

УДК 622.273.217.23:622.17

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА СМЕСЯМИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД



А. В. САРАСКИН,
заместитель директора
по перспективному развитию,
канд. техн. наук,
АО «ЮГК»,
Пласт, Россия



А. А. ГОГОТИН,
доцент,
канд. техн. наук,
gogotin80@mail.ru,
Магнитогорский ГТУ,
Магнитогорск, Россия

Для условий шахты «Центральная» АО «ЮГК» разработана технологическая схема сгущения и обезвреживания хвостов цианирования в целях использования их в качестве инертного заполнителя в закладочных смесях. Осуществлено технико-экономическое сравнение различных способов закладки выработанного пространства шахты: без вяжущего, с применением вяжущего в виде цемента или шлакоцемента.

Ключевые слова: закладочная смесь, нейтрализация хвостов обогащения, цианиды, технологические схемы, гидравлическая закладка, твердеющая закладка, сгущение, гидроциклонирование.

DOI: 10.17580/gzh.2017.09.08

Введение

Отработка подземным способом месторождений, расположенных рядом с населенными пунктами или даже под ними, по камерным системам предопределяет необходимость локализации пустот посредством формирования в них искусственного массива на основе цементного или шлакоцементного вяжущего. В качестве инертного заполнителя в большинстве случаев используют породы, находящиеся в непосредственной близости от промплощадки рудника. Однако увеличение объемов добычи руды неизбежно влечет за собой и увеличение объема закладочных работ. Следовательно, возникает задача поиска дополнительных источников закладочного материала. Одним из возможных путей решения этой задачи является использование отходов горно-обогатительных производств [1].

Для применения хвостов обогащения в качестве инертного заполнителя необходимо их обезвожить с помощью гидроциклонов или сгустителей; в первом случае будет отсекается пековый продукт определенного гранулометрического состава под действием центробежных сил, а во втором – осаждение твердых частиц различных фракций будет происходить посредством флокулянта. При использовании гидроциклонов рудник может быть обеспечен инертным материалом лишь тогда, когда обогатительная фабрика будет выдавать хвосты обогащения только необходимого гранулометрического состава; процесс же сгущения предполагает осаждение всех твердых частиц, а чистота слива может контролироваться расходом флокулянта [2, 3].

С экологической точки зрения основным фактором, стимулирующим использование хвостов обогащения в составе закладочной смеси, является сокращение площадей, изымаемых под строительство хвостохранилищ [4].

Исследование технологии обезвреживания и обезвоживания хвостов обогащения

В настоящее время на шахте «Центральная» АО «ЮГК» накоплено значительное число подземных пустот, при этом часть из них располагается под охраняемой территорией – г. Пласт, эффективная их ликвидация возможна путем заполнения закладочными смесями. Кроме этого, исчерпание емкости существующего хвостохранилища, используемого для складирования хвостов обогатительных фабрик АО «ЮГК», обусловило необходимость изыскания альтернативных мест для размещения отходов обогащения. С этих позиций использование хвостов обогащения в качестве инертного заполнителя для закладки выработанного пространства шахты «Центральная» представляется весьма перспективным; оно позволит решить проблему размещения отходов, сократить объемы поверхностных хвостохранилищ и в целом улучшить экологическую ситуацию в районе. С увеличением масштабов добычи и размеров выработанных пространств острота проблемы сохранности подрабатываемых территорий будет возрастать, и ее решение возможно путем закладки пустот отходами обогащения.

Ситуация осложняется тем, что рассматриваемые хвосты обогащения содержат в себе цианистые препараты, относящиеся к категории сильнодействующих ядовитых веществ. Вывод цианидов из текущих хвостов для выполнения норм ПДК в воздушной и водной среде шахтного поля является основной задачей при использовании хвостов обогащения для закладки выработанного пространства. Приходится также учитывать, что при использовании текущих хвостов значительно возрастут водопротоки в подземный рудник [5]. Снизить затраты на подъем и перекачку воды можно только за счет предварительного обезвоживания текущих отходов. Этот подход в последнее время становится все более популярным, поскольку решает и проблему осветления воды [6].

