

### Библиографический список

1. <http://www.kazatomprom.kz/> - *!/industry/uranium/Uranium-mining-and-products*.
2. Кошколда К.Н., Пименов М.К., Атакулов Т. и др. Пути интенсификации подземного выщелачивания. – М.: Энергоатомнадат, 1988. – 224 с.
3. Аренс В.Х. Скважинная добыча полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986.
4. M. Catchpole, W. Robins, *Future global energy demand*. AusIMM Bulletin, 2015.
5. Юсупов Х.А., Джакупов Д.А. Исследование применения бифторида аммония для химической обработки скважин. Горный журнал, М., 2017.
6. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. М.: Мир, 1974. – 678 с.
7. Lauterborn W., *Optic cavitation*, "J. Phys.", 1980, V. 41, Mil, suppl., p. 273.
8. *Innovative Application of Mechanical Activation for Rare Earth Elements Recovering: Process Optimization and Mechanism Exploration*. QuanyinTan, Chao Deng & Jinhui Li. Scientific Reports volume6, Article number: 19961 (2016). <https://www.nature.com/articles/srep19961>.

УДК 622.272

## МЕХАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДОСТАВКИ ЗАКЛАДОЧНОЙ СМЕСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГАЛИТОВЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ СОЗДАТЬ БЕЗОТХОДНЫЙ ЦИКЛ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Хайрутдинов А. М.**

*Российский университет дружбы народов*

*Проведён анализ проблем, возникающих при транспортировании закладочной смеси от места приготовления к месту укладки в выработанном пространстве. Рассмотрены вопросы уменьшения стоимости закладочных работ при сохранении заданных параметров закладки. Рассмотрены способы активации компонентов закладочной смеси и готовой смеси, что позволяет существенно улучшить качество закладочной смеси. Рассмотрены перспективные направления в исследовательской деятельности.*

Отработка месторождений ведёт к увеличению длины доставки закладочной смеси, как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях, что соответственно увеличивает длину её транспортирования. Это ещё больше удорожает стоимость закладочных работ, в которых немалая доля приходится на транспорт.

В результате ведения горных работ и добыче полезного ископаемого на Бурибаевском ГОКе (республика Башкортостан, Россия) произошло удаление места очистных работ от закладочного комплекса на 2,5 километра. При таком расстоянии транспортирования закладочной смеси применение системы с искусственным поддержанием очистного пространства становится неэффективным, нецелесообразным и экономически невыгодным [1].

Транспорт закладочной смеси – это один из вспомогательных процессов очистной выемки и одно из неотъемлемых звеньев добычи полезного ископаемого при системах с искусственным поддержанием очистного пространства. При этом в процессе транспортирования возникает ряд сложностей. На отдельных рудниках: Гайский ГОК (Оренбургская обл., Россия); ГМК «Норильский никель» (Красноярский край, Россия) и др., подача по трубопроводам готовой закладочной смеси на глубокие горизонты вызывала возникновение воздушных ударов и повреждение трубопроводов. Помимо этого в момент пуска и остановки подачи закладочной смеси возникает резкое колебание давления в трубопроводах.

Перемещение закладочной смеси на большие расстояния требует применение различных конструкций для принудительного движения, ввиду недостаточности первично приобретённой кинетической энергии при её вертикальном движении. При движении закладочной смеси по трубопроводам происходит их износ, так как инертный наполнитель обладает высокой абразивностью. Помимо этого в момент транспортировки по трубопроводам происходит расслоение закладочной смеси, что в дальнейшем приводит к формированию закладочного массива с худшими характеристиками [8].

Износ секций трубопровода, изменения расстояний до места укладки закладочной смеси требует внесения изменений в конструкцию трубопровода: наращивание или уменьшение длины трубопровода; установка пневмоврезок; монтаж и демонтаж секций и др., что вызывает простой закладочного комплекса, увеличение себестоимости закладочных работ и снижению общерудничной производительности.

