



МЕХАНИКА МОБИЛЬНЫХ МАШИН

УДК 621.8:004.8

А.В. БЕЛЕВИЧ

заместитель генерального директора по высокоавтоматизированному электротранспорту – начальник НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин»¹

E-mail: belevich2005@ya.ru

А.В. ЧЕРЕПОК

заведующий сектором проектирования систем верхнего уровня Отраслевой лаборатории по исследованиям, проектированию и испытаниям электромобилей и базовых компонентов электропривода

НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин»¹

E-mail: artem.cherepok@mail.ru

О.П. ВЫСОЦКИЙ

начальник отдела разработки программного обеспечения микропроцессорных систем

НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин»¹

E-mail: olegbom@inbox.ru

И.П. КРАВЦОВ

начальник отдела промышленной робототехники НИЦ «Электромеханические и гибридные силовые установки мобильных машин»¹

E-mail: ivashka79913081@mail.ru

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 02.10.2025.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Современный этап развития беспилотных транспортных средств характеризуется переориентацией с публичной мобильности на специализированные применения в контролируемых условиях. В данной статье проводится анализ перспективных направлений развития беспилотных технологий в машиностроении. Систематизированы современные достижения в области автономизации трех ключевых отраслей: сельского хозяйства, добычи полезных ископаемых и строительства. На основе сравнительного анализа международного опыта и литературных источников выявлены характерные особенности каждой отрасли: в сельском хозяйстве отмечается переходный этап от систем автоматического вождения к полноценной автономии; в горнодобывающей промышленности демонстрируется успешное промышленное внедрение беспилотных систем с доказанной экономической эффективностью; в строительной отрасли выявлен значительный потенциал интеграции робототехнических комплексов с BIM-технологиями. Особое внимание уделено правовым и инфраструктурным ограничениям, препятствующим массовому внедрению автономного транспорта в сфере логистики и пассажирских перевозок. Представлены результаты исследований и практические разработки в области создания беспилотных транспортных средств для отраслей с ограниченным доступом, выполненные специалистами Объединенного института машиностроения НАН Беларусь. Результаты исследования обосновывают целесообразность концентрации усилий на разработке роботизированных комплексов для применений в условиях ограниченного доступа, что представляет стратегический интерес для развития отечественного машиностроения.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства, роботизированные комплексы, автономные системы, сельскохозяйственная робототехника, карьерные самосвалы, строительная автоматизация, BIM-моделирование

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2025-4-73-18-24>

Введение. Обзор литературных источников показывает, что на сегодняшний день одной из ключевых тенденций развития машиностроения является переход от автоматизации основных операций управления к технологиям безоператорного управления (в т. ч. беспилотного вождения), способным повысить эффективность и безопасность применения технологических машин и транспортных средств [1]. Данные материалы показывают, что наиболее широкое применение беспилотные транспортные средства и технологические машины находят в таких направлениях, как транспортная логистика, пассажирские перевозки, сельское хозяйство, добыча полезных ископаемых, строительство, ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций и военное дело [2]. Первые два направления, а именно транспортная логистика и пассажирские перевозки, на сегодняшний день являются, с одной стороны, наиболее обсуждаемыми, т. к. затрагивают вопросы взаимодействия с максимальным количеством людей, а с другой — наиболее сложными для внедрения, потому что требуют капитальных вложений в инфраструктуру, а главное предусматривают взаимодействие человек–робот, что, в свою очередь, влечет необходимость разработки законодательства и внедрения правоприменительной практики по компенсации связанных с этим возможных затрат [3, 4].

Учитывая изложенное, текущий этап развития инфраструктуры и действующую в Республике Беларусь законодательную базу, в качестве основного направления деятельности в области беспилотных транспортных средств авторами данной работы приняты сельскохозяйственные роботы, технологические машины добычи полезных ископаемых, строительная техника и другие машины, эксплуатируемые на территориях с ограниченным режимом доступа.

