

УДК 504.55.054:622(470.6)

СНИЖЕНИЕ ДЕФИЦИТА ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ СМЕСЕЙ

Голик Владимир Иванович¹,
v.i.golik@mail.ru

Белодедов Андрей Алексеевич²,
a.a.belodedov@mail.ru

Логачев Александр Владимирович²,
log.a@bk.ru

Шурыгин Дмитрий Николаевич²,
shurygind@mail.ru

¹ Северо-Кавказский государственный технологический университет,
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

² Южно-Российский государственный политехнический университет,
Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Актуальность и цель исследования. Повышение качества металлических руд при разработке сложноструктурных месторождений подземным способом обеспечивается использованием технологий с закладкой пустот твердеющими смесями, но расширение области применения технологий разработки с закладкой пустот твердеющими смесями ограничивается дефицитом вяжущих цементов. Снижение дефицита вяжущих как средство улучшения качества добываемых руд путем вовлечения в производство минеральных отходов является актуальной задачей горной науки и целью настоящей статьи.

Методы. Методика исследования включает в себя анализ эффективности добычи руд за счет использования техногенных ресурсов при подземной разработке месторождений металлических руд, активацию компонентов твердеющих смесей в лабораторной шаровой мельнице дифференцированно для частей закладочного массива и интерпретацию полученных результатов.

Результаты. Обоснована возможность уменьшения дефицита товарных вяжущих путем изготовления твердеющих смесей на основе утилизируемых металлургических шлаков. Даны результаты исследований параметров активации гранулированного доменного шлака в шаровой мельнице. Установлена зависимость прочности бетонных смесей от продолжительности активации шлака. Рекомендована экономико-математическая модель для определения величины прибыли от утилизации хвостов металлургического производства горной отрасли с учетом потерь при добыче руд. Показано, что утилизация опасных при хранении минеральных отходов позволяет одновременно решать комплекс проблем горного производства.

Выводы. Повышение качества руд при добыче и расширение области применения ресурсосберегающих технологий разработки с закладкой пустот твердеющими смесями достигается использованием доступных и дешевых хвостов технологических процессов техногенных месторождений.

Ключевые слова:

Бетон, гранулированный шлак, мельница, активация, руда, массив, эффективность.

Введение

Показатели деятельности горнорудного предприятия зависят от качества добываемого сырья, а объективными критериями полноты использования недр являются потери и разубоживание руд, которые зависят от природных и техногенных напряжений и возможности управления ими путем заполнения техногенных пустот твердеющими смесями. Критерием оптимальности управления состоянием рудовмещающего массива становятся затраты на управление рудовмещающим массивом с учетом ущерба от потерь и разубоживания. Снижение ущерба от потерь и разубоживания руды компенсирует увеличение затрат на закладку пустот твердеющими смесями.

Эколого-экономическая эффективность горно-промышленного комплекса характеризуется минимальными материальными, энергетическими и другими затратами на производство продукции при приоритете сохранения природных экосистем. При определении прибыли от добычи полезных ископае-

мых должны учитываться те ресурсы, которые извлечены из недр, но не нашли своей реализации в виде товарной продукции, а оказались потерянными.

В России назревает переход от открытого способа разработки рудных месторождений полезных ископаемых к подземному способу, при котором необходимость сохранения земной поверхности от разрушения заставляет многократно увеличивать объем использования строительных материалов.

Возникает необходимость рационального использования местного низкосортного дешевого сырья и отходов промышленного производства, прежде всего горнодобывающего. Актуальность проблемы возрастает с учетом удаленности промышленных предприятий от производителей стандартных ингредиентов твердеющих смесей.

Утилизация отходов решает одновременно и экологические проблемы, так как хранящиеся отходы добычи, обогащения и металлургии изымают из пользования земли, отравляют и загрязняют почву, водные артерии и атмосферу.

