — ведущий аналитик бизнес-процессов; **Газпром нефть информационно-технологический оператор (Газпром нефть ИТО)**; 190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 60/129, лит. А; Pashchenkova.VV@gazprom-neft.ru;

**Владислав Александрович Мурленко** — старший менеджер программы по развитию и инновациям в капитальном строительстве; **Газпром нефть**; 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д. 3–5; Murlenko.VA@gazprom-neft.ru;

**Сергей Николаевич Гуреев** — начальник управления; **Газпром нефть**; 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Почтамтская, д. 3–5; GUREEV.SN@gazprom-neft.ru;

**Виктор Сергеевич Евстратов** — преподаватель; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 4837-7695, РИНЦ ID: 895643, Scopus: 57197806238, ORCID: 0000-0002-7794-3897; EvstratovVS@mgsu.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## REFERENCES

1. Izotova O. Requirements for the construction of capital construction projects. *Estimate and Contractual Work in Construction*. 2020; 9:68-72. EDN OAUUVF. (rus.).
2. Zheleznov M. A lifecycle management system for capital construction facilities based on a digital cloud platform implementing information modeling methods and technologies. *E3S Web of Conferences*. 2021; 281:04007. DOI: 10.1051/e3sconf/202128104007. EDN ZBNTPY.
3. Evtushenko S.I., Kuzenko M.D. Use of augmented reality technology at the stages of the life cycle of a capital construction facility. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2023; 18(11):1813-1820. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.11.1813-1820. EDN IOBIMY. (rus.).
4. Aleksanin A.V. Use of information technologies at the facility construction stage. *Building and Reconstruction*. 2023; 4(108):132-137. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-108-4-132-137. EDN BVHWWU. (rus.).
5. Adamceovich L., Vorob'ev P., Zheleznov E. Technology for monitoring capital construction objects at the life cycle stages by remote sensing methods using unmanned aircraft (drones) based on high precision digital model. *Construction and Architecture*. 2021; 9(3):51-55. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-51-55. EDN YSJZCM. (rus.).
6. Adamceovich L., Harisov I. An overview of industry 4.0 technologies for the development of a remote-control system for a construction site. *Construction and Architecture*. 2021; 9(4):91-95. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-4-91-95. EDN RLENTY. (rus.).
7. Adamtsevich L.A., Kharisov I.Z., Kamaeva Yu.V. International experience in applying industry 4.0 technologies for construction progress monitoring. *Construction Production*. 2022; 3:58-66. DOI: 10.54950/26585340\_2022\_3\_58. EDN EUJSKM. (rus.).
8. Adamceovich L., Sorokin I., Nastychuk A.I. Promising industry 4.0 technologies in the context of the construction industry digital transformation. *Construction and Architecture*. 2022; 10(4):101-105. DOI: 10.29039/2308-0191-2022-10-4-101-105. EDN GGNGAU. (rus.).
9. Adamtsevich L.A., Kamaeva Yu.V. Use of VR, AR, MR technologies in construction at the stages of the life cycle of capital construction projects. *Actual problems of the construction industry and education – 2022 : collection of reports of the Third National Scientific Conference*. 2023; 800-804. EDN HBUDKK. (rus.).
10. Pimenov S.I., Kokliugina L.A. Construction information model as a tool to reduce information uncertainty in the operational management of construction. *Construction and Geotechnics*. 2023; 14(2):116-127. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.2.09. EDN OLAZTN. (rus.).
11. Rud A.V., Bukvina E.A., Bukvina M.A., Panchenko A.Y., Faleeva E.V. The use of virtual and augmented reality technologies in the design and construction of infrastructural objects. *Design of the Development of the Regional Railway Network*. 2021; 9:104-107. EDN TMISSY. (rus.).
12. Bondarenko A.V., Preobrazhenskiy A.P. The application study augmented reality technologies in the construction industry. *Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2023; 1(44):47-51. EDN HEZTQO. (rus.).
13. Raziapov R.V. Application of augmented reality methods in construction. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2021; 4:19-27. DOI: 10.37153/2618-9283-2021-4-19-27. EDN SPKNAF. (rus.).
14. Girgin S., Fruchter R., Fischer M. A case study towards assessing the impact of mixed reality-based inspection and resolution of MEP issues during construction. *Journal of Information Technology in Construction*. 2025; 30:461476. DOI: 10.36680/j.itcon.2025.020
15. Ghani B.A. Augmented Reality in Construction: Enhancing Efficiency and Collaboration. *Internationa*

*tional Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. 2025; 11(2):1836-1844. DOI: 10.32628/cseit23112550

16. Yigitbas E., Nowosad A., Engels G. Supporting Construction and Architectural Visualization through BIM and AR/VR : a Systematic Literature Review. *ArXiv*. 2023. DOI: 10.48550/arXiv.2306.12274

17. Monla Z., Assila A., Beladjine D., Zghal M. Maturity Evaluation Methods for BIM-Based AR/VR in Construction Industry : a Literature Review. *IEEE Ac-*

*cess*. 2023; 11:101134-101154. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3281265

18. Schiavi B., Havard V., Beddiar K., Baudry D. BIM data flow architecture with AR/VR technologies: Use cases in architecture, engineering and construction. *Automation in Construction*. 2022; 134:104054. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.104054

19. Ma S. Research on construction management based on BIM-AR/VR technology. *E3S Web of Conferences*. 2025; 606:04007. DOI: 10.1051/e3sconf/202560604007

*Received December 23, 2024.*

*Adopted in revised form on February 10, 2025.*

*Approved for publication on February 13, 2025.*

**B I O N O T E S :** **Vasilisa V. Pashchenkova** — leading business process analyst; **Gazprom Neft Information Technology operator**; 60/129, lit. A Moskovsky ave., St. Petersburg, 190013, Russian Federation; Pashchenkova.VV@gazprom-neft.ru;

**Vladislav A. Murlenko** — senior program manager for development and innovation in capital construction; **Gazprom Neft**; 3–5 Pochtamskaya St., St. Petersburg, 190000, Russian Federation; Murlenko.VA@gazprom-neft.ru;

**Sergey N. Gureev** — head of the department; **Gazprom Neft**; 3–5 Pochtamskaya St., St. Petersburg, 190000, Russian Federation; GUREEV.SN@gazprom-neft.ru;

**Victor S. Evstratov** — lecturer; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 4837-7695, ID RSCI: 895643, Scopus: 57197806238, ORCID: 0000-0002-7794-3897; EvstratovVS@mgsu.ru.

*Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare no conflict of interest.*