

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУД

ADVANCED TECHNOLOGIES OF UNDERGROUND ORE MINING



*Г. Г. Пирогов, Забайкальский государственный университет, г. Чита
pirogov.chita@mail.ru*

G. Pirogov, Transbaikal State University, Chita

Выделены современные проблемы подземной добычи, основными из которых являются низкое качество добываемых руд; перемещение горных работ на большую глубину, сопровождаемое повышением горного давления; истощение минерально-сырьевой базы, обусловленное в т.ч. значительными потерями руды вследствие оставления целиков в системах разработки с открытым выработанным пространством. Решение проблем достигается более масштабным внедрением перспективных технологий, основанных на закладке выработанных пространств подготовленными для этой цели хвостами обогащения, а также размещением технологической части обогатительной фабрики в недрах. Значительное содержание в хвостах тонкоизмельченных частиц определяет целесообразность применения пастовых (пастообразных) и (или) гранулированных закладочных смесей. Пастовые (пастообразные) смеси основаны на использовании тиксотропных свойств тонкоизмельченных частиц. Для перевода первоначального состояния пастовой закладочной смеси – геля в золь, применяют специальные устройства – смесители-взвихриватели. Приведена одна из возможных конструкций взвихривателя. Гранулированные закладочные смеси обладают высокими реологическими свойствами, могут применяться в бесцементном варианте (гидравлические смеси) и в твердеющем, допускают подземное выщелачивание для доизвлечения металлов. Предложена технология разработки рудных месторождений на основе запатентованного автором способа разработки подземными горно-обогатительными комплексами, внедрением которой достигается улучшение состояния окружающей среды и повышение экономической эффективности горного производства. Рассмотрены основные преимущества предлагаемой технологии: удаление с земной поверхности вредных и токсичных веществ, повышение экономической эффективности горного производства, включение текущих хвостов обогащения непосредственно в технологический цикл подземной добычи

Ключевые слова: актуальные проблемы; решение проблем; технологии с закладкой; пастовые закладочные смеси; гранулированные закладочные смеси; технология разработки с применением подземных горно-обогатительных комплексов; подземные обогатительные комплексы; тиксотропные свойства, тонкоизмельченные хвосты обогащения; взвихриватели; окружающая среда

Modern underground mining problems are defined; the main ones are the poor quality of ore mined; movement of mining at a greater depth, followed by a rise of rock pressure; depletion of the mineral resource base due to significant losses of ores as a result of ore pillars abandonment in the development of systems with open worked out area. A large scale introduction of advanced technologies is achieved, based on laying of worked out areas by means of prepared for this purpose tailings, as well as the placement of the technological part of the processing plant in the depths. Significant content in the tailings fines determines the application of paste (slurred) and (or) the granular filling mixtures. Paste (slurred) mixtures are based on the use of fine particles with thixotropic properties. To convert the original state of paste filling mixture – a gel into a sol, a special device is used – mixers-swirlers. One of the possible designs of a swirler is presented. The granular filling mixtures have high flow properties, can be used in cementless version (hydraulic mixtures) and hardening one. They allow additional recovery of under-

ground leaching of metals. The development technology of ore deposits based on the author's patented method for the development of underground mining and processing complex is suggested, which is achieved by improving the state of environmental and economic efficiency implementation of mining. The main advantages of the proposed technology are: removal from the surface of hazardous and toxic substances, increase of economic efficiency of mining, inclusion of current tailings directly into the production cycle of the underground mining

Key words: actual problems; problem solving; technology with laying; bed filling mixtures; granular filling mixtures; development technology using underground mining and processing complexes; underground enrichment facilities; thixotropic, finely ground tailings; swirlers; environment

Актуальность. Актуальными проблемами подземной добычи руд черных и цветных металлов в настоящее время являются истощение минеральных ресурсов, низкое качество добываемых руд, перемещение горных работ на большую глубину, загрязнение окружающей среды в районах производственно-хозяйственной деятельности горных предприятий [3]. Решение проблем горного производства в усложняющихся горно-геологических условиях достигается внедрением перспективных технологий, к которым относим технологии с закладкой и технологии освоения месторождений подземными горно-обогачительными комплексами [1; 2; 4; 6; 7].

Одна из существенных причин уменьшения минерально-сырьевой базы заключается в потерях руды при добыче, достигающих, в частности, в системах разработки с открытым выработанным пространством с учетом погашения запасов в целиках 20 % и более. Переход горных работ на глубокие горизонты сопровождается повышением горного давления, что обуславливает увеличение размеров целиков и, как следствие, потерь руды.

Применение технологий с закладкой выработанного пространства позволяет осуществлять сплошную выемку. Однако закладочные работы значительно удорожают добычу руды, что является ключевым сдерживающим фактором масштабного внедрения технологий.

