

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ ОБРАЗОВАНИЯМИ И ОТХОДАМИ ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.И. Ляшенко¹, О.Е. Хоменко², Т.В. Чекушина³, Т.В. Дудар⁴, И.А. Лисовой⁵

¹ Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии, Желтые Воды, Украина,
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

² Национальный технический университет «Днепропетровская политехника»,
Днепр, Украина

³ Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

⁴ Национальный авиационный университет, Киев, Украина

⁵ Уманский национальный университет садоводства, Умань, Украина

Аннотация: Отходы горно-металлургического производства (пустые породы, забалансовые по содержанию металла руды и хвосты кучного выщелачивания, которые содержат естественные загрязняющие вредными веществами минералы), складированы, как правило, на поверхности в отвалах. При добыче и первичной переработке 1 т товарной руды на месторождениях сложной структуры попутно извлекается 1,4–1,6 т отходов, создающих экологически неблагоприятную обстановку горнодобывающего региона. Утилизация отходов горно-металлургического производства (закладка выработанных пространств, сооружение плотин специальных хранилищ и пр.) позволяет использовать до 50–60% общего их объема, а оставшаяся часть подлежит захоронению, дезактивации и последующей рекультивации загрязненных территорий. Показано, что применение вибро-, механо- и электроактивации компонентов твердеющей закладочной смеси на горных предприятиях приводит к повышению активности вяжущих (доменного гранулированного шлака) и некондиционных материалов (низкосортных песков, дробленой породы, хвостов обогатительных фабрик и отходов выщелачивания гидрометаллургического производства) для каждого аппарата на величину до 10–40%. В частности, рудоподготовка инертных материалов на виброгрохоте ГВ-1,2/3,2 (Украина) увеличивает прочность твердеющей закладочной смеси (активность) на 15–20%.

Ключевые слова: отходы горно-металлургического производства, утилизация, дезактивация, рекультивация, загрязненные территории, природоохранная и ресурсосберегающая технология, технические средства, жизнедеятельность населения.

Для цитирования: Ляшенко В. И., Хоменко О. Е., Чекушина Т. В., Дудар Т. В., Лисовой И. А. Развитие технологий и технических средств для управления техногенными образованиями и отходами горнометаллургического производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12. – С. 132–148. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_132.

Technologies and equipment for mining and metallurgy waste management

V.I. Lyashenko¹, O.E. Khomenko², T.V. Chekushina³, T.V. Dudar⁴, I.A. Lisovoy⁵

¹ Ukrainian Research and Development and Survey Institute of Industrial Technology, Zholti Vody, Ukraine, e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

³ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴ National Aviation University, Kyiv, Ukraine

⁵ Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Abstract: Waste in the mining and metallurgy industries (barren rocks, low-grade ore and heap leaching tailings, which contain natural impurities) are stored as a rule in piles on ground surface. Mining and pretreatment of ore extracted from structurally complex bodies results in 1.4–1.6 t of waste per 1 t of marketable ore, which generates the environmentally unfriendly situation in the mining areas. The mining and metallurgy waste recycling (backfilling, construction of dams and special storages, etc.) allows disposal up to 50–60% of total waste volume, and the rest waste is subjected to repository, decontamination and disturbed land reclamation. It is shown that vibratory, mechanical and electrical activation of cemented paste backfill mixture components improves activity of binders (blast-furnace grain slag) and low-grade materials (low-quality sand, crushed rock, processing rejects and leaching tailings) by 10–40% per each machine. In particular, inert ore pretreatment on jigger screen GV–1,2/3,2 (Ukraine) increases strength (activity) of cemented paste backfill by 15–20%.

Key words: mining and metallurgy industry waste, recycling, decontamination, land reclamation, eco-friendly and resource-saving technology, equipment, people life.

For citation: Lyashenko V. I., Khomenko O. E., Chekushina T. V., Dudar T. V., Lisovoy I. A. Technologies and equipment for mining and metallurgy waste management. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12):132-148. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_12_0_132.

Введение

Добыча минерального сырья оказывает отрицательное влияние на окружающую природную среду [1, 2]. Нейтрализация этого влияния достигается за счет природо- и ресурсосберегающих технологий и технических средств добычи полезных ископаемых [3, 4]. К таким технологиям авторы относят, прежде всего, различные варианты систем разработки с заполнением выработанных пространств твердеющими закладочными смесями различного состава и прочности [5, 6]. Однако их применение усложняется вследствие:

- сложности управления состоянием рудовмещающих энергонарушенных массивов;
- транспортирования по трубопроводу твердеющих закладочных смесей на значительные расстояния по вертикали и горизонтали к месту их укладки;
- повышенных материальных и трудовых затрат;
- дефицита материала для приготовления смесей.

По этой причине разработка новых методов, технологий и технических средств комплексного использования отходов горно-металлургического про-

изводства — задача, имеющая важное коммерческое и социальное значение, требующая оперативного решения [7, 8]. Этим обеспечивается надежность транспортирования твердеющих закладочных смесей по трубопроводу, безопасность работ, возможность использования для закладки местных некондиционных материалов и отходов производства.

Это повышает важность вопросов управления напряженно-деформационным состоянием (НДС) массива горных пород, обеспечения сохранности дневной поверхности от разрушения и жизнедеятельности населения, проживающего в зоне влияния горнодобывающего региона [9, 10].

Данная работа является продолжением исследований, основные научные и практические результаты которых наиболее полно приведены в [11].

Цель исследования — развитие технологий и технических средств для управления техногенными образованиями и отходами горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства (техногенные пустоты) в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей различного состава и прочности.

Для достижения этой цели решались следующие задачи:

1. Определить основные направления утилизации отходов горно-металлургического производства.

2. Оценить технологические схемы закладочных комплексов и уровень утилизации отходов горно-металлургического производства в подземное выработанное пространство в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей.

3. Обосновать рациональное аппаратное решение для снижения расхода вяжущих и затратности закладочной технологии.

Обсуждение результатов исследований

Создание экологических технологий особенно важно для горнодобывающих и перерабатывающих предприятий сырьевой базы цветной металлургии и атомной энергетики, относящихся к числу отраслей промышленности с наибольшим количеством различных отходов, включая радиоактивные на единицу готовой продукции. Отходы горного производства (пустые породы, забалансовые по содержанию металла руды и хвосты кучного выщелачивания, которые содержат естественные загрязняющие вредными веществами материалы), складываются, как правило, на поверхности в отвалах [12].

