

УДК 622.271:622.68:004.94:330.45

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ САМОСВАЛОВ И ЭКСКАВАТО- РОВ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ РОССИЙСКИХ КАРЬ- ЕРОВ

Пасечник К.А., студент гр. ЭБбтс-241, II курс
Научный руководитель: Тюленева Т.А., к.э.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Переход горнодобывающей отрасли на принципы Индустрии 4.0 перестал быть вопросом будущего. Сегодня российские компании вынуждены рассматривать эту технологию как инструмент выживания, так как рынок труда в традиционных регионах добычи (Кузбасс, Якутия, Кольский полуостров) сужается. Найти квалифицированного водителя на карьерный самосвал грузоподъемностью свыше 90 тонн становится сложнее с каждым годом. Текучесть кадров в отдельных хозяйствах достигает критических значений, что вынуждает работодателей искать альтернативы человеческому труду там, где это экономически и технологически оправдано. Кроме того, после ухода западных вендоров (Caterpillar, Komatsu) отрасль оказалась перед необходимостью адаптации отечественных разработок или решений из дружественных стран, что порождает новые инженерные вызовы.

Разработка технической архитектуры автономных комплексов в российских условиях сталкивается со следующими проблемами [1-3].

Во-первых, проблема навигации и позиционирования. Основой любой системы автономного управления (CAU) является точное знание местоположения техники. В идеальных условиях используются GNSS-приемники (GLONASS/GPS) с коррекцией RTK, обеспечивающие точность до 2–5 см. Однако в условиях глубокого карьера возникает эффект «радиотени». Бортовая выработка экранирует сигнал спутников, что приводит к потере позиционирования именно в зонах погрузки и разгрузки — самых критичных участках цикла. Российские разработчики (например, «Вист Групп», Cognitive Pilot) вынуждены применять гибридные схемы [4]. Когда сигнал спутников пропадает, система переключается на инерциальные навигационные системы (ИНС) и одометрию колес. Более продвинутые решения используют лидары для сопоставления текущей картины местности с цифровой картой (технология SLAM). Но здесь возникает другая проблема: карта карьера меняется ежедневно. После взрывных работ рельеф изменяется, и если цифровая модель не обновляется оперативно, беспилотник может «потеряться» или, что хуже, принять отвал породы за безопасную зону. Поэтому ключевым требованием становится не просто наличие датчиков, а скорость обновления циф-

ровой двойника местности — желательно в режиме, близком к реальному времени.

Во-вторых, устойчивость сенсоров к внешней среде. Оптические системы (камеры, лидары) крайне чувствительны к загрязнению. В карьере пыль от грунтовых дорог оседает на линзах за считанные минуты. Если на гражданских беспилотных автомобилях вопрос решается омывателями, то в горной технике требуется защита уровня IP67–IP69K и системы самоочистки сжатым воздухом. Зимой ситуация усугубляется наледью и инеем. Опыт эксплуатации на северных месторождениях показывает, что без подогрева сенсорных блоков техника встает в аварийный режим уже при -30°C . Радиолокационные датчики (радары) более устойчивы к пыли и осадкам, но имеют меньшее угловое разрешение. Поэтому современная архитектура строится по принципу сенсорной фузии (sensor fusion): данные с лидаров, камер и радаров объединяются, чтобы компенсировать слабые стороны каждого типа датчиков. Для российских условий это не опция, а необходимость.

В-третьих, каналы связи и задержки. Управление парком требует устойчивого канала связи. Стандартные сети 4G/LTE общественного диапазона в удаленных месторождениях часто отсутствуют или перегружены. Развертывание частных сетей LTE (в диапазонах, выделенных ГКРЧ для промышленности) или Wi-Fi Mesh сетей становится обязательной статьей расходов. Критическим параметром является задержка (latency). Для удаленного вмешательства оператора, когда беспилотник не может решить задачу самостоятельно, задержка не должна превышать 100–200 мс. В условиях сложного рельефа это требует установки ретрансляторов на бортах уступов, что увеличивает капитальные затраты на инфраструктуру.