Стоимость закладки определяется затратами на цемент — основное вяжущее вещество — и на закладочные материалы — заполнители. В связи с увеличением объемов промышленного и гражданского строительства цена цемента повышается, возрастают

затраты на закладку. Выход — снижать расход цемента, применять дополнительные вяжущие. Другая возможность снижения стоимости закладки заключается в применении дешевых заполнителей, которыми, как правило, служат песчано-гравийные смеси, добываемые в карьерах, расположенных достаточно далеко от рудников.

Методы решения. В последние десятилетия ученые обратили внимание на использование в качестве заполнителей лежалых или текущих хвостов обогащения [11; 12].

Особенность современных хвостов заключается в наличии в гранулометрическом составе до 90 % частиц крупностью 43...74 мкм, что обуславливает трудности их использования без специальной подготовки.

Известно, что содержание в заполнителе свыше 5 % частиц, класс крупности которых (–) 0,043 мм, снижает прочность закладочного массива и эффективность фильтрации воды. Наличие в составе хвостов большого количества тонкоизмельченных частиц требует поиска нетрадиционных закладочных смесей.

Специалистами предложено *гранулировать предварительно обезвоженные хвосты* и заполнять ими выработанные пространства камер. Текущие хвосты после полного обезвоживания пропускают через механические устройства — грануляторы с получением гранул диаметром 10...30 мм.

Применение хвостов в гранулированном состоянии дополнительно обосновывается возможностью доизвлечения металлов из закладочного массива методом подземного выщелачивания. Гранулированная закладка может подаваться в выработанное

пространство в виде гидравлической или твердеющей смеси в зависимости от напряженно-деформированного состояния горного массива.

Гранулирование хвостов – процесс относительно дорогой, что является недостатком, однако имеет практический интерес. Положительными качествами гранулированных хвостов являются высокая эффективность гидротранспортирования к месту закладочных работ и фильтрационная способность отдавать воду.

Развитие в теории и практике закладочных работ получают *пастовые и пастообразные* закладочные смеси [8], основанные на использовании тиксотропных свойств. Они находят широкое применение на рудниках Канады, ЮАР, США [11].

Пастовые смеси образуются непосредственно из текущих хвостов при наличии в них частиц класса крупности (–) 0,042 мм не менее 30 %. В процессе смешивания обезвоженных хвостов в цементном молоке образуется однородная по структуре густая смесь – паста-гель, способная к быстрому и качественному затвердеванию. Однако гель обладает слабыми реологическими свойствами, затрудняющими её гидротранспортирование. С целью повышения эффективности гидротранспорта гель при помощи устройств – взвихривателей переводят в состояние золя [9]. В результате механического воздействия связи между частицами в структуре становятся исчезающе малыми, происходит разжижение смеси. На рис. 1 приведена одна из возможных конструкций взвихривателя. Особенность гидротранспортирования пастовой закладочной смеси состоит в том, что для поддержания состояния золя необходимы постоянные механические воздействия на нее. После выхода смеси из трубопровода она снова переходит из золя в гель, т.е. проявляются тиксотропные свойства.

Приготовление пастовых смесей осуществляют в закладочных комплексах, которые включают гидроциклоны для обезвоживания хвостов; емкости для цемента и обезвоженных хвостов; циклоны для

получения цементного молока; смесители для перевода смеси цементного молока с обезвоженными хвостами в состояние геля; смеситель активатор-взвихриватель, переводящий гель в состояние золя, при этом в смесь добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ) для усиления эффекта разжижения, повышения гидрофильности смеси; трубопроводную сеть для подачи (отвода избыточной) воды.

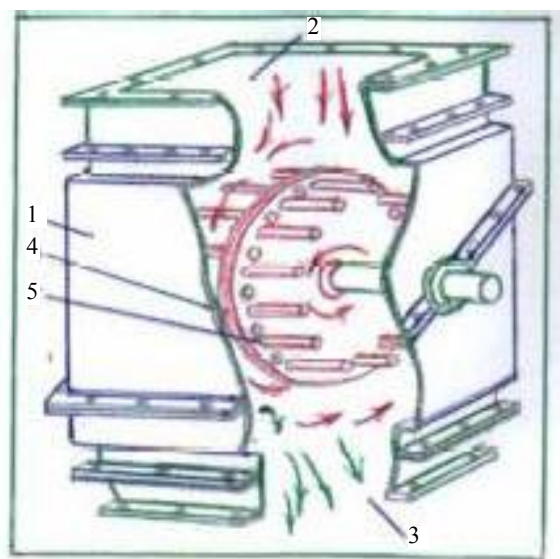


Рис. 1. Взвихриватель: 1 – корпус; 2 – вход закладочной смеси; 3 – выход смеси; 4 – ротор; 5 – штифты