Анализ работы горных предприятий показывает, что при добыче и первичной переработке 1 т товарной урановой руды попутно извлекается 1,4–1,6 т отходов, создающих экологически неблагоприятную обстановку региона. Утилизация отходов горно-металлургического производства (закладка выработанных пространств, сооружение плотин специальных хранилищ и пр.) позволяет использовать до 50–60% общего их объема, а оставшаяся часть подлежит захоронению, дезактивации и последующей рекультивации загрязненных территорий. Проблема получения экологически безопасных материалов особенно важна при использовании отходов, концентрирующих в себе естественные радионуклиды, представляющие опасность для здоровья человека и окружающей среды [13]. К таким концентраторам радионуклидов относятся отходы урановой, угледобывающей, теплоэнергетической и других отраслей промышленности. Также большое значение имеет определение радионуклидного состава фракций отходов и их соответствия нормам радиационной безопасности отдельных стран [14, 15], в том числе нормам, со-

ответствующим международным радиологическим показателям [16].

Отходы перерабатывающего производства гидromеталлургических заводов (ГМЗ) представляют собой также естественные радиоактивные материалы крупностью 0,074 мм, которые транспортируются по пульпопроводам и складываются в специальных хранилищах намывного типа. В связи с этим проблема утилизации отходов горнодобывающих и перерабатывающих производств приобретает важное народнохозяйственное значение, особенно в районах плодородных и густонаселенных земель.

Опыт работы горных предприятий показывает, что отходы их производств возможно утилизировать по следующим основным направлениям:

- в качестве закладочного материала (в твердеющих смесях и гидросмесях, а также сыпучей закладке) для заполнения выработанных пространств, образованных в процессе ведения горных работ;
- для заполнения выработанных пространств отработанных карьеров, воронок обрушения, различных оврагов и балок с последующей рекультивацией нарушенной поверхности;
- в строительстве плотин, дамб хранилищ для складирования отходов с последующей их рекультивацией;
- для изготовления щебня.

Важнейшим мероприятием для повышения полноты извлечения запасов, охраны недр и окружающей среды при подземной добыче руд является переход на системы разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Авторы относят технологию добычи с твердеющей закладкой к природо- и ресурсосберегающей. Это достигается прежде всего благодаря сплошной отработке рудных тел, увеличению высоты этажа и параметров системы разработки. Данная технология

направлена на снижение потерь руды в целиках и днищах блоков, а также на увеличение возможности опережающей или отдельной отбойки и выемки руды. Снижение потерь полезных ископаемых при добыче и переработке руд достигается за счет уменьшения разубоживания и повышения полноты извлечения полезных компонентов на пределе. Применение технологии с закладкой техногенных пустот позволяет недропользователю сократить число одновременно отработываемых месторождений и сконцентрировать усилия на самых рентабельных из них, а также уменьшить объем геологоразведочных и горных работ.

Технология с закладкой особенно эффективна в районах с охраняемой поверхностью высокоценных земель при добыче богатых и дефицитных руд, когда затраты, связанные с закладочными работами, компенсируются вышеуказанным положительным эффектом. В последние годы объемы применения твердеющей закладки при добыче руд резко возросли. Это обеспечено результатами целенаправленных исследований по изысканию новых исходных материалов для твердеющих закладочных смесей, подбору рациональных составов и совершенствованию закладочного хозяйства горных предприятий. Однако на практике при определении составов твердеющей закладочной смеси не в полной мере учтены факторы, влияющие на ее свойства, а в качестве вяжущего материала преимущественно используется цемент или молотый гранулированный шлак кислого вида с активизирующими добавками. На сегодняшний день эти материалы стали дефицитными.

В ходе исследования выполнен анализ литературных источников и патентной документации в области технологий и технических средств для утилизации техногенных образований и отходов

горно-металлургического производства в подземные выработанные пространства (техногенные пустоты) и складирования их в хвостохранилища. Это обеспечивается за счет активации вяжущего, некондиционного инертного заполнителя и электрохимически очищенной шахтной воды затворения при изготовлении и транспортировании их к месту укладки. Также путем складирования хвостов после гидроциклонирования и добавки отвердителя в хвостохранилища.

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.

Одним из вопросов, требующих решения, является управление состоянием рудовмещающих энергонарушенных массивов и доставка твердеющих закладочных смесей к месту их укладки, а также дефицит компонентов для их приготовления. Это достигается за счет природоохранных и ресурсосберегающих технологий при подземной разработке месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства различного состава и прочности.

Для решения поставленной в работе цели:

- выполнен анализ литературных источников;
- использован метод теоретических обобщений с применением математической статистики, физическое и математическое моделирование;
- произведены расчеты и технико-экономические обоснования, лабораторные и натурные экспериментальные исследования, а также промышленные испытания в условиях действующих предприятий по стандартным и новым методикам [17].

Технологический аудит закладочных комплексов

Твердеющая закладка — это гидравлическая закладка с добавлением в смесь вяжущих материалов (цемент, известь, гипс, доменные гранулированные шлаки, зола тепловой электроцентрали (ТЕЦ) и др.). Закладочный материал обладает достаточной пластичностью для его транспортировки по трубам, а со временем он затвердевает в монолитный массив, прочность которого зависит в основном от количества добавленного вяжущего материала. Затвердевший закладочный массив воспринимает горное давление, укрепляя очистное пространство в блоке путем создания объемной опорной решетки в виде монолитных потолочин, предохранительных и междуканальных целиков. При значительных объемах закладочных работ на поверхности строится закладочный комплекс с трубопроводным транспортом литой гидравлической смеси к месту укладки в очистные камеры (рис. 1). При этом смесь готовят достаточно пластичной, с водоцементным отношением, близким к единице. Самотеком гидравлическая смесь может перемещаться на расстояние по горизонтали, в 3–4 раза превышающая вертикальный столб смеси в трубопроводе.

