

УДК 622.271:629.735:004.94

**ТЕХНИЧЕСКИЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ БАРЬЕРЫ ИНТЕГРАЦИИ
БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В КОНТУР УПРАВЛЕ-
НИЯ ГОРНОТРАНСПОРТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ОТКРЫТЫХ ГОР-
НЫХ РАБОТ**

Торопцева А.О., студент гр. ЭБбтс-241, II курс
Научный руководитель: Селюков А.В., д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Тема интеграции беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в контур управления горнотранспортным оборудованием открытых горных работ актуальна из-за необходимости автоматизации процессов в горнодобывающей отрасли, в том числе для мониторинга состояния карьеров и отвалов, контроля объёмов добычи и планирования работ. БПЛА позволяют оперативно решать задачи в труднодоступных местах, где людям доступа нет; повышать точность измерений за счёт автоматизации процесса съёмки и обработки данных; экономически оптимизировать работы, так как БПЛА не требуют большого количества операторов и дополнительной дорогостоящей техники. Некоторые задачи, которые решают с помощью БПЛА:

- мониторинг опасных участков открытых горных работ (контроль оползней в отвалах пустых пород, где визуально не всегда возможно определить движение больших масс породы);
- определение объёмов и планирование расположения отвалов пустых пород, построение трёхмерных моделей карьеров для создания основы при проектировании горных работ на последующий период;
- контроль соответствия объектов проектным решениям;
- тепловизионная съёмка самовозгорания отвалов;
- контроль соблюдения техники безопасности на горном предприятии, хвостохранилищах, промышленных площадках и вахтовых посёлках при отработке месторождения.

Цифровая трансформация горной отрасли сегодня ассоциируется в первую очередь с автоматизацией наземной техники. Автономные самосвалы, интеллектуальные системы диспетчеризации (FMS), цифровые двойники — все это становится стандартом для крупных предприятий. Однако есть еще один участник процесса, который пока остается на периферии управления — беспилотный летательный аппарат. Сегодня дроны используют преимущественно для периодической маркшейдерской съемки или мониторинга отвалов. Это полезно, но это разрозненные данные, которые живут своей жизнью. Потенциал использования БПЛА в том, чтобы включить их в единый контур управления транспортом. Представим ситуацию: дрон видит затор на дороге

раньше, чем его заметят датчики самосвалов, и мгновенно корректирует маршруты всего парка через систему диспетчеризации. Или дрон сопровождает колонну техники в зоне плохой видимости, выступая «глазами» оператора. Однако между концепцией и реализацией лежит ряд серьезных препятствий [1-4].

Первая и самая очевидная проблема — это организация устойчивой связи. Карьер, особенно глубокий, является сложной средой для распространения радиоволн. Борты выработки экранируют сигнал, создавая зоны радиотени. Для маркшейдерского дрона, который летает по заранее заданному маршруту и записывает данные на карту, это не критично. Он может вернуть информацию после посадки. Но для интеграции в контур управления нужна связь в реальном времени.

Если дрон должен передавать видеопоток или координаты препятствий на диспетчерский пульт или напрямую на борт самосвала, задержка (латентность) должна быть минимальной. В условиях карьера стандартные сети LTE часто не справляются. Требуется развертывание частных сетей или использование mesh-сетей, где сами дроны могут выступать ретрансляторами. Но это усложняет архитектуру. Каждый дополнительный узел связи — это риск потери пакета данных. Возникает дилемма: чем глубже карьер, тем нужнее дрон для мониторинга, но тем сложнее обеспечить стабильный канал связи для него.

Навигация — второй технический барьер. Большинство гражданских БПЛА полагаются на спутниковые системы GNSS (GLONASS/GPS). В глубокой выемке сигнал спутников может пропадать или давать значительную погрешность из-за многолучевого распространения. Дрон теряет ориентацию. Для автономного полета это опасно, а для интеграции с транспортом — недопустимо. Если дрон не знает своих точных координат, он не может привязать обнаруженное препятствие к карте карьера. Системы управления транспортом просто не поймут, о какой зоне идет речь. Требуется внедрение гибридных систем навигации, использующих визуальные ориентиры (SLAM) или инерциальные системы, что удорожает комплекс и требует высокой квалификации пилотов.

Даже если связь налажена, возникает вопрос совместимости программного обеспечения. Системы управления горнотранспортным оборудованием (например, Wenco, Modular Mining или отечественные аналоги типа «Карьер») работают со своими закрытыми протоколами данных. Бортовые компьютеры дронов используют другие стандарты, часто основанные на авиационных протоколах MAVLink. Интеграция требует разработки промежуточного ПО, которое будет переводить данные с языка дронов на язык диспетчерской системы.