Основная часть. Обзор литературных источников по автоматизации полевых работ (обработка почвы, уход за посевами, уборка урожая) показывает, что достигнутый на сегодняшний день уровень применяемых в реальной эксплуатации систем ограничен системами «автоматического вождения» [5]. При этом все ведущие производители данных систем обеспечивают один функциональный уровень, реализующий следующие задачи:

- сбор данных о конфигурации рабочего поля;
- построение оптимальных маршрутов движения на основании предварительно внесенной информации об обрабатываемых площадях и типах используемых сельскохозяйственных орудий;

- управление прицепными орудиями на основании предварительно внесенной карты технологического задания;
- автоматическое руление транспортным средством с точностью удержания курса не более 3 см, стабильно функционирующее при воздействии дестабилизирующих факторов, таких как уклон местности, неоднородность грунта и иных внешних помех;
- сбор информации и построение карт урожайности и качества почв сельскохозяйственного предприятия;
- предоставление сервисной поддержки по ведению баз данных.

При этом, несмотря на сложность и важность реализуемых функций, машине все еще необходимо присутствие оператора, т. к. автопилот не способен распознавать препятствия на пути следования и для их объезда необходимо переходить на рулевое управление. Также лишь некоторые модели способны самостоятельно выполнять разворот и в большинстве случаев он осуществляется при помощи оператора. Таким образом, можно отметить, что на сегодняшний день системы автопилотов для сельскохозяйственной техники приблизились к уровню развития, следующим шагом которого является переход к роботизированным комплексам, обеспечивающим возможность их функционирования в автономном режиме (без оперативного участия человека) [6].

Обзор литературных источников по автоматизации работ в области добычи полезных ископаемых показывает, что на сегодняшний день технологии роботизации включают непосредственно добывающие средства, например бурильные установки, экскаваторы, транспорт, работающий на площадках (самосвалы), а также обеспечивающий перевозку добытой породы на дальние расстояния (локомотивы и другая техника) [7]. При этом в качестве ключевого аспекта внедрения роботизации в развитых странах рассматривается отсутствие и высокая стоимость квалифицированных кадров для обслуживания данного класса машин. Роботизация позволяет минимизировать данную проблему, повышая ресурс исполнительных машин и оборудования за счет более точного соблюдения эксплуатационных режимов (например, роботизированные транспортные средства рационально управляют тормозным усилием, учитывая такие факторы, как уклон местности, погодные условия, скорость, траектория движения, дорожная обстановка, обеспечивают плавность набора хода

и удерживают скорость движения, оптимальную с точки зрения экономии топлива). Кроме того, они способны работать в режиме 24/7. Дополнительный стимул — снижение числа несчастных случаев. Началом массового внедрения беспилотных систем, в частности автономных грузовиков, буровых установок и даже поездов, в добывающем секторе считают конец 2016 года [7].

Наиболее яркими примерами, характеризующими потенциал разрабатываемой технологии, является опыт следующих компаний:

- шахты концерна Rio Tinto (Австралия). Добывающий австралийско-британский концерн Rio Tinto использует 73 автономных самосвала Komatsu для перевозки железной руды с четырех австралийских шахт, где автономные устройства трудятся 24 часа 7 дней в неделю. В 2015 году их было 69. Грузовики получают сырье с роботизированных буровых установок и отвозят его к поездам. Локомотивы в настоящее время также дорабатывают — в ближайшее время их «научат» перевозить сырье к порту полностью автономно. Роботы возьмут на себя управление, а также процессы погрузки и разгрузки;
- лидирующий канадский нефтедобывающий Suncor Energy испытывает аналогичное оборудование на песчаных полях Альберты. Испытания самосвалов-роботов начались в Канаде еще в 2013 году, а в 2015 Suncor Energy был подписан контракт на закупку 175 роботизированных самосвалов Komatsu;
- в Чили компания Komatsu впервые внедрила систему автономных перевозок в коммерческом режиме еще в 2008 году на медном руднике Кодрико Габриэла Мистраль (Gaby). В ноябре 2018 года было зафиксировано перемещение системой автономных перевозок 2 млрд тонн поверхностных материалов.

Опыт внедрения данных систем показывает, что наибольшим интересом пользуются комплексные решения — централизованные системы, позволяющие одновременно работать с флотом автономного транспорта и комплексом технологических систем. По оценке китайских разработчиков, 7 автономных карьерных самосвалов демонстрируют ту же эффективность, что и 9 самосвалов, управляемых людьми. Топливные издержки сокращаются на 6 %, а выработка повышается на 49 %. Учитывая изложенное, разработка технологий безлюдной добычи полезных ископаемых, является фактически безальтернативным трендом отрасли, а своевременное освоение указанных технологий — необходимым условием продаж данного класса техники уже в краткосрочной перспективе [8].

