

УДК 69,059:623.746.4-519

К. Е. ВАСИЛЬЕВ (ПС-22)

Научный руководитель – ст. преп. *Н. В. ЧЕРНЮК*

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Проведен анализ актуальности и перспектив применения беспилотных летательных аппаратов для геодезического контроля и мониторинга строительных площадок в Беларуси. Рассмотрены ключевые технологии (LiDAR, фотограмметрия, интеграция с BIM и ИИ), нормативно-правовая база и опыт РФ (ГОСТ Р 71886-2024, снижение затрат до 10 %) и мировые практики (проект HumanTech, снижение простоев на 15–30 %). Сделан вывод о высоком потенциале БПЛА для цифровизации и повышения эффективности белорусского строительства при условии гармонизации стандартов с РФ и ЕАЭС.

Современное строительство невозможно без высокоточных геодезических измерений и постоянного мониторинга. Традиционные методы (тахеометры, нивелиры) требуют значительных временных затрат и присутствия человека на опасных участках. На смену классическим инструментам приходят беспилотные летательные аппараты (БПЛА, дроны), совершившие революцию в сборе и обработке пространственных данных.

Актуальность обусловлена глобальной цифровизацией строительной отрасли. В РФ действует нацпроект «Беспилотные авиационные системы» и утверждён ГОСТ Р 71886-2024. В Беларуси на октябрь 2025 года на государственном учёте состоит 1580 гражданских дронов, наиболее востребованных в аэрофотосъёмке, сельском хозяйстве и геолого-геодезических работах.

Технологическая эволюция

1 Воздушное лазерное сканирование (LiDAR).

LiDAR создаёт детализированное «облако точек» с сантиметровой точностью, позволяя «видеть» сквозь растительность независимо от освещения. В Беларуси Республиканский центр аналитического контроля использует DJI Matrice 350 RTK с лазерным сканером TOPODRONE 100+ для мониторинга открытых горных выработок. Компания Copter.by (эксклюзивный дилер Геоскана) провела семинар в Гомельском дорожно-строительном колледже, демонстрируя наземное лазерное сканирование [1].

2 Аэрофотосъёмка и фотограмметрия.

Дрон выполняет серию перекрывающихся снимков, которые превращаются в ортофотопланы и 3D-модели. При поддержке GNSS (RTK/PPK) и наземных опорных точек точность достаточна для топопланов масштаба 1 : 500, что заменяет трудоёмкие наземные измерения.

3 Интеграция с BIM и искусственным интеллектом.

Данные с дронов загружаются в BIM-среду для автоматического сравнения с проектом. По данным международных исследований 2025–2026 годов, ИИ на стройплощадках снижает простои на 15–30 %, травматизм до 30 %, повышает производительность на 20 %. В РФ компании ГК ПИК и Росатом уже используют ИИ, интегрируя его с ТИМ (BIM) и ФГИС ЦС. Системы компьютерного зрения автоматически отслеживают прогресс строительства, контролируют использование СИЗ, выявляют опасные зоны и прогнозируют задержки [3].

4 Динамические семантические цифровые двойники (проект HumanTech, 2025 г.)

Европейский проект HumanTech (Базельский университет, март 2025 год) интегрирует данные с дронов, наземных роботов и 360-градусных камер. Ключевые функции: автоматический мониторинг прогресса, локализация объектов, выявление опасностей падения через AR-интерфейс, обнаружение заблокированных выходов, Scan-to-BIM. Как отмечает специалист Implenia, захват облаков точек – это самая маленькая часть задачи; реальная проблема – в обработке данных и извлечении значимой информации.

5 Автоматизированные системы: «дрон в коробке»

Док-станции позволяют планировать миссии удалённо, автоматически заряжать дроны и загружать данные без участия человека. Исследователи ZHAW (Цюрихский университет прикладных наук, Швейцария) разработали систему координации дронов, роботов и ручных сканеров со стандартизированной системой маркеров для точной пространственной привязки.