Твердые отходы промышленных комплексов являются сырьем для производства строительных материалов. Отходами производства являются остатки сырья, материалов или полуфабрикатов, образовавшиеся при изготовлении продукции и полностью или частично утратившие свои потребительские свойства. Наиболее крупную категорию отходов составляют вскрышные и вмещающие породы, металлургические шлаки, топливные золы, хвосты обогатительных фабрик, фосфогипс, глиноземные шламы и др.

Отходы производства подразделяют на вторичные материальные ресурсы и на отходы, переработка которых на данном этапе развития экономики нецелесообразна или невыгодна.

Наибольшие перспективы имеет использование шлаков металлургического производства в качестве вяжущих для твердеющих смесей. Шлаки металлургического комплекса прошли высокотемпературную обработку, их кристаллические структуры сформированы и не содержат органических примесей. Химический состав доменных шлаков сложен, в них встречается до 30 различных химических элементов, влияние которых зависит от количества оксида. Доменные шлаки применяют при изготовлении быстро твердеющего шлакопортландцемента. Внедрение в качестве флюсующей добавки фосфорного шлака позволяет снизить расход сырья на кирпичных заводах на 20 % и повысить прочность бетонных изделий на две марки.

При подземной разработке рудных месторождений полезных ископаемых для сохранения земной поверхности образованные в породных массивах пустоты вслед за извлечением руды заполняют, чаще всего, бетонной смесью. В связи с дефицитностью и высокой стоимостью компонентов твердеющих бетонных смесей стараются использовать дешевые и доступные местные низкоактивные материалы, в первую очередь, хвосты переработки руд [1–3].

Недостаток искусственных закладочных массивов из таких материалов – недостаточная прочность, которую повышают путем осуществления инженерных мероприятий.

Заполнение пустот твердеющими смесями одновременно является средством повышения полноты использования недр, а также полноты и качества добываемых руд [4–6].

Разубоживание руды закладочным материалом снижает эффективность ее обогащения. Например, при добыче руд цветных металлов попадание одного процента закладочных материалов в отбитую руду снижает извлечение металлов в концентрат на 1,0 %, в то время как разубоживание пород – только на 0,10–0,20 %.

В процессе приготовления твердеющих закладочных смесей с целью сокращения расхода компонентов твердеющей закладки при сохранении нужной нормативной прочности в качестве активаторов используют шаровые мельницы. Показателем активности шлаковой добавки является эк-

вивалент активности, который для шаровых мельниц изменяется в пределах 8–20, а в более эффективных активаторах, например дезинтеграторе, – в пределах 6–8 [7–10].

Активизированные материалы характеризуются более однородной микроструктурой за счет увеличения качества гидратации цемента в 2–3 раза и равномерного распределения компонентов смеси.

С понижением уровня требований к компонентам твердеющей закладки оказались пригодными низкосортные материалы, в частности материалы с модулем крупности менее 0,7, а также содержащие примеси материалы.

Вяжущая способность новых материалов характеризуется изменением прочности твердеющей смеси на их основе по сравнению с базовой смесью на основе стандартного материала:

$$\sigma_{\text{ц}} = a g_{\text{ц}}^B \sigma_{\text{цн}}, \text{ МПа},$$

где a , B – эмпирические коэффициенты, учитывающие марку цемента (табл. 1); $\sigma_{\text{цн}}$ – собственная активность цемента, МПа.

С изменением марки цемента от 300 до 600 коэффициент увеличивается в интервале от $0,25 \cdot 10^{-2}$ до $1,81 \cdot 10^{-2}$, а коэффициент снижается от 1,0 до 0,67.

Компоненты твердеющей бетонной смеси разделяют на заменители цемента и создающие несущую среду при транспортировании добавки. Доменные шлаки, фторогипсы, фосфогипсы и белитовые шламы в качестве вяжущих используют после активации их до выхода 70 % частиц крупностью 0,076 мм.

В шаровых мельницах при переработке компонентов смеси центробежная сила в барабане не может превысить силу тяжести, поэтому энергетического воздействия высоких порядков создать невозможно. Удельная поверхность материалов здесь увеличивается до $3000 \text{ см}^2/\text{г}$, что повышает активность материалов не более чем на 20–30 %. При этом выход активного шлака составляет от 300 до 600 кг/т чугуна.

