

УДК 622.273.217.23

П. С. ГУЗАНОВ, А. Э. ЛЫТНЕВА (ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»)
А. Н. АНУШЕНКОВ, Е. П. ВОЛКОВ (Сибирский федеральный университет)

ЗАКЛАДОЧНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД В СИСТЕМАХ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА*



П. С. ГУЗАНОВ,
главный специалист Центра
геодинамической безопасности



А. Э. ЛЫТНЕВА,
ведущий инженер Центра
геодинамической безопасности



А. Н. АНУШЕНКОВ,
зав. кафедрой подземной
разработки месторождений,
проф., д-р техн. наук



Е. П. ВОЛКОВ,
старший преподаватель кафедры
подземной разработки
месторождений

Актуальным направлением развития и совершенствования технологии подземной добычи высокоценных руд является применение систем разработки с закладкой выработанных очистных пространств, обеспечивающих безопасность ведения горных работ, полноту выемки и качество полезного ископаемого (минимизацию потерь и разубоживания), защиту подрабатываемых территорий земной поверхности от проседаний и деформаций.

Опыт ряда российских и казахстанских горнодобывающих предприятий цветной металлургии показал, что применение систем разработки с закладкой выработанных пространств (например, вместо камерно-циликовых), несмотря на существенные затраты по созданию и содержанию закладочных комплексов, закупку вяжущих и добычу заполнителя, оказалось экономически выгодным и конкурентоспособным, в том числе для выемки ранее оставленных и списанных с баланса запасов междукammerных и других цилиндров.

* В работе принимали участие К. В. Смолов, заместитель главного инженера по закладочным работам и креплению Горно-геологического управления, О. Г. Норкин, заместитель главного инженера по закладочным работам рудника «Комсомольский» и О. А. Гец, инженер по горным работам II категории отдела совершенствования технологии горных работ Центра геодинамической безопасности ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель».

Представлены исследования по использованию полной фракции текущих хвостов (отходов) обогащения медно-никелевых руд Талнаха в качестве заполнителя при изготовлении твердеющей закладочной смеси типа ХЦ (хвосты+цемент) в водной среде, по результатам которых рекомендованы для опытно-промышленных испытаний и последующего освоения оптимальные компонентные составы смеси ХЦ, обеспечивающие после твердения необходимую прочность закладочного массива; новая технология изготовления твердеющей смеси ХЦ, включающая предварительное смешение компонентов с последующей гомогенизацией и активацией смеси путем гидроударно-кавитационного воздействия на нее в смесителе ГКС. Рекомендована также структурно-организационная схема комплекса производства закладочных работ, включающая гидротранспортирование исходных хвостов всей фракции по пульповоду от обогатительной фабрики до промплощадки рудников и узел изготовления твердеющей смеси ХЦ по новой технологии на промплощадке с подачей закладочной смеси в выработанные пространства.

Ключевые слова: высокоценные руды, хвосты обогащения руд, заполнитель, вяжущее, твердеющая закладочная смесь, гомогенизация и активация, кинетика твердения, прочность.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.17>

Традиционно для формирования закладочного (искусственно-го) массива в выработанных пространствах используют твердеющую закладочную смесь в водной среде из покупного цемента и специально добываемых заполнителей — переработанных песчано-гравийных смесей (ПГС), вмещающих (пустых) скальных пород горного производств, металлургических шлаков и т. п. До последнего времени на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» приготовление закладочных смесей осуществляли в основном путем совместного помола ангидрита, шлака и щебня в мельницах с добавлением цементного «молока» (рис. 1). К основным недостаткам этой технологии приготовления закладочных смесей относятся высокая себестоимость компонентов, их неточная дозировка и недостаточные ресурсы исходных материалов.

