

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

Мнухин А.Г.¹, Мнухина Н.А.²

¹ Украинская Академия наук
ул. Семашка, 13, 03142, г. Киев
anatoly.mnukhin@gmail.com;

² Запорожская государственная инженерная академия
просп. Соборный, 226, 69006, г. Запорожье

Обоснована целесообразность комплексной переработки породных отвалов угольных шахт. Предложены технологические схемы переработки отвалов для извлечения германия и редкоземельных элементов, алюминий- и железосодержащего сырья, реализация которых позволит улучшить экологическую обстановку и получить значительный экологический эффект. *Ключевые слова:* породные отвалы, технологии переработки отвалов, отвалы угольных шахт, шахтные терриконы, редкоземельные материалы.

Поліпшення екології промислового району шляхом переробки породних відвалів. Мнухін А.Г., Мнухіна Н.А. Обґрунтована доцільність комплексної переробки породних відвалів вугільних шахт. Запропоновані технологічні схеми переробки відвалів для видобування з них германію та рідкісноземельних елементів, алюміній- та залізовмісної сировини, реалізація яких дозволить поліпшити екологічний стан та отримати значний економічний ефект. *Ключові слова:* породні відвали, технології переробки відвалів, відвали вугільних шахт, шахтні терикони, рідкоземельні матеріали.

Improvement of the ecology of the industrial area by recycling waste heaps. Mnukhin A., Mnukhina N. The article states the practicability of complete coal wastes processing. Waste rock processing technological cycles have been presented to extract germanium and rare-earth elements, aluminium- and iron-containing materials, which enable to significantly improve the environment and cost-effectiveness. *Keywords:* rock dumps, processing technologies of dumps, dumps of coal mines, mine waste pits, rare earth materials.

Промышленные отходы, возникающие при добыче и обогащении углей содержат ценное минеральное сырье, что создает серьезные экологические и экономические проблемы при их практическом использовании.

В настоящее время ведутся изыскания путей ликвидации шахтных терриконов с одновременным их использованием или ограничением вредного воздействия на окружающую среду, а также способов

переработки накопленной в них горной массы.

В сложившейся экологической и экономической ситуации представляется перспективным вовлечение шахтных терриконов в хозяйственный оборот, как мощной и практически бросовой минерально-сырьевой базой, запасов которой более чем достаточно для создания на многие десятилетия высокорентабельных перерабатывающих производств.

Отвальная порода имеет различный минералогический состав и пригодна для использования в качестве сырья для производства строительных материалов, что уже позволило создать ряд перерабатывающих производств соответствующего профиля. Наряду с этим, исследования, проведенные специализированными организациями, показывают, что отходы угледобычи (шахтная порода, отходы углеобогащения) представляют особый интерес и как источники получения металлов, в первую очередь, цветных и редких. Например, породные

отвалы луганских шахт отличаются повышенным содержанием бериллия, олова, иттрия, иттербия, цинка, меди, стронция, ниобия, скандия и других металлов, а в отходах углеобогащения имеются значительные концентрации ванадия, марганца и хрома [1].

Анализ химического состава ряда породных отвалов угольных шахт (таблица 1), выполненный в последние годы, позволяет определить и дать экономическую оценку количественному составу элементов, представляющих интерес для извлечения и дальнейшей переработки.

Таблица 1

Результаты анализа проб породы и угля

	Показатель	Порода				Уголь
		Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5
1	Массовая доля золы, %	72,0	65,0	54,1	72,5	21,7
2	Выход летучих веществ, %	21,5	18,4	17,1	21,2	69,9
3	Массовая доля серы, %	1,09	0,67	1,75	2,07	2,3
4	Содержание германия (Ge), г/т	40,0	20,0	30,0	55,0	5,0
5	Массовая доля оксидов в золе:					
	SiO ₂	47,00	47,00	47,00	47,00	42,20
	Fe ₂ O ₃	20,65	20,65	20,65	20,65	19,96
	Al ₂ O ₃	14,90	14,90	14,90	14,90	18,30
	CaO	3,40	3,40	3,40	3,40	4,15
	MnO	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13
	MgO	1,45	1,45	1,45	1,45	2,06
	P ₂ O ₅	0,28	0,28	0,28	0,28	0,86
	FeO	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32

Из данных табл. 1 следует, что породная масса отвалов содержит повышенное количество угля (от 28 до 46%), а также сырье для получения алюминия Al₂O₃ (до 15%) и германия (до 55 г/т). Основную массу отвалов составляют оксиды кремния и железа (SiO₂–47% и Fe₂O₃–20%), причем,

