

УДК 662.273.218

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СГУЩЕННЫХ ОТХОДОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД ДЛЯ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА РУДНИКОВ



А. С. БОДРОВ,
главный инженер ЦНИЛ,
ПАО «ППГХО»,
Краснокаменск, Россия

Введение

Наиболее актуальной и перспективной задачей ПАО «ППГХО» является предотвращение негативного влияния на окружающую среду отходов переработки урановых руд, складываемых в поверхностных хвостохранилищах. Следует отметить, что за 50-летний период работы предприятия накоплено свыше 70 млн т гидрометаллургических отходов; при этом объем их размещения ежегодно увеличивается в среднем на 1 млн м³.

Радиоактивные отходы представляют большую угрозу жизнедеятельности людей как непосредственно в месте добычи, так и в прилегающих районах. Задача использования отходов в качестве складочных материалов является весьма актуальной для горных предприятий во всем мире [1–8].

С целью упорядочения вопросов размещения отходов переработки уранодобывающих предприятий Правительством РФ принят Федеральный закон № 190 от 11.07.2011 г. В соответствии с ним ПАО «ППГХО» предприняло ряд мер по усилению экологической безопасности деятельности предприятия, в том числе путем разработки технологий, предусматривающих размещение отходов переработки урановых руд в подземном пространстве рудников при применении систем разработок с закладкой твердеющими смесями [9]. Недостатком применения таких систем является высокая стоимость инертных компонентов, используемых в составах этих смесей: ее доля достигает 70 % себестоимости подаваемого в шахту складочного материала [10]. В качестве альтернативного материала можно применять хвосты гидрометаллургического передела.

В этом случае использование отработанного пространства камер, образовавшихся при очистной выемке, является наилучшим решением при выборе мест захоронения отходов данного вида. Одной из эффективных мер, позволяющих сделать гидрометал-

Изложены результаты лабораторных исследований по изучению свойств складочных смесей из отходов гидрометаллургического производства и по средствам защиты заложённых камер от радоновыделения в рудничную атмосферу.

Ключевые слова: пастовая закладка, отходы переработки урановых руд, гидрометаллургические хвосты, выработанное пространство, радоновыделение, рудничная атмосфера, изолирующие покрытия.

DOI: 10.17580/gzh.2018.07.07

лургические отходы пригодными для размещения в выработанном пространстве — перевод их в состояние пастового материала. Паста — это вязкая, однородная, пластичная масса, получаемая из твердой фракции хвостовой пульпы в соединении с коагулирующими добавками — флокулянтами. Основу пасты формируют мелкие шламовые частицы (–20 мкм), связанные флокулянтами в крупные флоккулы; частицы не выпадают в осадок благодаря высокой плотности. Внутри пасты исключены сегрегация и расслоение, сгущенный продукт не выделяет свободную воду.

Результаты лабораторных исследований

По результатам исследований, проведенных в Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) в разное время, возможными для использования флокулянтами являются: Magnaflok 919, Magnaflok 155, Magnaflok 10, Magnaflok 342, которые имеют примерно равные характеристики по скорости осаждения твердых частиц в хвостовой пульпе, а также флокулянты BEESFLOK (марки K6732), FLONOR (марок MA-19, MA-20, MA-22, PA-265E, PA-287E, PA-287X) и применяемый в настоящее время для сгущения рудных пульп на гидрометаллургическом переделе полиакриламид типа «Праестол-2540» (ПАА производства КНР).

При постановке серии опытов по сгущению хвостовой пульпы с расходом полиакриламида в пределах 30–180 г/т определен его рациональный расход на уровне 60–90 г/т. Установлено также, что возможна интенсификация процесса сгущения хвостовой пульпы с ростом расхода флокулянта, однако отмечается тенденция снижения уплотнения сгущенных пульп. В связи с этим для коррекции характеристик пастового материала вопросы оптимизации процесса сгущения хвостовой пульпы могут определяться

в условиях опытно-промышленных работ при имитации процесса в промышленном аппарате.