Использование текущих хвостов в качестве материала для закладки выработанного пространства при такой высокой тонине помола материала и исходной влажности невозможно без операций предварительного их обезвоживания и обезвреживания [7]. Для достижения этой цели возможно применение двух вариантов: обезвоживание либо на гидроциклонах, либо с использованием высокоплотных сгустителей.

Наиболее перспективным техническим решением является сгущение тонкодисперсных хвостов цианирования и получение из них смесей высокой плотности (пасты). Пастой или высокоплотным сгущенным продуктом называется неосаждаемая суспензия с высоким содержанием твердого составляющего. Паста обладает прочной структурой и имеет ряд специфических свойств: неосаждаемость, неразделимость, устойчивость к расползанию и внешним воздействиям, высокая вязкость. Современные технологии пастового сгущения отходов обогатительного передела характеризуются высокой экологичностью складирования отходов,

позволяют значительно увеличить и ускорить водоотведение из складываемых хвостов, улучшить качество оборотной воды и минимизировать ее потери при испарении, а также значительно сократить площади, необходимые для размещения отходов [8–13].

В рамках исследования сгущаемости хвостов цианирования была выбрана оптимальная марка флокулянта – Rheomax DR 1050. Данный флокулянт при прочих равных условиях формирует наиболее крупные флоккулы, характеризуется получением плотного осадка и отделением воды высокой степени чистоты при минимальном времени осаждения взвешенных частиц. Исследования показали, что оптимальная плотность пульпы, подаваемой на сгущение, находится в диапазоне 9,5–10,5 % твердого, а рациональный расход флокулянта – 15–20 г/т; при этом оптимальная степень сгущения хвостов цианирования составляет 60 % твердого при растекаемости 18–20 см по прибору Суттарда.

Из анализа физико-механических свойств сгущенных хвостов обогащения следует, что они обладают низкой водоотдачей (19 %), средней плотностью (1,9 г/см³), высокой влажностью (31,6–33,8 %), пористостью (46–48 %), способностью образовывать массив, подобный суглинку (материал со значительным сцеплением, небольшой пластичностью, слабо пропускающий воду, легко размываемый). Использование его в качестве гидравлической закладки приведет к формированию в подземных выработках массива, схожего по своим характеристикам с плывуном, обработка которого может привести к его проникновению на нижележащие горизонты [14, 15].

В связи с тем, что цианиды являются водорастворимыми соединениями, часть их будет удалена из хвостового продукта на стадии обезвоживания, однако в связи с высоким содержанием воды в кеке необходимо его обезвреживать. Для удаления цианидов из сливов и кека, получаемых в процессе сгущения, рассмотрены два варианта обезвреживания – химический и технологический.

Химический метод обеспечивает высокую степень обезвреживания, предусматривает использование для сливов метод нейтрализации с последующей регенерацией цианидов, а для кека – метод хлорирования.

На основании полученных результатов эксперимента предлагается способ обезвреживания сливов после сгущения хвостов цианирования и регенерации цианидов, включающий их обработку в герметичном I реакторе серной кислотой до pH = 1 (рис. 1). Образующийся циановодород под влиянием повышенного давления в I реакторе и с помощью вакуумного насоса поступает по газопроводу в заполненный на 2/3 раствором щелочи II реактор, в котором проходит поглощение газообразного циановодорода и образование раствора цианида натрия. Степень регенерации циановодорода варьируется от 68 до 72 %. Для обезвреживания сливов после сгущения объемом 160 м³/ч предлагаются четыре одинаковые параллельные линии, схема одной из них представлена на рис. 1.