Использование добавок изменяет прочность цементной закладки:

$$\sigma_{\text{ц}} = c a g_{\text{ц}}^B \sigma_{\text{цн}}, \text{ МПа},$$

где c – эмпирический коэффициент, учитывающий свойства заполнителей: для песка –1,0, для хвостов обогащения –0,9, для дробленой породы с содержанием илстых и глинистых до 30 % –0,8 (табл. 2).

Обоснование экономической целесообразности и технологической возможности использования отходов производства в качестве вяжущих для увеличения области применения закладочных технологий является целью исследований проблем горного производства [11–15].

Методы исследования

Для достижения поставленной цели исследованы наиболее часто применяемые варианты закла-

дочных смесей: вариант 1 – для нижней части закладочного массива и вариант 2 – для верхней части закладочного массива (табл. 1):

Таблица 1. Характеристика бетонных смесей

Table 1. Characteristic of ready mix concrete

Компоненты Components	Единицы Unit	Расход компонентов, кг/м ³ Flow of components, kg/m ³	
		Вариант 1 Option 1	Вариант 2 Option 2
Шлакопортландцемент M-400 Slag Portland Cement M-400	кг/м ³ kg/m ³	80	40
Гранулированный шлак Granulated slag		420	400
Песчано-гравийная смесь 50 % Sand-gravel mixture 50 %		591	657
Дробленая порода 50 % Crushed rock 50 %		614	682
Вода/Water	л/м ³ /l/m ³	570	350

Если удельная поверхность исходного немолотого гранулированного шлака составляла 9,38 м²/кг, то при увеличении тонкости помола граншлака с 20 до 60 % выхода класса –0,08 мм поверхность увеличилась (табл. 2).

Результаты

Выход продукта крупностью –0,08 мм в зависимости от продолжительности активации характеризуется рис. 1.

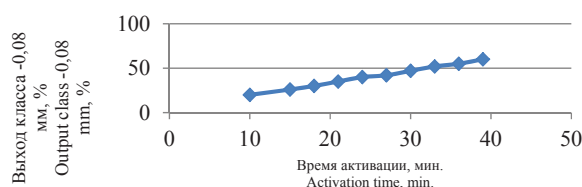


Рис. 1. Выход активной фракции гранулированного шлака

Fig. 1. Output of active fraction of granulated slag

Характеристика составов смеси для обоих вариантов и результаты их испытаний сведены в табл. 3.

Таблица 2. Характеристика активированного в мельнице шлака

Table 2. Feature of slag activated in the mill

Время активации, мин Activation time, min	Выход класса –0,08 мм, % Class output –0,08 mm, %	Ситовый анализ, класс, мм, выход, %/Sieve analysis, class, mm yield, %												Удельная поверхность, м ² /кг Specific surface, m ² /kg	Приращение удельной поверхности, м ² /кг Increment of specific surface, m ² /kg
		2,5	1,6	1,0	0,63	0,4	0,315	0,2	0,16	0,1	0,063	0,05	–0,5		
10	20	0,17	0,09	0,17	1,31	12,15	15,0	20,79	10,68	12,15	12,99	2,13	12,34	27,34	17,96
18	30	0,4	0,6	0,3	0,1	2,0	7,0	18,7	13,0	16,78	17,66	3,15	20,31	33,86	24,48
24	40	0,19	0,12	0,11	0,12	0,4	2,27	11,95	13,09	19,09	21,36	8,16	23,14	38,18	28,8
30	47	0	0	0,02	0,02	0,12	0,96	9,26	11,53	18,88	23,23	10,29	25,69	40,04	30,66
36	55	0	0	0	0,04	0,04	0,21	3,99	7,87	18,35	28,36	18,85	22,29	42,54	33,16

