

УДК 622.271.5:528.7:629.735

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ФОТОГРАММЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА

Самсонов Т.А., студент гр. ЭБбтс-241, II курс
Научный руководитель: Малахов Ю.В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Оценка устойчивости бортов карьера с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и фотограмметрии актуальна в горнодобывающей промышленности, что обусловлено необходимостью оперативно отслеживать изменения в их состоянии, выявлять признаки начинающихся деформаций и прогнозировать опасные ситуации. Актуальность темы связана с развитием технологий, использованием специального оборудования и программного обеспечения, а также с нормативно-правовой базой, регулирующей мониторинг устойчивости бортов карьера. Применение БПЛА и фотограмметрии для мониторинга устойчивости бортов карьера регулируется, например, приказом Ростехнадзора от 13.11.2020 №439 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов». Документ устанавливает требования к мониторингу устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов, включая использование БПЛА и фотограмметрии.

Вопрос обеспечения устойчивости бортов карьера справедливо считается одним из фундаментальных в технологии открытой разработки месторождений. Любое нарушение равновесия массива горных пород, будь то локальное обрушение уступа или крупномасштабный оползень, несет в себе прямую угрозу жизни персонала, сохранности горнотранспортного оборудования и непрерывности производственного цикла. Долгое время отрасль полагалась на классические методы контроля, когда маркшейдерская служба устанавливала на бортах стационарные реперы и периодически снимала их координаты с помощью оптических приборов, таких как тахеометры или теодолиты. Этот подход, отработанный десятилетиями, обладает безусловной точностью в точках установки знаков, однако он имеет принципиальный недостаток дискретного характера. Измерения фиксируют состояние лишь в конкретных местах, оставляя без внимания обширные участки массива между реперами, где также могут зарождаться и развиваться трещины или зоны сдвига. Кроме того, необходимость присутствия человека в непосредственной близости от потенциально неустойчивого откоса сама по себе является фактором риска, тре-

бующим соблюдения особых мер безопасности и часто ограничивающим частоту наблюдений.

Оператор дрона находится в безопасной зоне, часто за пределами контура карьера, что полностью исключает риск попадания человека в зону возможного обрушения. Однако за этим преимуществом скрывается ряд технических нюансов, которые часто становятся сюрпризом для начинающих пользователей [1-3].

Первой и наиболее острой проблемой, с которой сталкиваются предприятия при внедрении беспилотного мониторинга, являются климатические и погодные условия. Значительная часть горнодобывающих активов России расположена в регионах с экстремальным климатом, будь то Крайний Север, Сибирь или удаленные территории Дальнего Востока. Сильный ветер, который часто возникает на открытых пространствах и особенно в глубоких выемках из-за специфических аэродинамических эффектов стенок карьера, может сделать полет невозможным или крайне опасным для аппарата весом в несколько килограммов. Порывы ветра внутри карьера могут быть непредсказуемыми и превышать паспортные ограничения дронов.

Во-вторых, нельзя просто приобрести дрон и сразу начать его эксплуатировать. Предприятие должно иметь в штате подготовленных специалистов с действующими сертификатами, всю разрешительную документацию на воздушные суда и согласованные планы полетов. Любое нарушение этих правил, даже непреднамеренное, влечет за собой серьезные административные штрафы для юридического лица и должностных лиц, что заставляет многие компании действовать с крайней осторожностью или вовсе отказываться от использования дронов в пользу менее эффективных, но более безопасных с юридической точки зрения наземных методов. Отдельно стоит упомянуть вопросы защиты информации. Съемка территории карьера может содержать данные, составляющие коммерческую тайну или даже государственную тайну в случае работы с стратегическими видами сырья, что требует использования защищенных каналов передачи данных и сертифицированного программного обеспечения [4], что снова ведет к удорожанию проекта.

Третья группа проблем связана с обработкой и интерпретацией полученных данных. Фотограмметрия генерирует огромные массивы информации. Один качественный полет может весить десятки гигабайт, а обработка требует мощных вычислительных станций с профессиональными видеокартами и большим объемом оперативной памяти. Не каждое горное предприятие, особенно среднее или малое, готово инвестировать в такую компьютерную инфраструктуру. Кроме того, лицензионная стоимость профессионального программного обеспечения для фотограмметрии может быть сопоставима со стоимостью самого дрона, что также является существенным фактором при формировании бюджета.

