

Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник, С.Н. Шапошник

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА ПРОЕКТИРУЕМОМ НОВО-ЛЕНИНОГОРСКОМ РУДНИКЕ

Приведена геологическая характеристика месторождения и запасы руд, принятых для проектирования. Приведена схема вскрытия и технология выемки запасов руд Ново-Лениногорского месторождения подземным способом. Определен годовой объем закладочных работ закладочного комплекса Ново-Лениногорского рудника. Принята технология производства закладочной смеси мельничным способом на основе цементно-шлакового вяжущего с использованием в качестве заполнителя смеси дробленной горной массы и отходов горно-металлургического производства с самотечной доставкой закладочной смеси в выработанное пространство трубопроводным транспортом. Определена рецептура закладочных смесей. Выполнен расчет необходимой нормативной прочности закладочного массива в горизонтальном и вертикальном обнажениях для поэтажно-камерной системы разработки и расположением длинной стороны вкрест простирания рудного тела, а также с расположением камер длинной стороной по простиранию рудного тела, системы горизонтальных слоев с закладкой и отработкой, как в восходящем, так и в нисходящем порядке. Приведены прочностные характеристики закладочных массивов при различной рецептуре закладочных смесей. Представлено основное технологическое оборудование для измельчения компонентов смеси. Проведен расчет параметров закладочного трубопровода. отмечено, что ультратонкое измельчение вяжущего позволяет значительно сократить удельный расход цемента и граншлаков при сохранении прочностных характеристик сформированных закладочных массивов.

Ключевые слова: закладочный комплекс, твердеющая закладочная смесь, прочность закладочного массива.

Ново-Лениногорское месторождение административно расположено на территории Восточно-Казахстанской области и находится в 15 км восточнее г. Риддер. К подземной разработке на баланс поставлены запасы полиметаллической руды по следующим залежам: Буровской, Баритовой и Богатой. Все залежи находятся в слепом залегании на глубинах от 700 до 1200 м от поверхности. Размеры рудных тел колеблются: по простиранию – от 95 до 450 м, по падению – от 40 до 375 м, при средней мощности от 2,9 до 44 м. Запасы месторождения по категории C_1+C_2 составляют более 40 млн т.

Для залежей характерна комбинированная морфология рудных тел, пологих в верхней части и крутопадающих секущих в нижней. Основные морфологические разновидности рудных тел – пластообразные пологозалегающие барит-полиметаллического состава, штокверковые и линзо-жилообразные крутопадающие полиметаллического состава.

Вмещающие породы на месторождении представлены порфиритами, андезито-базальтами, диабазами габбро-диабазами, дацитами, липаритами, липарито-дацитами и их брекчиями, вулканомиктовыми гравелитами и песчаниками, алевролитами, кварцитами.

Крепость и прочность пород и руд изменяется в широких пределах. Коэффициент крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова варьируется от 4 до 17, в среднем 7–12.

Рудовмещающие породы и руды, в основном, прочные, за исключением окварцованных алевролитов и кварцитов, которые обладают средней прочностью. Крепость пород и полиметаллических руд в водонасыщенном состоянии уменьшается в среднем на 20–40%, баритовых и барит-полиметаллических руд – на 60–70%.

Плотность пород в зависимости от степени минерализации рудными компонентами изменяется от 2,61 до 3,09 т/м³, руд – от 2,74 до 3,64 т/м³. Средняя плотность пород составляет 2,7 т/м³, руд – 2,93 т/м³.

По заключению ВНИМИ Ново-Ленинское месторождение следует отнести к угрожаемым по горным ударам с глубины 700 м, при этом склонным к горным ударам являются все рудосодержащие и вмещающие породы (кроме углисто-глинистых алевролитов).

Запасы Ново-Ленинское месторождения вскрываются тремя вертикальными стволами, схема вскрытия месторождения представлена на рисунке. Высота этажа принята равной 50 м.