Исследования по моделированию процесса получения пастового материала позволили определить эффективность действия различных марок флокулянтов, выбрать наиболее рациональный к использованию и определить его оптимальную дозировку для достижения максимальной скорости осаждения твердых частиц в хвостовой пульпе.

При исследовании вязкости пастового материала выявлено, что 55–60 % содержания твердых частиц в оптимальной по вязкости исходной пасте указывает на наличие резерва вязкости, который может быть использован, т. е. имеется возможность введения в состав пасты инертного наполнителя, например дробленой породы от проходки горных выработок.

Исходная паста, приготовленная из гидрометаллургических хвостов с добавлением раствора флокулянтов, представляет собой вязкую, густую массу. В подземных условиях такая паста, без предъявления к ней прочностных характеристик, могла бы быть использована для заполнения изолированных камер, не имеющих контактов с камерами, находящимися в отработке. В тех случаях, когда требуется повысить прочность закладочного массива, в состав исходной пасты добавляют цемент или другие вяжущие компоненты [11].

В результате проведенных испытаний установлено, что исходная паста при отсутствии в ней вяжущих компонентов не обладает прочностью (табл. 1). При добавлении в исходную пасту цемента ПЦ 400 ДО (не менее 5 %) возрастают прочностные характеристики. Руководствуясь нормативными требованиями к прочности закладочного массива, можно установить необходимый расход цемента, обеспечивающий требуемую регламентируемую прочность.

Основными параметрами пастового материала, характеризующими его реологические свойства, являются подвижность и напряжение сдвига (сопротивление сдвигу). По данным параметрам выбирают технологическое оборудование (насосные установки, смесители, трубопровод и т. п.) по транспортированию приготовленной пасты в подземные выработки. В условиях подземных рудников ПАО «ППГХО» доставка традиционных закладочных смесей в погашаемое пространство осуществляется по трубопроводам, однокаскадно, с пневматическим режимом транспортирования при длине доставки по горизонтали до 1500 м [12]. Согласно теории, паста по трубопроводу идет в виде потока со структурным ядром, скорость которого является постоянной по ширине ядра, в то время как перепад скорости наблюдается поперек смазочного слоя до нулевого значения на стенках трубопровода. Вне этого ядра скорость материала уменьшается с приближением по периферии к стенкам трубопровода [13]. Основой пастового материала, транспортирующегося с меньшей скоростью, служат тонкие фракции, которые являются смазочным слоем для центрального ядра более крупных частиц [14]. При наличии твердых частиц в пасте до 80 % материал еще может транспортироваться по трубопроводам с помощью насосов.

Таблица 1. Прочность на одноосное сжатие образцов пастового материала в смеси с цементом (МПа) в зависимости от срока твердения

Наименование материала	Срок твердения, сутки				
	7	14	28	56	180
Исходная паста (без цемента)	0	0	0	0	0
Паста с цементом 3 %	0	0	0	0	0
Паста с цементом 5 %	0	0,2	0,4	0,4	0,4
Паста с цементом 10 %	0,8	1,3	1,6	1,9	3

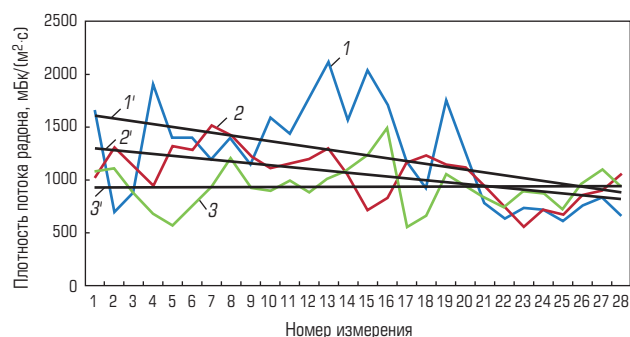


Рис. 1. Диаграмма изменения плотности потока радона из образцов пастового материала во времени:

1, 2, 3 – фактические значения для проб № 1, 2, 3 соответственно; 1', 2', 3' – линейная интерпретация для тех же проб