Разработанная технологическая схема позволяет многократно использовать в технологическом процессе дорогостоящий цианид натрия и уменьшить его расход, исключить образование

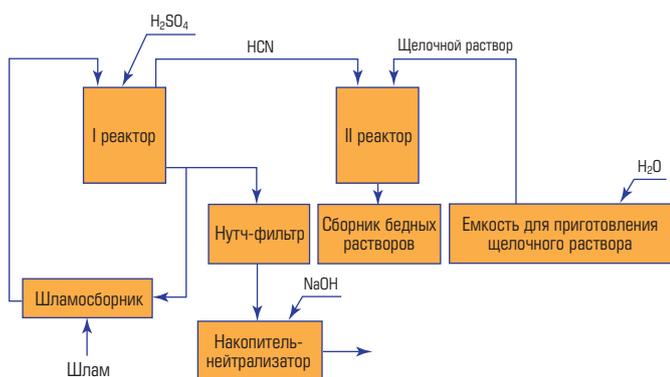


Рис. 1. Технологическая схема обезвреживания слива после сгущения хвостов цианирования с регенерацией цианида натрия

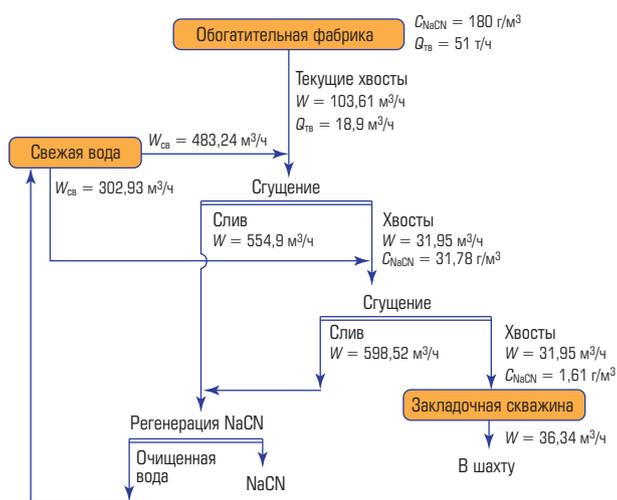


Рис. 2. Технологическая схема приготовления гидравлической закладочной смеси без вяжущего

сточных вод, подлежащих обезвреживанию, снизить потребление свежей воды, извлечь из растворов цветные металлы в виде компактного концентрата и существенно снизить издержки на обезвреживание отработанных растворов процесса цианирования.

Результаты исследования кинетики испарения цианидов в воздухе над усредненным сгущенным кеком показали, что в условиях, максимально приближенных к производственным, при закладке сгущенного кека масса цианидов, выделяемых с 1 м^2 его поверхности в атмосферу, составляет $10,13 \text{ мг/м}^2$ в первые сутки. Снижение испарения цианидов с поверхности сгущенного кека за первые 10 суток составило не менее 20 %. Испарение цианидов твердеющей смесью с вяжущим компонентом незначительно: примерно в 40 раз ниже испарения цианидов с поверхности сгущенного кека.

Технологические схемы приготовления закладочных смесей и технико-экономическое сравнение вариантов закладки пустот

Для экономической оценки использования сгущенных хвостов обогащения в качестве инертного заполнителя проведено исследование технологии закладки применительно к запасам верхних горизонтов шахты. При этом предельный пролет обнажения в зависимости от глубины разработки составил 14–22 м, мощность целиков 8–10 м и толщина потолочины 10–12 м.

Разработаны и сопоставлены три варианта возведения закладочного массива с использованием сгущенных хвостов: без добавления вяжущего (гидравлическая закладка); с применением цементно-шлакового вяжущего; с применением в качестве вяжущего только одного цемента.

Как известно, при гидравлической закладке в выработанное пространство подают заполнитель, смешанный с водой, без добавления вяжущего компонента. В выработанном пространстве твердая фракция смеси выпадает в осадок и образует закладочный массив, а вода фильтруется через этот массив, поступая в шахтный водосборник.

В данном варианте текущие хвосты цианирования с исходным содержанием твердого 30–35 % поступают в сгуститель (рис. 2). Проведенные исследования показали, что для эффективного протекания процесса сгущения и для снижения содержания цианидов в хвостах исходное питание необходимо разбавить до 10 % твердого свежей водой. Готовый по плотности продукт поступает в радиальный сгуститель, где сгущается до требуемой плотности, после чего посредством центробежных насосов подается в узел разделения хвостов. Сливы сгустителя направляют на операцию регенерации цианида. Полученный цианид и очищенную воду подают обратно в технологический процесс.