Выемку запасов месторождения предусматривается осуществлять следующими вариантами систем разработки с закладкой:

- при угле падения $\alpha = 23^\circ$ и средней мощности 20 м, применяется система горизонтальных слоев с закладкой и отработкой, как в восходящем, так и в нисходящем порядке, удельный вес данной системы – 10%;

- при угле падения $\alpha = 76^\circ$ и средней мощности 10 м, применяется подэтажно-камерная система отработки с закладкой и расположением камер, длинной стороной по простиранию

рудного тела с отработкой как в восходящем так и в нисходящем порядке в зависимости от напряженного состояния массива, удельный вес системы – 25%;

- при угле падения $\alpha = 77^\circ$ и средней мощности порядка 109 м, используется подэтажно-камерная система разработки с закладкой и расположением длинной стороны вкрест простирания рудного тела с отработкой как в восходящем так и в нисходящем порядке, удельный вес данной системы – 65%.

Продукцией закладочного комплекса Ново-Ленинское рудника Риддерского ГОКа ТОО «Казцинк» является твердеющая закладочная смесь. Подача закладки в шахту осуществляется от бетонозакладочного комплекса (БЗК) расположенного вблизи ствола «Западный» по скважинам пробуренным с поверхности до горизонта плюс 300 м, и далее по закладочному восстающему перепускается на нижележащие горизонты. Твердеющая закладочная смесь готовится из портландцемента М400, молотого или тонкомолотого доменного граншлака, инертного материала и воды. Принята технология производства закладочной смеси мельничным способом на основе цементно-шлакового вяжущего с использованием в качестве заполнителя смеси дробленой горной массы и отходов горно-металлургического производства с самоотечной доставкой закладочной смеси в выработанное пространство трубопроводным транспортом. Для облегчения транспорта твердеющих смесей и увеличения дальности транспортирования в проекте предусмотрена каскадная схема передачи закладки от вертикального става до закладываемых участков.

Годовой объем закладочных работ закладочного комплекса Ново-Ленинское рудника определен по формуле [1]:

$$P_{\text{бзк}} = \frac{Q_{\text{год}}}{\gamma_p} k,$$

где $Q_{\text{год}}$ – годовой объем добычи руды, $Q_{\text{год}} = 2200$ тыс. т; γ_p – истинная плотность руды, $\gamma_p = 3,0$ т/м³; k – поправочный коэффициент, учитывающий усадку закладки и ее потери, $k = 1,05$.

Нормы расхода материалов на 1 м³ закладываемых пустот необходимо определять на основе рекомендуемых составов с учетом усадки закладочной смеси, уложенной в выработанное пространство – 5–10% (в зависимости от вида закладки). С учетом того, что принимается высокоплотная закладочная смесь принимаем минимальное рекомендуемое значение $k = 1,05$.

При потребности в твердеющей закладке в объеме 770 тыс. м³ в год, техническая производительность закладочного комплекса с учетом режима работы основного технологического оборудования [2] должна составлять 150 м³/ч.

Приняты два состава закладочных смесей:

- состав № 1 (при ультратонком помоле граншлака до 80% класса минус 20 мкм (0,02 мм) (с доизмельчением в мельнице ультратонкого помола), кг/м³: портландцемент М400 – 10; тонкомолотый доменный граншлак – 190; заполнитель – 1375, в т.ч. измельченная порода – 600; вода – 420;

- состав № 2 (при тонине помола граншлака до 70% класса минус 80 мкм (0,08 мм) (измельчение только в мельнице МШЦ), кг/м³: портландцемент М400 – 50; молотый доменный граншлак – 250; заполнитель – 1200, в том числе измельченная порода – 600; вода – 450.

Таблица 1

Прочностные характеристики закладочного массива

Возраст закладки, сутки	28	60	90	180	360
Прочность закладочного массива $R_{\text{кр}}$, МПа	2,0	2,7	3,5	3,8	4,0

Приведенные составы обеспечивают достижение нормативной прочности закладки на уровне ~2,0 МПа; ~3,5 МПа (табл. 1).

На основании проведенных расчетов и в соответствии с ГОСТ 8732-78, 8731-74 принимаем закладочный трубопровод со следующими характеристиками: внутренний диаметр трубопровода – 199 мм, наружный диаметр трубопровода – 219 мм, толщина стенки – 10 мм, масса 1 м трубы – 51,54 кг. Дальность транспортирования смеси по трубопроводу по горизонтальному участку составит 3731 м при условной высоте вертикального става 595 м. При этом относительная дальность транспортирования равна 6,2.

