

УДК 622

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЛИКВИДАЦИИ ЗАВИСАНИЙ ГОРНОЙ
МАССЫ НА РУДНИКЕ «УДАЧНЫЙ»**

Соколов А. К., Хапилов Д.А. студент гр. ГПс-221, VI курс

Руководитель: Копытов А.И., д.н., профессор РМПИ

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

Аннотация. В статье рассмотрена актуальная проблема образования зависаний горной массы при подземной отработке кимберлитовой трубки «Удачная» (АК «АЛРОСА»). Выполнен анализ причин и последствий зависаний, включая снижение производительности, простои оборудования и риски для персонала. На основе выявленных факторов предложено комплексное инженерное решение, интегрирующее передовые элементы: лазерное сканирование зоны зависания с помощью БПЛА, а также дистанционную доставку и инициирование взрывчатого вещества. Реализация предложенного подхода позволяет повысить безопасность персонала за счёт нахождения оператора в безопасной зоне, сократить время ликвидации зависаний примерно в 2 раза, снизить простои погрузочно-доставочных машин и уменьшить потери полезного ископаемого.

Введение. Подземная разработка рудных месторождений неизбежно сопровождается явлением зависания горной массы в выработанном пространстве. Это явление представляет собой образование статического равновесия, при котором руда или порода задерживается в выпускных выработках (рудоспусках, дучках, течках), препятствуя нормальному движению материала. Зависания приводят к простоям оборудования, снижению производительности, дополнительным трудозатратам, а главное – создают прямую угрозу безопасности персонала, вынужденного проводить их ликвидацию в опасных условиях.

Расположение рудника и геология. Кимберлитовая трубка «Удачная» расположена на правом берегу реки Далдын в центральной части ее бассейна и территориально относится к Мирнинскому району Республики Саха (Якутия). В орографическом отношении район трубки приурочен к северной части Средне Сибирского плоскогорья и характеризуется пологоволнистым рельефом с общим наклоном поверхности на восток и юго-восток. Рельеф местности в районе месторождения под действием техногенных факторов при освоении трубки существенно изменился. Значительную часть территории занимает карьер диаметром более 2 км. В долине р. Сытыкана построена плотина водохранилища, в долинах ручьев Новый и Киенг-Юрэх сооружены плотины

хвостохранилищ. На правом склоне долины р. Далдына размещены отвалы вскрышных пород высотой более 100 м. На водоразделах и поймах долин расположены небольшие строительные карьеры глубиной до 3-5 м.

Трубка «Удачная» в верхней части разреза до глубины 250 м представлена единым телом, которое ниже этой отметки расчленяется на два обособленных рудных тела конусообразной формы: Западное (ЗРТ) и Восточное (ВРТ). С глубиной значительно возрастает расстояние между рудными телами: на горизонте-480 м составляет 193 м, на горизонте-680 м– 304 м, на горизонте-1080 м– 325 м. В разрезе наблюдается уменьшение площади рудных тел. Площади ЗРТ и ВРТ составляют: на горизонте-280 м– 81,1 и 63,3 тыс. кв.м, на горизонте-480 м– 56,2 и 45,5 тыс. кв.м, на горизонте-680 м– 25,3 и 36,5 тыс. кв.м соответственно.

Коэффициент крепости для вмещающих пород по шкале проф. М. М. Протодяконова колеблется от 1 до 8, а для кимберлитов от 5 до 7. Месторождение трубки «Удачная» обладает нефтебитумонасыщенностью – нефть и битум фиксируются как в осадочных породах, так и в кимберлитах. Нефть и битум приурочены к прослоям кавернозных известняков, доломитов и конгломератов, нефть и битум, содержащиеся в горных породах, особых осложнений при отработке месторождения не вызывают. Рудник является газоопасным. Газоносность месторождения обусловлена наличием растворенных в нефтях и рассолах газов, а сами породы практически не имеют сорбционной емкости. Газонасыщенные интервалы пород приурочены к нефтебитуминозным коллекторам (в отметках от-30 до-450 м). Средние значения газового фактора (по свободным газам) составляют 0,2 куб.м/куб.м. Газоносность вмещающих пород и руд до отм.-1080 м незначительна и, как правило, не превышает 0,2 куб.м/куб.м.