Таблица 3. Результаты испытаний бетонных смесей

Table 3. Test results of concrete mixtures

Пробы/Sample	Время активации Activation time	Выход класса –0,08 мм, % Output of class –0,08 mm, %	Объемный вес смеси Volumetric weight of the mixture	Водоотделение, % Water separation, %	Предельное напряжение сдвига, Па Critical shear stress, Pa	Прочность кубов, МПа, дни Strength of cube, MPa, days		
						28	90	360
Вариант 1/Option 1								
1	10	20	2,0	1,7	100–130	3,2	4,9	5,9
2	15	26	2,1	2,2	80–90	6,8	10,3	15,0
3	18	30	2,0	1,7	90–100	4,6	6,9	9,7
4	21	35	2,0	1,2	70–80	5,0	8,1	9,5
5	24	40	2,0	1,5	70–80	6,9	8,6	11,4
6	27	42	2,1	2,2	60–110	6,9	9,6	13,1
7	30	47	2,1	1,0	60–80	5,4	9,9	11,1
8	33	52	2,0	2,2	50–90	5,6	10,1	11,5
9	36	55	2,1	2,2	55–70	5,7	10,1	12,8
10	39	60	2,1	1,0	55–75	6,6	10,2	13,1
Вариант 2/Option 2								
1	10	20	2,0	4,0	130–160	1,4	2,5	2,8
2	15	35	2,0	3,0	130–140	1,7	2,7	3,4
3	18	40	2,0	2,0	100–130	2,4	3,2	4,2
4	21	25	2,0	4,0	110–140	2,45	3,4	4,1
5	24	45	2,0	3,5	90–130	3,2	3,9	5,6
6	27	55	2,0	2,0	100–110	3,6	4,2	6,9
7	30	75	2,0	3,0	80–100	3,6	4,6	6,4
8	33	60	2,0	3,0	90–90	3,1	7,0	8,1

С увеличением тонкости помола шлака класса –0,08 мм с 20 до 40 % прочность смеси возросла (рис. 2):

- для варианта 1 с 3,2 до 5,0 МПа в возрасте 28 дней, и с 4,9 до 8,0 МПа в 90 дней;
- для варианта 2 с 1,4 до 2,4 МПа в 28 дней и с 2,5 до 3,2 МПа в 90 дней.

А с увеличением тонкости помола шлака класса –0,08 мм до 60 % (рис. 3):

- для варианта 1 с 3,2 до 6,6 МПа в 28 дней и с 4,9 до 10,0 МПа в 90 дней варианта 1;
- для варианта 2 с 1,4 до 3,6 МПа в 28 дней и с 2,5 до 4,5 МПа в 90 дней.

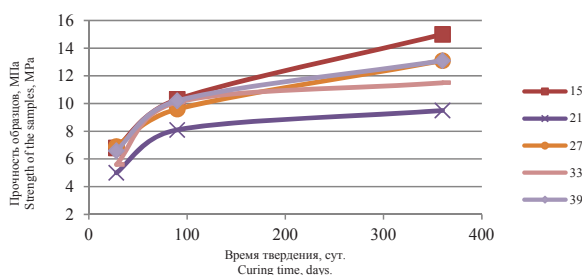


Рис. 2. Прочность образцов бетона для варианта 1

Fig. 2. Strength of concrete samples for option 1

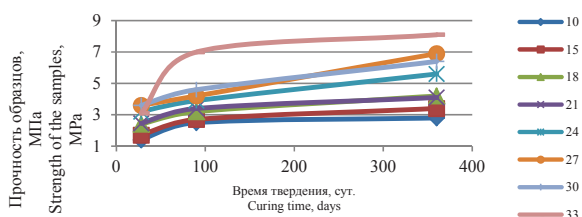


Рис. 3. Прочность образцов бетона варианта 2

Fig. 3. Strength of concrete samples for option 2

С увеличением времени измельчения и активации компонентов в мельнице выход активных фракций граншлака закономерно увеличивается с 30 до 50–60 %.