По опыту работы подземных рудников Риддерского ГОКа ТОО «Казцинк», в частности Риддер-Сокольного рудника, известно, в настоящее время отсутствуют решения по транспортированию закладочной смеси в отдаленные блоки при отработке рудных запасов на флангах месторождений за пределами самотечно-пневматического режима транспортирования смеси [3]. В результате проведенных лабораторных исследований и опытно-промышленных исследований на БЗК Риддер-Сокольного рудника установлено, что использование в составе закладочной смеси (цемент – 140 кг/м³; текущие хвосты – 1288 кг/м³; вода – 476 кг/м³) добавок пластификатора типа Pozzolith дает возможность снизить расход дорогостоящего цемента при приготовлении закладочной смеси на 12–15 кг/м³ при условии сохранения прочностных характеристик закладочного массива, повысить подвижность смеси, определенную

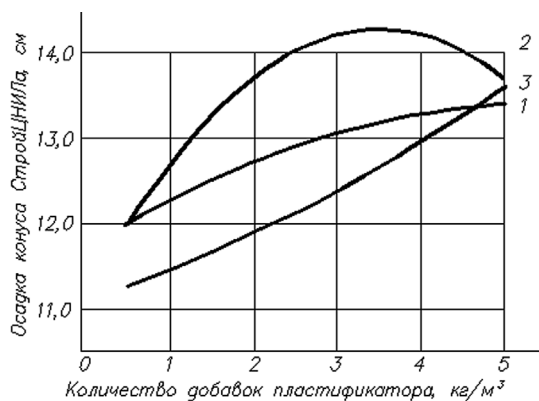


Рис. 1. Изменение подвижности закладочной смеси с использованием добавок пластификатора при следующем составе смеси: цемент – 140 кг/м³; хвосты – 1288 кг/м³; вода – 476 кг/м³, отношение Т : Ж в текущих хвостах – 73 : 27; 1, 2, 3 – с использованием добавок пластификатора, соответственно, Pozzolith MR 25, Pozzolith MR 55 и Pozzolith 100 XR

по осадке конуса СтройЦНИЛа по ГОСТ 5802 [4], в лабораторных условиях на 20% при подвижности смеси без добавок пластификатора 10,7 см (рис. 1), увеличить среднюю скорость истечения смеси с добавкой пластификатора Pozzolith MR 55 из емкости (при дозировке добавки 1,0 кг/м³) примерно на 50% при времени истечения двух литров смеси без добавок пластификатора 5,7 с (рис. 2) по сравнению с применяемым компонентным составом закладочной смеси, что даст возможность вовлечь в отработку

участки рудных залежей на флангах месторождения.

Исследования на растворе электронном микроскопе JSM-6390LV (Япония) с энергодисперсионной приставкой EDS фирмы Oxford, позволили определить структуру и вещественный состав образцов-кубов закладочного массива на Риддер-Сокольном руднике (рис. 3).

В результате проведенных лабораторных исследований установлено, что весовая масса химических элементов Si и O в составе закладочной смеси наи-

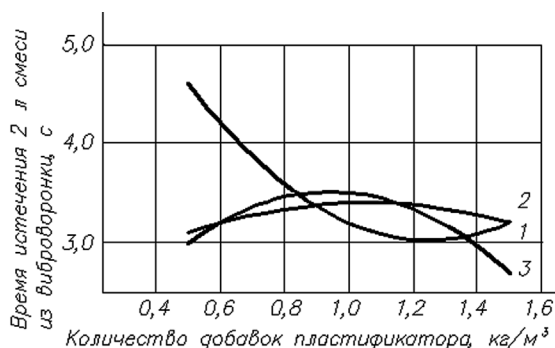


Рис. 2. Изменение времени истечения 2 л смеси из виброворонки на Риддер-Сокольном руднике: 1, 2, 3 – с использованием добавок пластификатора, соответственно, Pozzolith MR 25, Pozzolith MR 55 и Pozzolith 100 XR