Состояние горных работ. Вскрытие месторождения производится тремя стволами, которые располагаются на единой промплощадке за расчетной зоной влияния подземных горных работ с отм. +350 м: скиповой ствол (СС), клетевой ствол (КС), вентиляционно-вспомогательный ствол (ВВС). Рудник также вскрыт стороны карьера Удачный двумя наклонными съездами, наклонным съездом №1, имеющим связь с карьером на отметке 170м и наклонным съездом №4, связанным с карьером на отметке–290м. На руднике установлен трёхсменный рабочий день.



Для отработки запасов месторождения, расположенных ниже дна карьера, в том числе подэтажа – 320 м/ – 365 м и для отработки запасов в этаже – 365 м/ – 465 м используется система разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды.

- На очистных работах применяется Граммонит М21;
- На ГКР и ПНР применяется Аммонит АП 5 ЖВ

Согласно паспорту ведения очистных и подготовительных работ, время проветривания забоя составляет 30 минут. Площадь сечения подготовительного нарезных и горно - подготовительных выработок составляет 22 кв. метра.

Используемые методы ликвидации завесаний на руднике. При появлении завесания производится обваловка очистного пространства, в оперативном порядке проводятся работы по его ликвидации- в течение смены путем подачи взрывником заряда на шесте в очистное пространство (стандартная высота «купола» порядка 10 м), либо, при наличии негабарита, путем его разбуривания и проведением взрывных работ в конце смены. В случае невозможности ликвидации завесания путем подачи заряда или разбуривания негабарита, производится разбуривание массива (поправочное бурение на доведение очистного пространства к проектным параметрам) и последующее взрывание. На ликвидации завесаний в каждой смене задействовано 3 взрывника.