При больших расстояниях транспортировки через 50–60 м по длине в трубопровод врезаются форсунки сжатого воздуха, которые обеспечивают пульсирующий пневмотранспорт гидравлической смеси. Диаметр труб 0,15–0,2 м, толщина стенок 8–12 мм. Время пребывания смеси в трубопроводе не должно превышать 1 ч. Применяется и раздельный способ подачи твердеющей закладки, когда вяжущий раствор и заполнитель подают к месту закладочных работ отдельно и смешивают их в процессе подачи в очистные пространства. Использование твердеющей закладки

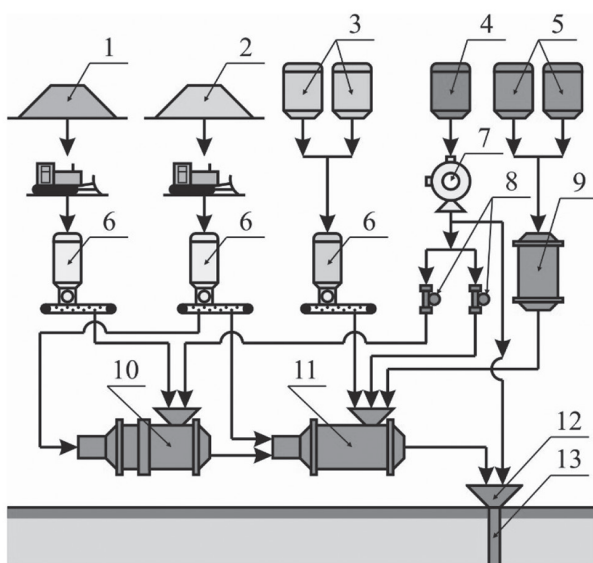


Рис. 1. Технологическая схема приготовления твердеющей закладочной смеси: 1, 2, 3 – склады шлака, инертного заполнителя и цемента соответственно; 4, 5 – емкости воды и для добавок соответственно; 6 – бункер-дозатор; 7 – насос; 8 – расходомер; 9 – узел приготовления добавок; 10 – мельница; 11 – смеситель; 12 – воронка закладочного трубопровода; 13 – закладочной трубопровод

Fig. 1. Cemented paste backfill preparation flowchart: 1, 2 and 3 – respectively, slag, inert filler and cement storage facilities; 4 and 5 – respectively, water capacity and for additives; 6 – metering hopper; 7 – pump; 8 – flow meter; 9 – unit for preparation of additives; 10 – mill; 11 – mixer; 12 – funnel of the filling pipeline; 13 – stowage pipeline

позволяет вести сплошные выемки руды с минимальными потерями. Поэтому ее применяют при разработке ценных руд, при необходимости сохранения целостности толщи налегающих пород, если работы ведут под охраняемыми объектами или в условиях повышенного горного давления.

Совершенствование технологий приготовления твердеющей смеси

Технологическая схема приготовления и активации компонентов твердеющей закладочной смеси приведена на рис. 2, а аппаратное обеспечение – на рис. 3.

Для твердеющей закладочной смеси существенное влияние на прочность искусственного массива оказывает тонкость измельчения шлака. При одинаковом расходе вяжущего прочность конт-

рольных образцов, у которых тонкость измельчения доменного гранулированного 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 вызывают расслоения в трубопроводе [18].

На горных предприятиях АО «Целинный горно-химический комбинат» (АО «ЦГХК», г. Степногорск, Республика Казахстан) применимы аппараты вибро-, механо- и электрохимической активации для получения твердеющей закладочной смеси прочностью 0,2–1,2 МПа при использовании местных материалов. Эффективность активации в дезинтеграторах определяется кос-

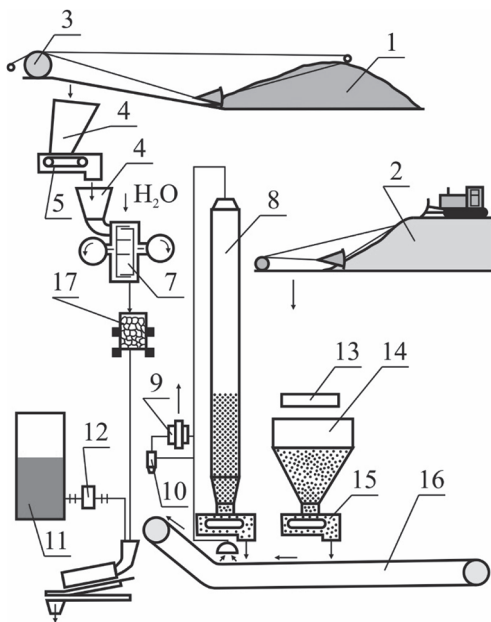


Рис. 2. Технологическая цепь приготовления твердеющих закладочных смесей: 1 – шлак; 2 – песок; 3 – скреперная лебедка 55ЛС-2С; 4 – бункер-накопитель; 5, 15 – соответственно, дозатор СБ-110 и СБ-71; 6 – питатель; 7 – дезинтегратор-активатор ДУ-6 (фирма «Дезинтегратор», Эстония); 8 – силос СБ-2/2; 9 – вентилятор; 10 – циклон; 11 – блок воды; 12 – насос 1,5К-6; 13 – грохот вибрационный; 14 – бункер песка; 16 – конвейер; 17 – вибромельница вертикальная МВВ-0,7 (Украина)

Fig. 2. Cemented paste backfill preparation circuit: 1 – slag; 2 – sand; 3 – 55LS-2S scraper winch; 4 – storage hopper; 5, 15 – respectively, dispenser SB-110 and SB-71; 6 – feeder; 7 – disintegrator-activator DU-6 (company «Disintegrator», Estonia); 8 – silo SB-2/2; 9 – fan; 10 – cyclone; 11 – water block; 12 – pump 1.5K-6; 13 – vibrating screen; 14 – sand bunker; 16 – conveyor; 17 – vertical vibrating mill MVB-0.7 (Ukraine)