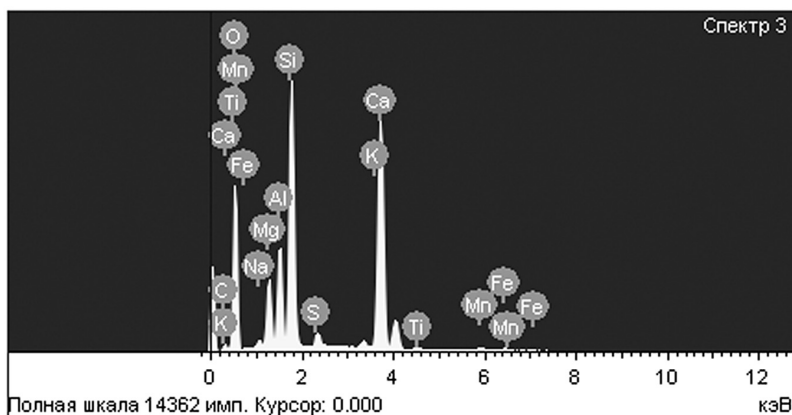


Рис. 3. Диаграмма вещественного состава образцов-кубов закладочного массива, сформированного из закладочной смеси с добавкой пластификатора Pozzolith MR 55 в объеме 1,0 кг/м³: 51,66 O; 4,28 Mg; 5,48 Al; 15,35 Si; 0,99 S; 0,47 K; 19,95 Ca; 0,5 Na; 0,33 Ti; 0,65 Mn; 2,18 Fe

большая при содержании добавок пластификатора в пределах 0,5–1,0 кг/м³, что обеспечивает пониженную скорость твердения закладочного массива в начальные сроки при достаточно интенсивном наборе прочности в более поздние сроки твердения, а введение в состав закладки добавок пластификатора обеспечивается текучесть закладочной смеси при относительно малом количестве воды.

Результаты проведенных исследований по выявлению рациональных режимов транспортирования закладочной смеси пределами самотечно-пневматического режима смеси рекомендуется использовать также и на Ново-Лениногорском руднике, так как вероятнее всего в качестве вяжущего и инертного заполнителя будут применяться одни и те же компоненты.

Оценка устойчивости закладочного массива производится в соответствии с требованиями нормативной прочности твердеющей закладки: при обнажении в боку очистной выработки – в зависимости от высоты обнажения, при обнажении в кровле очистной выработки – в зависимости от ширины пролета выработки.

Нормативную прочность верхнего упрочненного слоя закладочного массива при системе горизонтальных слоев с восходящей выемкой определяем из условий работы на ней самоходного оборудования. Для ПДМ Cat R1700 (грузоподъемность 12,5 т; полная эксплуатационная масса 52,5 т) прочность верхнего упрочненного слоя закладочного массива на глубину 1,0 м принимаем 1,5 МПа в 28-суточном возрасте. При высоте вертикальных обнажений до 7 м (по проекту 3–4 м) нормативную прочность закладки в обнажении рекомендуется применять 0,7 МПа в 28-суточном возрасте [5].

При нисходящей слоевой выемке руды слоевые заходки следует закладывать твердеющими смесями с формированием несущего слоя и слоя пониженной прочности. Нижний слой из закладки повышенной прочности является несущим, а верхняя часть закладки является слоем доливки и имеет пониженную прочность.

Нормативную прочность в кровле выработки по условию устойчивости горизонтальных обнажений на основании [5] принимаем 3,5 МПа в 90-суточном возрасте.

Таблица 2

Значения нормативной прочности закладочного массива по условию устойчивости вертикальных обнажений $\sigma_{сж}^в$ в зависимости от высоты вертикального обнажения закладочного массива h_3

$h_3, \text{ м}$	$\sigma_{сж}^в, \text{ МПа}$
3,0	1,44
4,0	1,16
5,0	1,0

Нормативная прочность закладочного массива по условию устойчивости вертикальных обнажений определена по методике ВНИМИ [5] и ее значения представлены в табл. 2.