Анализ литературных источников в области автоматизации строительных процессов показывает, что в настоящее время данные технологии находятся в начальной стадии. При этом можно выделить следующие примеры их практического применения:

- кирпичная кладка и арматурные работы — робот-каменщик, который может укладывать кирпичи в 5 раз быстрее человека, работая совместно с оператором (например, автоматизированный робот Hadrian X для кладки кирпичей, самостоятельно выполняющий загрузку) [9];
- роботы для вязки арматуры и транспортировки тяжелых связок, позволяющие снижать трудозатраты и повышать безопасность выполнения строительных работ (например, TuBot и IronBot);
- 3D-печать зданий и конструкций — мобильные 3D-принтеры и роботизированные системы способны возводить здания и мосты, используя технологии послойной печати бетоном или композитами (например, дома, напечатанные компаниями WinSun (Китай), Apis Cor (Россия) и Mighty Buildings (США));
- демонтаж и разрушение строительных конструкций (например, телекомандируемый робот Brokk-180 для демонтажа железобетонных конструкций, используемый на крупных объектах и в аварийных ситуациях);
- сварочные и монтажные работы, позволяющие одновременно выполнять сварку и монтаж конструкций, что ускоряет процесс строительства и повышает качество работ.

При этом, в отличие от сельского хозяйства и технологий добычи полезных ископаемых, общепринятая технология строительства уже сегодня опирается на полностью цифровые технологии проектирования, так называемые модели BIM (Building Information Modeling или Building Information Model), что позволяет сформировать технологическое задание робота еще на этапе разработки [10]. Данный подход к проектированию и управлению жизненным циклом объекта предполагает сбор и комплексную обработку всей архитектурно-конструкторской, технологической, экономической и иной информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями. Однако, как показывает практика, реализация модели BIM не достижима из-за так называемого человеческого фактора, независимо от уровня профессионализма исполнителей.

Решением данного противоречия является использование робототехнических комплексов, исходными данными для работы которых (оперативными технологическими заданиями) служат модели BIM. Таким образом, применение роботов в строительстве позволит:

- кратко снизить количество ошибок и переделок, т. к. используемые в них системы, как правило, удваивают точность установки, тщательно строят модель и буквально реализуют ее [11];
- высокоточно спрогнозировать временные затраты, что обеспечит соблюдение запланированного графика выполнения работ;
- сократить количество отходов [12].

Первой попыткой специалистов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси (да-

ле — Институт) в области создания мобильных робототехнических комплексов была разработка в 2015 году совместно с ООО «Интеллектуальные процессоры» роботизированной платформы на базе трактора «Беларус-132Н» для нужд Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. По результатам выполнения указанной работы изготовлен опытный образец. Дальнейшего развития проект не получил в связи со спецификой использования роботов в условиях чрезвычайных ситуаций [13].

В 2021–2022 годах, специалистами Института совместно со специалистами ОАО «МТЗ» разработан и изготовлен макетный образец робототехнического комплекса на базе трактора BELARUS 3522 [13]. Созданная в рамках проекта система управления макетным образцом робототехнического комплекса (рисунок 1) обеспечивает режимы дистанционного управления посредством радио- и GSM-каналов беспроводной передачи данных, а также выполнение комплекса заданных сельскохозяйственных операций в автономном режиме движения на основании предварительно установленного технологического задания. Специалистами Института экспериментально апробирована работа робототехнического комплекса в транспортном режиме, при выполнении косьбы и ведении пахоты с оборотным плугом. В процессе автономной работы комплексом используются сигналы GPS-навигации с корректирующими поправками, передаваемыми по средствам GSM-канала связи. Также в алгоритмах принятия решений используются оптическая система на базе стереокамер, расположенных в передней и задней

частях комплекса, круговой лидар сканирования окружающего пространства и радарные датчики обеспечения безопасности [14].

Система управления макетного образца робототехнического комплекса выполнена на базе многоуровневой архитектуры, что обеспечивает гибкость модификации системы, а также позволяет, как и в предыдущем случае, использовать многолетние наработки в области распределенных систем управления [15]. В общем виде структура системы включает три основных уровня управления:

- система управления шасси, обеспечивающая отработку заданий системы верхнего уровня по повороту управляемых колес и режимам работы силовой установки;
- система навигации и позиционирования;
- система дистанционного управления и принятия решений в режиме автономного хода, выполняющая координацию работы всех систем на борту роботизированной платформы, включая системы безопасности и технического зрения.