Проблема усугубляется объемом данных. Видеопоток с нескольких дронов в высоком разрешении создает огромную нагрузку на серверы. Диспетчер не может смотреть на десять экранов одновременно. Нужна интеллектуальная обработка на борту дрона. Дрон должен сам анализировать картинку

и отправлять только суть: «затор на участке А», «обвал на участке Б». Но алгоритмы компьютерного зрения для горной среды еще не идеальны. Пыль, туман, вибрация снижают точность распознавания. Возникает риск получить систему, которая генерирует много ложных тревог. Это приведет к тому, что персонал перестанет доверять данным и отключит систему.

Включение дронов в контур управления расширяет поверхность для атак. Если злоумышленник получит доступ к каналу управления дроном, он может использовать его для создания помех навигации самосвалов или передачи ложных данных о состоянии дорог. В условиях текущей геополитической ситуации требование к использованию отечественного защищенного ПО становится критическим. Но рынок таких решений пока ограничен, и многие предприятия вынуждены использовать гибридные схемы [5], что повышает риски.

Технические проблемы часто меркнут перед бюрократическими. Воздушное пространство над карьером формально является воздушным пространством РФ. Полеты БПЛА требуют согласования, особенно если карьер находится near населенных пунктов или стратегических объектов. Для оперативного управления транспортом нужны частые вылеты, иногда внеплановые. Получать разрешение на каждый вылет невозможно. Необходим упрощенный режим для промышленных зон, но законодательство меняется медленно. Предприятия вынуждены работать в «серой зоне», что создает риски штрафов и приостановки работ.

Для российских условий перспективным является использование отечественных платформ, таких как комплексы типа «Геоскан» или ZALA, адаптированных для работы в условиях низких температур и запыленности. Интеграция должна идти поэтапно. Сначала обмен данными в одностороннем порядке (дрон – диспетчер), затем двусторонний (диспетчер – дрон – техника). Важно учитывать климат: при температурах ниже -30°C время полета сокращается вдвое, что требует организации пунктов быстрой смены батарей прямо на маршруте.

Внедрение интеграции требует затрат. Это не только покупка дронов, но и модернизация сети связи, покупка серверов, обучение персонала. Возникает вопрос окупаемости. Экономический эффект складывается из предотвращения аварий, снижения простоев и оптимизации логистики. Предотвращение даже одной серьезной аварии с участием самосвала может окупить весь проект внедрения. Однако количественно оценить предотвращенный ущерб сложно. Предприятия чаще готовы инвестировать в интеграцию, если она решает конкретную болезненную проблему, например, отсутствие связи на нижних горизонтах. Если же интеграция предлагается как «улучшение цифровизации» без четкой метрики эффективности, бюджет на нее урезается в первую очередь. Поэтому экономическое обоснование должно быть привязано к конкретным производственным показателям, а не к общим словам о технологичности. Нужно считать часы простоя, литры сожженного топлива и тонны невыполненного плана.

На основании проведенного анализа можно заключить, что интеграция беспилотных летательных аппаратов в контур управления горнотранспортным оборудованием является логичным шагом развития отрасли, но сталкивается с рядом существенных барьеров. Технические проблемы связи и навигации в глубоких карьерах требуют нестандартных инженерных решений. Программная несовместимость и вопросы кибербезопасности замедляют внедрение. Нормативные ограничения создают организационное трение. По нашему мнению, наиболее перспективным путем является поэтапная интеграция через гибридные системы, где дрон выступает помощником, а не полным контролером. Использование БПЛА как ретрансляторов и инструментов верификации данных дает быстрый экономический эффект. Для успешной реализации необходимо развитие отечественного защищенного ПО, упрощение регламентов полетов над промышленными объектами и подготовка кадров новой формации. Только при комплексном подходе дрон станет полноценным участником производственного процесса.

Список литературы:

1. Балабанов, Г. Н., Назаров, Г. В. Применение беспилотных летательных аппаратов в горных и предгорных районах: перспективы развития. // Вестник Университета (Государственная корпорация): научно-технический журнал. – 2018. – № 2. – С. 51-56.
2. Гайнутдинова А. Р., Шайхин А. А. Использование беспилотных летательных аппаратов на открытых горных работах // «Молодой учёный», 2021, № 11 (353), с. 20–22. .
3. Гвоздкова, Т. Н. Состояние рынка угля в Кузбассе: проблемы и направления их решения / Т. Н. Гвоздкова, Т. А. Тюленева // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : Материалы XIV Международной научно-практической конференции, Междуреченск, 22 мая 2025 года. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2025. – EDN ZGSCKS.
4. Смирнов Г. А. Технические аспекты применения беспилотных летательных аппаратов в условиях горных районов // «Техника и технология», 2020, № 3, с. 64–68.
5. О реализации мер технической политики, направленных на обеспечение технологической независимости горнопромышленного комплекса в горношахтном оборудовании / Ю. В. Малахов, С. Ю. Кононенко, В. А. Ракитин, Д. А. Пашков // Уголь. – 2024. – № 5(1180). – С. 124-132. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-5-124-132. – EDN OGCWST.