В настоящее время наиболее привлекательным и перспективным направлением развития технологии закладочных работ является использование в качестве заполнителя твердеющей смеси

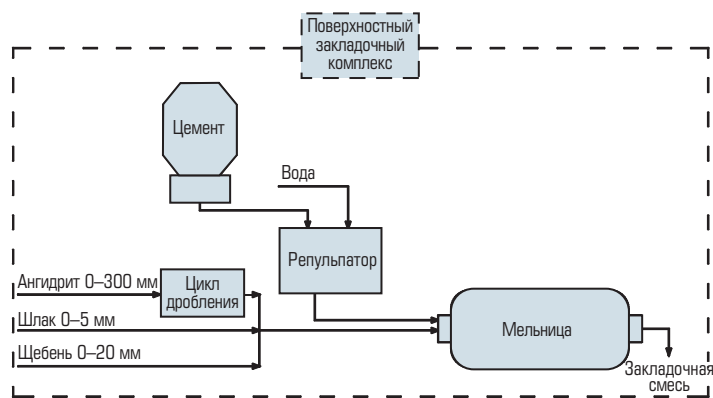


Рис. 1. Схема действующей на рудниках ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» технологии изготовления твердеющей закладочной смеси

Таблица 1. Исследованные составы твердеющей закладочной смеси типа ХЦ на основе хвостов Талнахской обогатительной фабрики и цемента в водной среде

Состав ХЦ	Расход составляющих в смеси		
	Хвосты (твердое), кг/м ³	Цемент, кг/м ³	Вода, л
1	1274	140	500
2	1246	170	500
3	1079	200	500
4	1183	240	500
5	1147	280	500
6	1112	320	500
7	1075	360	500
8	1039	400	500

отходов (хвостов) обогатительных фабрик, представляющих собой тонкоизмельченную руду, из которой извлечены полезные компоненты до степени, позволяющей относить эти хвосты к пустым породам. При этом наиболее эффективным является вариант использования хвостов текущей переработки руд в виде пульпы, не сбрасывая ее в хвосто- или шламохранилище и не наращивая таким образом экологически вредные скопления отходов обогатительного производства на земной поверхности [1, 2].

На рудниках Талнахского рудного узла исследования закладочных смесей на основе хвостов обогащения руд и цемента (ХЦ) проводили специалисты Центра геодинимической безопасности Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский никель» и Сибирского федерального университета по двум схемам их приготовления — с использованием лопастного смесителя и шаровой мельницы в качестве активного смесителя [3–5]. По результатам лабораторных исследований установлено, что при увеличении расхода цемента со 170 до 320 кг/м³ прочность образцов возрастает в 2 раза на седьмые сутки. При этом при подготовке твердеющих смесей в шаровой мельнице прочность образцов на 18 %

больше, чем в лопастном смесителе [5], что позволило рекомендовать для проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) закладочные составы ХЦ с различным расходом заполнителя и вяжущего (табл. 1). Составы ХЦ № 2, 5 и 6 рекомендованы к промышленному изготовлению по мельничной технологии.

Основными преимуществами шаровых мельниц является высокая производительность, простота конструкции и обслуживания. Вместе с тем, кроме высокой металло- и энергоемкости, мельницы имеют функциональные ограничения по эффективной степени помола измельчаемого материала. Как показали исследования, приготовление качественных закладочных смесей путем мокрого помола исходных компонентов в шаровых мельницах не позволяет использовать всю (полную) фракцию хвостов обогащения, так как не обеспечивается качественное смешение состава, что обуславливает потери свойств вяжущего и, как следствие, его перерасход. Полное использование фракции хвостов обогащения при производстве твердеющих смесей ХЦ может быть достигнуто путем их гомогенизации и активации методом гидроударно-кавитационного воздействия. Активация измельчением — инновационный способ интенсификации физико-химических процессов в материалах. В ее основе — способность смесей проявлять повышенные вяжущие свойства и текучесть под действием гидроударных нагрузок и кавитационных импульсов, гомогенизирующих компоненты смеси и обновляющих химически взаимодействующие поверхности их частиц.