содержание щелочных компонентов CaO и MgO не превышает 5%. По результатам спектрального анализа углей, который выполнен ранее ПО «Укргеология», помимо германия (Ge), в исследуемом массиве можно получить достаточное при извлечении количество галлия (Ga), сопут-

ствующий германий элемент, иттрия (Y), циркония (Zr) и скандия (Sc). При этом, на основе анализа зол предварительно рассчитано, что галлий может составить примерно 100 г/т, (извлечение целесообразно с 10 г/т), скандий – примерно 10–20 г/т (извлечение целесообразно начиная с 10 г/т). Конкретное процентное содержание в породе этих элементов может быть уточнено на основе исследования конкретного источника на отдельное содержание в нём редкоземельных элементов (на основе предварительного анализа общее количество в породе редкоземельных элементов составляет примерно 230–260 г/т).

Расчеты позволяют наметить направления формирования технологической схемы извлечения при переработке наших породных отвалов: железосодержащего сырья; германия; редкоземельных элементов; алюминийсодержащего сырья для отправок на передел или организацию собственного производства; остаточных силикатных материалов для производства строительных материалов.

Поскольку распределение редкоземельных материалов в исходной массе требует уточнения путем выполнения специальных анализов, при формировании предложенной технологической схемы однозначно учитывалось безусловное наличие германия и оксида алюминия в количестве, представляющем интерес для промышленного извлечения.

В настоящее время основными сырьевыми источниками германия являются месторождения германиевых минералов и руд (месторождение Тсумб и Кипуши), а также руды цветных металлов. Кроме того, германий получают из продуктов очи-

стки германия и отходов производства полупроводников. Промышленное извлечение германия из минерального или рудного сырья, как правило, целесообразно при его минимальном содержании 20 г/т, поэтому использование для этой цели сырья с содержанием германия 55 г/т является наиболее перспективной частью предлагаемой технологической схемы.

Процесс извлечения германия из содержащего его минерального сырья целесообразно проводить способом выщелачивания с последующим осаждением и получением концентрата диоксида германия традиционными методами. Причем, интенсификацию процесса выщелачивания можно производить с использованием разрядно-импульсной технологии, обеспечивающей высокую производительность и степень перехода германийсодержащих элементов в воду. Соответствующее оборудование в настоящее время разработано и запатентовано в установленном порядке.

В зависимости от количества содержащихся в остатке таких элементов как скандий, цирконий и иттрий строится дальнейшая технологическая цепочка их извлечения. Наиболее полно эти и другие редкие элементы, независимо от объема их содержания, могут быть извлечены методом электростатической сепарации, однако стоимость необходимого для этого технического обеспечения может быть предварительно оценена примерно в 500 тыс. долларов. Поэтому по результатам технико-экономического сопоставления следует оценить целесообразность использования для извлечения элементов перечисленных путем этого или тра-

диционных и, следовательно, более апробированных методов (например, выщелачиванием для скандия или хлорированием с помощью соляной кислоты для циркония) или на первом этапе создания производства исключить эти элементы из рассмотрения в качестве объекта для добычи и рассматривать оставшуюся массу только как сырье для получения силуминов (сплава алюминия с кремнием) и строительных материалов.

В связи с тем, что в Украине практически отсутствуют запасы глинозема, который импортируется из-за рубежа по цене до 200 \$ за тонну, то представляют особый интерес технологии использования нетрадиционного, относительно бедного сырья, для производства алюминиевых сплавов. К таким технологиям можно отнести технологию производства заэвтектических силуминов «ЗЕВС», разработанную и апробированную в России, использующую сырье с содержанием Al_2O_3 до 20%. Стоимость такой продукции достигает 3000–3500 долларов за тонну. Сырьем в этом случае вполне может быть горная масса из отвалов, поскольку только после первичной электромагнитной сепарации можно увеличить концентрацию Al_2O_3 до 19 и более процентов, а с учетом последующего выгорания угля – 25 и более процентов. Технология производства силуминов с использованием бедного на Al_2O_3 сырья может быть реализована на базе мини-заводов с годовой мощностью 20 тыс. тонн готовых изделий в год и занимающих площадь до 2000 м². Готовая продукция высоколиквидна и может найти широкое применение в нефтехимической, газовой и других отраслях промышленности. Кроме того, сырье

с концентрацией свыше 15% может использоваться в качестве бокситов при производстве алюминия электрогидравлическим способом.

Предлагаемая схема переработки предусматривает использование кремний- и кальцийсодержащих отходов для изготовления строительных материалов. Практика показывает [2], что при относительно небольших, до 200–250 тыс. долларов США, капитальных вложениях возможно создание высокорентабельного производства по выпуску конкурентоспособных строительных материалов и изделий.