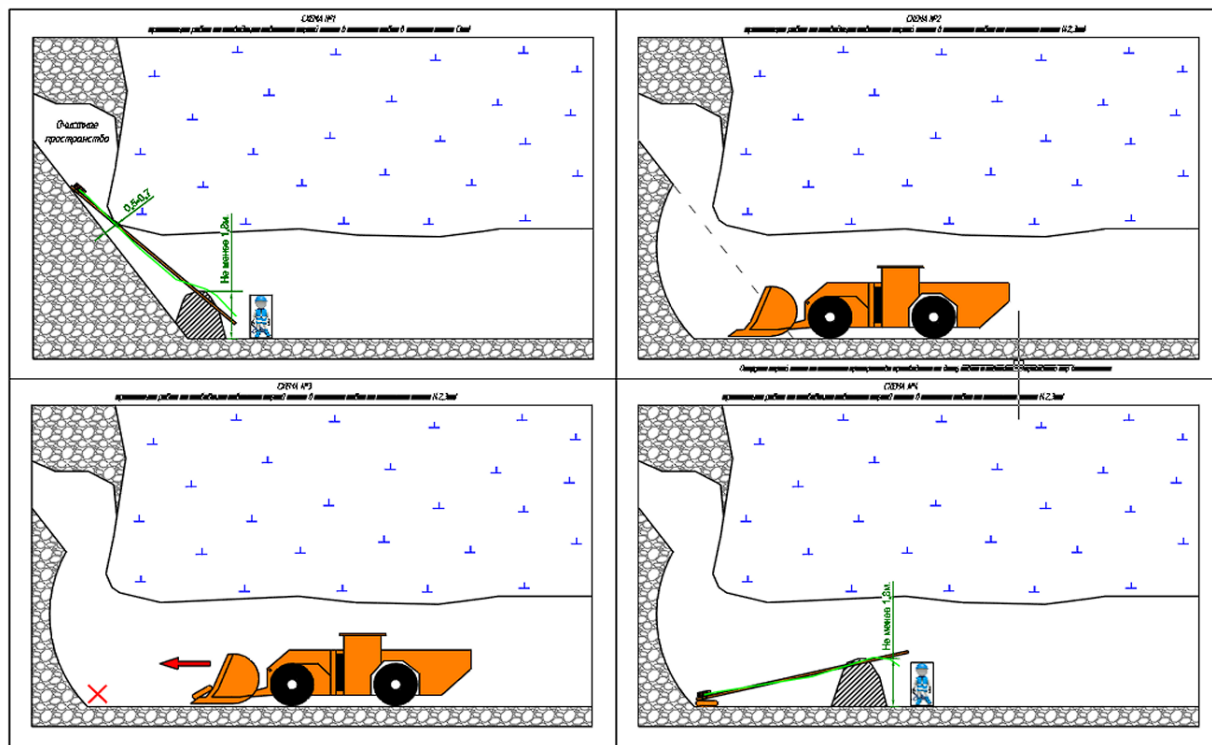


Рисунок 2- Ликвидация завесания.

Предложенное решение. На основе выполненного анализа причин и последствий завесаний горной массы на руднике «Удачный», есть возможность разработать комплексный инженерный подход, интегрирующий методы лазерного сканирования, беспилотные технологии и дистанционное инициирование взрывчатых веществ.

Предлагаемое решение направлено на повышение безопасности персонала, сокращение времени ликвидации завесаний и снижение эксплуатационных потерь.

Дистанционное лазерное сканирование зоны завесания. Первым этапом технологической схемы является обследование зависшего массива с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА), оснащённого лидаром (лазерным сканером). Оператор, находясь на безопасном расстоянии (за пределами призмы обрушения), запускает дрон, который производит облёт зоны

зависания с фиксацией пространственного положения и морфологии объекта. Продолжительность сканирования составляет 5–15 мин в зависимости от конфигурации выработки.

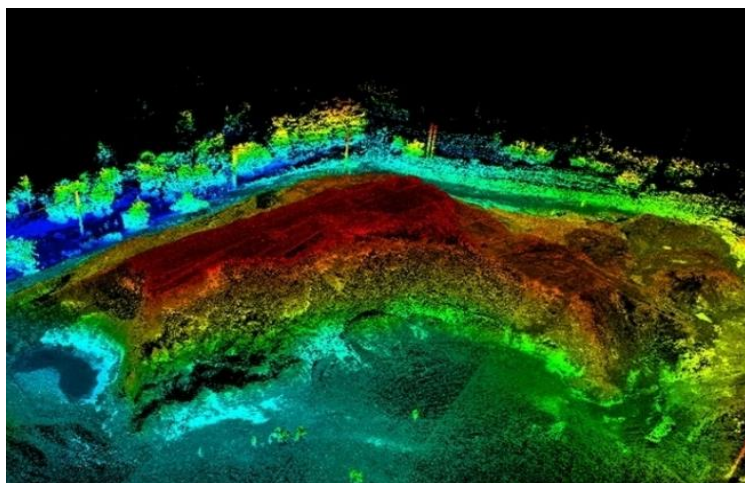


Рисунок 3 - Облако точек отвала.

Получаемые данные в виде облака точек позволяют построить трёхмерную цифровую модель зависания с высокой детализацией (точность порядка 1–3 см). Данная модель даёт возможность:

- определить объём зависшей массы и выявить наличие негабаритных фракций;
- оценить характер контакта породы с элементами крепи и стенками выработки;
- выбрать оптимальную точку приложения взрывного воздействия.

Дистанционная доставка и инициирование взрывчатого вещества.

На основе построенной 3D-модели производится выбор типа ВВ и схемы подрыва. Для реализации предлагается использование дронов-камикадзе, собираемых непосредственно на предприятии с применением элементов 3D-печати. В зависимости от характера зависания предусмотрены два типа боевых частей:

- *кумулятивный заряд* – для разрушения крупных негабаритов (фракций, превышающих 0,5–0,7 м);
- *заряд бризантного ВВ (тротиловый эквивалент)* – для ликвидации сводообразных и арочных зависаний.