Вопреки распространенному мнению, основная статья расходов — это не покупка новых беспилотных самосвалов, а модернизация существующего парка (ретрофиттинг) и создание инфраструктуры. Эффект формируется по нескольким направлениям, причем некоторые из них носят скрытый характер.

1. Фонд оплаты труда (ФОТ) - это наиболее очевидная статья. Один удаленный оператор может контролировать до 5 единиц техники одновременно. При переходе на беспилотный режим потребность в водителях снижается в 3–4 раза. Учитывая, что полная стоимость владения сотрудником (зарплата, налоги, вахта, жилье, питание) может достигать 3–4 млн руб. в год, экономия на парке из 20 машин (где требуется около 80 водителей в круглосуточном режиме) составляет до 200 млн руб. в год. Однако часть этих средств перераспределяется на оплату удаленных операторов и инженеров поддержки (высококвалифицированный труд), поэтому чистая экономия по ФОТ составляет примерно 100–120 млн руб.

2. Расход топлива. Алгоритмы управления исключают «агрессивное» вождение: резкие разгоны, работу на повышенных оборотах, длительные простои с работающим двигателем. Расход дизельного топлива снижается на 7–12%. Для парка из 20 машин с годовым потреблением около 10 млн литров это экономия в денежном выражении порядка 40–50 млн руб.

3. Ресурс шин и тормозной системы - плавное торможение и отсутствие пробуксовок значительно продлевают жизнь дорогостоящим шинам. Стоимость комплекта шин для большегруза достигает 1,5–2 млн руб. Увеличение ресурса на 15–20% дает экономию около 15–20 млн руб. в год.

Суммируя годовую операционную экономию, получаем срок окупаемости (PP) на уровне 3–3,5 лет. При ставке дисконтирования 12% (типично для горных проектов) дисконтированный срок окупаемости (DPP) увеличивается до 4–4,5 лет. Однако этот расчет справедлив для месторождений с длительным сроком жизни (более 10 лет). Если карьер планируется к отработке за 5 лет, внедрение беспилотников может не окупиться, так как основная часть инвестиций приходится на первый год, а эффект растянут во времени.

Также внедрение беспилотных самосвалов и экскаваторов в открытых горных работах ограничено нормативно-правовыми и организационными барьерами [5-7].

Одним из них являются пробелы в законодательстве. На текущий момент в Российской Федерации отсутствует единый федеральный закон, прямо регулирующий эксплуатацию беспилотной техники на промышленных объектах вне рамок экспериментальных правовых режимов. Постановление Правительства РФ от 26.11.2018 №1415 (ред. от 07.02.2022) «О проведении эксперимента по опытной эксплуатации на автомобильных дорогах общего пользования высокоавтоматизированных транспортных средств» регулирует эксперименты на дорогах общего пользования, но карьерные дороги имеют статус «технологических», что создает правовую «серую» зону.

Немаловажен вопрос ответственности. В случае аварии с участием беспилотного самосвала (например, наезд на человека или столкновение с техникой) сложно определить виновного: это водитель удаленного центра, или разработчик алгоритма, который не распознал препятствие, или интегратор, неправильно настроивший сенсоры, или владелец предприятия, не обеспечивший качество дорог? Пока эти риски не переложены на страховые продукты (страхование ответственности владельцев беспилотников развито слабо), предприятия вынуждены брать эти риски на себя, что тормозит принятие решений.

Другим барьером является вопрос кибербезопасности. Цифровой контур управления карьером — это потенциальная мишень. Возможные векторы атак включают спуфинг GNSS-сигнала (подмену координат, что может увести самосвал на край борта), перехват канала управления или вирусное заражение серверной части. Требования ФСТЭК и ФСБ к защите критической информационной инфраструктуры (КИИ) обязывают предприятия использовать сертифицированные средства защиты, что удорожает систему и усложняет интеграцию с иностранными компонентами (если они еще остались). В условиях геополитической нестабильности вопрос суверенитета программного обеспечения выходит на первый план.