Прибыль от утилизации хвостов переработки руд для приготовления твердеющих смесей [14–18]:

$$\Pi = \Pi_{\text{т}} - \text{З}_{\text{д}} - \text{Л}_{\text{з}} \Pi_{\text{п}} \left(\frac{1 - \Pi}{\Pi} \right) - \left(\frac{\text{Р}}{1 - \text{Р}} \right) - \left(\text{З}_{\text{д}} + \frac{\text{З}_{\text{у}}}{\gamma} \right),$$

где $\Pi_{\text{т}}$ – цена 1 т товарной руды, р/т; $\text{З}_{\text{д}}$ – затраты на добычу руды, р/т; $\text{Л}_{\text{з}}$ – потери относительно погашаемых балансовых запасов, доли ед.; $\Pi_{\text{п}}$ – цена потерянной руды, р/т; Π – потери руды, доли ед.; Р – разубоживание руды, доли ед.; $\text{З}_{\text{у}}$ – затраты на упрочнение рудного массива, р/т; γ – объемный вес руды, т/м³;

Использование низкоактивных материалов с подготовкой в активаторах позволяет сохранить или увеличить объем производства, вернуть в хозяйственный оборот занятые под хвостохранили-

ща земли, уменьшить негативное влияние отходов на окружающую среду [16–18]. Дальнейшее повышение активности компонентов бетонных смесей осуществляется в рамках механохимической технологии [18–20].

Несмотря на приоритетное внимание к технологиям разработки месторождений с закладкой твердеющими смесями, важный фактор использования хвостов переработки руд в составе твердеющих смесей не превышает первых процентов, поэтому среди направлений совершенствования горного производства проблема поисков сырья для приготовления твердеющей закладки становится все актуальнее.

Препятствием для реализации технологий с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями является наличие в них не извлеченных при переработке металлов. Возможность решения обозначенной проблемы предоставляет применение механохимической технологии переработки некондиционного минерального сырья с улучшением свойств минералов одновременно энергетическим и химическим воздействием, в результате чего извлекаются потерянные металлы, и повышается качество низкоактивных ингредиентов смесей.

Выводы

При подземной разработке металлических месторождений повышение качества руд обеспечивается использованием технологий с закладкой пустот твердеющими смесями на основе хвостов переработки минерального сырья.

Дефицит вяжущих для увеличения диапазона использования технологий разработки с закладкой твердеющими смесями уменьшается при использовании активированных доменных шлаков. Активация шлака в шаровой мельнице повышает прочность закладочной смеси в 1,5–2 раза.

Использование инновационных технологий активации компонентов бетонных смесей является резервом оздоровления экономики горных предприятий и улучшения экологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА – надежную сырьевую основу // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101–114.
2. Комащенко В.И. Эколого-экономическая целесообразность утилизации горнопромышленных отходов с целью их переработки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015. – № 4. – С. 23–30.
3. Ермолович О.В., Ермолович Е.А. Композиционные закладочные материалы с добавкой из механоактивированных отходов обогащения // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 13–24.
4. 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China / G. Wang, R. Li, E.J.M. Carranza, F. Yang // Ore Geology Reviews. – 2015. – V. 71. – P. 592–610.
5. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. – Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. – 804 p.
6. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений / Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, В.А. Арсентьев, В.В. Квитка, Р.Ш. Маннанов // Горный журнал. – 2012. – № 2. – С. 41–43.
7. Дмитрак Ю.В., Шишканов К.А. Разработка вероятностной кинематической модели мелющих тел в помольной камере вибрационной мельницы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 12. – С. 302–308.
8. Дмитрак Ю.В., Шишканов К.А. К вопросу о численном моделировании взаимодействия мелющих тел в мельницах тонкого измельчения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 12. – С. 309–313.