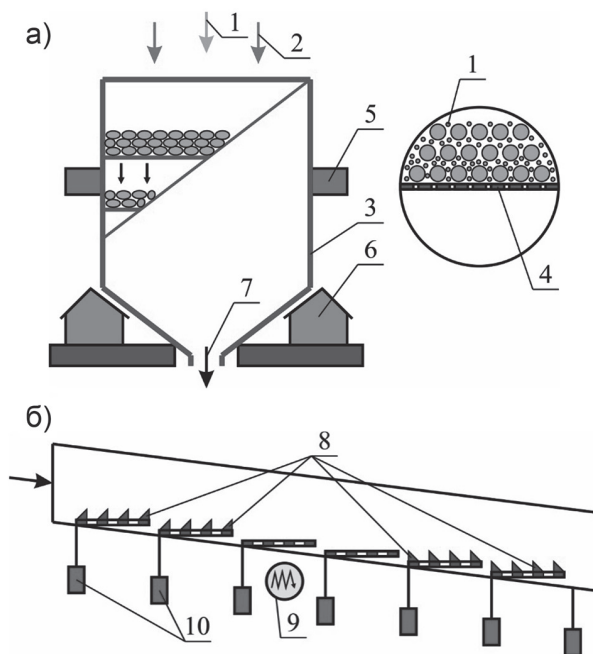


Рис. 3. Виброактивация компонентов твердеющих закладочных смесей: мельница вертикальная вибрационная (а); виброгрохот (б); 1 – шлак; 2 – вода; 3 – измельчитель; 4 – сито; 5 – вибратор; 6 – виброгасители; 7 – активированный шлак; 8 – зубья; 9 – вибратор; 10 – изолирующие опоры

Fig. 3. Vibration activation of cemented paste backfill mixture components: vertical vibrating mill (a); jigger screen (b); 1 – slag; 2 – water; 3 – grinder; 4 – sieve; 5 – vibrator; 6 – vibration dampers; 7 – activated slag; 8 – teeth; 9 – vibrator; 10 – insulating supports

Таблица 1

Показатели активности шлака
Slag activity characteristics

Горные предприятия	Аппараты активации	Вяжущие, кг/м ³		Вода, л/м ³	Заполнитель, кг/м ³	Эквивалент активности
		шлак	активатор			
ООО «Первомайский ГОК» (Украина)	мельница	400	гипс 20	320	песок 1200	20
ПАО «Гайский ГОК» (Россия)	мельница	370	цемент 30	340	песок 1260	11
ЧАО «Запорожский железорудный комбинат» (Украина)	мельница	400	цемент 50	380	песок 1270	8
ОАО «Евразруда». Таштагольский рудник (Россия)	мельница	400	цемент 40	240	суглинок 120 щебень 1080	10
АО «ЦГХК» (Республика Казахстан)	мельница	400	цемент 50	360	ПГС+порода 1350	8
	дезинтегратор ДУ-65	190–220	цемент 60	380	песок 1360	6,6–10,0
		220–300	цемент 30	380	песок 1350	4,0–4,6

Примечания: 1. ПГС – песчано-гравийная смесь. 2. Эквивалент активности – количество активированного вяжущего из отходов, равноценное по вяжущим свойствам цементу. Он определяется косвенным методом по рациональному соотношению вяжущих (рис. 4).

венным методом по рациональному соотношению вяжущих (табл. 1) [19].

При изготовлении малопрочной закладки 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. Виброактивация инертных заполнителей при грохочении возможна в том случае, когда в куске материала создаются концентрации напряжений, достаточные для его разрушения [20].

Механоактивация вяжущих осуществляется в измельчителях, например, шаровая мельница с центральной разгрузкой МШЦ 3200х4500 (Украина). Однако наиболее эффективны быстродействующие аппараты, например, дез-

интеграторы-активаторы типа ДУ-65 (фирма «Дезинтегратор», Эстония) и мельница вибрационная вертикальная типа МВВ-0,7 (Украина). Виброактивацию твердеющей закладочной смеси целесообразно осуществлять в процессе ее транспортирования по трубопроводам.

Формула для определения коэффициента активации дезинтегратора имеет вид:

$$K_a = 1 + \frac{\mathcal{E}_m - \mathcal{E}_{\partial y}}{\mathcal{E}_m} \quad (1)$$

где \mathcal{E}_m , $\mathcal{E}_{\partial y}$ – эквивалент активности материала при измельчении в мельницах и дезинтеграторе соответственно. В сравнении с шаровой мельницей, применяемой на урановых месторождениях АО «ЦГХК», этот коэффициент согласно формуле (1) равен:

$$K_a^{\partial y} = 1 + \frac{8-6}{8} = 1,25.$$

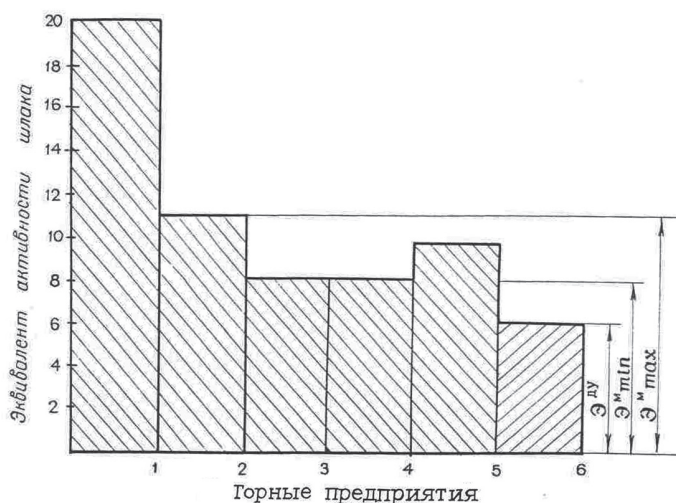


Рис. 4. Эквивалент активности шлага при его активации в аппаратах на горных предприятиях: 1 – Первомайский; 2 – Гайский; 3 – Запорожский; 4 – Таштагольский; 5, 6 – АО «ЦГХК», соответственно, Маньбайский и Шакпакский; E_{\min}^m , E_{\max}^m – соответственно, минимальное и максимальное значение эквивалента активности шлага при его активации в шаровых мельницах

Fig. 4. Equivalent activity of slag activated at mines: 1 – Pervomay; 2 – Gay; 3 – Zaporozhie; 4 – Tashtagol; 5 and 6 – TSGHK's Manybay and Shakpak; E_{\min}^m and E_{\max}^m – respectively, minimum and maximum equivalent activity of slag in ball mill activation

Измельченные в дезинтеграторе шлаки К0-08 использовали для затворения контрольных кубиков, которые испытывали на одноосное сжатие с дублированием в лабораториях фирмы «Дезинтегратор» (г. Таллин, Эстония) и института АО «ВНИПИпромтехнологии» (г. Москва, Россия).