Окончательная нормативная прочность для производства закладочных работ должна быть наибольшей из всех расчетных значений и на основании проведенных расчетов и нормативных документов принимается равной: горизонтального обнажения – 3,5 МПа, вертикального обнажения – 1,16 МПа. При нисходящем порядке отработки, а также при наличии запасов руды на нижележащем этаже, в днищах камер предусматривается создание несущего слоя толщиной до 10 м.

Для камерных систем разработки, где очистные работы ведут без захода людей в выработанное пространство по рекомендациям ВНИМИ [6] значения нормативной прочности закладочного массива в несущем слое по условию устойчивости горизонтальных обнажений приведены в табл. 3.

При подэтажно-камерной системе разработки при $h_3 = 16$ м значение нормативной прочности по условию устойчивости вертикальных обнажений $\sigma_{сж}^в$ должно составлять 1,76 МПа.

Измельчение дробленной горной породы, а также дезинтеграция шламистых агрегатов мелкого заполнителя, интенсивное перемешивание всех компонентов закладки и приготовление гомогенной смеси высокой плотности производится в мельнице МШЦ 3600×5500, измельчение граншлака – в мельнице МШЦ 2700×3600.

Мельница Vertimill VTM500-WB компании Metso служит для ультратонкого измельчения пульпы молотого граншлака до тонины 80% содержания класса минус 20 мкм ($S_{уд.} = 5000 \text{ см}^2/\text{г}$). После мельницы ультратонкого измельчения граншлаковая пульпа самотеком поступает в шаровую мельницу МШЦ 3600×5500, где смешивается с остальными компонентами закладочной смеси. Ультратонкое измельчение доменного граншлака позволяет сократить удельный расход портландцемента М400 на 40 кг/м³ (при его стоимости на сегодняшний день 150 долл. США/т) и граншлака на 60 кг/м³ при сохранении прочностных характеристик сформированных закладочных массивов.

Таким образом, применение в технологическом процессе приготовления закладочной смеси мельницы ультратонкого помола, например произ-

Таблица 3

Нормативная прочность закладочного массива в несущем слое $\sigma_n^r, \text{ МПа}$

Толщина несущего слоя $h_n, \text{ м}$	Максимальный пролет подработки несущего слоя при подэтажно-камерной системе разработки $l_3, \text{ м}$			
	при $m_{ср} = 10 \text{ м}$		при $m_{ср} = 109 \text{ м}$	
	15	25	12	20
10	2,25	6,25	1,44	4,0

водства фирмы «Metso minerals», даст возможность существенно снизить расход цемента на закладочных комплексах, что положительно скажется на экономических показателях работы горнодобывающего предприятия.

На сегодняшний день актуальной задачей является создание высококачественных закладочных материалов нового поколения на основе управления процессами структурообразования на микро- и наноуровне. Прикладной интерес к наносистемам обусловлен возможностью создания рациональных структур закладочных композитов за счет значительной их модификации при переходе на наноуровень, сопровождающейся как принципиальным изменением свойств известных материалов, так и созданием неоконструктов [7, 8].

Таким образом, эффективное управление структурными изменениями в цементных системах позволит оптимизировать расходы сырьевых компонентов закладочных смесей, что даст возможность значительно снизить издержки при производстве закладочных работ на горнодобывающих предприятиях, утилизировать отходы горнообогатительного и металлургического производства в закладку и обеспечить безопасные условия ведения горных работ.

Оптимальные параметры работы основного технологического оборудования и режимы процесса приготовления закладочных смесей будут определены в процессе опытно-промышленных испытаний и освоения техники и технологии закладочных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки (методические рекомендации)*. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 4 декабря 2008 года, № 46.

2. *Нормы технологического проектирования флотационных фабрик для руд цветных металлов*. ВНТП 21-86.

3. Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.Н. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых. – Алматы: ТОО РПИК «Дауір», 2012. – 624 с.

4. *Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей*. – Апатиты: Кольский научный центр АН СССР, 1990.

5. *Нормы технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки*. ВНТП 37-86. – М.: Минцветмет СССР, 1986. – 212 с.

6. *Методические указания по определению нормативной прочности твердеющей закладки и оценке прочностных свойств искусственных массивов*. – М.: ВНИМИ, 1975. – 43 с.

