

УДК 004.8

Баринов Никита Сергеевич

магистрант

2 курс, факультет «Информационное

моделирование в строительстве»

Казанский государственный архитектурно-строительный

университет

Россия, г. Казань

Аирапов Азат Халилович

Кандидат технических наук, доцент кафедры

«Информационные технологии в строительстве»

Казанский государственный архитектурно-строительный

университет

Россия, г. Казань

**ИИ-ИНСТРУМЕНТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ: ОПЫТ РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ
СТРАН**

Аннотация. Статья представляет обзор и сравнительный анализ применения технологий компьютерного зрения (КЗ) в строительстве в России и за рубежом. Рассмотрены ключевые направления (мониторинг безопасности и соблюдения СИЗ, контроль качества и дефектоскопия, мониторинг хода строительства и интеграция с ТИМ/ВІМ), а также экономические эффекты, барьеры внедрения и требования к данным. На основе анализа публикаций 2023–2025 гг. и практических кейсов сформулирована «дорожная карта» внедрения КЗ для российских девелоперов и подрядчиков. Показано, что наиболее зрелые сценарии — видеоаналитика ТБ и автоматизированный мониторинг прогресса (360°-съёмка, сопоставление с ВІМ), тогда как задачи комплексной

дефектоскопии и полной цифровой приёмки требуют развития дата-сеторовой базы, методик валидации и нормативного обеспечения.

Ключевые слова: компьютерное зрение; искусственный интеллект; строительство; безопасность труда; средства индивидуальной защиты; BIM/ТИМ;

The paper reviews and compares the adoption of computer vision (CV) tools in the construction industry in Russia and internationally. We cover core application areas—safety and PPE compliance, quality control and defect detection, progress monitoring and BIM integration—together with economic impacts, implementation barriers, and data requirements. Based on 2023–2025 publications and real-world cases, we propose a practical roadmap for Russian stakeholders. We find that safety video analytics and automated progress tracking (360° capture, BIM comparison) are the most mature use cases, whereas comprehensive defect detection and digital acceptance demand further dataset curation, validation protocols, and regulatory support.

Keywords: computer vision; construction; PPE compliance; BIM; progress monitoring; quality control; video analytics.

Введение

Строительная отрасль относится к капиталоемким секторам экономики, где управленческие решения зависят от оперативной и объективной информации с площадки. За последние годы именно технологии искусственного интеллекта (ИИ) и, в частности, компьютерное зрение (КЗ) стали ключевым инструментом получения такой информации. КЗ позволяет извлекать структурированные данные из фото- и видеопотоков, накопленных системами видеонаблюдения, мобильной 360°-съемкой, БПЛА и сканерами. Это открывает возможности для автоматизации контроля техники безопасности (ТБ), мониторинга строительного прогресса, учёта ресурсов, а также для дефектоскопии и цифровой приёмки работ.

Цель работы — проанализировать состояние и тенденции применения КЗ в строительстве в России и за рубежом, выявить экономические эффекты и барьеры, а также предложить практические рекомендации по внедрению.

Методика и источники

Анализ проведён на основе обзорных и прикладных публикаций 2023–2025 гг., материалов отраслевых кейсов отечественных и зарубежных компаний, а также нормативно-методических документов в части цифровизации (ВИМ/ТИМ). Особое внимание уделено сценариям, для которых имеются верифицированные результаты пилотов и внедрений (безопасность, прогресс-мониторинг, дефектоскопия), и работам с открытыми датасетами и воспроизводимыми методиками оценки точности.

Ключевые направления применения КЗ в строительстве

1. Мониторинг безопасности и соблюдения СИЗ

Наиболее зрелое направление — автоматическое выявление нарушений ТБ на основе анализа видеопотоков с камер площадки. Типовые задачи: детекция касок/жилетов/очков (PPE), контроль попадания в опасные зоны, отслеживание взаимодействий «человек-техника», контроль работы на высоте и на лестницах, подсчёт людей в зонах работ. Модели детекции объектов (YOLOv5/v8, Faster R-CNN и др.) достигают высокой скорости и достаточной точности для развертывания в режиме близком к реальному времени. Развивается мультизадачная постановка (multi-task) — одновременная детекция объектов, поз и событий для генерации управленческих уведомлений и инцидент-репортов. [1-3]