Несмотря на перечисленные сложности, технологический прогресс идет по пути устранения многих текущих ограничений. Появляются дроны с защитой от пыли и влаги стандарта IP54 и выше, способные работать при более

низких температурах благодаря системам подогрева аккумуляторов. Развиваются системы позиционирования, не зависящие исключительно от спутниковых сигналов, например, с использованием визуальной одометрии или ультраширокополосной связи, что частично решает проблему потери навигации в глубоких карьерах.

Одним из самых перспективных направлений является интеграция данных фотограмметрии с другими видами мониторинга. Например, сочетание оптической съемки с данными наземных радиолокационных интерферометров позволяет получать информацию не только о поверхности, но и о смещениях с миллиметровой точностью в любую погоду, компенсируя недостатки каждого метода в отдельности.

С экономической точки зрения внедрение технологии становится все более обоснованным. Стоимость оборудования снижается, а производительность растет. Если раньше комплект для аэросъемки стоил как легковой автомобиль, то сейчас профессиональные решения доступны большинству средних предприятий. При этом предотвращение даже одного крупного инцидента с обрушением борта окупает все затраты на систему мониторинга за несколько лет. Кроме того, цифровые модели, полученные с дронов, могут использоваться не только для геотехники, но и для планирования горных работ, подсчета объемов добычи и контроля качества дорог. Это создает дополнительный экономический эффект, распределяя затраты на несколько служб предприятия и повышая общую эффективность управления активами.

Подводя итоги исследования, можно утверждать, что мониторинг устойчивости бортов карьера с применением дронов и фотограмметрии является закономерным и необратимым этапом развития горной отрасли. Технология предоставляет неизмеримо больше данных о состоянии массива по сравнению с традиционными методами и существенно повышает безопасность персонала за счет исключения его присутствия в опасных зонах. Однако путь к массовому внедрению лежит через решение комплекса проблем технического, юридического и кадрового характера. Климатические ограничения требуют разработки и закупки специализированного оборудования, адаптированного к российским условиям эксплуатации. Нормативные барьеры нуждаются в упрощении процедур согласования полетов над промышленными объектами на законодательном уровне. И, наконец, предприятиям необходимо инвестировать в подготовку кадров, способных работать с большими данными и интерпретировать результаты съемки в контексте геотехнической безопасности, преодолевая разрыв между маркшейдерской службой и отделом геотехники.

Перспективы развития связаны с дальнейшей автоматизацией процессов сбора и анализа информации, а также с глубокой интеграцией беспилотных систем в единое цифровое пространство карьера, включая системы диспетчеризации и цифровые двойники. В ближайшие пять лет можно ожидать перехода от эпизодических облетов к системе регулярного автоматизированного контроля, где человек будет выступать лишь в роли валидатора решений,

принятых искусственным интеллектом. Для студентов и молодых специалистов это направление открывает широкие возможности для научных исследований, так как многие вопросы методологии обработки данных, повышения точности в сложных условиях и интеграции с геотехническими моделями остаются открытыми и требуют практической проработки. Успех внедрения будет зависеть не только от качества техники, но и от готовности предприятий менять устоявшиеся процессы управления безопасностью и инвестировать в цифровую трансформацию.

Список литературы:

1. Гришин И.А., Козлова А.Е., Дерина Н.В., Великанов В.С., Хамидулина Д.Д., Логунова Т.В. Реализация возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле // Уголь. 2022. № 5. С. 36-41. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-5-36-41>.
2. Кириков Д.А., Калугина А.М., Жгилев А.П., Беляев Е.Н., Ступин В.П. Применение фотограмметрии для определения коэффициента устойчивости борта карьера. Науки о Земле и недропользование. 2024;47(2):180-189. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2024-47-2-180-189>.
3. Тюленева, Т. А. Цифровизация горнодобывающей промышленности региона: проблемы и перспективы / Т. А. Тюленева // Вестник Сургутского государственного университета. – 2020. – № 4(30). – С. 25-33. – DOI 10.34822/2312-3419-2020-4-25-33. – EDN SZNRPA.
4. 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.