7. Мурог В.Ю., Вайтехович П.Е. Влияние домолла цемента на прочность бетонных изделий // *Строительные материалы* 2004. – № 6 – С. 36–37.

8. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*, 2008. – № 5. – С. 30–32. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Крупник Леонид Андреевич – доктор технических наук, профессор,
e-mail: leonkr38@mail.ru,

Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева,
Шапошник Юрий Николаевич – доктор технических наук, профессор,
e-mail: shaposhnikyury@mail.ru, Институт горного дела СО РАН им. Н.Н. Чинакала,

Шапошник Сергей Николаевич – доктор технических наук, профессор,
e-mail: shaposhniksergey@mail.ru,

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева.

THE DEVELOPMENT OF BACKFILLING TECHNOLOGY IN TERMS OF NOVO-LENINOGORSKY MINE PLANNING

Krupnik L.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: leonkr38@mail.ru,
K.I. Satpaev Kazakh National Technical University, 050013, Almaty, Kazakhstan,
Shaposhnik Yu.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: shaposhnikyury@mail.ru,
N.A. Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia,
Shaposhnik S.N., Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: shaposhniksergey@mail.ru,
D. Serikbaev East-Kazakhstan State Technical University,
070004, Ust Kamenogorsk, Kazakhstan.

The article describes geology and ore reserves of Novo-Leninogorsky deposit as well as the opening scheme and ore winning technology. The annual output of backfill mixture preparation plant at Novo-Leninogorsky mine has been defined. The production technology of backfill mixture includes milling method, cement-slag binder, mixture of crushed rock and mining and metallurgical production waste as filling material, and backfill flow by gravity via pipelines. Backfill mixture formulation has been defined. The required standard strength of filling mass horizontally and vertically has been calculated for sublevel room-and-pillar mining, when the long side of rooms lies across the strike and along the strike of the ore body, and for ascending and descending horizontal slicing. The strength properties of filling mass according to different formulations of backfill mixtures have been presented. The grinding equipment has been described. The parameters of the backfill flow pipeline have been calculated. It has been shown that ultrafine grinding of binder allows significantly reducing the specific consumption of cement and granulated slags with retaining the strength properties of the formed filling masses.

Key words: backfill mixture preparation plant, solidifying backfill mixture, strength of filling mass.

REFERENCES

1. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii s podzemnym sposobom razrabotki (metodicheskie rekomendatsii). Soglasovany prikazom Komiteta po gosudarstvennomu kontrolyu za chrezvychaynymi situatsiyami i promyshlennoy bezopasnost'yu Respubliki Kazakhstan ot 4 dekabrya 2008 goda, no 46 (Technological design standards for underground mines (recommended practice). The order of the Committee on State Control of Emergency and Industrial Safety of the Republic of Kazakhstan dated December 4, 2008, no. 46).
2. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya flotatsionnykh fabrik dlya rud tsvetnykh metallov. VNTP 21-86 (Technological design standards for flotation plants for nonferrous metal ores. VNTP 21-86).
3. Bitimbaev M.Zh., Krupnik L.A., Shaposhnik Yu.N. Teoriya i praktika zakladochnykh rabot pri razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh (Theory and practice of backfilling in mineral mining), Almaty, TOO RPIK «Daur», 2012, 624 p.
4. Metodicheskie rekomendatsii po kontrolyu kachestva zakladochnykh smesey (Recommended practice on quality control of backfill mixture), Apatity, Kol'skiy nauchnyy tsentr AN SSSR, 1990.
5. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya rudnikov tsvetnoy metallurgii s podzemnym sposobom razrabotki. VNTP 37-86 (Technological design standards for nonferrous ore mining. VNTP 37-86), Moscow, Mintsvetmet SSSR, 1986, 212 p.
6. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu normativnoy prochnosti tverdeyushchey zakladki i otsenke prochnostnykh svoystv iskusstvennykh massivov (Instructive regulations on defining standard strength of solidifying backfill and evaluating strength properties of artificial masses), Moscow, VNIMI, 1975, 43 p.
7. Murog V.Yu., Vaytekhovich P.E. *Stroitel'nye materialy*. 2004, no 6, pp. 36–37.
8. Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka*, 2008, no 5, pp. 30–32.