Отличительной особенностью второго варианта является разделение процессов подготовки вяжущего и инертного наполнителя (рис. 3). В мельнице осуществляется приготовление шлакового вяжущего. Измельчение шлака должно быть максимально полным, что позволит увеличить его гидравлическую активность и значительно снизить расход цемента. Измельченный до крупности 60–70 % фракции –74 мкм шлак согласно технологической схеме подают в смеситель, где происходит равномерное перемешивание всех компонентов. После этого готовую закладочную смесь подают в подземное выработанное пространство.

Использование измельченного шлака до крупности –0,074 мм приведет к сокращению расхода комбинированного вяжущего и

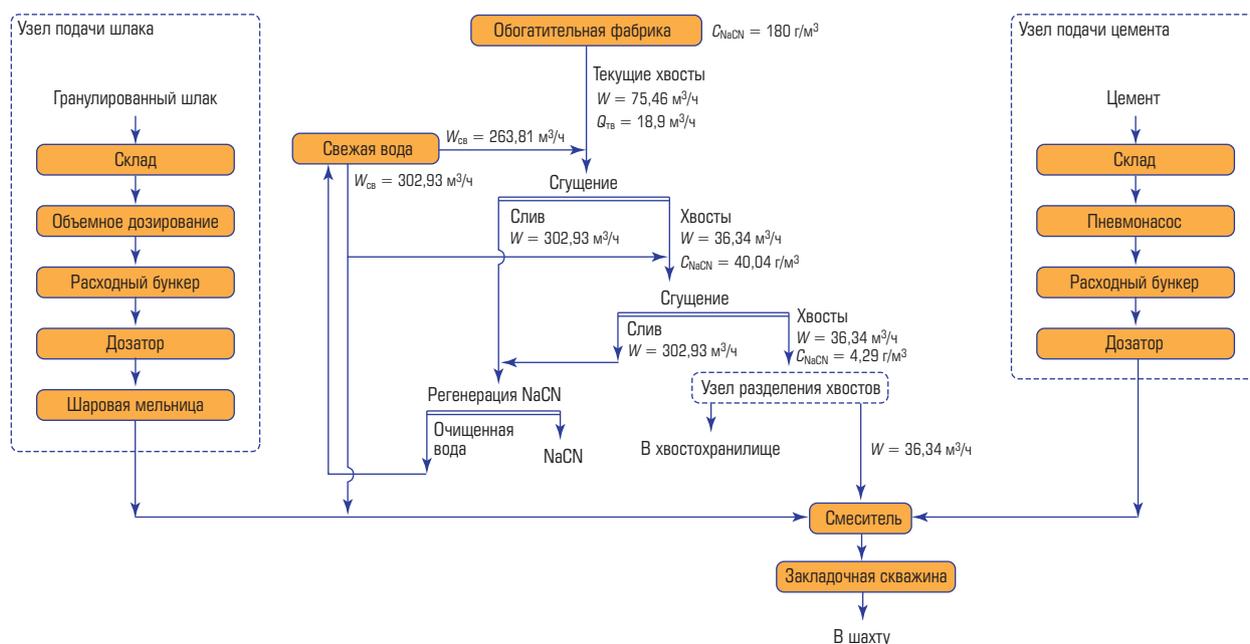


Рис. 3. Технологическая схема приготовления твердеющей закладочной смеси с использованием цементно-шлакового вяжущего