Таким образом, на основе проведения детального технико-экономического обоснования отдельных процессов переработки отвалов и дополнительно проеденных экспериментов и анализов можно принять ту или иную технологическую цепочку переработки породных отвалов. Упрощенная технологическая схема переработки породных отвалов представлена на рис. 1.

Кроме того, заслуживает внимания технологическая схема с применением многостадийной электромагнитной сепарации на базе мощных высокоградиентных криомагнитных сепараторов (рис. 2). Однако для полной оценки ее эффективности в зависимости от состава исходного сырья необходимо провести ряд экспериментальных проверок.

Производство по переработке породных отвалов целесообразно разворачивать на базе закрывающихся шахт или обогатительных фабрик, отвалы которых имеют необходимые сырьевые компоненты. Наличие около них железнодорожных и автомобильных путей, энергетического

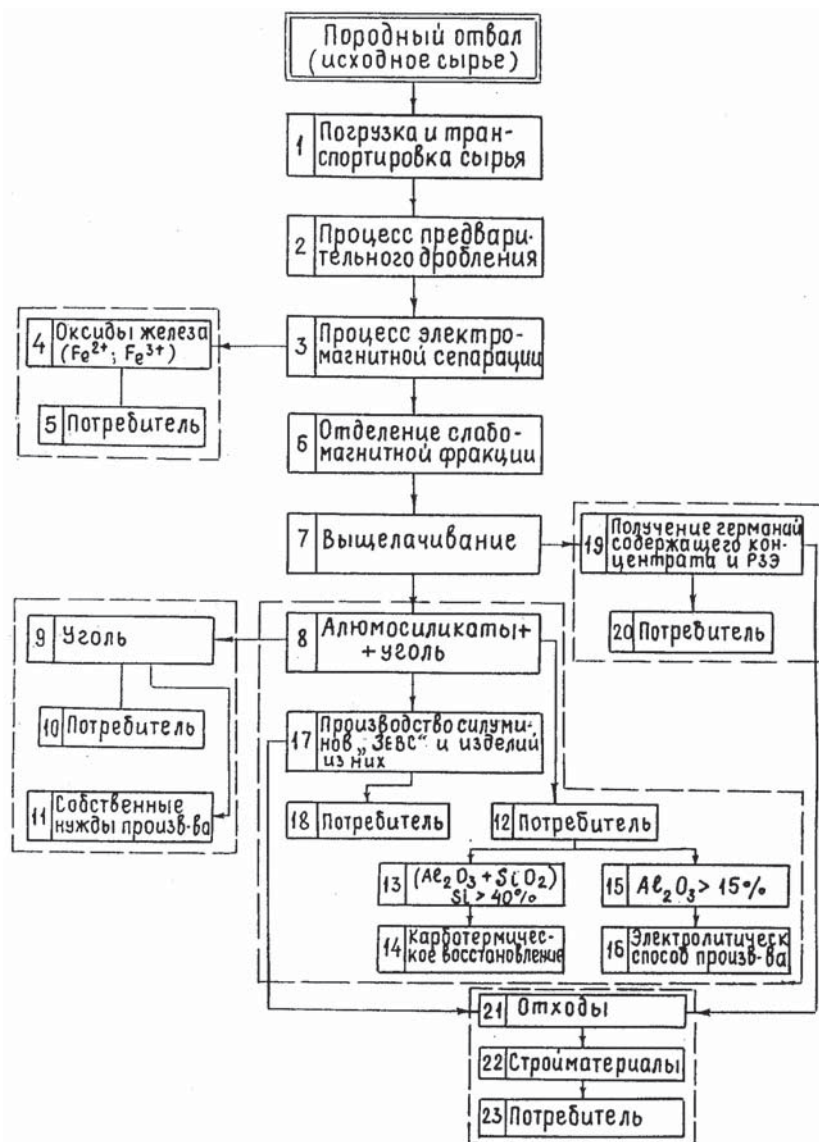


Рис. 1. Упрощенная технологическая схема переработки породных отвалов

комплекса, зданий и сооружений промышленного и бытового назначения позволяет значительно сократить капитальные затраты и сроки ввода в действие перерабатывающего комплекса.