Для полного использования технологии закладки горных выработок всех фракций хвостов обогащения руд создан гидроударно-кавитационный смеситель (ГКС), обеспечивающий воздействие на материалы закладочной смеси в процессе ее приготовления [6]. ГКС применяют для обработки систем «жидкость—жидкость», «жидкость—твердое» и «газ—жидкость» за счет следующих воздействий:

- механического (на частицы обрабатываемой среды), заключающегося в ударных, срезающих и истирающих нагрузках при контактах с рабочими парами «статор—ротор»;
- гидродинамического, выражающегося в больших сдвиговых напряжениях в жидкости, пульсациях давления и скоростях потоков в жидкости;
- гидроакустического (на жидкость), осуществляемого за счет мелкомасштабных пульсаций давления, интенсивной кавитации, ударных волн и нелинейных акустических эффектов.

Таким образом, ГКС осуществляет преобразование подведенной энергии низкой концентрации в энергию высокой локальной концентрации в неустойчивых точках структуры вещества. Пространственная и временная концентрация энергии позволяет получить большую мощность импульсного энергетического воздействия, совершить энергетическую «накачку», высвободить энергию вещества на уровне кристаллической решетки и инициировать многочисленные цепные самопроизвольные энергетические процессы.

Предварительно смешанные компоненты закладочной смеси подают через патрубок в ГКС, где лопастями они разгоняются в направлении щелей ротора. В момент перекрытия щелей ротора

перегородками щелей статора скорость движения потока смеси резко падает, происходит гидравлический удар, сжимающие усилия через среду передаются смеси, которая испытывает деформацию сжатия. В момент совмещения щелей ротора и статора нагрузка на смесь снимается, и она испытывает деформацию растяжения. Смесь при выходе из щелей ротора в щели статора попадает в поле кавитационных импульсов, образованных расширением каналов потока статора и колебаниями резонаторов в рабочей камере. Под воздействием схлопывающихся пузырьков происходит дополнительное смешивание от генерируемых знакопеременных нагрузок в локальных областях кавитационного поля. Ряд пар «статор—ротор» при последовательном прохождении обрабатываемой смеси через них обеспечивает ее высокую гомогенизацию и активацию при полном использовании всей фракции хвостов обогащения.

В лабораторных исследованиях образцы составов закладочных смесей ХЦ (табл. 2) после предварительного смешения в смесителе подавали в ГКС (рис. 2) и после обработки в нем определяли прочность образцов.

По результатам лабораторных испытаний установлено, что образцы закладочных смесей ХЦ, изготовленных с применением ГКС на основе полной фракции хвостов обогащения, на 30 % прочнее, чем изготовленных мельничным способом с предварительным отсевом фракции –20 мкм, а реологические свойства и кинетика твердения закладочных смесей ХЦ отвечают условиям их транспортирования в выработанное пространство и требованиям безопасности ведения горных работ.

Опытно-промышленные испытания и освоение новой технологии производства закладочных работ на основе твердеющих смесей ХЦ намечено проводить на шахте «Комсомольская» одноименного рудника. При этом, как показывает опыт других горно-рудных предприятий, наиболее целесообразным является гидротранспортирование текущих хвостов обогащения по пульповоду с обогатительной фабрики на промплощадку рудника с созданием там комплекса по изготовлению и подаче твердеющей смеси ХЦ в выработанные пространства.

Библиографический список

1. Анушенков А. Н. Разработка комплексов приготовления и транспорта твердеющих смесей для закладки горных выработок. — Красноярск : ГУЦМиЗ, 2006 — 172 с.
2. Анушенков А. Н., Фрейдин А. М., Шалауров В. А. Приготовление литой твердеющей закладки из отходов производства // ФТПРПИ. 1998. Т. 1. С.104–109.
3. Волков Е. П., Вохмин С. А., Анушенков А. Н., Голованов А. И. Разработка рецептур и механизма активации закладочных смесей для подземной разработки полезных ископаемых с использованием хвостов обогащения // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2014. Т. 7. № 3. С. 295–303.
4. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Голованов А. И. Исследования по подбору и составу закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ с применением