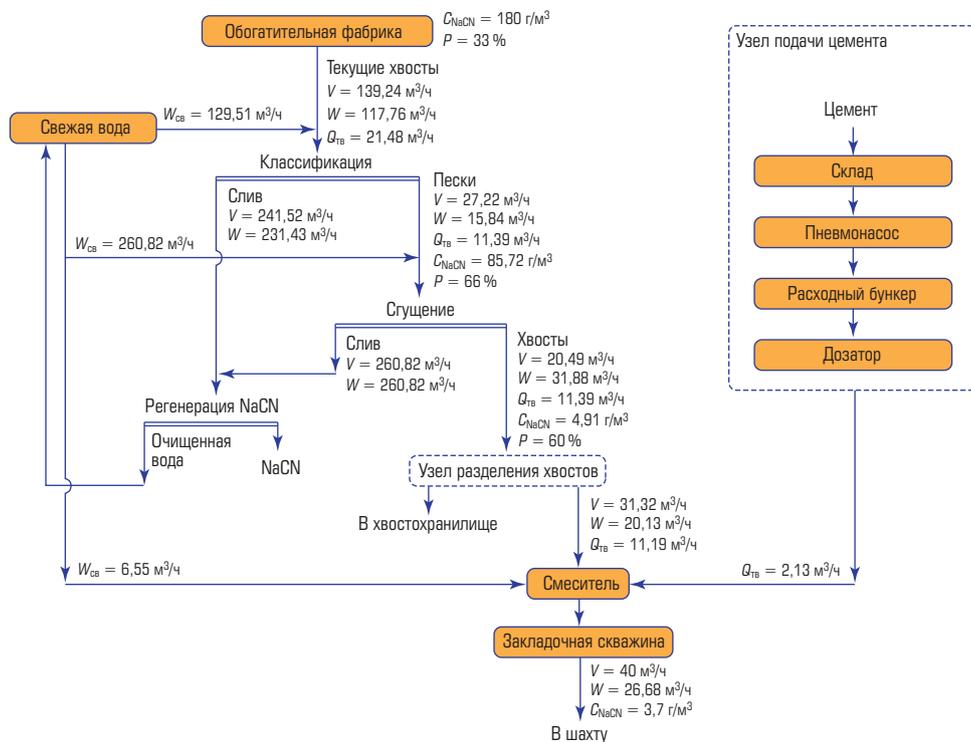


Рис. 4. Технологическая схема приготовления твердеющей закладочной смеси на основе цемента

уменьшению сроков набора нормативной прочности закладочного массива. Однако целесообразность реализации данной технологии для условий АО «ЮГК» нужно обосновывать экономическими расчетами, так как требуются дополнительные капитальные затраты на строительство узла измельчения.

По третьему варианту (рис. 4) для эффективного разделения в гидроциклонах и снижения содержания циана в полученном песковом продукте пульпу доразбавляют водой до содержания твердого 19 %, полученную пульпу в объеме 268,74 м³/ч подают на гидроциклонирование для получения слива крупностью 90 % класса менее 44 мкм. Затем полученный песковый продукт проходит вторую стадию отмывки от цианидов в сгустителе.

Осуществлено технико-экономическое сравнение рассмотренных вариантов закладки. Экспериментальными исследованиями установлено, что при использовании твердеющих смесей (второй и третий варианты) концентрация цианидов, выделяющихся в шахтную атмосферу из закладочного массива в режиме естественного испарения с его поверхности, составит около 0,2 мг/м³, что не превышает нормы ПДК в воздухе рабочей зоны

(0,3 мг/м³). В варианте гидравлической закладки концентрация цианидов при испарении примерно в 40 раз выше.

Для предотвращения проникновения в действующие выработки жидкого закладочного материала по первому варианту закладки необходимо оставлять охранные целики и потолочины, что приведет к существенным потерям руды (до 40 %), в то время как при вариантах с твердеющими смесями потери не превышают 8,5 % (разубоживание остается одинаковым – 9,5 %). Дополнительным преимуществом применения твердеющих закладочных смесей является то, что концентрация цианидов, поступающих в шахтные воды при дренаже избыточной воды из закладочного массива, будет незначительной – 0,0022 мг/л, что гораздо ниже норм ПДК.

Экономическое сравнение вариантов закладки при содержании золота в руде 3 г/т показало, что наибольшая величина прибыли в 1782,6 руб/т достигается при использовании твердеющих смесей на основе цементно-шлакового вяжущего (второй вариант); несколько ниже этот показатель при цементном вяжущем (1671,5 руб/т). Вариант с гидравлической закладкой без вяжущего оказался наименее выгодным (988 руб/т) из-за больших потерь руды, хотя в эксплуатационном отношении был и самым простым.

Заключение

Предложена и опробована технология обезвреживания цианированных отходов обогащения золотосодержащих руд в целях использования отходов для закладки выработанного пространства шахт.

