

ИННОВАЦИОННОЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 504.55.054:622(470.6)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЯЖУЩИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ РУД

В.И. Голик, В.И. Комащенко, Ю.И. Разоренов

Северо-Кавказский государственный технологический университет
ул. Николаева, 44, Владикавказ, РСО-Алания, 44362021

Актуальность вопросов уменьшения стоимости твердеющих смесей для заполнения технологических пустот при подземной разработке рудных месторождений объясняется развитием ресурсосберегающих и природоохранных тенденций в горном производстве.

Целью работы является обоснование возможности повышения прочности смеси путем использования жидких хвостов обогащения многокомпонентных руд.

В ходе лабораторного и опытно-промышленного эксперимента исследована возможность получения твердеющих закладочных смесей с применением жидких хвостов обогащения руд.

Доказано, что использование жидких отходов обогатительного передела существенно улучшает прочность и другие технологические свойства твердеющих смесей на их основе тем больше, чем меньше марка вяжущего. Применение осветленных дамбовых вод в качестве затворителя при изготовлении твердеющих смесей для получения одной и той же прочности существенно снижает расход цемента, что составляет солидный экономический эффект. Дамбовые воды используют после извлечения из них металлов, что вместе с другой попутной товарной продукцией снижает затраты на приготовление твердеющих смесей. Рекомендован метод извлечения из жидких отходов металлов под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах. Показано, что после извлечения металлов из пульпообразных отходов последние представляют собой перспективный материал для бетонного производства в горной промышленности и строительной индустрии.

Сделан вывод, что использование в составах твердеющих смесей жидких отходов гидрометаллургического передела существенно улучшает прочность и реологические свойства твердеющих смесей на их основе за счет солей сульфата натрия, хлорида натрия и поверхностно-активных вод. Рациональное использование дамбовых вод увеличивает область применения прогрессивных систем разработки с закладкой твердеющими смесями.

Ключевые слова: твердеющая смесь, выработанное пространство, подземная разработка, руда, месторождение, отходы обогащения, эксперимент, металл, прочность смесей

Введение

Будучи крупной сырьевой державой мира, Россия не преодолела опасности стать сырьевым придатком развитых стран. Устаревшие технологии не решают проблему полноты извлечения сырья из недр и комплексности его использования.

Универсальная природоохранная и ресурсосберегающая технология с закладкой подземных технологических пустот твердеющими смесями требует надежного обеспечения сырьем для изготовления этих смесей, что создает проблемы для окружающей среды. Актуальность проблемы объясняется уменьшением запасов месторождений и необходимостью увеличения объема добычи сырья с ростом населения Земли.

Проблему сырья для приготовления твердеющих смесей решают утилизацией отходов горного и смежных производств [4—9]. Так, экспериментально обоснована возможность извлечения металлов из хвостов обогащения путем механохимической обработки в аппаратах с извлечением до 80% металлов от остаточного содержания [10; 11].

Одним из основных направлений оптимизации горного производства является уменьшение объема руд, оставляемых в недрах для управления состоянием рудовмещающего массива, что в итоге определяет качественные показатели процесса добычи полезных ископаемых. Критерием оптимальности управления состоянием рудовмещающего массива становятся затраты на управление рудовмещающим массивом с учетом ущерба от потерь и разубоживания.

Закладка пустот твердеющими смесями по сравнению с системой разработки с открытым выработанным пространством позволяет эффективно регулировать величину технологических и природных напряжений в окрестностях очистных выработок, используя твердеющие смеси на основе хвостов обогащения.

Содержание фракций в хвостах обогащения металлических руд различно, из них частиц размером менее 0,1 мм содержится до 60%. Количество хвостов на складах предприятий намного превышает потребности в сырье для твердеющих смесей. Так, только на предприятиях КМА их накоплено 320 000 тыс. т. Выход отходов составляет около 5 т/т товарной руды в сухом весе, в том числе при добыче открытым способом до 5,5 т/т, а при подземном способе — 1,3 т/т.

Объем бетонной продукции — твердеющих смесей — на горных предприятиях оценивается от сотен тысяч до первых миллионов м³ в год, что превышает объем бетонной продукции в строительной индустрии, в связи с этим встает задача снижения стоимости бетонной продукции.