Ввиду неравномерного распределения закладочной смеси в очистном пространстве в момент её укладки, происходит формирование разнопрочного массива. Это происходит ввиду неоднородности закладочной смеси, где более плотные и тяжёлые её компоненты (инертный наполнитель) концентрируются в месте падения, а более лёгкие и текучие (смесь воды и вяжущего) сосредотачиваются на периферии [8], [15]. В результате невозможности подачи закладочного материала под кровлю, образуются пустоты – «недозакладка», что приводит к проседанию налегающего массива, нарушению его сплошности, а как следствие образованию системы трещин, через которых возможен прорыв воды в рудник [1], [6], [10].

Закладочные работы приводят к снижению производительности, так как после укладки смеси в очистную камеру необходимо время (от 60 до 90 суток) для набора нормативной прочности закладочного массива. В свою очередь регулирование сроков схватывания путём применения различных активирующих добавок приводит к удорожанию закладочных работ и в целом увеличению стоимости конечного продукта.

Искусственный массив – это композитный материал, способный твердеть в подземных условиях, представляющий собой инородное тело внутри горного массива. Качество искусственного массива определяется следующими показателями: прочность, компрессионность; устойчивость при вертикальном обнажении. Качество закладочной смеси характеризуются следующими показателями: реологические свойства; расслаиваемость; абразивность. Необходимо обеспечение параметров искусственного массива, приемлемых для заданных горнотехнических условий.

Факторы, оказывающие на свойства закладочного массива:

1. инертный наполнитель;
  - a. качество;
  - b. гранулометрический состав;
  - c. фракционный состав;
  - d. количественный показатель в единице объёма.
2. количество воды (водовязущее соотношение);
3. способ приготовления закладочной смеси;
4. способ транспортирования и укладки в очистное пространство;
5. условия (температурный режим);
6. возраст твердения.

Технология приготовления закладочных смесей подразумевает наличие в них воды. Один из способов снижения стоимости закладочных работ, удешевление закладки путём увеличения водоцементного соотношения (до  $550 \text{ кг/м}^3$ ), что одновременно ведёт к ухудшению характеристик искусственного камня и снижает технико-экономические показатели систем с искусственным поддержанием очистного пространства.

Увеличение массовой доли инертного в закладочной смеси является значительным потенциалом уменьшения расхода вяжущего материала при сохранении технических параметров искусственного массива, следовательно, снижения себестоимости добычи полезного компонента и улучшения экономических показателей рудника [2, 6, 8].

Ввиду того, что инертный заполнитель занимает 70-90 % от общего объёма закладочной смеси, он оказывает существенное влияние на прочность монолитного камня, но при этом инертный заполнитель значительно дешевле вяжущего, следовательно, увеличение инертного заполнителя с одновременным уменьшением количества вяжущего ведёт к улучшению экономических показателей.

Динамика набора прочности во времени является одной из важнейших характеристик закладки. Закономерность увеличения искусственной прочности массива при затвердевании определяет минимальный срок перехода к следующей стадии работ и начала отработки целиков, что определяет выбор параметров системы разработки. Ранее проведённые исследования установили периоды набора прочности искусственного массива в момент затвердевания: первые два месяца – интенсивный; второй период (до трёх месяцев) – медленное нарастание (рост прочности составляет 10 – 17 %); третий период (до трёх месяцев) замедляющийся (увеличение прочности не более 3 – 5 %) и четвёртый период (до шести месяцев) – затухание (увеличение прочности до 2 %) [10, 15].

#### **Доставка закладочной смеси**

Основным способом подачи закладочной смеси в выработанное пространство по трубопроводам является самотечный. При потере кинетической энергии движения смеси и недостаточной скорости движения, используется сжатый воздух, который подаётся в трубопровод порционно посредством пневмоэжекторов, установленных во врезках в трубопровод. Помимо основных пневмоэжекторов по всей длине участка устанавлива-

ются вспомогательные (аварийные), которые рассчитаны на автоматическое включение при внезапном снижении скорости движения закладочной смеси в трубопроводе.