Проанализированы три варианта использования обезвреженных отходов в качестве закладочного материала: без вяжущего (гидравлическая закладка); с вяжущим на основе шлакоцементной смеси; с чисто цементным вяжущим. Установлено, что наиболее предпочтительным с экономической и экологической точки зрения является вариант с созданием твердеющего закладочного массива из отходов, смешанных со шлакоцементом.

Библиографический список

1. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Расширение сырьевой базы горно-рудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. 2013. № 12. С. 29–33.
2. Туркин И. С., Олизаренко В. В., Шарипов Р. Х. Закладка выработанных пространств рудников с применением вертикальных сгустителей // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сб. науч. тр. – Екатеринбург : Изд-во УГТУ, 2013. С. 206–210.

3. Рыльникова М. В., Ангелов В. А., Туркин И. С. Особенности технологических и конструктивных решений по утилизации отходов добычи и переработки руд в выработанном пространстве рудников // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 59–66.
4. Дик Ю. А., Манин А. А., Егоров М. А., Рахматуллина К. Ж. Использование хвостов обогащения для закладки выработанного пространства подземных рудников // Глобус: геология и бизнес. 2013. № 5. С. 50–54.
5. Лодейшичкова В. В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд : в 2 т. – Иркутск : Иргиредмет, 1999. – 684 с.
6. Schoenbrunn F. Dewatering to higher densities – an industry review // Past 2011: proceedings of the 14th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. – Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2011. P. 19–23.
7. Закладочные работы в шахтах : справочник / под ред. Д. М. Бронникова, М. Н. Цыгалова. – М. : Недра, 1989. – 400 с.
8. Разумов К. А., Перов В. А. Проектирование обогатительных фабрик. – М. : Недра, 1982. – 260 с.
9. Cavalcante P. R. B., Palkovits F. Paste fill – a safety solution for pillar mining // Past 2013: proceedings of the 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. – Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2013. P. 443–456.
10. Рыльникова М. В., Ангелов В. А., Туркин И. С. Обоснование технологической схемы и комплекса оборудования для утилизации текущих хвостов обогащения в выработанном подземном пространстве // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 9. С. 62–69.
11. Caldwell J., Revington A., McPhail G., Charlebois L. Optimised seasonal deposition for successful management of treated mature fine tailings // Past 2014: proceedings of the 17th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. – Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2014. P. 371–380.
12. Moreno J., Thompson N. Tailings Central Thickened Discharge: Challenges Faced and Lessons Learned from Design to Operation // Past 2016: proceedings of the 19th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. – Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2016. P. 1–11.
13. Hasan A., Suazo G., Fourie A. B. Full scale experiments on the effectiveness of a drainage system for cemented paste backfill // Past 2013: proceedings of the 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings. – Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2013. P. 379–392.
14. Зотеев О. В., Калмыков В. Н., Гоготин А. А., Зубков А. А., Зубков А. А. Исследование физико-механических свойств отходов обогащения для разработки технологии формирования закладочного массива в выработанном пространстве карьера «Учалинский» // Вестник Магнитогорского государственного технического университета. 2013. № 4. С. 13–17.
15. Бондаренко Д. А. Разработка технологии заполнения отходами обогатительного производства подземных пустот на Гайском месторождении // Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр: матер. VI междунар. конф. – Магнитогорск, 2011. С. 121–123. 

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 9, pp. 41–45

DOI: 10.17580/gzh.2017.09.08

Technology of backfilling with tailings**Information about authors****A. V. Saraskin**¹, Deputy Director of Long-Term Development, Candidate of Engineering Sciences**A. A. Gogotin**², Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, gogotin80@mail.ru¹ UGC Gold Mining Company, Plast, Russia² Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia**Abstract**

At the present time, Tsentralnaya Mine of UGC Gold Mining Company has accumulated numerous underground voids; efficient closing of the voids is possible with the use of backfill mixtures. It is proposed to make backfill mixtures using tailings of the local gold ore processing plants. The situation is complicated by the presence of extremely poisonous cyanic elements in the tailings. Removal of cyanides from the current tailings given the guaranteed MAC values in the air and water within the mine field is the indispensable condition of using tailings in backfill production for closing voids in mines.