Решение проблем производства бетонной продукции приведет к созданию прибыли, поэтому заполнение подземных пустот хвостами обогащения после их сгущения не может быть признано корректным, поскольку при этом безвозвратно теряются попутные металлы, стоимость которых может превышать стоимость извлеченных титульных металлов.

Подземные выработки в этом случае превращаются в реактор природного выщелачивания металлов с катастрофическими последствиями химического заражения. Еще опаснее использование металлосодержащих хвостов обогащения в промышленном и гражданском строительстве. Наличие металлов, в том числе и весьма распространенных радиоактивных, в строительных материалах и конструкциях создает угрозу жизни людей.

Целью исследования является обоснование возможности использования жидких хвостов обогащения для твердеющих закладочных смесей со снижением их стоимости и уменьшении загрязнения окружающей среды отходами бетонного производства.

Материалы и методы исследования

В качестве материала для приготовления твердеющих смесей использовали пульпообразные отходы гидromеталлургического завода с содержанием фосфогипса. Изменение реологических свойств смеси, в том числе однородность, предельное напряжение сдвига, прочность при одноосном сжатии исследовали стандартными методами.

Базовый состав твердеющих смесей, содержащий комплексное вяжущее, варьировали по условию транспортабельности. Результаты лабораторных исследований проверили в ходе опытно-промышленных работ на закладочном комплексе предприятия.

В ходе опытно-промышленных работ опробовали состав твердеющей смеси, отбираемой на сливе смесителя в закладочную скважину, и готовили контрольные кубы на различные сроки твердения. Опробовали тонкость помола граншлака в шаровой мельнице.

Из искусственного массива отобрали пробы, исследование которых послужило основанием для оценки динамики прочности твердеющих смесей и рекомендации составов твердеющей смеси к промышленному использованию в горном производстве.

На основании данных теории и практики рекомендовали метод изменения физико-механических свойств раствора под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах.

Результаты исследования и их обсуждение

В бетонном производстве возможно использование хвостов гидromеталлургического передела металлических руд [6].

Так, на рассматриваемом гидromеталлургическом заводе (ГМЗ) в хвостохранилище направляются объединенные отходы с содержанием фосфогипса 30%, которые могут быть использованы в качестве дешевого сырья для закладочных работ.

Замена песчано-гравийной смеси хвостами ГМЗ — пульпой хвостового сгустителя до объединения отходов обеих линий при соотношении твердого к жидкому $T : Ж = 1 : 3,5$ улучшает реологические свойства смеси, потому что твердеющая смесь более однородна, а ее предельное напряжение сдвига ниже.

Прочность при одноосном сжатии по сравнению с базовым составом увеличивается в 1,5—4 раза, что объясняется присутствием в пульпе активизирующих солей. Чтобы использовать пульпу, ее сгущают в гидроциклоне до соотношения $T : Ж = 1 : 0,5$ и подают по пульпопроводу к закладываемому участку.

Осаждение твердой фракции хвостов происходит в хвостохранилище, после чего осветленная дамбовая вода может быть использована в технологическом процессе, так как содержит в своем составе соли сульфата натрия, хлорида натрия и поверхностно-активное вещество — полиакриламид.

Хлористый натрий и сернокислый натрий применяют в качестве добавки к строительным бетонам для повышения начальной пластической прочности.

Лабораторно исследовали влияние солей на прочность твердеющей смеси с использованием дамбовой воды состава: рН 7,0—7,5; NH_4 18—25; NO_2 3—7; NO_3 — нет; сумма катионов и анионов 24000—40000 на 1 дм^3 .

Базовый состав твердеющих смесей содержал 460—480 $\text{кг}/\text{м}^3$ комплексного вяжущего (шлако-портландцемент М-400 плюс мокромолотый гранулированный шлак).

В опытах расход комплексного вяжущего снижали до 400 $\text{кг}/\text{м}^3$. Установлено, что транспортабельность составов с меньшим количеством комплексного вяжущего приемлема.

Полученные в лабораторных условиях результаты проверены в ходе опытно-промышленных работ на закладочном комплексе по схеме (рис. 1).