Вертикальная вибромельница МВВ-0,7 для измельчения гранулированных шлаков установлена в технологической цепи после дезинтегратора (см. рис. 3, а). Вследствие высокой частоты колебаний измельчаемый материал испытывает в

единицу времени на один-два порядка больше ударов, чем в шаровых мельницах. Мельница отключена от цепи, и загрузка материала произведена непосредственно в нее. Амплитуда колебаний мельницы составляет 6,5 мм, а величина вынуждающей силы – 190,0 кН. Результаты измельчения приведены в табл. 2.

Рациональный режим вибромельницы определяется взаимоувязкой режимов, составляющих технологическую цепь складочного комплекса. Состояние скальных массивов при подработ-

Таблица 2

Результаты измельчения материала
Milling results

Стадия измельчения	Остаток на сите, % при крупности помола, мм									Активная фракция
	1,6	1,0	0,63	0,40	0,315	0,20	0,10	0,1	0,074	
I	8,69	3,81	3,10	2,35	1,16	1,84	1,27	3,23	3,90	70,65
II	0,77	1,50	2,53	3,05	2,15	3,67	2,05	2,05	0,79	71,58
III	0,26	0,82	1,32	2,10	1,85	3,63	2,11	2,11	6,28	75,58

ке описывается условием соотношения глубины работ и высоты зоны влияния горных выработок на земную поверхность [21]. Прочность создаваемой при вмешательстве горными работами системы «массив выработка-порода» определяют качественные показатели руд с учетом потерь и разубоживания:

$$\sigma k_T = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x) (dx_1, dx_2 \dots dx_n) \rightarrow \Pi, P = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} x d_3 \quad (2)$$

где σ — главные напряжения в зоне влияния выработок, МПа; k_T — коэффициент корректировки напряжений закладкой пустот; l_{\max}, l_{\min} — пролеты обнажения пород, м; $x_1 \dots x_n$ — технологические, физико-механические и иные характеристики; Π, P — потери и разубоживание руд породами соответственно, доли ед.; d_3 — размер элементарных структурных породных блоков, м.

Сохранность массива горных пород и дневной поверхности описывается вероятностной моделью твердой дискретной среды с параметрами распределения, которые рассчитываются методом максимального правдоподобия. Ее несущая способность зависит от напряжений в элементах системы и позволяет управлять напряжениями посредством ограничения деформаций с помощью закладки техногенных пустот твердеющими смесями различного состава и прочности [22, 23].

Влияние глинистых и органических веществ на прочность закладки не отмечено. После укладки закладочной смеси в формы твердые ее частицы уплотняются, отжимая избыточную воду затворения, за счет чего увеличивается ее плотность и расход исходных материалов. Коэффициент уплотнения твердеющей закладочной смеси определяется по формуле:

$$k_y = \frac{\gamma_M}{\gamma_c} = \frac{1,715}{1,495} = 1,15, \quad (3)$$

где γ_M, γ_c — масса твердого материала в массиве и исходного соответственно, кг/м³.

Экологическая эффективность утилизации отходов

Оценка уровня утилизации отходов горно-металлургического производства произведена по показателям их выхода на 1 т товарной руды и использования для заполнения выработанных пространств согласно формулам:

$$k_{u.n} = \frac{P_n}{\gamma_n}, \quad (4)$$

$$k_{u.x} = \frac{P_x}{\gamma_x}, \quad (5)$$

$$k_{u.o} = \frac{(P_n + P_3 + P_{xв} + P_{x2})}{\gamma_p}, \quad (6)$$

где $k_{u.n}, k_{u.x}, k_{u.o}$ — коэффициенты использования горных пород, хвостов и отходов соответственно для заполнения выработанных пространств, доли ед.; P_n, P_x — вес породы и хвостов соответственно в 1 м³ закладки в массиве, т/м³; γ_n, γ_x — плотность горной породы и хвостов (исходного материала) соответственно в массиве, м/м³; $P_3, P_{xв}, P_{x2}$ — вес забалансовой, по содержанию полезного компонента, руды, хвостов кучного выщелачивания и хвостов гидрометаллургического передела соответственно, т/м³; γ_p — плотность руды, т/м³.

Плотность твердеющей закладочной смеси с добавками дробленого материала определяется согласно формуле:

$$\gamma_3 = \gamma_{uc} + P_{nd} \left(\frac{1 - \gamma_{uc}}{\gamma_n} \right), \quad (7)$$

где γ_3 — плотность твердеющей закладочной смеси с добавками дробленых горных пород, кг/м³; γ_{uc} — плотность песчаношлаковой твердеющей закладочной смеси, кг/м³; P_{nd} — масса добавки дробленной горной породы, кг/м³.

Коэффициент использования отходов собственного производства в твердеющей закладке для горных предприятий ГП «ВостГОК» составляет от 0,45 до 0,68; гидравлической – от 0,56 до 0,75; сыпучей – 0,62.

Затраты на природосберегающие мероприятия сравниваются с расходами на компенсацию ущерба, нанесенного биосфере горными работами. Сумма затрат на экологически чистую технологию зависит от достигнутой с помощью активации прочности смесей, времени набора прочности и исходных характеристик отходов производства [24, 25].

Таким образом, технологии и технические средства для приготовления и транспортирования твердеющих закладочных смесей могут быть рекомендованы для горных предприятий развитых горнодобывающих стран мира [26, 27]. Максимальный коэффициент установки составляет 70–90%. Рациональный режим вибромельницы определяется взаимоувязкой режимов, составляющих технологическую цепь закладочного комплекса. Применение вибро-, механо- и электроактивации компонентов твердеющей закладочной смеси на горных предприятиях повышает активность вяжущих и некондиционных материалов на величину до 10–40% для каждого аппарата.

Авторами внедрены новые технологические схемы закладочных комплексов для утилизации отходов горнометаллургического производства в подземное выработанное пространство в качестве компонентов твердеющих закладочных смесей, которые дали положительные результаты при подземной разработке рудных месторождений сложной структуры Российской Федерации, Северного Кавказа, Украины, Северного Казахстана и др. регионов и развитых горнодобывающих стран мира [28].