Реализация предлагаемой технологии, помимо очевидного экономического эффекта (стоимость только германия и редкоземельных материалов, содержащихся в одном отвале составляет порядка 100 млн долларов), поз-

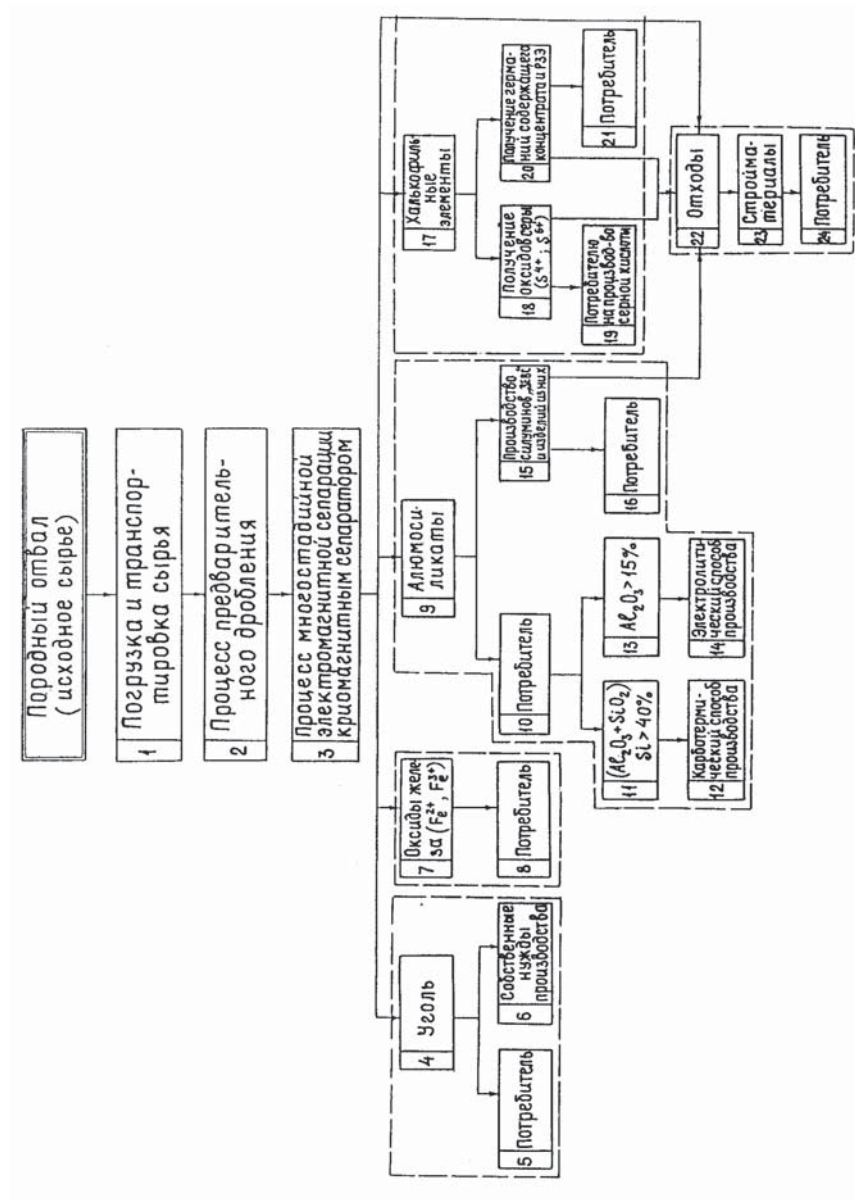


Рис. 2. Упрощенная технологическая схема первичной электромагнитной сепарации сырья с применением многостадийной первичной электромагнитной сепарации сырья

волит решить важную экологическую проблему ликвидации породных отвалов и рекультивации освободившихся земель. Кроме того, создание высококорентабельного перерабатывающего

предприятия, выпускающего высоколиквидную продукцию, например, силумин, позволит также получить дополнительные средства на проведение природоохранных мероприятий.

Литература

1. Бент О.И., Беседа Н.И. Углепромышленные отходы и шахтные воды как комплексное минеральное сырье // Уголь Украины. – 1994. – № 1. – С. 8–9.
2. Бобров А.Г. Террикон – это техногенное полезное ископаемое // Уголь Украины. – 2000. – № 1. – С. 10.
3. Мнухин А.Г. Технологии XXI века: Том II. Новые технологии в горной и других отраслях промышленности/ А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, И.В. Иорданов, А. И. Панишко, В. А. Мнухин – Макеевка-Донецк: ВИК, 2014. – 275 с.
4. Мнухин А.Г., Мнухина Н.А. О комплексной переработке породных отвалов шахт // Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства : 24–25 березн. 2016 р. Ч. 1. – Тернопіль : Крок, 2016. – С. 127–129.