АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ВЫЕМКИ РУДЫ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Сафаров Бекзод Баходир угли
АФ НИТУ "МИСиС"
Алмалык. Узбекистан.
safarovbekzod62@.gmail.com

Аннотация. *В работе рассмотрены основные технические, технологические и организационные методы обеспечения безопасности при разработке рудных месторождений открытым способом. Выделены ключевые факторы риска: потеря устойчивости бортов и уступов, опасные последствия буровзрывных работ, запылённость и загазованность карьерного пространства, аварийность карьерного транспорта и обводнённость горных выработок. Проведён сравнительный анализ методов контроля и предупреждения этих рисков. Показано, что наибольшая эффективность достигается при комплексном подходе, сочетающем геомеханический мониторинг, цифровые технологии, совершенствование параметров взрывных работ и систему управления профессиональными рисками.*

Ключевые слова: *открытые горные работы, промышленная безопасность, устойчивость бортов карьера, буровзрывные работы, геомеханический мониторинг, управление рисками, цифровизация.*

Abstract. *The paper examines the main technical, technological, and organizational methods for ensuring safety in open-pit mining of ore deposits. The key risk factors are identified: loss of stability of pit walls and benches, hazardous consequences of drilling and blasting operations, dust and gas contamination of the open-pit workspace, accidents involving mining transport, and water inundation of mine workings. A comparative analysis of control and prevention methods for these risks is conducted. It is shown that the highest efficiency is achieved through an integrated approach combining geomechanical monitoring, digital technologies, optimization of blasting parameters, and an occupational risk management system.*

Keywords: *open-pit mining, industrial safety, pit wall stability, drilling and blasting operations, geomechanical monitoring, risk management, digitalization.*

ACADEMIC SCIENCE PUBLISHING

Введение. *Открытый способ добычи остаётся основным для большинства рудных месторождений благодаря высокой производительности и меньшей себестоимости. Однако рост глубины карьеров, увеличение объёмов горной массы и применение крупногабаритной техники повышают вероятность аварий и несчастных случаев. Обеспечение безопасных условий выемки руды является ключевым условием устойчивого развития горнодобывающих предприятий.*

Цель работы *— анализ существующих методов обеспечения безопасности при открытой разработке рудных месторождений и определение направлений их совершенствования.*

Основная часть

1. Обеспечение устойчивости бортов и уступов. Главным риском глубоких карьеров являются обрушения и оползни. Применяются инженерно-геологические изыскания, расчёты устойчивости (методы предельного равновесия, численное моделирование), оптимизация углов откосов и параметров уступов, а также укрепление бортов (разгрузка, анкерование, дренаж). Современный подход включает мониторинг деформаций с помощью наземных радаров, лазерного сканирования, GNSS и съёмки с БПЛА, что позволяет прогнозировать смещения и вовремя эвакуировать технику и людей.

2. Безопасность буровзрывных работ. Основные опасности: разлёт кусков породы, сейсмическое воздействие, воздушная ударная волна и выделение ядовитых газов. Для их снижения используются расчёт радиусов опасных зон, электронные системы инициирования с точной замедлительной схемой, контурное взрывание, мониторинг сейсмических колебаний и применение эмульсионных ВВ с контролируемым составом.

3. Борьба с пылью и газами. В глубоких карьерах возможно образование застойных зон загрязнённого воздуха. Эффективны орошение и гидрообеспыливание, пылеподавляющие реагенты на дорогах, пылеулавливание при бурении, искусственное проветривание, а также учёт метеоусловий при планировании взрывов.

Таблица 1.1 — Сравнительные горно-технические параметры крупнейших медно-порфировых карьеров мира

ACADEMIC SCIENCE PUBLISHING

Месторождение / Карьер	Страна	Годовая мощность по руде (млн т)	Проектная глубина (м)	Преобладающий транспорт
Бингем-Каньон (Bingham)	США	55	1200	Автомобильный + Конвейерный
Чукикамата (Chuquicamata)	Чили	90	1100	Комбинированный (Авто+Шахта)
Эскондида (Escondida)	Чили	120	650	Автомобильный
Ёшлик-1 (АГМК)	Узбекистан	60 – 100	550	Комбинированный (Авто+Ж/Д+КТ)

4. Безопасность карьерного транспорта. Значительная часть происшествий связана с эксплуатацией большегрузных самосвалов. Меры включают правильное проектирование автодорог (уклоны, ширина, защитные валы), системы предупреждения столкновений, диспетчеризацию, контроль усталости и состояния водителей, регламентированное техническое обслуживание.

5. Водоотлив и осушение. Обводнённость снижает устойчивость бортов и осложняет работы. Применяются нагорные канавы, дренажные скважины и штольни, системы карьерного водоотлива.

6. Организационные и цифровые методы. Важную роль играют системы управления охраной труда (например, на основе ISO 45001), оценка и ранжирование рисков, обучение и аттестация персонала, расследование инцидентов. Перспективными направлениями являются цифровые двойники карьера, автоматизация и дистанционное управление техникой, применение искусственного интеллекта для прогнозирования опасных ситуаций.

Выводы

- Безопасность открытых горных работ определяется совокупностью факторов, поэтому отдельные меры недостаточно эффективны без системного подхода.
- Приоритетными направлениями являются непрерывный геомеханический мониторинг и прогнозирование деформаций бортов.
- Совершенствование технологии буровзрывных работ и транспортных процессов существенно снижает травматизм и аварийность.

- Внедрение цифровых технологий и риск-ориентированного управления позволяет перейти от реагирования на происшествия к их предупреждению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Colinet J. F., Cecala A. B., Chekan G. J., Organiscak J. A., Wolfe A. L.** Best Practices for Dust Control in Metal/Nonmetal Mining. — NIOSH, 2010.

2. **Bao H., Knights P., Kizil M., Nehring M.** Electrification Alternatives for Open Pit Mine Haulage // Mining. — 2023. — Vol. 3, № 1. — P. 1–25. — DOI: 10.3390/mining3010001.

3. **Dudek M.** et al. Influence of Blasting Approaches in In-Pit Haul Road Construction on Emission Levels and Resource Management: A Case Study from the Holcim “Dubie” Open-Pit Mine // Applied Sciences. — 2025.

4. **Zhang Y.** et al. Optimization and field application of an eco-friendly molasses-based dust suppressant for open-pit coal mine haul roads // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — Art. 26039.

5. Environmental and economic comparison of diesel and electric trucks in open-pit mining operations // Journal of Cleaner Production. — 2025. — Vol. 507. — Art. 145540.

6. **Organiscak J. A., Reed W. R.** Characteristics of Fugitive Dust Generated from Unpaved Mine Haulage Roads // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment.

7. **IPCC.** 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. — Vol. 2: Energy.

8. **ISO.** ISO 14001. Environmental management systems — Requirements with guidance for use.

9. **ISO.** ISO 45001. Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.

ACADEMIC SCIENCE PUBLISHING