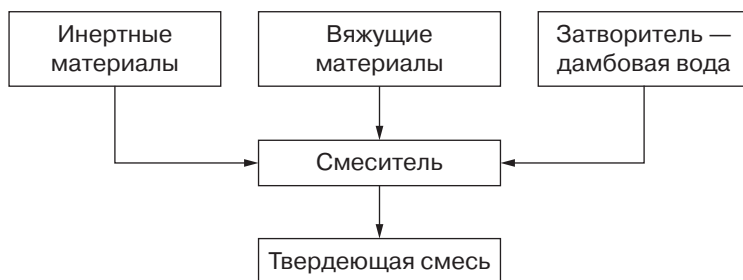


Рис. 1. Схема приготовления твердеющей смеси с дамбовой водой [Scheme of the preparation of forming mixtures with dam water]

Состав закладочной смеси: цемент — 14 $\text{кг}/\text{м}^3$; мокромолотый граншлак — 500 $\text{кг}/\text{м}^3$; заполнитель — 1100 $\text{кг}/\text{м}^3$; вода дамбовая — 400 $\text{л}/\text{м}^3$.

Продолжительность опытно-промышленных работ — 2 ч 30 мин. при производительности закладочного комплекса 284 $\text{м}^3/\text{ч}$. Объем изготовленной твердеющей смеси — 710 м^3 .

В ходе опытно-промышленных работ состав смеси опробовали в процессе подачи закладочной смеси, отбираемой на сливе смесителя в закладочную скважину, через каждые 30 мин. Контрольные образцы испытывали после твердения в количестве 28 и 90 дней.

Тонкость помола граншлака в шаровой мельнице, определенная в результате трех опробований, составила соответственно 10, 15, 15% выхода фракции — 0,08 мм. В пробе дамбовой воды содержание солей составило 24 г/л, в 2 раза меньше, чем в дамбовой воде, использованной при лабораторных исследованиях. При подаче смеси в камеру установлено выделение газа-аммиака (ПДК — 20 $\text{г}/\text{м}^3$).

Пробы из искусственного массива отобраны бурением двух скважин с углом наклона 4° длиной 18 м и 10° длиной 20 м.

Прочность керновых образцов, испытанных в возрасте 60 с, изменяется в пределах: $\sigma_{\text{min}} = 0,7$ МПа, $\sigma_{\text{max}} = 6,2$ МПа, $\sigma_{\text{сред}} = 2,8$ МПа. В возрасте 90 с $\sigma_{\text{сред}}$ оказалась равной 2,5—2,8 МПа.

Прочность контрольных образцов, отобранных на сливе смесителя в скважину, в возрасте 28 с оказалась равной $\sigma_{\text{сред}} = 0,7$ МПа, а в возрасте 90 с $\sigma_{\text{сред}} = 2,2$ МПа.

В нижней части исследуемой камеры при расходе цемента 83 $\text{кг}/\text{м}^3$ $\sigma_{\text{сред.28с}} = 3,1$ МПа, $\sigma_{\text{сред.90с}} = 3,7$ МПа.

В верхней части камеры при расходе цемента 44 кг/м^3 и использовании обычной воды прочность составила $\sigma_{\text{сред.28с}} = 1,2 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{сред.90с}} = 1,8 \text{ МПа}$. При использовании же дамбовой воды с содержанием солей 24 г/дм^3 при расходе цемента 14 кг/м^3 $\sigma_{\text{сред.28с}} = 0,7 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{сред.90с}} = 2,2 \text{ МПа}$.

Установлено, что использование дамбовой воды сохраняет прочность смеси при уменьшении расхода цемента в 3 раза.

К промышленному использованию для закладки верхней части камер рекомендуются составы твердеющей смеси:

портландцемент (шлакопортландцемент) М-400	— 15 кг/м^3 ;
мокроемолотый гранулированный шлак	— 400 кг/м^3 ;
песчано-гравийная смесь	— 630 кг/м^3 ;
порода отвалов карьера	— 650 кг/м^3 ;
дамбовая вода	— 380 дм ;
водоотделение смеси	— до 4%;
предельное напряжение сдвига смеси	— $90\text{—}110 \text{ Па}$;
прочность на сжатие в 28 с.	— до $3,0 \text{ МПа}$.

Препятствием для широкого использования хвостов переработки является наличие в солевых концентратах металлов. Как правило, технологические линии металлургических заводов не извлекают попутные металлы и отправляют их в отходы. Количество и ценность теряемых металлов может превышать стоимость извлекаемых металлов.

Экономически и экологически корректен подход, при котором для изготовления твердеющих смесей без очистки от металлов используются дамбовые воды с незначительным содержанием металлов, а обогащенные попутными металлами воды проходят стадию извлечения металлов одним из способов (рис. 2).

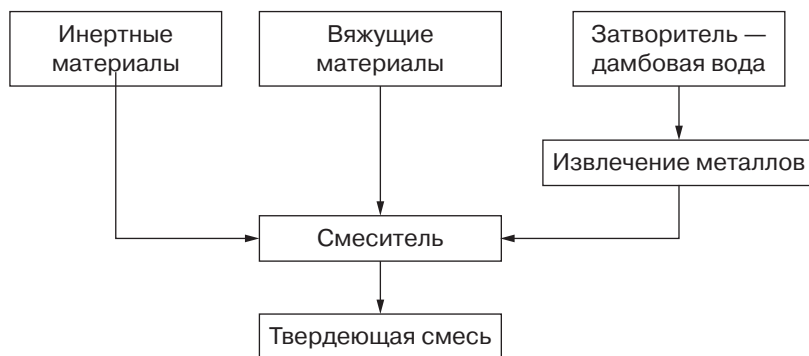


Рис. 2. Схема приготовления твердеющей смеси с очищенной дамбовой водой
 [Scheme of the preparation of forming mixtures with the purified dam water]

Очистка хвостов гидрометаллургии от солей тяжелых металлов осуществляется переводом растворенных их в твердую фазу и разделением жидкой и твердой фаз с последующей утилизацией образующегося осадка [7; 8]. Перспективно извлечение металлов с помощью электрохимической технологии, которая противопоставляется известным технологиям коагуляции, окисления, сорбции, ионообмена, экстракции и т.д.

Очистка осуществляется изменением физико-механических свойств раствора под влиянием электрического поля в диафрагменных электролизерах. Эффект очистки основан на селективности ионитовых мембран, т.е. пропускании катионитовыми мембранами положительно заряженных ионов, а анионитовыми — отрицательных [3].

В камеры обессоливания подают металлосодержащие растворы, а в камеры образования кислоты и щелочей — стоки со скоростью несколько см/с. Под действием электрического поля из камер обессоливания ионы Na^+ и SO_4^{2-} переходят в камеры образования щелочи и кислоты, соответственно, где соединяются с генерируемыми биполярной мембраной ионами OH^- и H^+ , образуя щелочь и кислоту, нейтрализующие металлосодержащие соли.

Энергоемкость очистки не превышает $10 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$. Кроме металлов, из осадка извлекаются неметаллические вещества, являющиеся ценным сырьем для цементной и керамической промышленности.

Эффективность эксплуатации установок повышается с увеличением концентрации исходного раствора. Технология обеспечена промышленными электродиализными аппаратами Камышловского завода строительных материалов, Пятигорского опытного завода и машиностроительного завода в г. Тамбов.

Метод электродиализного обессоливания и одновременного концентрирования шахтных вод возможен с циркуляцией раствора через рассольные камеры и без циркуляции.

Предельная концентрация солей с циркуляцией раствора в рассольных камерах при исходной плотности тока $100 \text{ а}/\text{м}^2$ составила $\approx 8 \text{ г}/\text{л}$. При конечной силе тока $\approx 20 \text{ а}/\text{м}^2$ остаточное солесодержание в диализате составило $300 \text{ мг}/\text{л}$, а концентрация компонентов ($\text{мг}/\text{л}$) — Na^+ — 72; Ca^{2+} — 30; Mg^{2+} — 10; Cl^- — 114; SO_4^{2-} — 100; Zn^{2+} — 0,42, Pb^{2+} — 0,4. В опытах без циркуляции раствора в рассольных камерах получены аналогичные результаты. Расход электроэнергии составил $0,57 \text{ кВт}$ на килограмм выводимых солей в рассол. Концентрация солей в рассоле составляла $\approx 95 \text{ г}/\text{л}$ при содержании компонентов ($\text{мг}/\text{л}$) — Na^+ — 24500; Ca^{2+} — 1200; Mg^{2+} — 400; Cl^- — 42000; SO_4^{2-} — 293; Zn^{2+} — 6,5. Получаемый рассол в объеме 2% от исходного объема может быть упарен с получением твердого вещества, содержащего металлы.

Предлагаемая технология способствует решению стоящих перед бетонным производством задач:

- дамбовые воды используются в качестве компонентов твердеющих смесей и прочих бетонных изделий;
- стоимость бетонных изделий снижается за счет цены утилизируемых вод и продуктов их очистки, в том числе металлов;
- уменьшение объемов дамбовых вод в хранилищах снижает загрязнение окружающей среды [1; 2].

Выводы

Использование в составах твердеющих смесей жидких отходов гидromеталлургического передела за счет солей сульфата натрия, хлорида натрия и поверх-

ностно-активных вод существенно улучшает прочность и реологические свойства твердеющих смесей на их основе.

Смесь более однородна, предельное напряжение сдвига уменьшается на 15—25%, прочность увеличивается в 2—3 раза из-за активирующего влияния солей тем больше, чем меньше марка вяжущего.

Применение дамбовых вод в качестве затворителя обеспечивает снижение расхода цемента в среднем по очистной камере с 50 до 35 кг/м³, что составляет солидный экономический эффект в зависимости от объема использования.

Дамбовые воды используют для затворения после извлечения из них металлов, что снижает затраты на приготовление твердеющих смесей. После извлечения металлов из пульпо-образных отходов, последние представляют собой по сути новый, перспективный материал.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *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.
- [2] *Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V.* Environmental monitoring atmosphere of mining territories. *Metallurgical and Mining Industry.* 2015. Т. 7. № 6. С. 595—598.
- [3] *Голик В.И.* Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // *Горный журнал.* 2013. № 5. С. 93—97.
- [4] *Евдокимов С.И., Евдокимов В.С.* Получение товарной продукции из отходов гидрометаллургического производства триоксида вольфрама // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2014. № 7. С. 56—67.
- [5] *Ермолович Е.А., Измestьев К.А., Ермолович О.В., Шок И.А.* Исследование свойств лежалых отходов обогащения железистых кварцитов и создание на их основе закладочных материалов // *Горный журнал.* 2015. № 5. С. 79—86.
- [6] *Рыльникова М.В., Ангелов В.А., Туркин И.С.* Обоснование технологической схемы и комплекса оборудования для утилизации текущих хвостов обогащения в выработанном подземном пространстве // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2014. № 9. С. 138—149.
- [7] *Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Миненко В.Г., Самофалов Ю.Л., Тимофеев А.С.* Электрохимический способ извлечения минералов монтмориллонитовой группы из вод хвостохранилищ // *Горный журнал.* 2012. № 12. С. 67—73.
- [8] *Шадрунова И.В., Орехова Н.Н.* Исследование технологии извлечения цветных металлов из шахтных и подотвальных вод // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2013. № 9. С. 89—93.
- [9] *Franks D.M., Boger D.V., Côte C.M., Mulligan D.R.* Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes // *Resources Policy.* 2011. Vol. 36. No. 2. P. 114—122.
- [10] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry.* 2015. № 3. P.p. 38—41.
- [11] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry.* 2015. № 3. P.p. 49—52.

THE USE OF THE BINDING PROPERTIES OF THE LIQUID TAILINGS AND ORES

V.I. Golik, V.I. Komashchenko, Y.I. Razorenov

North-Caucasian state technological University
ул. Николаева, 44, Владикавказ, РСО-Алания, 362021

The relevance of reducing the cost of solid mixtures to fill technological voids in underground mining of ore deposits is due to the development of resource-saving and environmental trends in the mining industry.

The aim of this work is to study the possibility of increasing the strength of the mixture by the use of liquid tailings multicomponent ores.

In the course of laboratory and experimental — industrial experiment investigated the possibility of obtaining hardening stowing mixtures with the use of liquid tailings and ores.

It is proved that the use of liquid waste processing processing significantly improves the strength and other technological properties of solid mixtures based on them is greater than the lower grade binder. Clarified the use of dam water as a sealer in the manufacture of solid mixtures for obtaining the same strength significantly reduces the consumption of cement, which is substantial economic effect. Dam water is used after the extraction of these metals, together with other associated commercial products reduces the cost of preparation of solid mixtures. Recommended method of extraction of the waste liquid metals under the influence of an electric field in diaphragm electrolyzers. It is shown that after extraction of the metals from pulpo-shaped waste, the latter represent a promising material for concrete production in the mining industry and construction industry.

It is concluded that the use in the compositions of the solid mixtures, liquid waste hydrometallurgical processing significantly improves the strength and rheological properties of solid mixtures based on them due to salts of sodium sulfate, sodium chloride and surfactant water. Rational use of dam water increases the scope of progressive development systems with the bookmark hardening mixtures.

Key words: hardening mixture, goaf, underground development, ore Deposit, tailings, experiment, metal, the strength of mixtures, binder

REFERENCES

- [1] *Komashchenko V.I.* Ekologo-ekonomicheskaya celesoobraznost' utilizacii gornopromyshlennyh othodov s cel'yu ih pererabotki [Ecological and economic feasibility of disposal of mining waste with the purpose of their processing]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Izvestiya of the Tula state University. Earth science]. 2015. № 4. Pp. 23—30.
- [2] *Kachurin N., Komashchenko V., Morkun V.* Environmental monitoring atmosphere of mining territories. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. T. 7. № 6. Pp. 595—598.
- [3] *Golik V.I.* Konceptual'nye podhody k sozdaniyu malo- i bezothodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniya fiziko-tehnicheskikh i fiziko-himicheskikh geotekhnologij [Conceptual approaches to the creation of low — and non-waste mining production based on a combination of physico-technical and physicochemical geotechnologies]. *Gornyj zhurnal* [Mining journal]. 2013. № 5. Pp. 93—97.
- [4] *Evdokimov S.I., Evdokimov V.S.* Poluchenie tovarnoj produkcii iz othodov gidrometallurgicheskogo proizvodstva trioksida vol'frama. [Obtaining commercial products from waste of hydrometallurgical production of tungsten trioxide]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'* [Mining information-analytical Bulletin]. 2014. № 7, pp. C. 56—67.
- [5] *Ermolovich E.A., Izmes'tev K.A., Ermolovich O.V., Shok I.A.* Issledovanie svojstv lezhalyh othodov obogashhenija zhelezistyh kvarcitov i sozdanie na ih osnove zakladochnyh materialov [The study

- of the properties of stale tailings ferruginous quartzite and creation on their basis of stowing materials]. *Gornyj zhurnal [Mining journal]*. 2015. № 5. Pp. 79–86.
- [6] *Ryl'nikova M.V., Angelov V.A., Turkin I.S.* Obosnovanie tehnologicheskoy shemy i kompleksa oborudovaniya dlja utilizacii tekushhih hvostov obogashhenija v vyrabotannom prostranstve. [Justification of the technological scheme of complex equipment for the recycling of current tailings in mined-out space]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining information-analytical Bulletin]*. 2014. № 9, pp. 106–112.
- [7] *Chanturija V.A., Dvojchenkova G.P., Minenko V.G., Samofalov Ju.L., Timofeev A.S.* Jelektrohimičeskij sposob izvlečenija mineralov montmorillonitovoj gruppy iz vod hvostohranilišh [Electrochemical method for the extraction of montmorillonite group minerals from the waters of the tailings]. *Gornyj zhurnal [Mining journal]*. 2012. № 12. Pp. 67–73.
- [8] *Shadrinova I.V., Orehova N.N.* Issledovanie tehnologii izvlečenija cvetnyh metallov iz shahtnyh i podotval'nyh vod. [Study the technology of extracting nonferrous metals from pit water podatelna]. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' [Mining information-analytical Bulletin]*. 2013. № 9, pp. 89–93.
- [9] *Franks D.M., Boger D.V., Côte C.M., Mulligan D.R.* Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes Resources Policy. 2011. Vol. 36. No. 2. Pp. 114–122.
- [10] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. Pp. 38–41.
- [11] *Golik V., Komashchenko V., Morkun V.* Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. № 3. Pp. 49–52.