Рисунок 4 – Образец закрепки ВВ на дронах.

Масса заряда определяется расчётно, исходя из объёма и прочности породы (коэффициент крепости по М.М. Протоdjяконову для кимберлитов $f = 5-7$). Инициирование производится дистанционно с пульта оператора, находящегося за пределами опасной зоны. Предлагаемый способ исключает необходимость ручной подачи заряда на шесте или разбуривания массива в непосредственной близости от зависания.

Анализ данных и прогнозирование с применением искусственного интеллекта. Результаты лазерного сканирования и параметры выполненного взрыва поступают в систему технического зрения на основе алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ). Система обеспечивает:

- автоматический анализ гранулометрического состава обрушенной породы;
- оценку эффективности взрыва (коэффициент дробления, полнота обрушения);
- статистическое накопление данных о типах зависаний на различных участках;
- прогнозирование вероятности повторного зависания при заданных параметрах буровзрывных работ и режимах выпуска руды.

По мере накопления информации ИИ позволяет корректировать паспорта буровзрывных работ, удельный расход ВВ и очередность инициирования зарядов в очистном блоке.

Организационно-экономические условия внедрения. Для промышленной реализации предложенного подхода на руднике «Удачный» требуется:

- организация участка по сборке и обслуживанию БПЛА с возможностью 3D-печати корпусных деталей;
- разработка или приобретение специализированного программного обеспечения для обработки данных лазерного сканирования;
- обучение персонала (с возможным привлечением операторов, имеющих практический опыт управления БПЛА в сложных условиях).

Выводы. Внедрение предлагаемого комплексного решения позволяет достичь следующих показателей:

- сокращение времени ликвидации одного зависания в среднем в 2 раза по сравнению с существующей технологией (подача заряда на шесте, разбуривание негабарита);
- снижение простоев погрузочно-доставочных машин и автосамосвалов за счёт оперативного восстановления выпуска руды;
- уменьшение потерь полезного ископаемого в неликвидируемых зависаниях;
- полное исключение нахождения взрывников и прочего персонала в опасной зоне при проведении работ по ликвидации зависаний.

Таким образом, предложенный подход представляет собой переход от традиционных ручных методов ликвидации зависаний к цифровой, дистанционно управляемой и интеллектуально поддерживаемой технологии, что соответствует современным требованиям к безопасности и эффективности подземных горных работ.

Список литературы:

1. Барон Л. И., Коган Е. А., Спивак Ю. М. Теория и практика взрывного разрушения горных пород. Москва : Недра, 1975. 287 с.
2. Шабалин В. И., Колмаков Е. В., Сметанин В. И. Технология подземной разработки кимберлитовых трубок. Мирный : ЯНЦ СО РАН, 2007. 168 с.
3. Яковлев В. Л., Корнилков С. В., Соколов И. В. Технология и комплексная механизация подземной добычи руд. Екатеринбург : УрО РАН, 2018. 352 с.
4. Катанов А. А., Чирков А. П. Применение беспилотных летательных аппаратов в горном деле. Горный журнал. 2020. № 7. С. 72–76.
5. Савич Г. Н., Бессонов А. А. Лазерное сканирование и 3D-моделирование при подземной разработке месторождений. Маркшейдерия и недропользование. 2021. № 3. С. 28–33.
6. Егоров А. Ю., Харитонов И. Л. Дистанционное инициирование взрывных работ на рудниках. Взрывное дело. 2019. № 120/77. С. 95–104.
7. Мосинец В. Н., Фоминых В. Г. Предупреждение и ликвидация завесаний горной массы в очистных забоях. Фрунзе : Илим, 1984. 112 с.
8. Руководство по безопасному ведению взрывных работ на рудниках АК «АЛРОСА». Мирный : АК «АЛРОСА», 2019. 94 с.