Two variants of detoxication of the discharge and filter cake after thickening are considered – chemical and technical. The research data on applicability of the initial tailings (content of cyanides is 4.7–4.8 mg/l) for the production of backfill show that the chemical detoxication approaches ensure reduction in water content of cyanides down to MAC value of 0.1 mg/l.

Three scenarios of backfilling with the decontaminated thickened tailings are developed: mixture without a binder; cemented mixture with a cement binder; cemented mixture with a cement-and-slag binder. The technical-and-economic comparison of the scenarios at the gold content of 3 g/t shows that the most profitable scenario involves the cemented backfill with the cement-and-slag binder.

Keywords: backfill mixture, tailing neutralization, cyanides, process flow charts, hydraulic backfill, cemented backfill, thickening, cyclonage.

References

1. Kaplunov D. R., Rylnikova M. V., Radchenko D. N. Expansion of raw materials base of mining enterprises on the basis of complex usage of mineral resources of deposits. *Gornyy Zhurnal*. 2013. No. 12. pp. 29–33.
2. Turkin I. S., Olizarenko V. V., Sharipov R. Kh. Goaf stowing at mines using vertical thickeners. *Technological equipment for mining and oil and gas industry : collection of scientific proceedings*. Ekaterinburg : Izdatelstvo UGGU, 2013. pp. 206–210.

3. Rylnikova M. V., Angelov V. A., Turkin I. S. Distinctive features of technological and design solutions on disposal of waste of ore mining and processing in a worked-out area. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2015. No. 2. pp. 59–66.

4. Dik Yu. A., Manin A. A., Egorov M. A., Rakhmatullina K. Zh. Mine refuses use for goaf stowing of underground mines. *Globus: geologiya i biznes*. 2013. No. 5. pp. 50–54.

5. Lodeyshchikov V. V. Technology of extraction of gold and silver from refractory ores : in two volumes. Irkutsk : Irgiredmet, 1999. 684 p.

6. Schoenbrunn F. Dewatering to higher densities – an industry review. *Past 2011: proceedings of the 14th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2011. pp. 19–23.

7. Goaf stowing in mines : reference book. Ed.: D. M. Bronnikov, M. N. Tsygalov. Moscow : Nedra, 1989. 400 p.

8. Razumov K. A., Perov V. A. Design of concentration plants. Moscow : Nedra, 1982. 260 p.

9. Cavalcante P. R. B., Palkovits F. Paste fill – a safety solution for pillar mining. *Past 2013: proceedings of the 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2013. pp. 443–456.

10. Turkin I. S., Rylnikova M. V., Angelov V. A. Basic process scheme and the complex equipment for recycling current tailings in a depleted underground space. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2014. No. 9. pp. 62–69.

11. Caldwell J., Revington A., McPhail G., Charlebois L. Optimised seasonal deposition for successful management of treated mature fine tailings. *Past 2014: proceedings of the 17th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2014. pp. 371–380.

12. Moreno J., Thompson N. Tailings Central Thickened Discharge: Challenges Faced and Lessons Learned from Design to Operation. *Past 2016: proceedings of the 19th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2016. pp. 1–11.

13. Hasan A., Suazo G., Fourie A. B. Full scale experiments on the effectiveness of a drainage system for cemented paste backfill. *Past 2013: proceedings of the 16th International Seminar on Paste and Thickened Tailings*. Perth : Australian Centre for Geomechanics, 2013. pp. 379–392.

14. Zoteev O. V., Kalmykov V. N., Gogotin A. A., Zubkov A. A., Zubkov A. A. The investigation of tailings physical and mechanical properties for the development of the method of filling solid mass forming in Uchalinsky quarry waste area. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni G. I. Nosova*. 2013. No. 4. pp. 13–17.

15. Bondarenko D. A. Development of technology of filling of Gai deposit subsurface voids with concentration wastes. *Combined geotechnology: theory and practice of realization of the full cycle of complex mastering of soils : materials of the VI international conference*. Magnitogorsk, 2011. pp. 121–123.