Экология горного производства по-прежнему развивается по пути управле-

ния процессом формирования техногенных месторождений в ходе разработки месторождений и перевода неактивных запасов техногенных месторождений в активные путем воздействия на них физико-химическими процессами. Кроме того, необходимо 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 с учетом отдаленных во времени последствий [29].

Перспективные направления исследований

Для доставки 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 [30].

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 [31].

Основной вклад в эффективную удельную активность отходов вносят ^{226}Ra и ^{232}Th . Наибольший разброс удельных активностей по фракциям этих пород угледобычи характерен для ^{226}Ra . Все

исследованные отходы относятся к первому классу радиационной опасности и могут использоваться в строительстве без ограничений. Согласно международным радиологическим показателям превышено значение индекса использования активности практически для всех исследованных отходов [32].

Заключение

Определены основные направления утилизации отходов горно-металлургического производства (закладка выработанных пространств, сооружение плотин специальных хранилищ и пр.), которые позволяют использовать до 50–60% общего их объема, а оставшаяся часть подлежит захоронению и последующей рекультивации загрязненных территорий.

Установлено, что применение вибро-, механо- и электроактивации компонентов твердеющей закладочной смеси на горных предприятиях приводит к повышению активности вяжущих (доменного гранулированного шлака) и некондиционных материалов (низкосортных песков, дробленной породы, хвостов обогатительных фабрик и выщелачивания отходов гидрометаллургического производства) на величину до 10–40% для каждого аппарата. В частности, обогащение инертных материалов на вибро-

рогрохоте ГВ–1,2/3,2 (Украина) увеличивает активность на 15–20%.

Показано, что для шахт ГП «ВостГОК» коэффициент использования отходов собственного производства в твердеющей закладке составляет от 0,45 до 0,68; гидравлической — от 0,56 до 0,75; сыпучей — 0,62, а добыча каждой тонны товарной руды сопровождается выходом 0,7–0,8 т отходов.

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», г. Днепр, Украина;

АО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва и АО «Всероссийский научно-исследовательский институт горной геомеханики и маркшейдерского дела (АО «ВНИМИ), г. Санкт-Петербург, Россия;

АО «ЦГХК» (г. Степногорск, Республика Казахстан).

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gridley N. C., Salcedo L. Cemented paste production provides opportunity for underground ore recovery while solving tailings disposal needs. Australian Centre for Geomechanics. Perth, 2011. 431 p.
2. Lottermoser B. Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts. New York: Springer, 2012. 400 p.
3. Maanju S. K., Saha K. Impact of mining industry on environmental fabric a case study of Rajasthan State in India // Journal of Environmental Science. Toxicology And Food Technology. 2013, vol. 6, no. 2, pp. 8–13.
4. Golik V., Doolin A., Komissarova M., Doolin R. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste // International Business Management. 2015, vol. 9, no. 5, pp. 1993–2520.
5. 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, no. 3, pp. 49–52.

6. *Vladyko O., Maltsev D., Shapovalov Ya.* Choice of development method for technogenic mineral deposits by technological criteria // *Mining of Mineral Deposits*. 2016, vol. 10, no. 4, pp. 74–82. DOI: 10.15407/mining10.04.074.

7. *Petlovanyi M., Kuzmenko O., Lozynskyi V., Popovych V., Sai K., Saik P.* Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 2019, vol. 13, no. 1, pp. 24–38. DOI: 10.33271/mining13.01.024.

8. *Blyuss B., Semenenko Ye., Medvedieva O., Kyrychko S., Karatayev A.* Parameters determination of hydromechanization technologies for the dumps development as technogenic deposits // *Mining of Mineral Deposits*. 2020, vol. 14, no. 1, pp. 51–61. DOI: 10.33271/mining14.01.051.

9. *Lyashenko V., Topolnij F., Dyatchin V.* Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams // *Technology Audit and Production Reserves*. 2019, vol. 5, no. 3(49), pp. 33–40. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184940.

10. *Lyashenko V., Khomenko O., Topolnij F., Golik V.* Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed massifs // *Technology Audit and Production Reserves*. 2020, vol. 1, no. 3(51), pp. 17–24. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.195946.

11. *Lyashenko V., Khomenko O., Golik V., Topolnij F., Helevera O.* Substantiation of environmental and resource-saving technologies for void filling under underground ore mining // *Technology Audit and Production Reserves*. 2020, vol. 2, no. 3(52), pp. 9–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.200022.

12. *Yuan Y., Bolan N., PrévotEAU A., Vithanage M., Biswas J. K., Ok Y. S., Wang H.* Applications of biochar in redox-mediated reactions // *Bioresource Technology*. 2017, vol. 246, pp. 271–281. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.06.154.

13. *Хоботова Э. Б., Калмыкова Ю. С., Игнатенко М. И., Ларин В. И.* Естественные радионуклиды доменных шлаков // *Черные металлы*. – 2017. – № 1. – С. 23–28.

14. *Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). Государственные гигиенические нормативы ГГН 6.6.1.-6.5.001.98.* Издание официальное. – Киев, 1998. – 159 с.

15. *СанПин 2.6.1.2523-09.* Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения: 16.04.2020).

16. *Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности.* – Вена: МАГАТЭ, 2015. – 484 с.

17. *Котенко Е. А., Мосинец В. Н.* Радиационно-экологическая безопасность при добыче и переработке урановых руд // *Горный журнал*. – 1995. – № 7. – С. 32–36.

18. *Добыча и переработка урановых руд в Украине.* Монография / Под общ. ред. А.П. Чернова. – Киев: Адеф-Украина, 2001. – 238 с.

19. *Дмитрак Ю. В., Камнев Е. Н.* АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет // *Горный журнал*. – 2016. – № 3. – С. 6–12. DOI: 10.17580/gzh.2016.03.01.

20. *Квитка В. В., Сергеев В. Е., Тротер К., Трезнюк А. П.* Твердеющие закладочные смеси повышенной плотности // *Горный журнал*. – 2001. – № 5. – С. 33–35.

21. *Chowdhury S. R., Yanful E. K., Pratt A. R.* Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation an experimental study // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014, vol. 21, pp. 10096–10107.

22. *Modaihsh A. S., Mahjoub M. O., Nadeem M. E. A., Ghoneim A. M., Al-Barakah F. N.* The air quality, characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon, organic carbon, and diurnal variation of particulate matter over Riyadh City // *Journal of Environmental Protection*. 2016, no. 7, pp. 1198–1209.