Таблица 2. Результаты лабораторных исследований образцов твердеющих смесей ХЦ, изготовленных с применением ГКС

№ образца	Состав твердеющей смеси ХЦ			Прочность образцов, МПа, после твердения		
	Хвосты ТОФ, кг/м ³	Цемент, кг/м ³	Вода, л	7 сут.	28 сут.	90 сут.
1	1246	170	500	0,5	1,2	2,0
2	1183	240	500	0,7	1,6	2,6
3	1112	320	500	1,6	2,9	4,3
4	1039	400	500	2,9	4,3	6,1

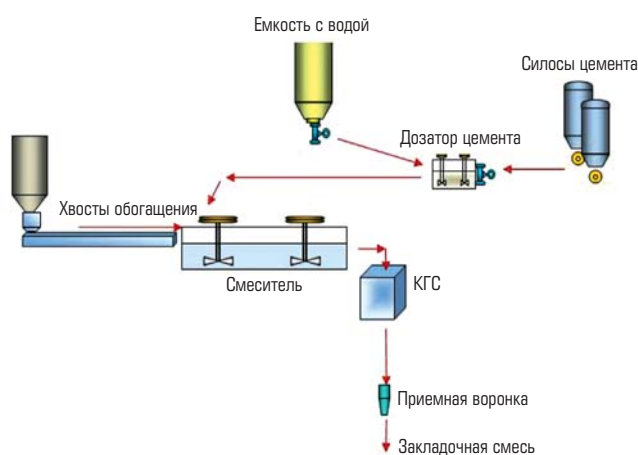


Рис. 2. Экспериментальная схема технологии изготовления закладочной смеси ХЦ с применением гидроударно-кавитационного смесителя и полным использованием фракций исходных хвостов обогащения

хвостов обогащения ТОФ // Цветные металлы-2013 : сб. науч. статей V Междунар. конгресса. — Красноярск : Версо, 2013. С. 148–150.

5. Ионкина Е. В., Голованов А. И., Волков Е. П. Исследования составов ХЦ с использованием шаровой мельницы // Молодежь и наука : электронный сб. материалов IX Всерос. науч.-техн. конф. / отв. ред. О. А. Краев / Сибирский. федеральный университет. URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-004.pdf> (дата обращения 05.05.2015).
6. Пат. 115690 РФ, МПК В06В 1/20. Многоступенчатое гидроударно-кавитационное устройство / А. Н. Анушенков, И. В. Мещеряков ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 13. [ГЖ](#)

Гузнов Павел Сергеевич,
тел.: +7 (3919) 38-59-97
Лытнева Агелина Эдуардовна,
тел.: +7 (3919) 24-81-34
Анушенков Александр Николаевич,
Волков Евгений Павлович:
тел.: +7 (391) 206-36-14