Анализ нормативно-правовой базы и опыта применения БПЛА

Согласно Указу Президента РФ № 297 от 25.09.2023, физическим лицам запрещены ввоз, хранение, эксплуатация и изготовление БПЛА; юридические лица и ИП могут работать при постановке на учёт в Департаменте авиации Минтранса и наличии подготовки. В 2025 году принят в первом чтении законопроект об ответственности за нарушения. Министр транспорта А. Ляхнович подчеркнул, что законодательство не создаёт препятствий для добросовестных субъектов хозяйствования.

Первым системным интегратором с 2014 года является Corter.by – эксклюзивный дилер ГЕОСКАН. В 2025 году БНТУ опубликовал исследования, подтверждающие снижение сроков и повышение качества работ при использовании беспилотных технологий в строительстве [4].

В Российской Федерации с 01.02.2026 вступил в силу ГОСТ Р 71886-2024 «Системы беспилотные авиационные в строительстве, применяемые

для производства геодезических работ. Общие требования». Документ впервые устанавливает единые требования к функциональным характеристикам, процессам применения и оценке точности [2].

В мировой практике проект HumanTech (Horizon Europe, март 2025 год) испытал пять сценариев: мониторинг прогресса с BIM, локализация объектов через 360-3D-сканер Ricoh, выявление опасностей падения через AR Hololight XR, обнаружение заблокированных выходов, Scan-to-BIM. ZHAW создала систему автоматического сбора данных со стандартизированными маркерами.

Международные исследования 2025–2026 годов подтверждают: ИИ снижает простои на 15–30 %, травматизм до 30 %, повышает производительность до 20 %. Решения DroneDeploy Safety AI выявляют нарушения OSHA с точностью 95 %, системы Doxel и OpenSpace автоматически генерируют отчёты о прогрессе [3].

К 2030 году пятая часть гражданских дронов будет работать в строительстве. Производство гражданских беспилотников в РФ за 2024 год выросло в 2,5 раза. ГОСТ снижает угрозы некачественного выполнения госзаказа.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика применения БПЛА в строительстве

Критерий	Республика Беларусь	Российская Федерация	Мировой опыт (ЕС, мир)
Регулирование	Указ № 297, законопроект 2025 г., 1580 дронов	ГОСТ Р 71886-2024 (с 01.02.2026), нацпроект «БАС»	Развитое регулирование, BVLOS, автономные миссии
Технологии	Геоскан, DJI Matrice, TOPODRONE, лазерное сканирование	Геоскан, ИИ (ПИК, Росатом)	Автодок-станции, AI, AR/VR, цифровые двойники
Интеграция	Начальный этап, семинары, исследования БНТУ	Внедрение в госкорпорациях, интеграция с ТИМ и ФГИС ЦС	BIM, цифровые двойники, Scan-to-BIM, AR

Комплексный анализ преимуществ и проблем

Экономическая эффективность и преимущества:

- сокращение сроков и затрат до 10 % (оценка Минстроя РФ);
- рост производительности до 20 %, снижение травматизма до 30 %;
- безопасность, т. к. человек отсутствует на опасных участках (склоны, магистрали, техника);
- экологичность, в связи с минимальным воздействием на природу;
- цифровизация за счет интеграции с BIM и ФГИС ЦС Федеральная госу-

дарственная информационная система ценообразования в строительстве), создание цифровых двойников.

Технологические и организационные проблемы:

- обработка данных из-за извлечения смысла из миллионов точек – главная задача (HumanTech);
- ограниченная автономность, требующая частой замены батарей или дорогих док-станций;
- административные барьеры и правовые ограничения, т. к. в Республике Беларусь только юрлица и ИП могут работать с БПЛА;
- нехватка кадров с навыками пилотирования, фотограмметрии и BIM (в РБ данная проблема решается через семинары и академические исследования);
- стоимость оборудования (профессиональные комплексы (DJI Matrice 350 RTK + TOPODRONE 100+) требуют значительных инвестиций).

Перспективы развития

До 2030 года планируется наличие технологических трендов:

- полная автоматизация сбора данных, т. е. «дрон в коробке» станет стандартом для крупных проектов;
- интеграция с ИИ (прогнозирование задержек, выявление рисков, оптимальные решения);
- цифровые двойники реального времени (объединение дронов, IoT и BIM);
- Scan-to-BIM, т. е. ручное моделирование станет исключением.