Таблица 2. Результаты измерений плотности потока радона из образцов пасты с различными изолирующими покрытиями

Материал изолирующего покрытия	Толщина слоя покрытия, мм	Среднее значение плотности потока радона, МБк/(м²·с)
Твердеющая закладочная смесь стандартной рецептуры (СТО 07621060-081-2014)	(без покрытия)	1243
	20	797
	40	788
	60	519
Пластичная твердеющая смесь цемента с золой уноса ТЭЦ (в соотношении 1:1)	(без покрытия)	1058
	20	292
	40	192
	60	164
Сербетон	(без покрытия)	928
	10	94
	20	76
	30	41

Считается, что для образования пасты необходимо, чтобы в смеси было не менее 15 % (масс.) частиц крупностью –20 мкм. Хвосты гидрометаллургической переработки урановых руд ПАО «ППГХО» имеют достаточное количество тонких частиц (до 40 %)

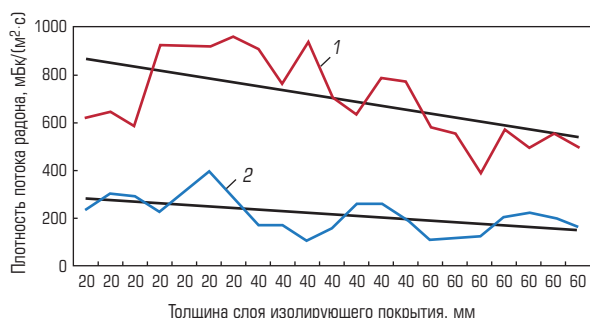


Рис. 2. Диаграмма изменения плотности потока радона образцов пасты с изолирующими покрытиями из традиционной твердеющей смеси (1) и цементно-зольной смеси (2) при толщине слоя 20, 40, 60 мм

для получения пасты с необходимыми реологическими характеристиками [15].

Тем не менее основным сдерживающим фактором применения пастовой закладки на основе хвостов гидрометаллургической переработки урановых руд является опасность радоновыделения из материала пасты в рудничную атмосферу. Гидрометаллургические хвосты содержат все те же химические элементы, присутствующие и в исходной руде, за исключением урана, извлеченного при переработке. Активность гидрометаллургических хвостов составляет до 75 % исходной руды. Радий, в силу природного процесса непрерывного распада, выделяет газ радон с периодом полураспада 3,8 сут.

Известно, что средняя суммарная активность забалансовой урановой руды равна 17070 Бк/кг, вмещающих пород — 9850 Бк/кг, гидрометаллургических хвостов — 16221 Бк/кг. Следовательно, при размещении гидрометаллургических хвостов в выемочных камерах зона выработанного пространства приобретает меньшую активность, чем активность забалансовых урановых руд вокруг камер. Опасность же, как упоминалось выше, представляет газ радон, выделяющийся из гидрометаллургических хвостов, содержащих радий.

На диаграмме (рис. 1) отображена динамика изменения плотности потока радона за 2 мес наблюдений с момента изготовления пасты. В более поздних измерениях уровень плотности потока радона снизился, уменьшились величины флуктуаций, наблюдалась общая тенденция к снижению показателей до величины 500 МБк/(м²·с). В целом закладочный массив, сформированный из пастовой закладки на основе хвостов гидрометаллургической переработки урановых руд, может увеличить общерудничный дебит радона на локальных участках до 30 % (в зависимости от числа камер, заполненных пастовой закладкой).

Для поддержания рудничной атмосферы на должном радиационнобезопасном уровне и предотвращения возможных негативных радиационно опасных последствий требуется разработка мер борьбы с радоновыделением [16, 17]. С целью снижения выбро-



Рис. 3. Диаграмма изменения плотности потока радона образцов пасты с изолирующим покрытием из серобетона при толщине слоя 10, 20, 30 мм

сов радона с поверхности пастового материала проводились исследования изолирующих свойств различных покрытий: из традиционной твердеющей смеси; пластичной смеси цемента с золой уноса ТЭЦ; серобетона*. Суть исследований заключалась в измерениях плотности потока радона с поверхности образцов пасты с вышеуказанными изолирующими покрытиями различной толщины (табл. 2).