В закладочных трубопроводах используются трубы, изготовленные из стали, диаметром 76-220 мм. при толщине стенок 4-14 мм. Пропускная способность труб, с учётом абразивности инертного материала, марки стали и допустимого износа, достигает 500-700 тыс. м<sup>3</sup>

В настоящее время, для снижения себестоимости работ, связанных с заменой труб в результате износа, применяют трубы из полипластов, которые характеризуются повышенной износостойкостью, меньшим коэффициентом трения, что значительно увеличивает срок службы трубопровода.

При вертикальном самотечном перемещении закладочного материала на большие глубины возникает избыточное давление в трубах, что приводит к воздушным ударам. Для своевременного устранения и предупреждения воздушных ударов применяют следующие устройства: механизм сброса смеси или избыточного воздуха; механизм изменения направления движения промывочной воды и сброса её в специальный отстойник.

Использование различных химических добавок: пластификаторы (изменение реологических свойств), катализаторы (замедлители и активаторы) твердения, позволяет управлять свойствами, как закладочной смеси, так и монолитного камня после затвердевания. Химические добавки позволяют увеличить пластичность смеси при изменении водо-цементного соотношения, исключить расслоение движущейся пульпы, предотвратить закупорку трубопровода, регулировать скорость твердения закладочной смеси и увеличить механическую прочность [11].

При закладочных работах на руднике «Норанда» (Канада) используют метод продольной вибрации участков трубопровода, предупреждающий его закупорку.

Стоимость затрат на инертный наполнитель составляет 25-35 % в себестоимости закладки на предприятиях цветной металлургии России. Хотя специально добываемый материал для инертного наполнителя имеет лучшие качественные показатели, но при высокой стоимости требует поиска наиболее дешёвых заменителей. Виду этого использование отходов горно-обогательного производства в качестве инертного наполнителя является эффективной и экономически обоснованной заменой специально добываемому сырью [2]. С внедрением новых технологий пригото-

ния закладочной смеси, компенсирующих негативные характеристики отходов горного производства, позволят обеспечить стабильные, прогнозируемые и необходимые характеристики закладочного материала при уменьшении себестоимости закладки в целом [7, 8, 10].

### **Выводы**

Исходя из особенностей технологии закладочных работ, необходимо: изменить механизацию процесса доставки закладочной смеси; разработать принципиально новую схему закладочных комплексов, позволяющих использование промежуточных продуктов (отходов горного и промышленного производства) [3-5] в безотходной технологии [2, 7, 8, 9, 12-14].

Обезвоживание хвостов обогащения [16] в каскаде гидроциклонов позволяет получить требуемое количество и качество инертного заполнителя из отходов горного производства. При этом необходимо учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на процесс сгущения, а также затраты на все элементы технологического цикла.

Помимо этого необходимо применение различных способов активации для разработки оптимальных составов закладочной смеси и улучшения свойств закладочного материала или его отдельных компонентов [11].

Помимо улучшения экономико-технических показателей закладочных работ, в данном производственном процессе существует ряд существенных вопросов, требующих скорейшего разрешения: создание «мобильных» мини-закладочных и обогащительных комплексов, что представляет возможность отработки отдельных локальных и удалённых рудных тел системами с искусственным поддержанием очистного пространства.

### **Библиографический список**

1. Хайрутдинов М.М., Иванников А.Л., Арад В., Лонг В. Хуанг. *Проблемы транспорта закладочной смеси к месту укладки. Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: 13-я Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. В 2 т. / Т.1: материалы конференции.* – Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – 360 с. (р.р. 282 – 287).

2. Хайрутдинов М.М. “Применение отходов горного производства в качестве закладочного материала для снижения вредного воздействия на окружающую среду”, *The use of mining waste as a filling material to reduce the harmful effects on the*

*environment, Gornyi Zhurnal, no. 2. pp. 64-66, 2009 (In Russian).*

3. J. Kawalec, S. Kwiecień, A. Pilipenko, J. Rybak, “Application of crushed concrete in geotechnical engineering - selected issues”, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 95, 022057, 2017.