Автоматизация неизбежно ведет к сокращению рабочих мест для водителей. В моногородах, где градообразующее предприятие является основным

работодателем, это может вызвать социальную напряженность. Водители со стажем обладают уникальным знанием специфики карьеры, которое сложно алгоритмизировать. Их можно обучить на операторов удаленного управления или специалистов по обслуживанию сенсорного оборудования. Однако это требует времени и инвестиций в обучение, так как уровень цифровой грамотности среди традиционного рабочего персонала часто недостаточен.

Анализ открытых источников и отраслевых отчетов [1, 3, 5-7] позволяет выделить несколько моделей внедрения, применяемых в России:

1. Изолированный полигон. Техника работает на замкнутом участке (например, отвал вскрышных пород), куда доступ обычной техники и людей запрещен. Это самый безопасный и простой вариант, реализованный на угольных разрезах СУЭК. Риски минимизированы, но и эффективность ограничена одним участком.

2. Гибридный режим. Беспилотные самосвалы работают в общем потоке с обычной техникой. Это требует сложной системы распознавания и коммуникации между машинами (V2V). На текущем этапе технология находится в стадии тестирования, так как предсказать поведение человека-водителя алгоритму сложно.

3. Удаленное управление (Teleoperation). Техника не полностью автономна, а управляется оператором из комфортного офиса при возникновении сложных ситуаций. Это промежуточный этап, позволяющий накопить данные для обучения нейросетей.

Наиболее реалистичным сценарием для массового внедрения в ближайшие 3–5 лет, по нашему мнению, является первый вариант (изолированные зоны) с постепенным расширением периметра. Полный переход на безэкипажный режим в смешанном потоке возможен не ранее 2030 года по мере созревания технологий и изменения нормативной базы.

Подводя итоги исследования, можно констатировать, что применение беспилотных самосвалов и экскаваторов в России перешло из стадии теоретических изысканий в стадию опытно-промышленной эксплуатации. Технология доказала свою работоспособность, однако ее массовое тиражирование сдерживается комплексом факторов. Экономическая эффективность проекта подтверждается расчетами: срок окупаемости в 4 года приемлем для долгосрочных активов. Однако «подводными камнями» выступают не столько технические моменты, сколько внешние условия: климат, законодательная неопределенность в вопросах ответственности и необходимость обеспечения киберсуверенитета систем управления. Требуется разработка алгоритмов, устойчивых к российским погодным условиям, создание отечественной элементной базы для сенсоров, а также проработка новых стандартов безопасности. Внедрение беспилотников — это фундаментальная перестройка всей логики управления горным предприятием. И успех здесь зависит от того, насколько грамотно удастся интегрировать новые технологии в существующие производственные процессы без нарушения их ритмичности.

Список литературы:

1. Дубинкин Д. М., Аксенов В. В., Пашков Д. А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. 2023. №6 (1168). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-razvitiya-bespilotnyh-kariernyh-samosvalov> (дата обращения: 17.02.2026).
2. Логинов, Е. В. Управление параметрами карьера в целях повышения эффективности использования гидравлических экскаваторов типа обратная лопата / Е. В. Логинов, Т. А. Тюленева // Уголь. – 2021. – № 12(1149). – С. 6-10. – DOI 10.18796/0041-5790-2021-12-6-10. – EDN QIGUUA.
3. Программа развития угольной промышленности России на период до 2035 года, утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 июня 2020 года №1582-р.
4. Техническая документация систем автономного управления «Вист Групп» (Carteris), «Cognitive Pilot». URL: <https://www.zyfra.com/ru/industries/mining/> (Дата обращения: 17.02.2026)
5. Андреев, Н. А. Перспективы применения беспилотного транспорта в России / Н. А. Андреев // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 1. — URL: <https://resources.today/PDF/42ECOR123.pdf> DOI:10.15862/42ECOR123.
6. Галушко М.В., Шарипова К.Р. Основные проблемы и перспективы развития инновационных технологий в транспортной отрасли России // Креативная экономика. — 2020. — Т. 14. — № 6. — С. 1079–1090.
7. Лигоцкий Д. Н., Долгушин Н. А. Анализ опыта внедрения беспилотной техники на карьерах и оценка влияния на параметры систем открытой разработки месторождений // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. 2025. № 30.