Все системы машинного зрения подключены к высокопроизводительному бортовому компьютеру Jetson AGX Xavier, информация с которого передается на пульт оператора посредством высокоскоростного канала передачи данных 5G [17].

В 2022 году Институтом начаты работы в области проектирования базовых технических решений комплексов безлюдной технологии добычи полезных ископаемых на базе карьерной техники БЕЛАЗ. В рамках указанных работ получены следующие основные результаты:

- наработаны базовые компетенции в области построения беспилотных транспортно-техноло-



Рисунок 1 — Структура системы управления макетным образцом робототехнического комплекса на базе трактора BELARUS 3522

Figure 1 — Structure of the control system for a mock-up of a robotic complex based on the BELARUS 3522 tractor

гических систем, функционирующих в условиях закрытых территорий;

- разработаны программные средства диспетчериизации работы беспилотного транспорта и программные средства вычислительной платформы сервера управления беспилотной транспортно-технологической системой;
- разработаны программно-аппаратные решения пульта дистанционного управления транспортно-технологической машиной;
- разработаны структуры информационного обмена объектов транспортно-технологической системы;
- разработаны схемотехнические и программно-алгоритмические решения средств роботизации транспортно-технологических машин;
- выполнена экспериментальная апробация вышеуказанных компетенций.

Созданный в рамках проекта опытный образец комплекса базовых технических решений комплексов безлюдной технологии добычи полезных ископаемых (рисунок 2) реализует следующие функции:

- управление самосвалом в трех режимах: прямое управление, автономный режим движения, дистанционный режимы управления;
- обеспечение движения самосвала в автономном (беспилотном) режиме по предварительно заданному маршруту с максимальной скоростью 35 км/ч (в условиях испытательного полигона не более 20 км/ч) с отклонением от заданной траектории движения не более 20 см;
- автономное выполнение операций:
 - постановка под загрузку;
 - перевозка груза по предварительно заданному маршруту;
 - разгрузка за бровку, которая обозначается технологическим отвалом высотой не менее 0,5 м.
- отображение на пульте оператора текущего положения, направления и маршрута движения самосвала

ла, а также режимов функционирования основных систем роботизированного самосвала и контролируемых им мобильных объектов;

- автоматическое определение препятствий с эффективной площадью отражения от 0,5 м², из которых не менее 0,25 м² расположены на высоте 0,5–1,5 м, от поверхности дороги на расстоянии 70 м и более по ходу движения самосвала;
- движение вперед в режиме дистанционного управления со скоростью до 35 км/ч (в условиях испытательного полигона не более 20 км/ч), назад — до 10 км/ч и возможностью программного ограничения;
- передача оператору потока видеоданных, совмещенных с показаниями лазарных датчиков, с целью оперативного контроля режима движения.

Таким образом, можно констатировать, что на сегодняшний день в Республике Беларусь сформирован научно-инженерный задел в области проектирования беспилотных робототехнических систем и комплексов, позволяющий решать широкий спектр задач по глубокой автоматизации широкого спектра технологических задач. Разработаны и экспериментально апробированы в конструкции роботизированных транспортных средств высокопроизводительные контроллеры высокоскоростной обработки навигационных данных и данных систем технического зрения, а также программно-алгоритмические решения базовых задач в области автоматизации движения транспортных средств в тяжелых условиях эксплуатации.

Заключение. В ходе проведенного исследования были проанализированы современные направления развития беспилотных транспортных средств в ключевых отраслях машиностроения — сельском хозяйстве, добыче полезных ископаемых и строительстве. Полученные результаты подтвердили высокую перспективность внедрения автономных