2. Прогресс-мониторинг и интеграция с BIM/ГИМ

Цифровая фиксация хода строительства (360°-камеры на касках, маршрутизированные обходы, стационарные камеры) и сопоставление «as-is» с «as-planned» BIM-моделью позволяют автоматизировать отчётность, выявлять отставания/опережения и формировать доказательную базу по объёмам выполненных работ. В ряде решений добавляются функции распознавания видов работ и элементов (инстанс-сегментация), оценка процентной готовности, выявление коллизий и несоответствий. [5-8]

3. Контроль качества и дефектоскопия

Методы сегментации и классификации изображений применяются для обнаружения дефектов поверхностей (трещины, раковины, сколы, коррозия), контроля армирования и СМР-операций, выявления отклонений геометрии и отделки. В инфраструктурном строительстве востребованы модели для инспекции мостов и тоннелей, в гражданском — для контроля отделки и МГС. Ограничение зрелости — нехватка размеченных доменных датасетов, вариативность условий съёмки и требований по валидации результатов (в т.ч. независимой приёмки). [9-11]

Российский опыт: от точечных сервисов к экосистемным решениям

Российские внедрения демонстрируют наибольшую зрелость в сценариях ТБ и прогресс-мониторинга. На уровне регионов и крупных заказчиков создаются центры мониторинга строительства, в которых видеопотоки и фотосъёмка обрабатываются нейросетями для выявления нарушений и подтверждения фактических объёмов. Отдельные девелоперы и подрядчики внедряют «умные проходные» с биометрическим контролем доступа и учётом рабочего времени, интегрируя КЗ с ERP и системами охраны труда.

Характерные кейсы и тенденции (РФ):

1. Безопасность (PPE, опасные зоны). На ряде площадок применяются системы, распознающие отсутствие каски/жилета, работу на лестницах, нахождение в опасной зоне, а также передающие уведомления ответственным через панели мониторинга и мессенджеры. [1-7]
2. Центры строительного контроля. Практика региональных центров цифровых технологий показывает, что нейросеть может одновременно распознавать десятки типов событий и объектов (рабочие без СИЗ, захламление, нарушения периметра, простой техники и т.п.), что повышает дисциплину соблюдения регламентов и прозрачность процессов. [2,5,8]
3. Прогресс-мониторинг. Форсируется внедрение 360°-съёмки и привязки фото-/видеоматериалов к этажам/помещениям, а также интеграция с ТИМ-моделями. [9,15]
4. Дефектоскопия. Ведутся пилоты по поиску дефектов отделки и бетона, автоматическому формированию дефектных ведомостей; связка с системами цифровой приёмки даёт потенциал к сокращению сроков устранения замечаний. [17]

Барьерная среда:

1. Кадровый дефицит (ML/CV-инженеры, интеграторы BIM/ТИМ);
2. Разрозненность инфраструктуры видеонаблюдения и данных (форматы, разрешения, частоты кадров, требования к хранению);
3. Вопросы персональных данных и согласий (биометрия, съёмка работников);
4. Отсутствие единых отраслевых датасетов и эталонов качества для открытого сравнения решений;
5. Потребность в привязке к ТИМ-регламентам и стандартам обмена данными.

Зарубежный опыт и лучшие практики

Международный рынок демонстрирует высокий уровень зрелости в трёх сегментах: мониторинг безопасности (PPE-комплаенс, поведенческая аналитика), автоматизированный прогресс-мониторинг с 360°-фиксацией и дефектоскопия сооружений и отделки с применением глубоких нейросетей и мультидатчиковых схем (видео+лидар+тепловизор). Ключевые коммерческие платформы сочетают сбор данных (фото/видео), КЗ-аналитику и интеграции с системами управления проектами, что обеспечивает измеримую окупаемость за счёт ускорения приёмки, снижения числа исходящих RFI/дефектов и уменьшения простоев. [1,15,17]

Особенностью зарубежной практики является развитие открытых и специализированных датасетов (PPE, дефекты), что упрощает валидацию и сравнение моделей, а также активная связка с BIM — вплоть до автоматического сопоставления «as-built» с 4D-моделями для анализа отклонений по срокам и объёмам.