4. J. Rybak, K. Schabowicz, “Survey of vibrations generated in course of geotechnical works”. *NDE for Safety: 40th int. conf. and NDT exhibition: proceedings, Brno University of Technology*, pp. 237-246, 2010.

A. Herbut, J. Rybak, “Guidelines and recommendations for vibration control in the case of rapid impulse compaction”, *Advances and trends in engineering sciences and technologies II, CRC Press, Taylor & Francis Group*, pp. 761-766, 2017.

5. М.М. Хайрутдинов, “Пути совершенствования систем разработки с закладкой выработанного пространства”, *Ways to improve development systems with laying the developed space, Gornyi Zhurnal, no. 11. pp. 40-43, 2007 (In Russian).*

6.М. Khayrutdinov, A. Ivannikov. *The use of mining waste for back-fill as one of sustainable mining activities. Proceedings of International Conferences on Geo-spatial Technologies and Earth Resources (GTER 2017), Hanoi, Vietnam, 5-6 October, 2017, 715-717, 2017*

7.М.М. Хайрутдинов, “Технология закладки высокоплотными смесями (на основе хвостов обогащения) при подземной разработке руд”, *Technology of laying high-density mixtures (based on tailings) in underground mining of ores, Mining Information and Analytical Bulletin, no. 11. pp. 276-278, 2008 (In Russian).*

8. М.М. Хайрутдинов, М.В. Вотяков, “Разработка составов твердеющих закладочных смесей из отходов переработки руд калийных предприятий”, *Mining Information and Analytical Bulletin. no. 10. pp. 220-222, 2007 (In Russian).*

9. М. Вотяков, “Повышение полноты извлечения запасов калийных руд на основе закладки выработанного пространства галитовых отходов”. *Диссертация. Московский государственный горный университет, 2009.*

10. А.Н. Чистяков, М.М. Хайрутдинов, Е.В. Артюхов, “Влияние различных способов активации на физико-механические свойства закладки” *Mining Information and Analytical Bulletin. no. 3. pp. 232-246, 2009 (In Russian).*

11. Тулыбаева Y.S., Хайрутдинов А.М. “Щадящая геотехнология”, *Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов, М: ИПКОН РАН, 28 октября-01 ноября 2019 г.*

pp. 283-286, 2019

12. Хайрутдинов А.М., Тулуяева У.С. “Извлечение полезного ископаемого на небесных телах. Предпосылки, технологические аспекты и правовые основы”, Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов., М: ИПКОН РАН, 28 октября–01 ноября 2019 г. pp. 280-283, 2019

13. Качаев Р.О., Айрапетян Э.Ц., Иванников А.Л. “О соблюдении условий охраны окружающей среды при строительстве подземных хранилищ газа”, Горная промышленность № 2, 2017

14. Хайрутдинов М. М., Карасёв Г. А. “Формирование прочных закладочных массивов при разработке месторождений полезных ископаемых., Mining Information and Analytical Bulletin. no. 3. pp. 276-2283, 2008 (In Russian)

15. Конгар-Сюрюн Ч.Б. “Построение математической модели прогнозирования качественно-количественных показателей обогатительных фабрик” Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. Материалы 14 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. М: ИПКОН РАН, 28 октября–01 ноября 2019 г. pp. 336-338, 2019

УДК 622.232

## **АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРОХОДЧЕСКО-ОЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ КАМЕРНОЙ РАЗРАБОТКЕ ТЮБЕГАТАНСКОГО КАЛИЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

**Хакбердиев А.Л.<sup>1</sup>, Басалай Г.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ташкентский государственный технический университет

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет

*Рассмотрены основные горно-геологические и технологические особенности Тюбегатанского месторождения калийных солей. Приведен анализа применяемых проходческо-очистных комплексов при камерной разработке месторождения. Предложены перспективные варианты модернизации основных машин проходческо-очистного комплекса.*

Экспериментальный предел прочности при сжатии горных пород, слагающих разрабатываемые пласты Тюбегатанского