9. Голик В.И., Комащенко В.И., Качурин Н.М. Концепция комбинирования технологий разработки рудных месторождений // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2015. – № 4. – С. 76–88.
10. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production // Waste Management. – 2017. – V. 61. – P. 40–57.
11. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 1. – С. 10–15.
12. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgatyi L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // Journal of the Social Sciences. – 2015. – V. 10. – № 6. – P. 750–754.
13. Calculation and Management for Mining Loss and Dilution under 3D Visualization Technical Condition / Weijing Wang, Shaofeng Huang, Xiaobo Wu, Qingfei Ma // Journal of Software Engineering and Applications. – 2011. – V. 4. – P. 329–334.
14. Calculation of loss ratio and dilution ratio on end ore drawing based on random medium ore drawing theory / Zhen-Dong Liu, Gan-Jiang Tao, Qing-Yun Ren, Dong-Sheng Yang // Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society. – 2011. – V. 36 (4). – P. 450–455.
15. Шестаков В.А., Разоренов Ю.И., Габараев О.З. Управление качеством продукции на горных предприятиях. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет, 2001. – 262 с.
16. Xiao Li-ping. Study on Pollution Laws of Coal Gangue Leaching Solution to Groundwater System. – Fuxin: Liaoning Technical University, 2007. – P. 345–356.
17. Onica I., Cozma E., Goldan T. Land Degradation Under the Underground Mining Influence (in Romanian) // AGIR Revue. – 2006. – № 3. – P. 14–27.
18. Merkel B.J., Planner-Freidrich B. Groundwater Geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. – Berlin: Springer, 2005. – P. 230–238.
19. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal extraction from ore beneficiation codos by means of lixiviation in a disintegrator // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – V. 10. – № 17. – P. 38105–38109.
20. The history of Russian Caucasus ore deposit development / V.I. Golik, Yu.I. Razorenov, V.N. Ignatov, Z.M. Khasheva // Journal of the Social Sciences. – 2016. – V. 11. – № 15. – P. 3742–3746.

Поступила 29.09.2017 г.

Информация об авторах

Голик В.И., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Геофизического института Владикавказского научного центра РАН Северо-Кавказского государственного технологического университета.

Белодедов А.А., кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, декан горного факультета Южно-Российского государственного политехнического университета.

Логачев А.В., кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела Южно-Российского государственного политехнического университета

Шурыгин Д.Н., кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела Южно-Российского государственного политехнического университета.

UDC 504.55.054:622(470.6)

REDUCTION OF DEFICIT IN BINDERS FOR BACKFILLING MIXTURES

Vladimir I. Golik¹,
v.i.golik@mail.ru

Andrey A. Belodedov²,
a.a.belodedov@mail.ru

Alexander V. Logachev²,
log.a@bk.ru

Dmitriy N. Shurygin²,
shurygind@mail.ru

¹ North-Caucasian State Technological University,
44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.

² South-Russian State Polytechnic University,
132, Prosvescheniya street, Novocherkassk, 346428, Russia.

Relevance and aim of the study. Improving the quality of metal ores in development of complex deposits by underground method is provided by the use of technology with the laying of the cavities hardening compounds, but the extension of the scope of technology development with the laying of the cavities hardening mixtures is limited by lack of binding cements. Reduction of deficit in binders as a means of improving the quality of extracted ores through the involvement of mineral waste in production is an urgent task of mining science and the aim of the research.

Methods. Research methodology includes the analysis of efficiency of ore extraction through the use of anthropogenic resources in underground development of deposits of metal ores, activation of components of solid mixtures in a laboratory ball mill for differentiated parts of the backfill array and interpretation of the results.

Results. The authors have proved the possibility of reducing the deficit in the goods by making the binder solid mixtures on the basis of the utilized slag. The paper introduces the results of studies of the activation parameters of the granulated blast furnace slag in ball mill. The authors determined the concrete mixture strength dependence on duration of slag activation and recommended the economic-mathematical model to determine the amount of profit from the disposal of tailings the metallurgical mining industry, taking into account the lost in ore extraction. It is shown that the disposal of hazardous during storage of mineral waste allows solving a set of problems in mining industry.

Conclusions. Improving the quality of ores in their extraction and extension of application area of resource-saving technologies of exploration with voids bookmark with hardening mixtures is achieved by using available and cheap tails of technological processes.

Key words:

Concrete, granulated slag, mill, activation, ore, pattern, efficiency.