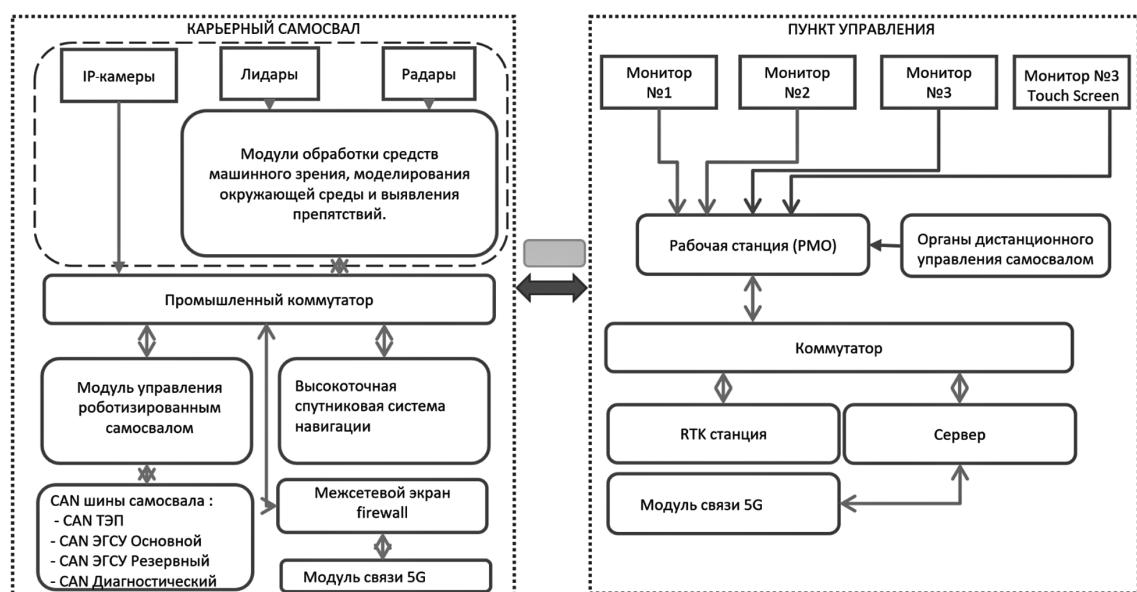


Рисунок 2 — Структура системы управления опытным образцом беспилотного карьерного самосвала БЕЛАЗ
Figure 2 — Structure of the control system for a prototype of an unmanned BELAZ mining dump truck

роботизированных комплексов, способных значительно повысить производительность, безопасность и устойчивость технологических процессов.

Отмечено, что, несмотря на технический прогресс, внедрению беспилотных систем препятствуют существующие инфраструктурные и законодательные ограничения, особенно в сферах транспортной логистики и пассажирских перевозок. Вместе с тем опыт и разработки специалистов Института демонстрируют успешные примеры создания эффективных и надежных робототехнических комплексов для условий ограниченного доступа.

Таким образом, дальнейшие усилия рекомендуется сосредоточить на развитии комплексных решений для специализированных отраслей с целью создания конкурентоспособной отечественной робототехнической продукции. Открытыми остаются вопросы масштабирования и интеграции данных систем в инфраструктуру, что требует междисциплинарного подхода и конструктивного взаимодействия науки, промышленности и законодательства.