По полученным данным измерений построены диаграммы изменения плотности потока радона с увеличением толщины слоя различных изолирующих покрытий (рис. 2 и 3). Данные диаграмм свидетельствуют о большом разбросе значений плотности потока радона в процессе измерений, тем не менее по абсолютным величинам радоновыделения для каждой фиксированной толщины слоя исследуемых изолирующих покрытий наблюдается тенденция к уменьшению плотности потока радона с увеличением толщины слоя изолирующего покрытия. Чем толще изолирующий слой, тем меньше радоновыделение.

Заключение

В ходе проведения исследований по измерению плотности потока радона из образцов пастового материала с различными изолирующими покрытиями установлено, что изолирующий слой из твердеющей закладочной смеси стандартной рецептуры при толщине слоя 20–60 мм снижает интенсивность радоновыделения в среднем в 1,6–2,4 раза. Пластичная твердеющая смесь цемента с золой уноса ТЭЦ (в соотношении 1:1) при той же толщине слоя снижает интенсивность радоновыделения в среднем в 3,6–6,5 раза. Серобетон при толщине слоя 10–30 мм снижает интенсивность выделения радона в среднем в 10–22,6 раза. Исследования изолирующих свойств серобетона показали, что даже при толщине слоя серобетона 10 мм интенсивность радоновыделения образцов пастового материала ниже в 4 раза, чем при использовании покрытий толщиной 60 мм из традиционной твердеющей смеси, а цементно-зольной смеси — в 1,5 раза. При толщине слоя серобетона 30 мм среднее значение плотно-

* Серобетон — композиционный материал, отличающийся от обычного бетона тем, что для его приготовления вместо цемента и воды используют расплав серы.

сти потока радона составило 41 мБк/(м²·с), при том, что первоначальные замеры, проведенные после нанесения серобетона на образцы пасты, показали полное отсутствие радоноразделения.

В результате проведенных экспериментов отмечены высокие изолирующие свойства серобетона. Однако в силу ряда технологических особенностей процессов его приготовления, предполагающих наличие многочисленных технических нюансов, для оценки возможности применения серобетона в качестве изолирующего материала в реальных подземных условиях рудника требуется проведение дополнительных, более детальных исследований.

Таким образом, выполненный объем работ подтверждает принципиальную возможность использования пастовой закладки

на основе хвостов гидрометаллургической переработки урановых руд для закладки подземных выработок при условии изоляции заложеного массива от радоноразделения. В задачи дальнейших исследований входят: расширение линейки возможных и доступных изолирующих материалов, разработка технологии приготовления и доставки пастовой закладки до погашаемых выработок и ее опытно-промышленные испытания на рудниках ПАО «ППГХО».

Библиографический список

См. англ. блок. **РЖ**

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 7, pp. 40–43

DOI: 10.17580/gzh.2018.07.07

Applicability of thickened waste of hydrometallurgical uranium ore processing as backfill in underground mines

Information about author

A. S. Bodrov, Chief Engineer of Central Research Laboratory
Priargunsky Mining and Chemical Works, Krasnokamensk, Russia

Abstract

Applicability of thickened waste of hydrometallurgical uranium ore processing as backfill for underground mines is examined. The alternative use of mined-out areas for hydrometallurgical waste disposal is analyzed. The authors point at producibility of paste material from hydrometallurgical waste using coagulating agents – flocculants. An efficient flocculant is selected, and its optimal consumption is determined to reach the highest precipitation rate of solids in pulp slurry. The results of uniaxial compression tests of paste backfill with addition of cement are presented. The paste backfill strength versus cement consumption is determined. The minimum cement consumption for higher strength paste backfill is found. Radioactivity of paste material prepared from tailings of hydrometallurgical uranium ore processing is characterized. The history of density of radon flow from original paste material is described. The article discusses applicability of various insulating coatings in order to reduce radon emission intensity from paste backfill; the efficiency of such coatings is determined. It is shown that radon flow density from paste material lowers when the insulating coating thickness is increased. The further research objectives are identified.