23. *Beiyuan J., Awad Y. M., Beckers F., Tsang D. C., Ok Y. S., Rinklebe J.* Mobility and phytoavailability of As and Pb in a contaminated soil using pine sawdust biochar under systematic

change of redox conditions // *Chemosphere*. 2017, vol. 178, pp. 110–118. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.022.

24. Deng D. Q., Liu L., Yao Z. L., Song K. I., Lao D. Z. A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine // *Journal of Environmental Management*. 2017, vol. 196, pp. 100–109.

25. 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.

26. Cheng Y., Jiang H., Zhang X., Cui J., Song C., Li X. Effects of coal rank on physico-chemical properties of coal and on methane adsorption // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 129–146. DOI: 10.1007/s40789-017-0161-6.

27. Paul A., Murthy V. M. S. R., Prakash A. K. Estimation of rock load in development workings of underground coal mines. A modified RMR approach // *Current Science*. 2018, vol. 114, no. 10, pp. 2167–2174.

28. Сорока М. Н., Савельев Ю. Я. Перспективы утилизации хвостов гидрометаллургического передела и дробленных горных пород в выработанное пространство уранодобывающих шахт Украины // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 5. – С. 91–94.

29. Трубецкой К. Н., Каплунов Д. Р., Рыльникова М. В. Проблемы и перспективы развития ресурсосберегающих и ресурсовоспроизводящих геотехнологий комплексного освоения недр Земли // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. – 2012. – № 4. – С. 116–124.

30. Аверьянов К. А., Ангелов В. А. Ахмедьянов И. Х., Рыльникова М. В. Развитие классификации техногенного сырья горных предприятий и обоснование технологий его активной утилизации // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2012. – № 5. – С. 208–213.

31. Каряев В. И., Комков А. А., Кузнецов А. В., Плотников И. П. Извлечение меди и цинка из медеплавильных шлаков при восстановительно-сульфидирующей обработке // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. – 2020. – Т. 18. – № 2. – С. 4–12. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-2-4-12.

32. Хоботова Э. Б., Игнатенко М. И., Беличенко Е. А., Поникаровская С. В. Радиационные свойства отходов угледобывающей и теплоэнергетической отраслей // *Безопасность труда в промышленности*. – 2020. – № 8. – С. 60–67. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-60-67. **УДК**

REFERENCES

1. Gridley N. C., Salcedo L. *Cemented paste production provides opportunity for underground ore recovery while solving tailings disposal needs*. Australian Centre for Geomechanics. Perth, 2011. 431 p.

2. Lottermoser B. *Mine wastes: characterization, treatment and environmental impacts*. New York: Springer, 2012. 400 p.

3. Maanju S. K., Saha K. Impact of mining industry on environmental fabric a case study of Rajasthan State in India. *Journal of Environmental Science. Toxicology And Food Technology*. 2013, vol. 6, no. 2, pp. 8–13.

4. Golik V., Doolin A., Komissarova M., Doolin R. Evaluating the effectiveness of utilization of mining waste. *International Business Management*. 2015, vol. 9, no. 5, pp. 1993–5250.

5. 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, no. 3, pp. 49–52.

6. Vladyko O., Maltsev D., Shapovalov Ya. Choice of development method for technogenic mineral deposits by technological criteria. *Mining of Mineral Deposits*. 2016, vol. 10, no. 4, pp. 74–82. DOI: 10.15407/mining10.04.074.

7. Petlovanyi M., Kuzmenko O., Lozynskiy V., Popovych V., Sai K., Saik P. Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 2019, vol. 13, no. 1, pp. 24–38. DOI: 10.33271/mining13.01.024.

8. Blyuss B., Semenenko Ye., Medvedieva O., Kyrychko S., Karatayev A. Parameters determination of hydromechanization technologies for the dumps development as technogenic deposits. *Mining of Mineral Deposits*. 2020, vol. 14, no. 1, pp. 51–61. DOI: 10.33271/mining14.01.051.

9. Lyashenko V., Topolnij F., Dyatchin V. Development of technologies and technical means for storage of waste processing of ore raw materials in the tailings dams. *Technology Audit and Production Reserves*. 2019, vol. 5, no. 3(49), pp. 33–40. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184940.

10. Lyashenko V., Khomenko O., Topolnij F., Golik V. Development of natural underground ore mining technologies in energy distributed massifs. *Technology Audit and Production Reserves*. 2020, vol. 1, no. 3(51), pp. 17–24. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.195946.

11. Lyashenko V., Khomenko O., Golik V., Topolnij F., Helevera O. Substantiation of environmental and resource-saving technologies for void filling under underground ore mining. *Technology Audit and Production Reserves*. 2020, vol. 2, no. 3(52), pp. 9–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2020.200022.

12. Yuan Y., Bolan N., PrévotEAU A., Vithanage M., Biswas J. K., Ok Y. S., Wang H. Applications of biochar in redox-mediated reactions. *Bioresource Technology*. 2017, vol. 246, pp. 271–281. DOI: 10.1016/j.biortech.2017.06.154.

13. Khobotova E. B., Kalmykova Yu. S., Ignatenko M. I., Larin V. I. Natural radionuclides of blast-furnace slags. *Chernye Metally*. 2017, no. 1, pp. 23–28. [In Russ].

14. *Normy radiatsionnoy bezopasnosti Ukrainy (NRBU-97). Gosudarstvennye higienicheskie normativy GGN 6.6.1.-6.5.001.98*. Izdanie oftsial'noe [Standards of radiation safety of Ukraine (NRBU-97). State hygienic standards GGN 6.6.1.-6.5.001.98. Official edition], Kiev, 1998, 159 p.

15. *SanPiN 2.6.1.2523-09. Normy radiatsionnoy bezopasnosti NRB-99/2009* [Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards NRB-99/2009], available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170553> (accessed 16.04.2020). [In Russ].

16. *Radiatsionnaya zashchita i bezopasnost' istochnikov izlucheniya: mezhdunarodnye osnovnye normy bezopasnosti* [Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards], Vena, MAGATE, 2015, 484 p.

17. Kotenko E. A., Mosinets V. N. Radiation and environmental safety in the mining and processing of uranium ores. *Gornyi Zhurnal*. 1995, no. 7, pp. 32–36. [In Russ].