Список литературы

1. Беспилотные летательные аппараты, их электромагнитная стойкость и математические модели систем стабилизации: моногр. / В.А. Крамарь, А.Н. Володин, Е.В. Евтушенко [и др.]. — М.: ИНФРА-М, 2025. — 180 с.
2. Передовые интеллектуальные решения в сельском хозяйстве/ Е.Д. Волкова, Л.Р. Гимадинова, К.Т. Еременко [и др.]. — СПб.; М.: АгроЭКОКомиссия, 2023. — С. 22–28. — URL: https://static.agriecomission.com/uploads/Agricultural%20report_2023.pdf (дата обращения: 25.09.2025).
3. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта в Республике Беларусь на 2021–2025 годы: утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.12.2020 № 771. — 25 с.
4. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств: ТР ТС 018/2011: срок действия с 09.12.2011.
5. Гвоздева, В.А. Интеллектуальные технологии в беспилотных системах: учеб. / В.А. Гвоздева. — М.: ИНФРА-М, 2025. — 197 с.
6. Концептуальные направления развития беспилотных мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения / И.А. Старостин, А.В. Ешин, Т.З. Годжаев, С.А. Давыдова // Тракторы и сельхозмашины. — 2024. — Т. 91, № 1. — С. 23–38. — DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567812>.
7. Хазин, М.Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых / М.Л. Хазин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. — 2020. — Т. 18, № 1. — С. 4–15. — DOI: <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15>.
8. Коваленко, В.С. Автоматизация и роботизация горного производства – современный этап перехода к высокопропизводительному и безопасному ведению открытых горных работ / В.С. Коваленко, И.В. Зырянов // Горная промышленность. — 2025. — № 5. — Р. 124–130. — DOI: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-124-130>.
9. Автоматизация и роботизация строительства: учеб. пособие / С.И. Евтушенко, А.Г. Булгаков, В.А. Воробьев, Д.Я. Паршин. — М.: ИНФРА-М, 2023. — 452 с.
10. Современные цифровые технологии и возможность их применения в процессе цифровой трансформации строительной отрасли / Л.И. Миронова, Н.И. Фомин, Д.С. Винокуров, С.С. Огородникова // Russian Journal of Construction Science and Technology. — 2022. — Т. 8, № 1. — С. 55–65.
11. Лаборов, В.А. Робототехника и BIM-технологии в строительстве / В.А. Лаборов, О.С. Гамаюнова // Инженерные исследования. — 2021. — № 5(5). — С. 15–22. — URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf> (дата обращения: 25.09.2025).
12. Шаранин, В.Ю. Применение робототехники в строительстве / В.Ю. Шаранин // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 19–21 апр. 2023 г. / Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строительный ун-т; под общ. ред. А.А. Семенова. — СПб., 2023. — С. 136–141. — DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2023.019>.
13. Разработка роботизированного комплекса на базе трактора «БЕЛАРУС»: отчет о НИР / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларусь; рук. А.Б. Иванов. — Минск, 2022. — 150 с. — № ГР 20222156.
14. Савченко, В. Высокоавтоматизированные и беспилотные автомобили: основные тренды. Часть 1 / В. Савченко, С. Поддубко // Наука и инновации. — 2022. — № 12. — С. 26–32.
15. Ананченко, И.В. Архитектура информационных систем: учеб. пособие / И.В. Ананченко, Т.Е. Войток, Е.В. Марченко. — СПб.: НИУ ИТМО, 2024. — 57 с.

BELEVICH Alexander V.

Deputy Director General for Highly Automated Electric Transport – Chief of the R&D Center “Electromechanical and Hybrid Power Units of Mobile Machines”¹

E-mail: belevich2005@ya.ru

CHARAPOK Artem V.

Head of the Top-Level System Design Division of the Applied Research Laboratory for Research, Design and Testing of Electric Vehicles and Basic Electric Drive Components of the R&D Center “Electromechanical and Hybrid Power Units of Mobile Machines”¹

E-mail: artem.cherepok@mail.ru

VYSOTSKIY Oleg P.

Head of the Software Development Department for Microprocessor Systems of the R&D Center “Electromechanical and Hybrid Power Units of Mobile Machines”¹

E-mail: olegbom@inbox.ru

KRAVTSOV Ivan P.

Head of the Industrial Robotics Department of the R&D Center “Electromechanical and Hybrid Power Units of Mobile Machines”¹

E-mail: ivashka79913081@mail.ru

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received October 2, 2025.

EXPERIENCE IN DESIGNING UNMANNED TRANSPORT VEHICLES AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN CONSTRUCTION

The current stage in the development of unmanned transport vehicles is characterized by a shift from public mobility to specialized applications in controlled environments. This article analyzes promising directions in the development of unmanned technologies in mechanical engineering. Modern achievements in the automation of three key sectors are systematized: agriculture, mining, and construction. Based on a comparative analysis of international experience and literature sources, characteristic features of each sector are identified: in agriculture, there is a transitional stage from automatic driving systems to full autonomy; in the mining industry, successful industrial implementation of unmanned systems with proven economic efficiency is demonstrated; and in construction, a significant potential for integrating robotic complexes with BIM technologies is revealed. Special attention is paid to legal and infrastructural limitations hindering the widespread adoption of autonomous transport in logistics and passenger transportation. The article presents research results and practical developments in creating unmanned transport vehicles for restricted-access sectors, carried out by specialists of the Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus. The research outcomes justify focusing efforts on developing robotic complexes for applications in restricted environments, representing a strategic interest for the development of domestic mechanical engineering.