Title	Backfill based on ore mill tailings in underground mines in the Norilsk Industrial Area
DOI:	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.06.17
Author 1	Name & Surname: Guzanov P. S.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Principal Expert, Center for Geodynamic Safety
	Contacts: phone: +7 (3919) 38-59-97
Author 2	Name & Surname: Lytneva A. E.
	Company: Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL” (Norilsk, Russia)
	Work Position: Principal Engineer, Center for Geodynamic Safety
Author 3	Name & Surname: Anushenkov A. N.
	Company: Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
	Work Position: Head of Underground Mineral Mining Department
	Scientific Degree: Professor, Doctor of Engineering Sciences
Author 4	Name & Surname: Volkov E. P.
	Company: Siberian Federal University (Krasnoyarsk, Russia)
	Work Position: Senior Teacher of Underground Mineral Mining Department
	Scientific Degree: Professor, Candidate of Engineering Sciences
Abstract	The authors are grateful for the contribution to K. V. Smolov, Deputy Principal Engineer for Backfilling and Support, Mining and Geology Management, O. G. Norkin, Deputy Principal Engineer for Backfilling, Komsomolsky Mine, and O. A. Gets, Category II Mine Engineer, Geotechnology Improvement Department, Center for Geodynamic Safety, Polar Division of PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”.
	Highlighting advantages offered by geotechnologies of high-grade ore mining with backfilling in terms of safety, minimized loss and dilution and undermined ground protection from subsidence and deformation, the authors emphasize issues connected with the conventional preparation and composition of solidifying backfills. The article describes the research into using current mill tailings of the Talnakh copper-nickel ore as a filler in preparation of solidifying backfill manufactured from mill tailings and cement (MTC) in water environment. Based on the research findings, it has been recommended to carry out pilot trial of optimal MTC mixtures ensuring the required strength of the filling mass after curing, and of a new MTC mixture manufacture technology including premixing of backfill components, homogenization and, then, activation of the mixture by hydraulic impact and cavitation in a HIC mixer. Furthermore, the authors advise on structural arrangement of a backfilling plant, including hydrotransport of total mill tailings in a slurry pipeline between processing plant and production infrastructure site, and an area of MTC manufacture using the new technology, followed with the backfill feed to underground mined-out voids.
Keywords	High-grade ore, mill tailings, filler, binder, solidifying mixture, homogenization and activation, curing kinetics, strength.
References	1. Anushenkov A. N. <i>Razrabotka kompleksov prigotovleniya i transporta tverdeyushchikh smesey dlya zakladki gornyykh vyrabotok</i> (Development of complexes of production and transportation of hadening mixtures for mine working stowing). Krasnoyarsk : State University of Non-ferrous Metals and Gold, 2006. 172 p.
	2. Anushenkov A. N., Freydin A. M., Shalaurov V. A. Prigotovlenie litoy tverdeyushchey zakladki iz otkhodov proizvodstva (Production of cast solidified stowing from production wastes). <i>Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science</i> . 1998. Vol. 1. pp. 104–109.
	3. Volkov E. P., Vokhmin S. A., Anushenkov A. N., Golovanov A. I. Razrabotka retseptur i mekhanizma aktivatsii zakladochnykh smesey dlya podzemnoy razrabotki poleznykh iskopaemykh s ispolzovaniem khvostov obogashcheniya (Development of receipts and mechanism of activation of stowing mixtures for underground mining of minerals, using concentration tails). <i>Zhurnal Sibirskogo federalnogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Journal of Siberian Federal University. Series: Technics and Technologies</i> . 2014. Vol. 7, No. 3. pp. 295–303.
	4. Volkov E. P., Anushenkov A. N., Golovanov A. I. Issledovaniya po podboru i sostavu zakladochnykh smesey marok KhTs, AKhTs s primeneniem khvostov obogashcheniya Talnakhskoy Oboatitelnoy Fabriki (Researches for the choice and composition of stowing mixtures KhTs (XL), AKhTs (AXL), using concentration tails of Talnakh Concentration Plant). <i>Tsvetnye metally-2013 : sbornik nauchnykh statey V mezhdunarodnogo kongressa (Non-ferrous metals-2013 : collection of scientific papers of the V international Congress)</i> . Krasnoyarsk : Verso, 2013. pp. 148–150.
	5. Ionkina E. V., Golovanov A. I., Volkov E. P. Issledovaniya sostavov KhTs s ispolzovaniem sharovoy melnitsy (Researches of KhTs (XL) compositions using ball mill). <i>Molodezh i nauka : elektronnyy sbornik materialov IX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii</i> (Young people and science: electronic collection of materials of the IX All-Russian scientific-technical conference). Responsible editor: O. A. Kraev. Siberian Federal University. Available at: http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-004.pdf (accessed: May 05, 2015).
	6. Anushenkov A. N., Meshcheryakov I. V. <i>Mnogostupenchatoe gidroudarno-kavitatsionnoe ustroystvo</i> (Multi-stage hydropercussion cavitation device). Patent RF, No. 115690, IPC B06B 1/20. Published: May 10, 2012. Byulletin No. 13.