Keywords: paste backfill, uranium ore processing tailings, hydrometallurgical waste, mined-out area, radon emission, mine air, insulating coating.

References

1. Bitimbaev M. Zh., Krupnik L. A., Shaposhnik Yu. A. Theory and practice of stowing operations during mineral deposits mining. *Gornyy zhurnal Kazakhstana*. 2012. No. 5. pp. 19–25.
2. Krupnik L. A., Yusupov Kh. A., Kabetenov T. K., Myrzhakmetov S. S. Technology and mechanization of stowing operations during the inclined deposits mining. *Gornyy zhurnal Kazakhstana*. 2013. No. 11. pp. 8–11.
3. Lyakhov D. P. Technology of cast solid stowing manufacturing from production wastes. *Underground*

mining : materials of International scientific conference, 15–25 April 2015. Krasnoyarsk : Sibirskiy federalnyy universitet, 2015. pp. 34–36.

4. Franks D. M. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes. *Resources Policy*. 2011. Vol. 36, No. 2. pp. 114–122.
5. Jenk U., Paul M. Flooding of the Underground Uranium Leach Operation at Konigstein. *Uranium Past and Future : Proceeding of the 7th International Conference on Uranium Mining*. 2012. 363 p.
6. O'Sullivan D., Newman A. Extraction and Backfill Scheduling in a Complex Underground Mine. *Interfaces*. 2014. Vol. 44, No. 2. pp. 104–221.
7. Emad M. Z., Vennes I., Mitri H., Kelly C. Backfill Practices for Sublevel Sloping System. *Mine Planning and Equipment Selection Chapter : Proceedings of the 22nd MPES Conference, 14th–19th October 2013. Switzerland : Springer International Publishing*, 2014. pp. 391–402.
8. Sheshpari M. A. Review of Underground Mine Backfill Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfill. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2015. Vol. 20, No. 13. pp. 5183–5208.
9. Priargunsky Industrial Mining and Chemical Union (PJSC PIMCU). Available at: <http://www.priargunsky.armz.ru/> (accessed: 12.01.2018).
10. Montyanova A. N. Formation of stowing massifs during the development of diamond deposits in cryolithic zone. Moscow : Gornaya Kniga, 2005. 597 p.
11. Grebb R. Black range minerals. Hansen/Taylor Ranch Uranium Project. 2012 Uranium Recovery Workshop. Colorado. 2012. 15 p.
12. Kolesaev V. B., Bakulin V. A. Development of filling production in Priargunsky Mining-Chemical Corporation. *Gornyy Zhurnal*. 2008. No. 8. pp. 41–42.
13. Krupnik L. A., Abdykalykova R. S. Paste backfill mixtures, properties and preparation. *Proceeding International Forum "Engineering Education and Science in the XXI Century: Challenges and Perspectives"*. Almaty : Satpaev KazNTU, 2014. Vol. 1. pp. 360–363.
14. Qingliang C., Jianhang C., Huaqiang Z., Jianbiao B. Research Article Implementation of Paste Backfill Mining Technology in Chinese Coal Mines. *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014. Article id 821025.
15. Syatetskii V. S. Feasibility of using uranium mill tailings to produce paste backfill at Priargunsky mining and chemical works. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2015. No. 10. pp. 37–40.
16. Bodrov A. S. Assessment of the waste application potential of hydrometallurgical tailings processing of uranium ores of Streltsovsky field during the laying of underground workings. *Vestnik Zabaikalskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. Vol. 23, No. 1. pp. 4–10.
17. Morozov A. A., Bodrov A. S. Applicability of hydrometallurgical processing waste—uranium ore mill tailings as backfill in mines. *Kulagin's Lectures – Production Technologies and Equipment: XIV International Scientific–Practical Conference Proceedings*. Chita : ZabGU, 2014. pp. 63–70.