Fig. 1. Swirler: 1 – body; 2 – input of filling mixture; 3 – output of mixture; 4 – rotor; 5 – pins

Новая технология. Развитием технологии разработки месторождений с закладкой является технология с применением подземных горно-обоганительных комплексов [10], основанная на запатентованном автором способе разработки рудных месторождений. В рассматриваемой технологии технологическую часть обоганительной фабрики (подземный обоганительный комплекс) размещают в подземном пространстве вблизи ведения горных работ на горизонте, соответствующем оптимальным затратам на добычу и переработку руды (рис. 2).

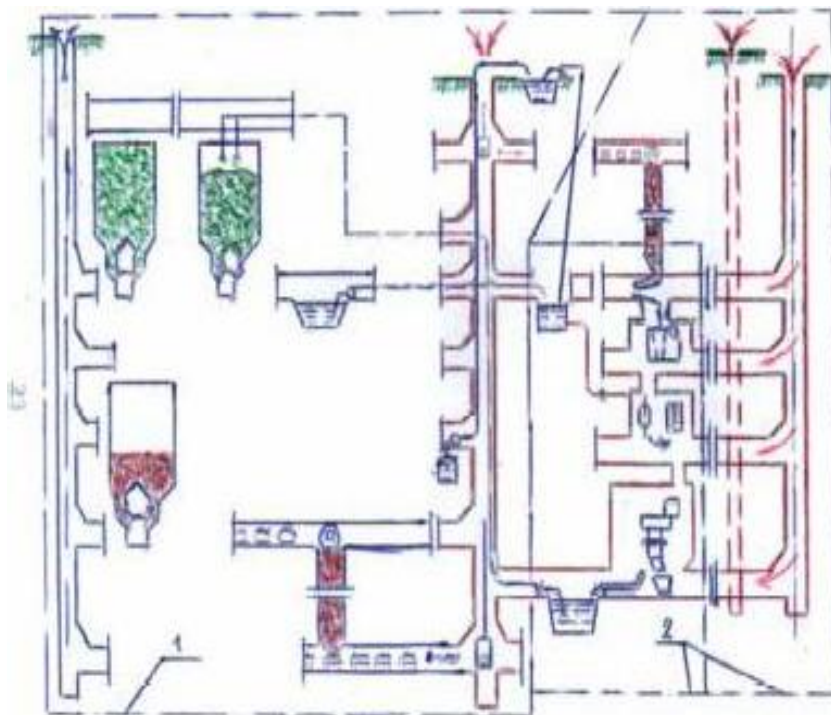


Рис. 2. Принципиальная схема подземного горно-обогатительного комплекса:
1, 2 – условные границы рудника и обогатительного комплекса

Fig. 2. Schematic diagram of the underground mining and processing complex:
1, 2 – conventional boundaries of the mine and processing complex

Технология характеризуется следующими достоинствами, позволяющими считать её перспективной:

1) связанные с удалением с земной поверхности хвостохранилищ:

– снижение загрязнения окружающей среды;

– исключение затрат на строительство и эксплуатацию хвостохранилищ;

– исключение затрат на монтаж и эксплуатацию пульпопроводов перекачки хвостов;

– исключение потенциальной опасности для населенных пунктов в гористой местности в экстремальных условиях (ливневые дожди, селевые потоки, землетрясения и т.д.);

– возврат земель в сельхозоборот;

2) связанные с размещением обогатительного комплекса в подземном пространстве:

– исключение подъема руды и ее транспортирования по поверхности. Руда

на переработку доставляется до горизонта, на котором размещен обогатительный комплекс. На поверхность выдается только концентрат;

– использование хвостов для закладки выработанных пространств;

– исключение затрат для строительства автодорог и транспортирование руды до обогатительной фабрики;

– исключение смерзания руды в транспортных средствах в холодный период;

– комплексное освоение подземного пространства;

– исключение обогрева обогатительного комплекса в холодное время;

– использование глубинного тепла недр для формирования микроклимата обогатительного комплекса.

Технология разработки рудных месторождений с применением подземных горно-обогатительных комплексов имеет примеры практического применения в отечественной горнорудной практике. Группой

специалистов разработана стратегия освоения глубокозалегающих железорудных месторождений на примере отработки запасов Естюнинского месторождения ниже гор 240 м с применением подземных горно-обогатительных комплексов [10].

Выводы. 1. Предлагаемые технологии наиболее эффективны при разработке рудных запасов горизонтов, расположенных на глубине свыше 1000...1500 м.