Keywords: unmanned vehicles, robotic complexes, autonomous systems, agricultural robotics, mining dump trucks, construction automation, BIM modeling

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2025-4-73-18-24>

References

- Kramar V.A., et al. *Bespilotnye letatelnye apparaty, ikh elektromagnitnaya stoykost i matematicheskie modeli sistem stabilizatsii* [Unmanned aerial vehicles, their electromagnetic resistance and mathematical models of stabilization systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2025. 180 p. (in Russ.).
- Perekovy intellektualnye resheniya v selskom khozyaystve* [Advanced intelligent solutions in agriculture]. 2023, pp. 22–28. Available at: https://static.agricomission.com/uploads/Agricultural%20report_2023.pdf (accessed September 25, 2025) (in Russ.).
- The national strategy for the development of artificial intelligence in the Republic of Belarus for 2021–2025: approved by Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated December 28, 2020 no. 771.* 25 p. (in Russ.).
- TR CU 018/2011. *O bezopasnosti kolesnykh transportnykh sredstv* [On the safety of wheeled vehicles]. Valid from 09.12.2011 (in Russ.).
- Gvozdeva V.A. *Intellektualnye tekhnologii v bespilotnykh sistemakh* [Intelligent technologies in unmanned systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2025. 197 p. (in Russ.).
- Starostin I.A., Eshchin A.V., Godzhaev T.Z., Davydova S.A. *Konceptualnye napravleniya razvitiya bespilotnykh mobilnykh energeticheskikh sredstv selskokhozyaystvennogo naznacheniya* [Conceptual directions for the development of driverless agricultural mobile power units]. *Tractors and agricultural machinery*, 2024, vol. 91, no. 1, pp. 23–38. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567812> (in Russ.).
- Khazin M.L. *Robotizirovannaya tekhnika dlya dobychi poleznykh iskopaemykh* [Robotic equipment for mining operations]. *Vestnik of Naukov Magnitogorsk State Technical University*, 2020, vol. 18, no. 1, pp. 4–15. DOI: <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15> (in Russ.).
- Kovalenko V.S., Zyryanov I.V. *Avtomatizatsiya i robotizatsiya gornogo proizvodstva – sovremennyy etap perekhoda k vysokoproizvoditelnomu i bezopasnomu vedeniyu otkrytykh gornoikh rabot* [Automation and robotization of mining production: the current stage of transition to high-performance and safe surface mining]. *Russian mining industry*, 2025, no. 5, pp. 124–130. DOI: <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-124-130> (in Russ.).
- Evtushenko S.I., Bulgakov A.G., Vorobeva V.A., Parshin D.Ya. *Avtomatizatsiya i robotizatsiya stroitelstva* [Automation and robotization of construction]. Moscow, INFRA-M Publ., 2023. 452 p. (in Russ.).
- Mironova L.I., Fomin N.I., Vinokurov D.S., Ogorodnikova S.S. *Sovremennyye tsifrovye tekhnologii i vozmozhnost ikh primeneniya v protsesse tsifrovoi transformatsii stroitelnoy otrassli* [Modern digital technologies and the possibility of their application in the process of digital transformation of the construction industry]. *Russian journal of construction science and technology*, 2022, vol. 8, no. 1, pp. 55–65 (in Russ.).
- Laborov V.A., Gamayunova O.S. *Robototekhnika i BIM-tehnologii v stroitelstve* [Robotics and BIM technologies in construction]. *Engineering research*, 2021, no. 5(5), pp. 15–22. Available at: <http://eng-res.ru/archive/2021/5/15-22.pdf> (accessed September 25, 2025) (in Russ.).
- Shararin V.Yu. *Primenenie robototekhniki v stroitelstve* [Application of robotics in construction]. *Materialy 6 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "BIM-modelirovaniye v zadachakh stroitelstva i arkhitektury"* [Proc. 6th International scientific and practical conference "BIM modeling in construction and architecture tasks"]. Saint Petersburg, 2023, pp. 136–141. DOI: <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2023.019> (in Russ.).
- Razrabotka robotizirovannogo kompleksa na baze traktora "BELARUS". Otchet o NIR* [Development of a robotic complex based on the BELARUS tractor. Research report]. Minsk, 2022. No. GR 20222156, 150 p. (in Russ.).
- Savchenko V., Poddubko S. *Vysokoavtomatizirovannye i bespilotnye avtomobili: osnovnye trendy. Chast 1* [Highly automated and unmanned vehicles: Main trends. Part 1. Onboard information and analytical system]. *Science and innovations*, 2022, no. 12, pp. 26–32 (in Russ.).
- Ananchenko I.V., Voytyuk T.E., Marchenko E.V. *Arkhitektura informatsionnykh sistem* [Architecture of information systems]. Saint Petersburg, NIU ITMO Publ., 2024. 57 p. (in Russ.).