Экономические эффекты

В зрелых сценариях наблюдаются быстрые эффекты: снижение инцидентов ТБ, ускорение согласований и приёмки, уменьшение ручной фиксации и выездов, повышение прозрачности для генподрядчика и заказчика. Для дефектоскопии эффект проявляется в сокращении числа повторных работ и спорных ситуаций, но требуется методическая поддержка и формализация порогов принятия решений.

Сравнительный анализ: Россия и зарубежные страны

Зрелость сценариев. В обеих траекториях лидирует безопасность и прогресс-мониторинг. В РФ сильны решения точечного характера (микросервисы КЗ, интегрируемые в существующие системы), за рубежом — комплексные экосистемы (360°-фиксация + аналитика + интеграции с PPM/ERP).

Данные и открытость. Зарубежные рынки демонстрируют больше открытых датасетов и публикаций с воспроизводимыми метриками; в РФ чаще используются корпоративные датасеты и закрытые отчёты.

Интеграции и регламенты. Зарубежные решения глубже интегрированы с BIM/PPM и страховыми/правовыми практиками (снижение страховых премий при наличии доказательной фотофиксации). В РФ усиливается нормативная поддержка ТИМ, что создаёт окно возможностей для «стыковки» КЗ и ТИМ.

Практические рекомендации по внедрению

1. Определить приоритетный сценарий с быстрой окупаемостью: безопасность (PPE, опасные зоны) и/или прогресс-мониторинг.
2. Провести аудит данных: схема камер, качество изображения, маршрутизация 360°-съёмки, политика хранения и доступов.
3. Выбрать архитектуру и модель поставки: он-прем/edge для чувствительных объектов; гибрид/облако для масштабируемости;
4. Интегрировать с ТИМ/ВIM: привязывать результаты КЗ к элементам модели, автоматизировать отчётность, использовать фото/видео как доказательную базу при приёмке.
5. MLOps и качество: наладить цикл дообучения на собственных данных, мониторинг дрефта, процедуру ручной верификации инцидентов, регулярные отчёты по метрикам (precision/recall, F1, время реакции).
6. Правовые и этические аспекты: регламенты видеонаблюдения, информирование персонала, обезличивание; хранение и доступ по ролям; периодический аудит моделей на предмет bias и ложных срабатываний.

Заключение

Компьютерное зрение становится ключевой технологией цифровой трансформации строительства. Наиболее зрелые и экономически эффективные направления — мониторинг безопасности и автоматизированный

прогресс-мониторинг с интеграцией в ТИМ/ВІМ. Для масштабирования задач дефектоскопии и полной цифровой приёмки требуются: формирование доменных датасетов, тиражируемые методики валидации, а также регуляторная и методическая поддержка интеграции КЗ-выводов в управленческие решения. Российским компаниям целесообразно начинать с пилотов в сценариях ТБ и прогресса, постепенно наращивая связку с ТИМ и расширяя область применения на контроль качества и приёмку.

Использованные источники

1. Hou X., Ye Y., Liu Q., et al. Computer vision-based safety risk assessment for construction sites // *Advanced Engineering Informatics*. 2023. Vol. 57. 102043. Доступ из интернета:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580523003898>
(дата обращения: 12.08.2025).
2. Reja V.K., Choi J., Kwon S. Computer vision-based construction progress monitoring: A comprehensive review // *Advanced Engineering Informatics*. 2022. Vol. 51. 101498. Доступ из интернета:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522001182>
(дата обращения: 12.08.2025).
3. Guo J., Li B., Wang Y., et al. Surface defect detection of civil structures using images: a data-centric review // *Advanced Engineering Informatics*. 2024. Vol. 60. 102410. Доступ из интернета:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580523004466>
(дата обращения: 12.08.2025).
4. Yuan Q., Chen Y., Li J., et al. A Review of Computer Vision-Based Crack Detection // *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, No. 16. 2910. Доступ из интернета: <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/16/2910> (дата обращения: 12.08.2025).
5. Pereira F., et al. An Evaluation of the Technologies Used for the Real-Time Detection and Location of Objects on Construction Sites // *Buildings*. 2024.