2. Комплексное освоение недр, рациональное использование минеральных ресурсов, экономия средств на строительство и эксплуатацию хвостохранилищ, снижение техногенной нагрузки на окружающую среду достигается с помощью применения технологий с закладкой на базе хвостов обогащения и подземных горно-обогатительных комплексов.

Список литературы

1. Еременко В. А., Татарников Б. Б. Технологическая схема перехода от системы разработки с обрушением руды и вмещающих горных пород к системе разработки с твердеющей закладкой // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. С. 46–51.
2. Еременко А. А., Еременко В. А., Александров А. Н., Татарников Б. Б. Опыт отработки камеры с закладкой выработанного пространства на Таштагольском месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 10. С. 21.
3. Каплунов Д. Р. Актуальные проблемы подземной разработки рудных месторождений // Горный журнал. 1995. № 1. С. 46–49.
4. Каплунов Д. Р., Лейзерович С. Г., Томаев В. К. Энергопроизводство при подземных закладочных работах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 62–67.
5. Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В., Радченко Д. Н. Перспективы развития технологии закладки // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 12. С. 5–11.
6. Лейзерович С. Г., Вислогузова С. А. Технология закладочных работ и водообеспечение горно-обогатительного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 8.
7. Лобанов С. Ю., Шумихина А. Ю. О влиянии свойств закладки на несущую способность междукамерных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 4. С. 24–27.
8. Ломоносов Г. Г., Полоник П. И., Абдаллах Х. Совершенствование технологии очистных работ на основе применения пастообразных закладочных материалов // Горный журнал. 2000. № 2. С. 21–27.
9. Разработка и внедрение технологии закладочных работ на основе тиксотропных смесей / И. Ш. Коган // Обзорная информация. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации. 1982. Вып. 2. 63 с.
10. Соколов И. В., Гобов Н. В., Антипин Ю. Г., Смирнов А. А., Никитин И. В., Солoméин Ю. М. Систематизация и методика оценки вариантов стратегии освоения железорудных месторождений с применением подземных обогатительных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 7. С. 101–108.
11. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. М.: Недра, 1984. 223 с.
12. Nantel J. Recent Developments and Trends in Backfill Practices in Canada, Minefill, April 14–16, 1998. Brisbane.

References

1. Eremenko V. A., Tatarnikov B. B. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2012, pp. 46–51.
2. Eremenko A. A., Eremenko V. A., Aleksandrov A. N., Tatarnikov B. B. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2013, no. 10, p. 21.
3. Kaplunov D. R. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 1995, no. 1, pp. 46–49.
4. Kaplunov D. R., Leizerovich S. G., Tomaev V. K. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2013, no. 4, pp. 62–67.
5. Kaplunov D. R., Rilnikova M. V., Radchenko D. N. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2011, no. 12, pp. 5–11.
6. Leizerovich S. G., Visloguzova S. A. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2012, no. 8.
7. Lobanov S. Yu., Shumikhina A. Yu. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2011, no. 4, pp. 24–27.
8. Lomonosov G. G., Polonik P. I., Abdullah H. *Gorny zhurnal* (Mining Journal), 2000, no. 2, pp. 21–27.
9. *Obzornaya informatsiya* (Background information); I. Sh. Kogan. Moscow: TsNIItsvet met.-economy and information, 1982, vol. 2, 63 p.
10. Sokolov I. V., Gobov N. V., Antipin Yu. G., Smirnov A. A., Nikitin I. V., Solomein Yu. M. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten* (Mining information-analytical bulletin), 2015, no. 7, pp. 101–108.
11. Khomyakov V. I. *Zarubezhnyy opyt zakladki na rudnikah* [International experience of ores' laying in the mines]. Moscow: Nedra, 1984. 223 p.

12. Nantel J. *Recent Developments and Trends in Backfill Practices in Canada* (Recent Developments and Trends in Backfill Practices in Canada), Minefill, April 14–16, 1998. Brisbane.

Коротко об авторе _____ **Briefly about the author**

Пирогов Геннадий Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: научное обоснование и создание новых технологий разработки рудных месторождений
pirogov.chita@mail.ru

Gennady Pirogov, doctor of technical sciences, professor, Underground Mining of Mineral Deposits department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: scientific ground and creation of new technologies for the development of ore deposits

Образец цитирования _____

Пирогов Г. Г. Перспективные технологии подземной добычи руд // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2017. Т. 23. № 2. С. 28–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2017-23-2-28-33

Pirogov G. G. Advanced technologies of underground ore mining // Transbaikal State University Journal, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 28–33.

Дата поступления статьи: 20.01.2017 г.
Дата опубликования статьи: 28.02.2017 г.