Применение БПЛА для геодезического контроля и мониторинга – общемировой тренд, обеспечивающий повышение эффективности, точности и безопасности. Эволюция идёт от аэрофотосъёмки к комплексным решениям с LiDAR, BIM, ИИ и автоматизированными док-станциями.

Для Беларуси стратегически важно гармонизировать нормы с РФ и ЕАЭС, развивать образование и поддерживать локальных интеграторов. Это позволит повысить конкурентоспособность строительных компаний, сократить издержки, улучшить безопасность труда и выйти на уровень Индустрии 4.0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Семинар-практикум с участием компании «COPTER.BY» // Филиал ГГДСК УО РИПО. – URL: <https://ggdst.gomel.by/seminar-copter-2025/> (дата обращения: 14.03.2026).

2 ГОСТ Р 71886-2024. Системы беспилотные авиационные в строительстве, применяемые для производства геодезических работ. Общие требования. – Введ. 19.12.2024. – М. : Российский институт стандартизации, 2025. – 20 с.

3 DigestWIZARD. Искусственный интеллект на стройплощадке: мониторинг прогресса и безопасности. – URL: <https://digest.wizardsoft.ru/articles/tech/iskus-stvennyj-intellekt-na-strojploshhadke-monitoring-progressa-i-bezopasnosti> (дата обращения: 14.03.2026).

4 **Смирнова, Е. А.** Факторы внедрения беспилотных дорожно-строительных машин для реализации проектов строительства / Е. А. Смирнова, О. С. Голубова // материалы Международ. науч.-техн. конф. – Минск : БНТУ, 2024. – С. 935–943.

5 Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды. РЦАК на выставке Ecology Expo: инновационные технологии для охраны окружающей среды! – URL: <https://www.analitcentre.by/news/novosti-tsentra/rtzak-na-vystavke-ecology-expo-innovatsionnye-tehnologii-dlya-okhrany-okruzhayushchey-sredy/> (дата обращения: 14.03.2026).

Получено 30.04.2026

ISSN 2227-1155. Сборник студенческих научных работ.
Вып. 31. Гомель, 2026

УДК 691.3.059.64

К. Е. ВАСИЛЬЕВ (ПС-22)

Научный руководитель – канд. техн. наук *А. А. ВАСИЛЬЕВ*

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Проведен анализ актуальности и перспектив переработки бетонных и железобетонных отходов в строительной отрасли Беларуси. Рассмотрены классификация отходов, ключевые технологии переработки (механическое дробление, электромагнитная сепарация, аппараты вихревого слоя, ускоренная карбонизация), нормативно-правовая база, опыт РФ, мировые практики. Особое внимание уделено опыту Гомельской области: УП «БМЗ-Экосервис», ЧСУП «Линия Сноса» и строящемуся комплексу ТКО. Сделан вывод о высоком потенциале вторичного сырья для экономии природных ресурсов (до 1 т щебня на 1 т отходов), снижения затрат на 20–40 % и уменьшения выбросов CO₂ до 25 % при условии совершенствования нормативной базы и внедрения передовых технологий глубокой переработки.

Строительная отрасль – крупнейший потребитель ресурсов и генератор отходов. Ежегодно в мире образуется до 2,5 млрд т строительных отходов. В России – более 15 млн т в год (60 % – обломки кирпича и железобетона), перерабатывается лишь около 5 % [1].

В Беларуси проблему решают через специализированные предприятия: УП «БМЗ-Экосервис» (Жлобин), ГП «Жилкомплект» (Минск), а также ЧСУП «Линия Сноса» (Гомель).

Необходимость использования отходов бетона и железобетона определяют экологические аспекты: захоронение занимает земли, добыча природных материалов истощает ресурсы, производство цемента даёт до 8 % глобальных выбросов CO₂; экономический аспект – переработка снижает затраты и даёт ценный вторичный материал.

Отходы бетона и железобетона отличаются не только массой, но и составом. Характеристика отходов бетона и железобетона: