

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ШАХТЫ

Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Топольный Ф. Ф., Гелевера О. Ф.

Объектом исследования являются природоохранные и ресурсосберегающие технологии при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства. Одним из самых проблемных мест является доставка твердеющих закладочных смесей к месту их укладки и дефицит компонентов для их приготовления. Это повышает важность вопросов управления состоянием рудовмещающих массивов и сохранения земной поверхности.

В работе представлены основные научные и практические результаты обоснования технологий и технических средств для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства (техногенные пустоты) в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей. Описаны методы теоретических обобщений с применением математической статистики, физического и математического моделирования, с выполнением расчетов и технико-экономических обоснований, лабораторных и натурных экспериментальных исследований, промышленных испытаний в условиях действующих предприятий. Установлено, что применение вибро-, механо- и электроактивации компонентов твердеющей закладочной смеси на горных предприятиях приводит к повышению активности некондиционных материалов на величину до 10–40 % для каждого аппарата. В частности, обогащение некондиционных инертных материалов на виброгрохоте ГВ-1,2/3,2 (Украина) увеличивает активность на 15–20 %. Обосновано, что активация вяжущих материалов (доменных гранулированных шлаков) в дезинтеграторе ДУ-65 (фирма «Дезинтегратор», Эстония) увеличивает активность вяжущего на 20–25 %, при выходе активного класса фракций размером 0,074 мм – на 55 % против 40 % в шаровых мельницах. Рекомендованы вибротранспортные установки, которые увеличивают активность твердых компонентов твердеющей закладочной смеси на 10–15 %, а электродиализные аппараты для активации воды затворения увеличивают ее активность на 30–40 %. Показано, что применение установок вибросамотечного транспорта обеспечивает подачу закладочной смеси на расстояние, превышающее в 15–20 раз высоту вертикального става. Предложен комплекс технических средств для активации компонентов твердеющих закладочных смесей (вяжущего, инертного заполнителя и электрохимически очищенной шахтной воды затворения) при изготовлении и транспортировании их к месту укладки. Данный комплекс внедрен на таких горных предприятиях, как:

– Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» и Балаклавское рудоуправление (Украина);

– Акционерное общество «Целинный горно-химический комбинат» (Республика Казахстан);

– Публичное акционерное общество «Приаргунское производственное горно-химическое объединение имени Е. П. Славского» и Закрытое акционерное общество «Уралзолото» (Российская Федерация) и в других развитых горнодобывающих странах.

Ключевые слова: подземная разработка, твердеющая смесь, трубопроводный транспорт, вибро-, механо- и электроактивация компонентов.

1. Введение

При подземной разработке месторождений от 40 до 80 % образованных техногенных пустот заполняют твердеющими закладочными смесями. В большинстве случаев твердеющие закладочные смеси содержат 0,1–0,35 диспергированных частиц с концентрацией твердых частиц в воде 0,10–0,85 и осадкой стандартного конуса 10–13 см транспортируют самотеком. Его возможности зависят также от соотношения вертикальной и горизонтальной составляющей закладочного трубопровода и для глубоких рудников и шахт не превышают 1500 м. При самотечнопневматическом способе твердеющие закладочные смеси движутся вначале самотеком, а затем доставляются сжатым воздухом к месту их укладки. Оба способа применимы при соотношении вертикальной и горизонтальной частей закладочного трубопровода не менее 1/5 [1]. Поэтому совершенствование технологий и технических средств для транспортирования твердеющих закладочных смесей в шахты, – важная научная, практическая и социальная задача [2]. Данная работа является продолжением исследований, основные научные и практические результаты которых наиболее полно приведены в работах [3, 4].

2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования являются природоохранные и ресурсосберегающие технологии при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства. Одним из самых проблемных мест является доставка твердеющих закладочных смесей к месту укладки и дефицит компонентов для их приготовления. Это повышает важность вопросов управления состоянием рудовмещающих массивов и сохранения земной поверхности.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – обоснование технологий и технических средств для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземное выработанное пространство в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей. При этом учитывая технологические процессы активации вяжущего, некондиционного инертного заполнителя и электрохимически очищенной шахтной воды затворения при изготовлении и транспортировании их к месту укладки.

Для исследования были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить математическое и физическое моделирование, а также расчет параметров самотечного транспорта, пневмотранспорта и вибросамотечного транспорта твердеющих закладочных смесей.
2. Разработать технические средства для самотечного транспорта, пневмотранспорта и вибросамотечного транспорта твердеющих закладочных смесей.
3. Рекомендовать вибротранспортные установки для увеличения активности твердых компонентов твердеющей закладочной смеси.
4. Предложить новый комплекс технических средств для активации вяжущего (доменного гранулированного шлака), инертных заполнителей (продукт грохочения некондиционных материалов) и воды затворения при изготовлении и транспортировании твердеющих закладочных смесей.

4. Исследование существующих решений проблемы

Горно-геологическим и гидрогеологическим условиям скальных месторождений в наибольшей мере отвечают камерные системы разработки полезных ископаемых с заполнением выработанного пространства твердеющей смесью. Они применяются при отработке крутопадающих рудных залежей с углом падения более 50° и мощностью от 3 до 100 м в устойчивых породах с коэффициентом крепости по Протодяконову не менее 12 [5]. А также занимают приоритетные позиции и в большей степени обеспечивают сохранность объектов эксплуатации, безопасное ведение горных работ, полноту использования и охрану недр и окружающей среды [6].

Главным критерием эффективности технологий добычи минерального сырья является стоимость единицы металла, которая определяется, в том числе, стоимостью твердеющих закладочных смесей. Поэтому перспективными являются направления снижения стоимости смесей путем использования новых технологий и внутренних резервов производства [7]. Хотя инженерные мероприятия несколько улучшают качество твердеющих закладочных смесей на основе использования доступного некондиционного сырья. Однако новые технологии и технические средства для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей пока развиваются недостаточными темпами [8]. Отходы горно-металлургических и смежных производств чаще играют роль инертных заполнителей, что экономически неоправданно, учитывая возможность использования этого сырья для производства товарных продуктов, например, того же цемента. Реальную возможность изменения свойств утилизируемых отходов предоставляют технологии повышения их активности путем механической и иной обработки [9].

Авторами выполнен анализ литературных источников и патентной документации в области складирования хвостов после гидроциклонирования и добавки отвердителя в хвостохранилища [10, 11]. А также лабораторных и производственных экспериментов, физического моделирования и подбора составов твердеющих смесей по стандартным и новым методикам [12, 13].

Таким образом, результаты анализа позволяют сделать вывод о том, что снижение опасности для окружающей среды путем утилизации отходов переработки рудного сырья в подземное выработанное пространство решает важные научные, практические и социальные задачи [14, 15]. Это достигается за счет природоохранных и ресурсосберегающих технологий при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства различного состава и прочности. Одним из самых проблемных мест является доставка дефицит компонентов для приготовления твердеющих закладочных смесей и транспортирования к месту их укладки. Это повышает важность вопросов создания и внедрения комплекса технических средств для активации вяжущего, инертных заполнителей и воды затворения при изготовлении и транспортировании твердеющих закладочных смесей к месту их укладки.

5. Методы исследований

Для решения поставленной цели авторами выполнен анализ литературных источников, использован метод теоретических обобщений с применением математической статистики, физического и математического моделирования. Произведены расчеты и технико-экономические обоснования, лабораторные и натурные экспериментальные исследования, а также промышленные испытания в условиях действующих предприятий по стандартным и новым методикам [16, 17].

Установки вибросамотечного транспорта (далее УВТ) подают твердеющие смеси на значительно превышающее высоту вертикального става расстояние. На рудниках по добыче урановых руд Тюрингии и Саксонии бывшего Советско-германского акционерного общества (СГАО) «Висмут» [18] твердеющую смесь с осадкой конуса Строй ЦНИЛ 8,0 см подавали на расстояние, в 3 раза превышающее высоту вертикального става закладочного трубопровода. УВТ твердеющих закладочных смесей на рудном месторождении Шокпак-Камышовое (Республика Казахстан), включала вертикальные ставы общего и горизонтального трубопроводов (рис. 1) [19].

Подача твердеющих закладочных смесей осуществлялась порциями объемом до 400 м³. К особенностям процесса транспортирования относились сопротивление транспортированию на каскадном участке, использование малоактивных заполнителей с содержанием глины до 50 % и активированного в дезинтеграторе жесткого вяжущего доменного гранулированного шлака. Секционированный участок трубопровода был установлен на резиновые амортизационные опоры, а секции трубопровода длиной по 200 м снабжены вибровозбудителями. Под воздействием вибрации смесь приобретала состояние повышенной текучести [20].

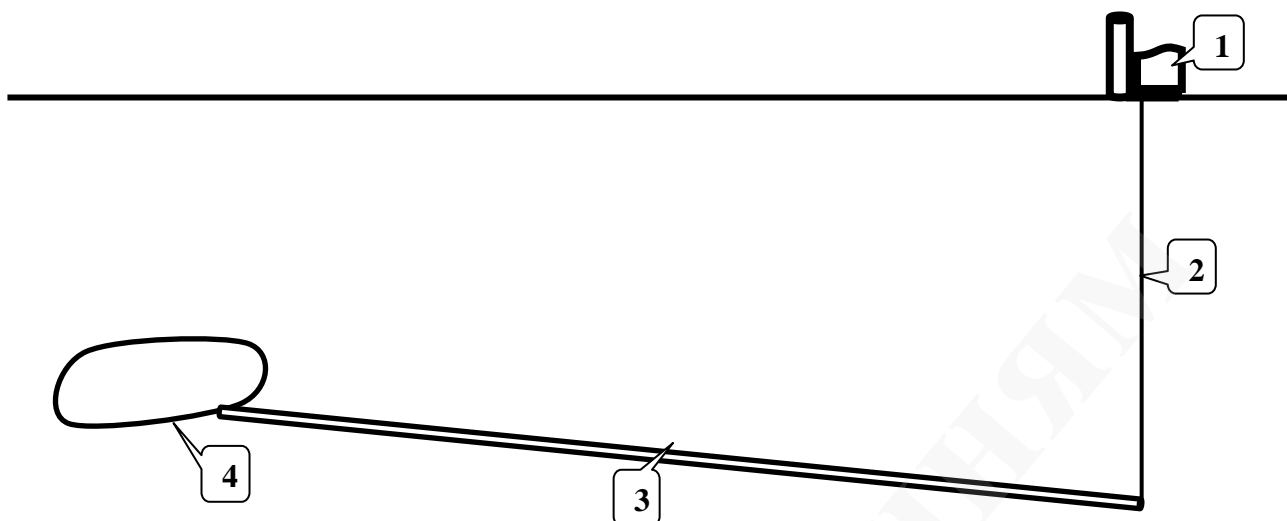


Рис. 1. Схема вибросамотечного трубопроводного транспорта твердеющих закладочных смесей: 1 – закладочный комплекс производительностью $100 \text{ м}^3/\text{час}$; 2 – закладочная скважина длиной 170 м ; 3 – квершлаг длиной $2,5 \text{ км}$ с уклоном 7° ; 4 – рудное тело

Моделирование осуществлено при ступенчатом воздействии и постоянной частоте вращения насоса 1300 об/мин . На первом этапе – 120 с – происходит наполнение стабилизирующей емкости. Второй этап – до 270 с – характеризуется переходным процессом наполнения трубопровода гидросмесью. На третьем этапе подача гидросмеси не ограничена, в результате чего происходит перераспределение ее расхода. Основными параметрами вибродоставки являются: длина транспортирования (L), высота вертикального става трубопровода (H), длина секций (L_1) и расположение вибровозбудителя в пределах секции (L_2) (рис. 2).

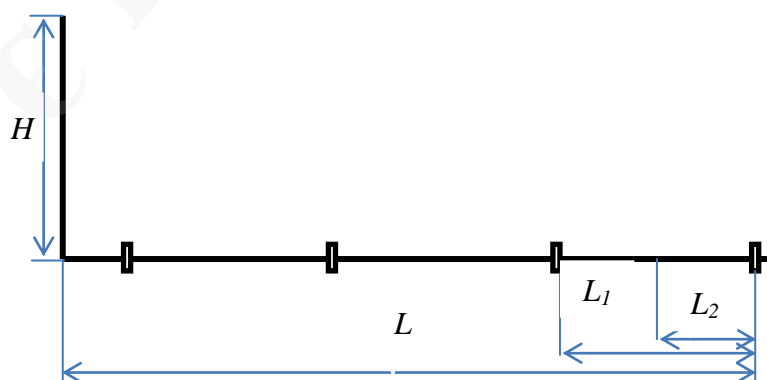


Рис. 2. Схема трубопроводного вибротранспорта твердеющей закладочной смеси

Расслоение смеси исключается при скорости её движения $V=0,5-0,7 \text{ м/с}$ – для смесей с наполнителем крупностью до $5,0 \text{ мм}$ и $0,7-1,0 \text{ м/с}$ – для смесей с наполнителем крупностью $5,0-40,0 \text{ мм}$. Потери напора при движении гидросмесей определены для различной плотности смеси. Параметры гидравлического

сопротивления определены методом наименьших квадратов (табл. 1).

Таблица 1

Динамика гидравлического сопротивления

Проба	Плотность, т/м ³	Гидравлическое сопротивление (I)
1	1,00	$100I = 4,334V^2 + 2,158V$
2	1,11	$100I = 4,819V^2 + 2,323V$
3	1,13	$100I = 4,923V^2 + 2,347V$
4	1,19	$100I = 5,199V^2 + 2,385V$
5	1,22	$100I = 5,308V^2 + 2,523V$
6	1,26	$100I = 5,577V^2 + 2,384V$
7	1,32	$100I = 5,726V^2 + 2,747V$
8	1,40	$100I = 6,029V^2 + 3,007V$

При увеличении скорости потока твердеющей закладочной смеси в трубопроводе закономерно увеличиваются потери, причем полученные расчетом и экспериментально величины потерь напора практически совпадают (рис. 3). Значения критических скоростей отличаются от экспериментальных значений на величину до 34 %. Производительность доставки A (т/час) зависит от крупности компонентов гидросмеси Q (%), от максимального для данных условий значения (рис. 4).

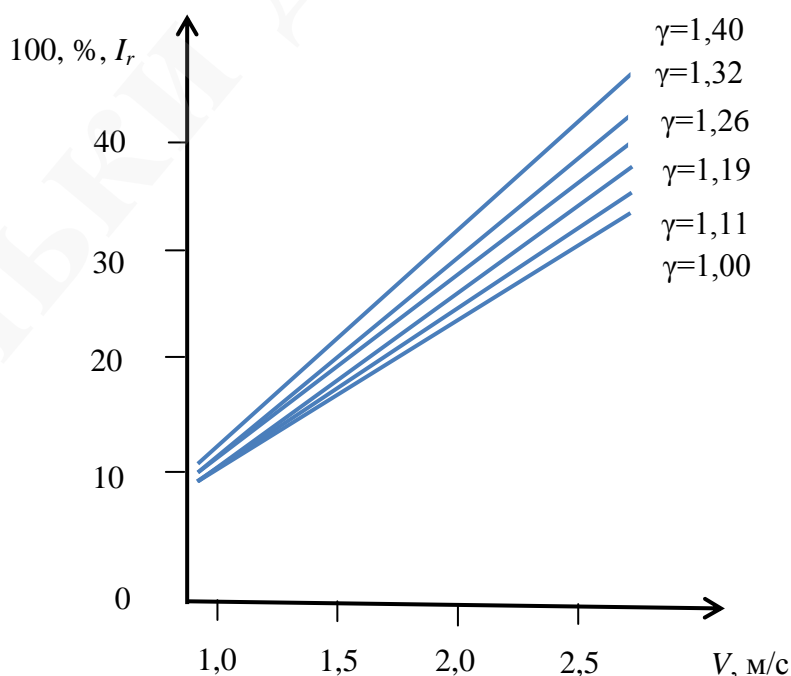


Рис. 3. График зависимости потерь напора от скорости потока твердеющей закладочной смеси

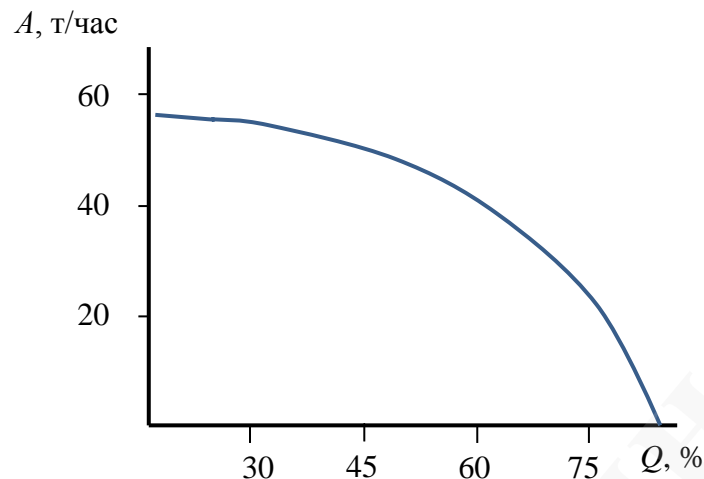


Рис. 4. Зависимость производительности закладочного комплекса A от крупности компонентов гидросмеси Q

С целью проверки и подтверждения основных аналитических выражений, выводов, а также количественного обоснования эффективности работы УВТ с круговой вынуждающей силой при подаче смеси в выработанное пространство проведены экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях. Для решения поставленных задач определяли производительность УВТ в зависимости от направления действия вынуждающей силы B вибровозбудителя, частоты вынужденных колебаний f и величин виброускорения $A\omega^2$. Исследования проведены на лабораторном стенде. Состав твердеющей закладочной смеси из расчета на 1 м^3 : доменный гранулированный шлак молотый – 400 кг, песок – 1200 кг, вода – 400 л, осадка стандартного конуса 11,5 см. Изменение состава смеси производили таким образом, чтобы осадка стандартного конуса составляла 10–13 см.

Измерение величины ускорений колебаний трубопровода производили с использованием датчиков ускорений ДУ-5 (Российская Федерация), входящих в комплект виброизмерительной аппаратуры ВИ6-5МА (Российская Федерация). Результаты замеров представлены на графиках (рис. 5). Максимальная производительность УВТ достигается при: круговой вынуждающей силе вибровозбудителя (кривая 1 на рис. 5, б), виброускорении в месте расположения вибровозбудителя $A\omega^2=(0,6-0,9)g$, частоте колебаний $f=14-18$ Гц и амплитуде колебаний $Ay=1,0-1,5$ мм. Для обеспечения устойчивого положения трубопровода УВТ использованы опоры, в которых установлено по два упругих элемента цилиндрической формы. Ось упругих элементов расположена вертикально. Максимальное значение производительности УВТ получено при соотношении жесткостей упругого элемента в горизонтальной и вертикальной плоскостях $C_x/C_y=1,2-1,4$.

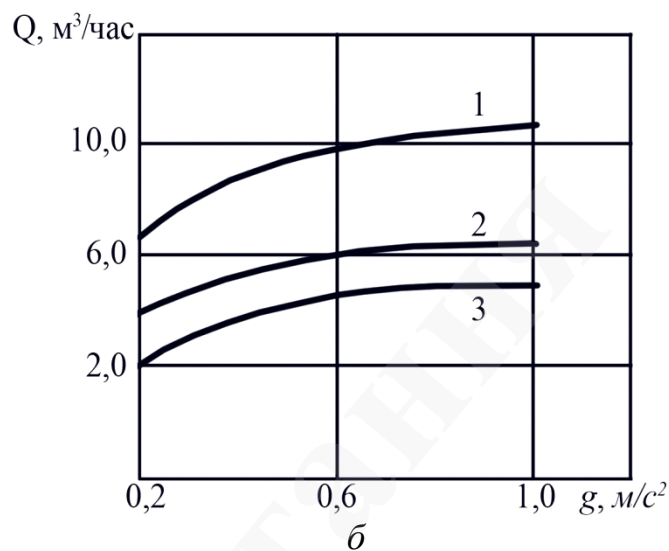
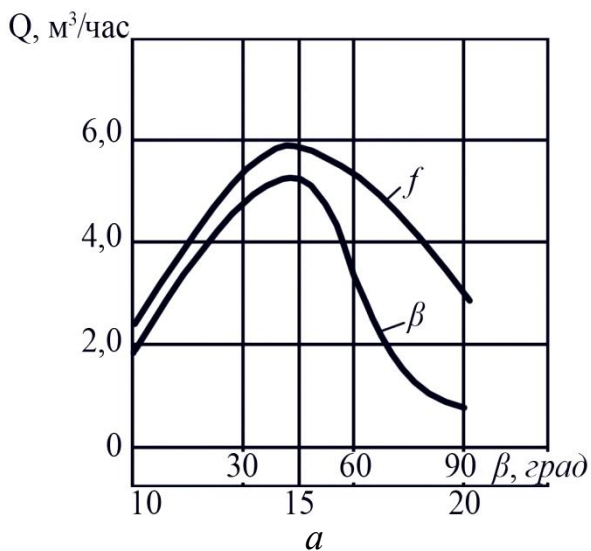


Рис. 5. Зависимость производительности УВТ (установки вибрационного транспорта): *a* – направления действия вынуждающей силы вибровозбудителя и частоты вынужденных колебаний; *б* – виброускорений: при круговой 1 и направленной вынуждающей силе при $\beta=30^\circ$ и $\beta=0^\circ$, соответственно, 2 и 3

Для определения влияния способа доставки твердеющей закладочной смеси в выработанное пространство и концентрации твердого на прочность искусственного массива в лабораторных и промышленных условиях были проведены исследования, при которых изменяли количество воды и глины. Результаты исследований представлены на графиках (рис. 6).

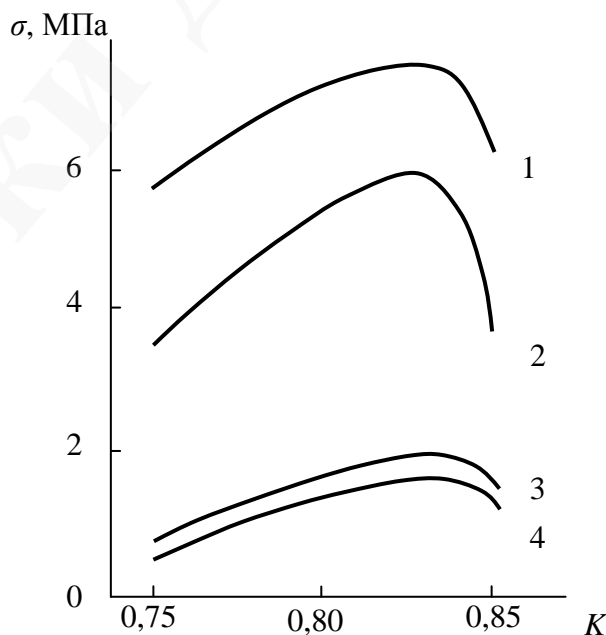


Рис. 6. Зависимость прочности искусственного массива (σ) от концентрации твердого (K) и способа доставки смеси: 1 – вибросамотечный и 2 – самотечный способы доставки при содержании глины 10 % от массы заполнителя; 3, 4 – вибросамотечный при содержании глины от массы заполнителя 30 % и 40 %, соответственно

Анализ полученных результатов показывает, что максимальная прочность искусственного массива достигается при концентрации твердого $K=0,80-0,85$ и вибросамотечном способе ее транспортирования. Основные научные и практические результаты повышения эффективности активации компонентов твердеющей закладочной смеси в УВТ наиболее полно приведены в работах [21, 22].

Анализ полученных результатов показывает, что максимальная прочность искусственного массива достигается при концентрации твердого $K=0,80-0,85$ и вибросамотечном способе ее транспортирования. Основным инструментом активации ингредиентов твердеющей смеси является дезинтегратор, создающий при воздействии на вещество скорость удара на порядок больше, чем в вибрационных и шаровых мельницах и ускорение в миллионы ускорений свободного падения [23].

Экспериментальная технология отличается комплексированием активаторов механо-, вибро- и электрохимического или иных типов. Данная технология включает виброактивацию инертных заполнителей на виброгрохоте, шлаковую добавку в дезинтеграторе и вибромельнице, воды затворения в установке электрохимической обработки, и вибрацию твердеющей закладочной смеси при транспортировке (рис. 7).

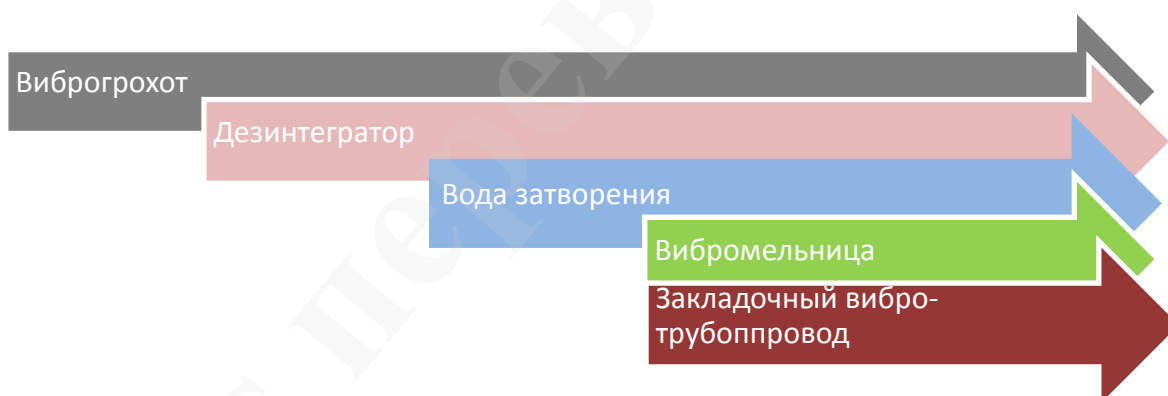


Рис. 7. Схема комплексирования активаторов при изготовлении и транспортировании твердеющих закладочных смесей

Технологическая схема закладочного комплекса с дезинтегратором-активатором ДУ-65 (фирма «Дезинтегратор», Эстония) и вертикальной вибромельницей МВВ-0,7 (Украина), включает также склад шлака, емкость цемента, конвейер, смеситель, скважины и закладочный трубопровод для подачи твердеющей смеси в выработанное пространство камер. Дезинтеграторная технология обеспечивает приращение активности вяжущих на величину до 40 % [24].

Экспериментальное освоение новых технологий активации компонентов твердеющих смесей при подземной добыче руд проведено на Акционерном обществе «Целинный горно-химический комбинат» (АО «ЦГХК», г. Степногорск, Республика Казахстан). Результаты позволяют заключить, что

комплексирование методов активации ингредиентов смеси обладает рядом преимуществ, главными из которых являются:

- возможность увеличения сырьевой базы;
- повышение коэффициента полноты ресурсов недр;

– возможность доставки смеси на расстояние, значительно превышающее предельное для традиционных технологий. Это позволяет отказаться от строительства новых закладочных комплексов. Эффективность приготовления и транспортирования твердеющих смесей на дальние расстояния определяется взаимодействием не только известных факторов, но и наложением на них фактора активации. При использовании новой технологии повышается полнота использования недр, сохраняется земля для сельскохозяйственного производства и снижается нагрузка на окружающую среду за счет ликвидации опасности хранения химически опасных хвостов обогащения металлических руд [25].

6. Результаты исследований

6.1. Виброинтенсификация твердеющих смесей

На таких горных предприятиях, как Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК», г. Желтые Воды, Украина), разрабатывающих рудные месторождения, широко применяется способ заполнения выработанных пространств твердеющей закладочной смесью на основе молотого гранулированного шлака Криворожского металлургического комбината (Публичное акционерное общество «АрселорМиттал Кривой Рог», Украина) [26]. Ее состав на 1 м³ смеси: шлак – 250–400 кг, песок – 1200–1350 кг, вода затворения – 300–450 л в зависимости от прочности закладки на сжатие.

На горных предприятиях АО «ЦГХК» рудные залежи обрабатываются камерными системами с твердеющей закладкой [27], где используются:

– карагандинские шлаки доменного производства, зола-уноса углей Канско-Ачинского бассейна, феррохромовые шлаки Актюбинского завода «Ферросплав», фосфогипсы Воскресенского объединения и Фрунзенской ТЭЦ (тепловая электростанция), Республика Казахстан;

– зола-уноса Рефтинской тепловой (конденсационной) ГРЭС (Государственная районная электростанция), Российская Федерация. Принципиальная возможность использования в качестве вяжущих дешевых материалов доказана, однако промышленное применение пока имеют в основном шлаки доменного производства.

Важной составной частью монолитной закладки является ее жесткая основа-заполнитель. Заполнитель оказывает влияние на прочность и транспортные качества закладки. Известны материалы, применимые для приготовления твердеющих закладочных смесей: природные пески и гравий, породы отвалов, хвосты РОФ (рудообогатительная фабрика), шлаки металлургического производства, однако несмотря на богатую минерально-сырьевую базу страны, количество стандартных заполнителей не удовлетворяет запросам производства. Это усиливается высокой стоимостью транспортных перевозок [28].

Непременный компонент твердеющей закладочной смеси – вода для затворения. Повышенная кислотность воды замедляет реакцию схватывания, выщелачивает цемент и нейтрализует его химическую активность.

Применение нестандартных мелких глиносодержащих (до 30 %) песков для приготовления твердеющих закладочных смесей связано с увеличением расхода вяжущих материалов. Использование для затворения цементного камня шахтной воды препятствует проявлению свойств компонентов твердеющей закладочной смеси. Эти недостатки устраняются при подготовке исходных материалов путем их активации в аппаратах.

Выбор рационального решения режимов и аппаратов активации снижает расход вяжущих и стоимости закладочной технологии. Для твердеющей закладочной смеси существенное влияние на прочность искусственного массива оказывает тонкость измельчения шлака. При одинаковом расходе вяжущего прочность контрольных образцов, у которых тонкость измельчения шлака составляла 88 % по классу – 0,074 мм в 5 раз больше, чем при тонкости 50 %.

Наличие в твердеющей закладочной смеси связанных материалов ухудшает условия формирования искусственных массивов. Отклонения по этим причинам от режима приготовления, транспортирования и размещения смеси вызывает расслоения в трубопроводе. Поэтому при изготовлении малопрочной закладки с прочностью на сжатие до 1,2 МПа необходимо обеспечить тонкость измельчения, разрушение слабосвязанных кусков заполнителя и стабильный режим транспортирования. Это осуществляется путем виброактивации инертных материалов, механоактивации вяжущих перед затворением, виброактивации твердеющей закладочной смеси в процессе ее транспортирования и электрохимической активации воды [29].

Механоактивация вяжущих осуществляется в измельчителях, например, наиболее распространенная шаровая мельница МЩ 3200×4500 (Российская Федерация). Однако наиболее эффективны быстродействующие аппараты, например, дезинтеграторы-активаторы ДУ-65 и мельница вибрационная вертикальная МВВ-0,7.

На горных предприятиях АО «ЦГХК» применены аппараты вибро-, механо- и электрохимической активации для получения твердеющей закладочной смеси прочностью до 1,2 МПа, при использовании низкосортных материалов.

Для приготовления твердеющих закладочных смесей использованы нестандартные пески, цемент, шлак и шахтная вода. Соотношение вяжущего и инертного заполнителя составляло 1:3, а количество воды подбирали для осадка конуса Стройцила 10–12 см [30].

Для проведения исследований построено измельчительное отделение при закладочном комплексе, смонтирована установка вибротранспорта твердеющей закладочной смеси, разработана конструкция виброгрохота ГВ-1,2/3,3 (Украина), смонтирован дезинтегратор-активатор ДУ-65, выполнено отделение активации воды с установкой электрохимической очистки шахтных вод (ЭХО). Результаты данных исследований и опытно-промышленных работ приведены ниже.

Одно из основных отличий дезинтеграторной технологии активации от помола в шаровой мельнице состоит в том, что скорости ударов частиц шлака о

рабочие поверхности на порядок выше, а ускорение частицы в миллион раз превышает ускорение свободного падения тела [31].

Дезинтеграторная установка ДУ-65 вмонтирована в технологическую цепь закладочного комплекса на основе автоматизированной бетоносмесительной установке непрерывного действия СБ-75 (Украина) производительностью 70 м³/ч. Дезинтегратор ДУ-65 впервые в практике применен для промышленного измельчения добавок к цементу. Схема управления установкой позволяет изменять режимы его работы. Рабочим органом дезинтегратора являются 3-х и 4-х рядные роторы, привод которых осуществляется электродвигателями мощностью 200 и 250 кВт. Поверхности роторов покрыты износостойким сплавом. Удельный нетто-расход металла роторов составляет около 0,2 кг на 1 т гранулированного шлака, что в себестоимости твердеющей закладочной смеси не превышает 0,3 %. Подтверждена техническая возможность и экономическая целесообразность использования дезинтеграторной технологии подготовки шлаковых добавок. Установка обеспечивает по исходному материалу:

- производительность – 24 т/ч;
- выход фракции – 0,074 мм – 50–55 %.

Расход энергии при 3-рядных роторах составляет 9 кВт·ч/т, при 4-рядных – 10–13 кВт·ч/т. На замену роторов затраты времени – до 15 % продолжительности смены.

Недостатком дезинтеграторной технологии является снижение выхода активной фракции при залипании рабочих поверхностей ротора с изменением влажности исходного шлака. В реальных условиях, метеорологические осадки приводят к нарушению непрерывности процесса при сухой схеме подготовки. Способ мокрого помола в дезинтеграторе известен. Этот способ заключается в подаче воды в центр дезинтегратора одновременно с материалом при массовом соотношении воды и материала (0,1–0,3):1, однако этот способ не предотвращает налипания влажного материала на рабочие поверхности роторов и не увеличивает выход мелкой фракции. Для устранения этого недостатка разработан способ мокрого помола, согласно которому в дополнении к одновременной подаче воды и материала в дезинтегратор в массовом соотношении 1:1, воду подают до и после подачи материала. Это увеличивает выход активной фракции по сравнению с сухим измельчением на 10 % и снижает зависимость от погодных условий. Частицы из шлака, взаимодействуя с рабочими поверхностями, дробятся, а вода смывает их с поверхностей дезинтегратора. Исключение налипания шлака обеспечивает силу удара частицы и ее разрушение. Схема на 10–15 % уменьшает расход исходного шлака, повышает транспортабельность закладки и является элементом комплексной ресурсосберегающей технологии.

6.2. Результаты внедрения

Таким образом, перспективность поиска путей совершенствования закладочных работ повышается с увеличением доли подземной добычи при истощении доступных для открытой разработки запасов руд и развитии природоохранных тенденций современности. Вибротранспортирование

увеличивает длину доставки твердеющей смеси, что позволяет отказаться от строительства новых комплексов при разработке периферийных участков месторождений. Совершенствование технологии позволяет вовлечь в производство запасы техногенного сырья: хвосты обогащения и малоактивные местные материалы после их подготовки в рекомендованных аппаратах-активаторах [32].

Предложен комплекс технических средств для активации компонентов твердеющих закладочных смесей. В частности, вяжущего (доменного гранулированного шлака), инертных заполнителей, низкосортных песков, хвостов обогащения, пустых пород и забалансовых, по содержанию полезных компонентов, руд (продукт грохочения некондиционных материалов). А также активация воды затворения на установках электрохимической очистки (ЭХО) шахтных вод при изготовлении и транспортировании к месту их укладки. Предложены также шаровая мельница МЩ 3200×4500, вертикальная вибромельница МВВ-0,7, дезинтегратор ДУ-65 и новый комплекс вибрационных питателей-грохотов типа ГВ-1,2/3,2. Они внедрены на таких горных предприятиях, как [33]:

– Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» и Балаклавского рудоуправления (Украина);

– Акционерное общество «Целинный горно-химический комбинат» (Республика Казахстан);

– Публичное акционерное общество «Приаргунское производственное горно-химическое объединение имени Е. П. Славского» и Закрытое акционерное общество «Уралзолото» (Российская Федерация) и других развитых горнодобывающих странах.

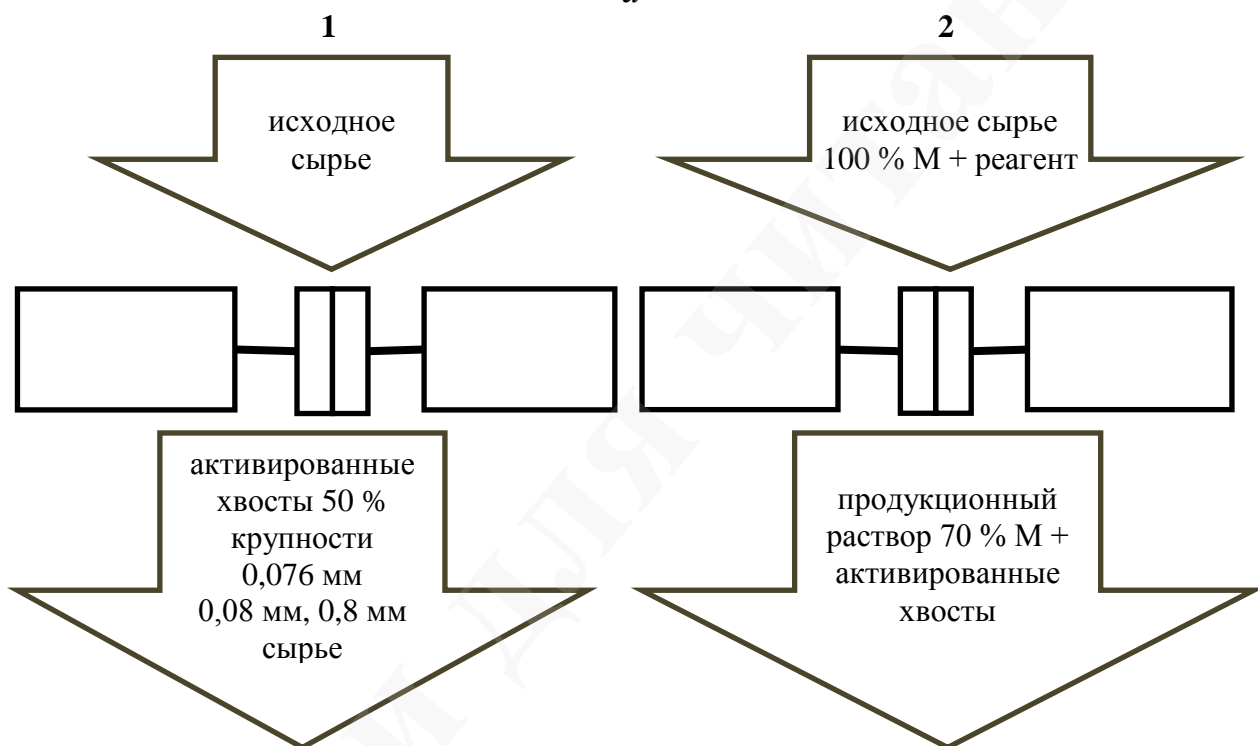
6.3. Перспективные направления дальнейших исследований

Увеличение дальности доставки твердеющих смесей расширяет область применения технологий с закладкой выработанного пространства, сокращает капитальные и эксплуатационные затраты и избавляет от необходимости строительства новых закладочных комплексов с отвлечением значительных площадей земной поверхности. При доставке твердеющих закладочных смесей в техногенные пустоты на большое расстояние и небольшой глубине горных работ наиболее перспективным является вибросамотечный транспорт, обеспечивающий гомогенизацию смеси и приращение прочности за счет активации их в трубопроводе [34].

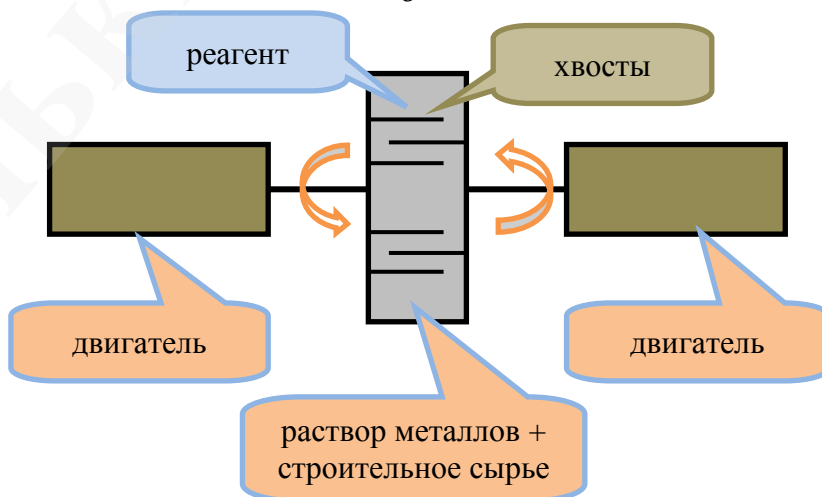
Для переработки техногенных отходов (хвостов обогащения) требуется создавать новые технологии, основанные на последних достижениях науки и техники с использованием геотехнологий и дезинтеграторов типа ДУ-65 (рис. 8).



a



б



в

Рис. 8. Функции дезинтеграторов: *a* – общий вид дезинтегратора типа ДУ-11; *б, в* – схемы извлечения металлов в раствор из хвостов обогащения руд с использованием геотехнологий: 1 – для приготовления бетонных смесей; 2 – для извлечения металлов и приготовления бетонных смесей

Необходимо проводить интенсивные исследования, направленные на решение проблемы утилизации накопленных отходов горно-металлургического производства (ГМП). Реализация эффективных методов извлечения металлов из таких отходов позволит улучшить экологическую обстановку в районах их складирования и обеспечит прирост минерально-сырьевой базы горнодобывающей промышленности. Широкое вовлечение в производство техногенных запасов хвостов обогащения руд, а также переработка отвалов забалансовых, по содержанию полезных компонентов, руд на модульных установках способствуют получению дополнительного источника для промышленности в металлах (рис. 8). А также снижению загрязнения окружающей среды в развитых горнодобывающих странах мира [35, 36].

7. SWOT-анализ результатов исследований

Strengths. На основе обоснования технологий и технических средств для утилизации отходов горно-металлургического производства в подземное выработанное пространство предложен комплекс технических средств для активации компонентов твердеющих закладочных смесей. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства обеспечивают сохранность объектов эксплуатации, безопасное ведение горных работ, полноту использования и охрану недр и окружающей среды, а также жизнедеятельность населения, проживающего в зоне влияния горных объектов [37, 38].

Weaknesses. Основным отрицательным влиянием горной технологии на окружающую природную среду и человека являются большие затраты на сохранность дневной поверхности и обеспечение жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горных объектов, вывод больших площадей земель из пользования и др. [39, 40]. Поэтому необходимо предусматривать средства на проведение следующих мероприятий:

- глубинная переработка техногенных отходов (хвостов обогащения), обладающих большим разнообразием минеральных форм по сравнению с обычными рудами;
- рекультивация территории промышленных площадок и близлежащей к ним территории после окончания эксплуатации;
- озеленение рекультивированной территории травяной и кустарниковой растительностью;
- постоянный мониторинг компонентов окружающей среды в зоне влияния горных объектов.

Opportunities. При доставке твердеющих закладочных смесей в техногенные пустоты на большое расстояние и небольшой глубине горных работ наиболее перспективным является вибросамотечный транспорт, обеспечивающий гомогенизацию смеси и приращение прочности за счет активации их в трубопроводе. Широкое вовлечение в производство техногенных запасов хвостов обогащения руд, а также переработка отвалов забалансовых, по содержанию полезных компонентов, руд на модульных установках способствуют получению дополнительного источника для промышленности в металлах [41, 42].

Threats. Для предотвращения пылевого переноса загрязненного материала за пределы горных объектов, санитарно-защитные зоны и полосы вокруг них целесообразно засаживать высокорослыми древесными породами, которые будут сдерживать скорость ветра над указанными объектами. К ним относятся шахты, отвалы пустых пород и забалансовых по содержанию полезного

компонента руд, закладочные комплексы, площадки предконцентрации и кучного выщелачивания металлов из некондиционного рудного сырья, хвостохранилища и др. При этом пыль будет оседать в этих лесных насаждениях и не будет поступать на другие территории, в том числе и в населённые пункты. Кроме того, нужно разработать научно-методические основы, технологии и технические средства для повышения плодородности и эффективности использования почв промышленных зон горных объектов, а также дать оценку их влияния на окружающую среду и человека [11–13, 42].

8. Выводы

1. Установлено, что применение вибро-, механо- и электроактивации компонентов твердеющей закладочной смеси на горных предприятиях приводит к повышению активности некондиционных материалов на величину до 10–40 % для каждого аппарата. В частности, обогащение инертных материалов на виброгрохоте ГВ-1,2/3,2 (Украина) увеличивает активность на 15–20 %.

2. Обосновано, что активация вяжущих материалов (доменных гранулированных шлаков) в дезинтеграторе ДУ-65 (фирма «Дезинтегратор», Эстония) увеличивает активность вяжущего на 20–25 %, при выходе активного класса фракций крупностью 0,074 мм – на 55 % против 40 % в шаровых мельницах.

3. Рекомендованы вибротранспортные установки, которые увеличивают активность твердых компонентов твердеющей закладочной смеси на 10–15 %. А электродиализные аппараты для активации воды затворения увеличивают ее активность на 30–40 %. Применение установок вибросамотечного транспорта обеспечивает подачу закладочной смеси на расстояние, превышающее в 15–20 раз высоту вертикального става.

4. Предложен комплекс технических средств для активации компонентов твердеющих закладочных смесей (вяжущего, инертного заполнителя и электрохимически очищенной шахтной воды затворения) при изготовлении и транспортировании к месту их укладки. Данный комплекс внедрен на горных предприятиях ГП «ВостГОК», Балаклавского рудоуправления (Украина), шахтах АО «ЦГХК» (Республика Казахстан), ОАО «Приаргунское горно-химическое объединение» и ПО «Уралзолото» (Российская Федерация) и других развитых горнодобывающих странах.

Благодарность

В организации создания, совершенствования и внедрения научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты:

- ГП «УкрНИПИИПромтехнологии» и ГП «ВостГОК» (г. Желтые Воды, Украина);
- Национального технического университета «Днепровская политехника» и Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), г. Днепр, Украина;
- АО «Целинный горно-химический комбинат» (г. Степногорск, Республика Казахстан).

В работе принимали участие Поддубный И. К., Платонов В. Н., Рягузов П. И., Дятчин В. З., Дудченко А. Х., Скотаренко А. Г., Костецкий С. Н., Кравченко Н. Г., Коваленко В. Н.

Литература

1. Gridley, N. C., Salcedo, L. (2011). *Cemented paste production provides opportunity for underground ore recovery while solving tailings disposal needs*. Australian Centre for Geomechanics. Perth, 431.
2. Golik, V. I. (2013). Kontseptualnye podkhody k sozdaniiu malo- i bezotkhodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniia fiziko-tekhnicheskikh i fiziko-khimicheskikh geotekhnologii. *Gornyi zhurnal*, 5, 93–97.
3. Lyashenko, V., Khomenko, O., Topolnij, F., Golik, V. (2020). Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed massifs. *Technology Audit and Production Reserves*, 1 (3 (51)), 17–24. doi: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.195946>
4. Lyashenko, V., Khomenko, O., Golik, V., Topolny, F., Helevera, O. (2020). Substantiation of environmental and resource-saving technologies for void filling under underground ore mining. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (3 (51)), 9–16. doi: <http://dx.doi.org/10.15587/2312-8372.2020>
5. Golik, V. I., Hasheva, Z. M. (2015). Economical Efficiency of Utilization of Allied Mining Enterprises Waste. *The Social Sciences*, 10 (5), 682–686.
6. Golik, V., Doolin, A., Komissarova, M., Doolin, R. (2015). Evaluating the Effectiveness of Utilization of Mining Waste. *International Business Management*, 9 (5), 1993–5250.
7. Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V. (2015). Feasibility of using the mill tailings for preparation of self-hardening mixtures. *Metallurgical and Mining Industry*, 3, 38–41.
8. Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V. (2015). Innovative technologies of metal extraction from the ore processing mill tailings and their integrated use. *Metallurgical and Mining Industry*, 3, 49–52.
9. Khint, I. A. (1981). *UDA- tekhnologiya: problemy i perspektivy*. Tallin, 87.
10. Sleptsov, M. N., Azimov, R. Sh., Mosinets, V. N. (1986). *Podzemnaia razrabotka mestorozhdenii tsvetnykh i redkikh metallov*. Moscow: Nedra, 206.
11. Liashenko, V. I., Golik, V. I., Kolokolov, O. V. (1994). Sozdanie i vnedrenie prirodno- i resursosberegaiuschikh tekhnologii podzemnoi razrabotki mestorozhdenii slozhnoi struktury. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*, 4, 31–37.
12. Liashenko, V. I., Golik, V. I. (2006). Prirodookhrannye tekhnologii podzemnoi razrabotki uranovykh mestorozhdenii. *Gornyi zhurnal*, 2, 89–92.
13. Liashenko, V. I., Golik, V. I., Kozyrev, E. N. (2008). Kombinirovaannye tekhnologii dobychi poleznykh iskopaemykh s podzemnym vyschelachivaniem. *Gornyi zhurnal*, 12, 37–40.
14. Yuan, Y., Bolan, N., PrévotEAU, A., Vithanage, M., Biswas, J. K., Ok, Y. S., Wang, H. (2017). Applications of biochar in redox-mediated reactions. *Bioresource Technology*, 246, 271–281. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.154>
15. Kotenko, E. A., Mosinets, V. N. (1995). Radiatsionno-ekologicheskaiia bezopasnost pri dobyche i pererabotke uranovykh rud. *Gornyi zhurnal*, 7, 32–36.
16. Lomonosov, G. G., Polonik P. I., Abdalakh, Kh. (2000). Sovershenstvovanie tekhnologii ochistnykh rabot na osnove primeneniia pastoobraznykh zakladochnykh materialov. *Gornyi zhurnal*, 2, 21–23.

17. Chernov, A. P. (Ed.) (2001). *Dobycha i pererabotka uranovikh rud v Ukraine*. Kyiv: Adef – Ukraina, 238.
18. Kvitka, V. V., Sergeev, V. E., Troter, K. et. al. (2001). Tverdeiuschie zakladochnye smesi povyshennoi plotnosti. *Gornyi zhurnal*, 5, 33–35.
19. Lottermoser, B. (2012). *Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts*. New York: Springer, 400.
20. Maanju, S. K. (2013). Impact of Mining Industry on Environmental Fabric -A Case Study of Rajasthan State in India. *IOSR Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, 6 (2), 8–13. doi: <http://doi.org/10.9790/2402-0620813>
21. Liashenko, V. I., Franchuk, V. P. (2017). Hardening stowage mixture components activation efficiency improvement in vibration pipeline transport plants. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*, 4, 92–100.
22. Lyashenko, V. I., Golik, V. I. (2017). Scientific and engineering supervision of uranium production development. achievements and challenges. *Mining informational and analytical bulletin*, 7, 137–152. doi: <http://doi.org/10.25018/0236-1493-2017-7-0-137-152>
23. Chowdhury, S. R., Yanful, E. K., Pratt, A. R. (2014). Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation - an experimental study. *Environmental Science and Pollution Research*, 21 (17), 10096–10107. doi: <http://doi.org/10.1007/s11356-014-2892-x>
24. Modaihsh, A. S., Mahjoub, M. O., Nadeem, M. E. A., Ghoneim, A. M., Al-Barakah, F. N. (2016). The Air Quality, Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon, Organic Carbon, and Diurnal Variation of Particulate Matter over Riyadh City. *Journal of Environmental Protection*, 7 (9), 1198–1209. doi: <http://doi.org/10.4236/jep.2016.79107>
25. Bei yuan, J., Awad, Y. M., Beckers, F., Tsang, D. C. W., Ok, Y. S., Rinklebe, J. (2017). Mobility and phytoavailability of As and Pb in a contaminated soil using pine sawdust biochar under systematic change of redox conditions. *Chemosphere*, 178, 110–118. doi: <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.022>
26. Deng, D. Q., Liu, L., Yao, Z. L., Song, K. I.-I. L., Lao, D. Z. (2017). A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine. *Journal of Environmental Management*, 196, 100–109. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.056>
27. Vrancken, C., Longhurst, P. J., Wagland, S. T. (2017). Critical review of real-time methods for solid waste characterisation: Informing material recovery and fuel production. *Waste Management*, 61, 40–57. doi: <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.019>
28. Cheng, Y., Jiang, H., Zhang, X., Cui, J., Song, C., Li, X. (2017). Effects of coal rank on physicochemical properties of coal and on methane adsorption. *International Journal of Coal Science & Technology*, 4 (2), 129–146. doi: <http://doi.org/10.1007/s40789-017-0161-6>
29. Paul, A., Ramachandra Murthy, V. M. S., Prakash, A., Singh, A. K. (2018). Estimation of Rock Load in Development Workings of Underground Coal Mines – A Modified RMR Approach. *Current Science*, 114 (10), 2167–2174. doi: <http://doi.org/10.18520/cs/v114/i10/2167-2174>
30. Soroka, M. N., Savelev, Iu. Ia. (2004). Perspektivy utilizatsii khvostov gidrometallurgicheskogo peredela i droblennykh gornykh porod v vyrabotannoe prostranstvo uranodobyvaiuschikh shakht Ukrainy. *Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost*, 5, 91–94.

31. Gusev, Iu. P., Berezikov, E. P., Krupnik, L. A. et. al. (2008). Resursosberegaiuschie tekhnologii dobychi rudy na Malevskom rudnike Zyrianovskogo GOKa (AO «Kaztsink»). *Gornyi zhurnal*, 11, 20–22.
32. Kutepov, Iu. I., Kutepova, N. A., Zharikov, V. P. (2011). Inzhenerno–geologicheskoe i ekologicheskoe obosnovanie rekultivatsii gidrootvalov Kuzbassa. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten*, 2, 34–42.
33. Trubetskoy, K. N., Kaplunov, D. R., Ryl'nikova, M. V. (2012). Problems and prospects in the resource-saving and resource-reproducing geotechnology development for comprehensive mineral wealth development. *Journal of Mining Science*, 48 (4), 688–693. doi: <http://doi.org/10.1134/s1062739148040132>
34. Averianov, K. A., Angelov, V. A., Akhmedianov, I. Kh., Rylnikova, M. V. (2012). Razvitie klassifikatsii tekhnogenogo syria gornyxh predpriatii i obosnovanie tekhnologii ego aktivnoi utilizatsii. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten*, 5, 208–213.
35. Bratukhina, N. A., Plotnikov, I. S., Demchenko, I. I. (2015). Selection of the optimal values of the parameters of the screen with the cable moving field. *Izvestiia vuzov. Gornyi zhurnal*, 3, 111–118.
36. Komashenko, V. I. (2016). Creating blasting technology which decreasing environmental detrimental effect. *Izvestiia Tuskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*, 1, 34–43.
37. Kaplunov, D. R., Radchenko, D. N. (2017). Design philosophy and choice of technologies for sustainable development of underground mines. *Gornyi Zhurnal*, 11, 52–59. doi: <http://doi.org/10.17580/gzh.2017.11.10>
38. Lyashenko, V. I., Dyatchin, V. Z., Lisovoy, I. A. (2018). Increase of Environmental Safety of Mining Production on the Basis of Waste Utilization of Extraction and Processing of Ore Raw Materials. *Ecology and Industry of Russia*, 22 (4), 4–10. doi: <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-4-4-10>
39. Krupskaya, L. T., Golubev, D. A., Rastanina, N. K., Filatova, M. Y. (2019). Reclamation of tailings storage surface at a closed mine in the Primorsky Krai by bio remediation. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 9, 138–148. doi: <http://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-09-0-138-148>
40. Волков Е. П., Анущенко А. Н. (2019). Developing the technology of mine stowing with processing tailings based hardening blends. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii gornyi zhurnal*, 7, 5–13. doi: <http://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-7-5-13>
41. Lyashenko, V. I., Khomenko, O. E. (2019). Enhancement of confined blasting of ore. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 11, 59–72. doi: <http://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-11-0-59-72>
42. Liashenko, V. I., Golik, V. I. (2020). Combined geotechnologies for preconcentration of ore reserves by leaching of metals from ore raw materials. *Marksheideriia i nedropolzovanie*, 2 (106), 16–23.