REFERENCES

1. Komashchenko V.I., Vasilev P.V., Maslennikov S.A. Reliable raw material basis for technology of underground mining KMA. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2016, no. 2, pp. 101–114. In Rus.
2. Komashchenko V.I. Ecological and economic feasibility of disposal of mining waste for their processing. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2015, no. 4, pp. 23–30. In Rus.
3. Ermolovich O.V., Ermolovich E.A. Composite filling materials with addition of mechanochemically activated waste enrichment. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2016, no. 3, pp. 13–24. In Rus.
4. Wang G., Li R., Carranza E.J.M., Yang F. 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China. *Ore Geology Reviews*, 2015, vol. 71, pp. 592–610.
5. Jarvie-Eggart M.E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
6. Kaplunov D.R., Rylnikova M.V., Arsentev V.A., Kvitka V.V., Mannanov R.Sh. New technique and equipment for high-performance space laying-out at deposit underground mining. *Gorny zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 41–43. In Rus.
7. Dmitrak Yu.V., Shishkanov K.A. Development of probabilistic kinematic model of grinding bodies in a grinding chamber of vibration mill. *Gorny informatsionno-analitichesky byulleten*, 2010, no. 12, pp. 302–308. In Rus.
8. Dmitrak Yu.V., Shishkanov K.A. To the issue of numerical simulation of grinding bodies interaction in the fine grinding mills. *Gorny informatsionno-analitichesky byulleten*, 2010, no. 12, pp. 309–313. In Rus.
9. Golik V.I., Komashchenko V.I., Kachurin N.M. The concept of combining ore deposit development techniques. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 2015, no. 4, pp. 76–88. In Rus.
10. Vrancken C., Longhurst P.J., Wagland S.T. Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*, 2017, vol. 61, pp. 40–57.
11. Lyashenko V.I. Nature protection technologies of exploring complex mineral fields. *Marksheydersky vestnik*, 2015, no. 1, pp. 10–15. In Rus.
12. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgatyi L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *Journal of the Social Sciences*, 2015, vol. 10, no. 6, pp. 750–754.
13. Weijing Wang, Shaofeng Huang, Xiaobo Wu, Qingfei Ma. Calculation and Management for Mining Loss and Dilution under 3D

- Visualization Technical Condition. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2011, vol. 4, pp. 329–334.
14. Zhen-Dong Liu, Gan-Jiang Tao, Qing-Yun Ren, Dong-Sheng Yang. Calculation of loss ratio and dilution ratio on end ore drawing based on random medium ore drawing theory. *Meitan Xuebao/Journal of the China Coal Society*, 2011, vol. 36 (4), pp. 450–455.
 15. Shestakov V.A., Razorenov Yu.I., Gabaraev O.Z. *Upravlenie kachestvom produktsii na gornyykh predpriyatiyakh* [Product quality management in mining]. Novocherkassk, South-Russian State Polytechnic University Press, 2001. 262 p.
 16. Xiao Li-ping. *Study on Pollution Laws of Coal Gangue Leaching Solution to Groundwater System*. Fuxin, Liaoning Technical University, 2007. pp. 345–356.
 17. Onica I., Cozma E., Goldan T. Land Degradation Under the Underground Mining Influence (in Romanian). *AGIR Revue*, 2006, no. 3, pp.14–27.
 18. Merkel B.J., *Planner-Freidrich B. Groundwater Geochemistry. A practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems*. Berlin, Springer, 2005. pp. 230–238.
 19. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 17, pp. 38105–38109.
 20. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Khasheva Z.M. The history of Russian Caucasus ore deposit development. *Journal of the Social Sciences*, 2016, vol. 11, no. 15, pp. 3742–3746.

Received: 29 September 2017.

Information about the authors

Vladimir I. Golik, Dr. Sc., professor, North-Caucasian State Technological University.

Andrey A. Belodedov, Cand. Sc., associate professor, Dean of the faculty, South-Russian State Polytechnic University.

Alexander V. Logachev, Cand. Sc., associate professor, South-Russian State Polytechnic University.

Dmitriy N. Shurygin, Cand. Sc., associate professor, South-Russian State Polytechnic University.