18. *Dobycha i pererabotka uranovikh rud v Ukraine*. Monografiya. Pod red. A.P. Chernova [Mining and processing of uranium ores in Ukraine. Monograph. Chernov A.P. (Ed.)], Kiev, Adef-Ukraina, 2001, 238 p.

19. Dmitrak Yu.V., Kamnev E. N. JSC «Leading design, survey and research institute of industrial technology» – a journey of 65 years. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 3, pp. 6–12. DOI: 10.17580/gzh.2016.03.01. [In Russ].

20. Kvitka V. V., Sergeev V. E., Troter K., Treznyuk A. P. Hardening filling mixtures of increased density. *Gornyi Zhurnal*. 2001, no. 5, pp. 33–35. [In Russ].

21. Chowdhury S. R., Yanful E. K., Pratt A. R. Recycling of nickel smelter slag for arsenic remediation an experimental study. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014, vol. 21, pp. 10096–10107.

22. Modaihsh A. S., Mahjoub M. O., Nadeem M. E. A., Ghoneim A. M., Al-Barakah F. N. The air quality, characterization of polycyclic aromatic hydrocarbon, organic carbon, and diurnal variation of particulate matter over Riyadh City. *Journal of Environmental Protection*. 2016, no. 7, pp. 1198–1209.

23. Bei Yuan J., Awad Y. M., Beckers F., Tsang D. C., Ok Y. S., Rinklebe J. Mobility and phytoavailability of As and Pb in a contaminated soil using pine sawdust biochar under systematic change of redox conditions. *Chemosphere*. 2017, vol. 178, pp. 110–118. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.03.022.

24. Deng D. Q., Liu L., Yao Z. L., Song K. I., Lao D. Z. A practice of ultra-fine tailings disposal as filling material in a gold mine. *Journal of Environmental Management*. 2017, vol. 196, pp. 100–109.

25. 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.

26. Cheng Y., Jiang H., Zhang X., Cui J., Song C., Li X. Effects of coal rank on physico-chemical properties of coal and on methane adsorption. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 129–146. DOI: 10.1007/s40789-017-0161-6.

27. Paul A., Murthy V. M. S. R., Prakash A. K. Estimation of rock load in development workings of underground coal mines. A modified RMR approach. *Current Science*. 2018, vol. 114, no. 10, pp. 2167–2174.

28. Soroka M. N., Savel'ev Yu. Ya. Prospects of utilization of tailings of hydrometallurgical conversion and crushed rocks in the developed space of uranium mining mines of Ukraine. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2004, no. 5, pp. 91–94. [In Russ].

29. Trubetskoy K. N., Kaplunov D. R., Ryl'nikova M. V. Problems and prospects for the development of resource-saving and resource-reproducing geotechnologies for the integrated development of the Earth's interior. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2012, no. 4, pp. 116–124. [In Russ].

30. Aver'yanov K. A., Angelov V. A., Akhmed'yanov I. Kh., Ryl'nikova M. V. Development of classification of technogenic raw materials of mining enterprises and justification of technologies of its active utilization. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012, no. 5, pp. 208–213. [In Russ].

31. Karyayev V. I., Komkov A. A., Kuznetsov A. V., Plotnikov I. P. Recovery of copper and zinc from copper smelting slags during reducing-sulfidizing treatment. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2020, vol. 18, no. 2, pp. 4–12. [In Russ]. DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-2-4-12.

32. Khabotova E. B., Ignatenko M. I., Belichenko E. A., Ponikarovskaya S. V. Radiation properties of waste coal and heat power industries. *Occupational Safety in Industry*. 2020, no. 8, pp. 60–67. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-8-60-67.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ляшенко Василий Иванович — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии», Украина, e-mail: vilyashenko2017@gmail.com,

Хоменко Олег Евгеньевич — д-р техн. наук, профессор, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Украина, e-mail: rudana.in.ua@gmail.com,

Чекушина Татьяна Владимировна — канд. техн. наук, доцент, ИПКОН РАН, e-mail: tanija_ch@mail.ru,

Дудар Тамара Викторовна — канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник, e-mail: dudar@nau.edu.ua,

Национальный авиационный университет, Украина,

Лисовой Иван Александрович — канд. техн. наук, доцент, Уманский национальный университет садоводства, Украина, e-mail: lisov.iv.ol@gmail.com.

Для контактов: Ляшенко В. И., e-mail: vilyashenko2017@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.I. Lyashenko, Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
Ukrainian Research and Development and Survey Institute
of Industrial Technology, Zholti Vody, Ukraine,
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com,

O.E. Khomenko, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Department of Mining Engineering and Education,
Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine,
e-mail: rudana.in.ua@gmail.com,

T.V. Chekushina, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation
of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
111020, Moscow, Russia, e-mail: tanija_ch@mail.ru,

T.V. Dudar, Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Senior Researcher,
National Aviation University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: dudar@nau.edu.ua,

I.A. Lisovoy, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,
Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine,
e-mail: lisov.iv.ol@gmail.com.

Corresponding author: V.I. Lyashenko, e-mail: vilyashenko2017@gmail.com.

Получена редакцией 08.09.2020; получена после рецензии 02.11.2020; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 08.09.2020; received after the review 02.11.2020; accepted for printing 10.11.2021.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ЕЕ МОДЕЛЕЙ

(2021, № 10, СВ 15, 16 с.)

Шадыжева Сулико Башировна – аспирантка, ГИ НИТУ «МИСиС».

Рассмотрена эволюция теорий Концепции устойчивого развития, дан обзор современных моделей устойчивого развития, связанных с использованием невозобновляемых ресурсов, проведен анализ подходов экономистов и экологов к реализации Концепции устойчивого развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие, Концепция устойчивого развития, природопользование, природоохрана, экология, невозобновляемые ресурсы.

DEVELOPMENT OF THEORETICAL FOUNDATIONS OF CONCEPT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ITS MODELS

S.B. Shadyzheva, Graduate Student, Mining Institute, National University
of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

The article examines the evolution of the theories of the Concept of Sustainable Development, modern models of sustainable development associated with the use of non-renewable resources and views on the Concept of sustainable development of economists and environmentalists.

Key words: sustainable development, the concept of sustainable development, nature management, nature conservation, ecology, non-renewable resources.