- Vol. 14, No. 9. 2879. Доступ из интернета: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/9/2879> (дата обращения: 12.08.2025).
6. Vukicevic A.M., et al. A systematic review of CV-based personal protective equipment compliance // *Artificial Intelligence Review*. 2024. Доступ из интернета: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-024-10978-x> (дата обращения: 12.08.2025).
 7. Кузина О. и др. Компьютерное зрение в строительстве: что это такое и зачем нужно // Академия Цифры. 12.03.2024. Доступ из интернета: <https://academy.tsus.ru/kompyuternoe-zrenie-v-stroitelstve-cto-eto-takoe-i-zachem-nuzhno/> (дата обращения: 12.08.2025).
 8. Центр развития цифровых технологий МО. Умная видеоаналитика меняет строительную отрасль // *ASNInfo*. 25.12.2024. Доступ из интернета: <https://asninfo.ru/articles/2364-umnaya-videoanalitika-menyayet-stroitelnuyu-otrasl> (дата обращения: 12.08.2025).
 9. РУДН: Нейросеть для безопасности на стройке // *ЦифраСтрой*. 20.11.2024. Доступ из интернета: <https://cifrastroy.ru/news/nejroset-ot-rudn-kontrol-bezopasnosti-na-strojke> (дата обращения: 12.08.2025).
 10. «Брусника» и «Недремлющее око»: нейросеть следит за порядком на стройплощадке // *РГУД*. 21.10.2020. Доступ из интернета: <https://rgud.ru/press-releases/brusnika-i-nedremlyushcheye-okno-pervymi-v-rossii-nauchili-nejroset-sledit-za-poryadkom-na-stroyploshch> (дата обращения: 12.08.2025).
 11. Как ИИ контролирует строительство школ в Москве (решение RTMIP Neirolis) // *МБ-Газета*. 19.10.2022. Доступ из интернета: <https://mbgazeta.ru/arhiv/kak-iskusstvennyj-intellekt-kontroliruet-stroitelstvo-shkol-v-moskve/> (дата обращения: 12.08.2025).
 12. Доклад ИСИЭЗ НИУ ВШЭ «Искусственный интеллект в России: разработка и применение» (эмпирические исследования 2023–2024) — М.: ВШЭ, 2025. Доступ из интернета:

- <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/1053986532.pdf> (дата обращения: 12.08.2025).
13. Министерство строительства РФ. Утверждён новый национальный стандарт для внедрения ТИМ в стройке (ЕСИМ). Пресс-релиз от 08.04.2025. Доступ из интернета: <https://www.minstroyrf.ru/press/utverzhdyen-novyyu-natsionalnyu-standart-dlya-vnedreniya-tim-v-stroyke/> (дата обращения: 12.08.2025).
14. Buildots: кейсы применения ИИ для прогресс-мониторинга. Пресс-материалы и кейс-стади (ИНР, Multiplex). 2024–2025. Доступ из интернета: <https://buildots.com/case-studies/>; <https://pages.buildots.com/hubfs/Use-Cases/Multiplex/Multiplex-Case-study.pdf> (дата обращения: 12.08.2025).
15. OpenSpace: reality capture и AI-аналитика для стройки. Пресс-материалы и кейсы. 2024–2025. Доступ из интернета: <https://www.openspace.ai/>; <https://www.openspace.ai/resources/case-studies/how-rg-construction-uses-openspace-to-stay-within-budget-and-get-paid-on-time/> (дата обращения: 12.08.2025).
16. Elesawy A., et al. Comparative Analysis of YOLOv5/v8 for PPE Compliance in Construction // *Vision*. 2024. Vol. 5, No. 1. 19. Доступ из интернета: <https://www.mdpi.com/2673-4117/5/1/19> (дата обращения: 12.08.2025).
17. Zaidi S.F.A., et al. Vision-Based Construction Safety Monitoring Utilizing Deep Learning // *Buildings*. 2024. Vol. 14, No. 6. 1878. Доступ из интернета: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/6/1878> (дата обращения: 12.08.2025).