

нішньою поверхнею, відмінний від гідрофобно-гідрофільного балансу новоутвореної зовнішньої поверхні подрібненого сухого матеріалу (при відсутності дії ефекту Ребіндера).

3. Експериментально зафіксовано наявність окси-плівок на поверхні пор вугілля і їх відсутність на свіжорозкритій вугільній поверхні, що обумовлює зміну дзета-потенціалу вугілля в залежності від способу його подрібнення (із застосуванням чи без застосування ефектів Ребіндера і адсорбційного розкриття поверхні порового простору твердої фази).

Список літератури

1. Білецький В.С., Сергєєв П.В., Круть О.А., Світлий Ю.Г., Зубкова Ю.М. Ефекти адсорбційного зниження міцності і розкриття поверхні порового простору твердої фази при підготовці водовугільного палива // Збагачення корисних копалин. – 2012. – Вип. 48 (89). – С. 54-60.

2. Вольинский А.Л. Эффект Ребиндера в полимерах // Природа. №11, 2006. С. 11-18. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://vivovoco.rsl.ru/VV/JOURNAL/NATURE/11_06/CRAZYING.HTM

3. Белецкий В.С. Методика определения степени окисленности угля / В. С. Белецкий, В. Н. Самылин // Заводская лаборатория. – 1991. – № 11. – С.42–43.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ МЕЛКОЙ И ТОНКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ГОРНОЙ МАССЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЕЕ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ

А.Ф. Булат, В.П. Надутый, Е.З. Маланчук, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Украина

В работе представлены результаты исследований новой конструкции виброгрохота для мелкой и тонкой классификации горной массы. Отличительным признаком способа грохочения является динамическая активность просеивающей поверхности грохота, что позволило повысить эффективность процесса классификации и обезвоживания влажной горной массы.

Снижение содержания полезных компонентов в добываемых рудах, переработка техногенных отходов горного и металлургического производства требуют совершенствования процесса рудоподготовки и обогащения исходного сырья, перехода на более тонкие дорогостоящие технологии. Значительную роль в их реализации играет использование высокоэффективного и производительного мелкого и тонкого грохочения. К настоящему времени создано большое количество технических решений для выполнения этих операций, однако проблемными остаются повышение эффективности разделения по крупности на уровне раскрытия минералов и отделения их от сростков, степени обезвоживания продуктов при классификации пульпированного материала, классификация измельченной горной массы, склонной к налипанию. Одним из направлений особенностей совершенствования существующих технологий является решение указанных вопросов. Например, промышленные отходы, образующиеся в процессе обогащения полезных ископаемых, достигают значительных объемов. Только угольные шламы, по данным УкрНИИУглеобогащения, составляют 120 млн. тонн с содержанием угольной массы 25÷65 %, представляя собой техногенное месторождение. Отсутствие эффективной техники и технологии для переработки угля на последней стадии получения концентрата определяет актуальность поиска решений в данной области. С подобной проблемой сталкиваются и при вторичной переработке хвостохранилищ после обогащения руд для более полного доизвлечения металла.

Одним из способов извлечения полезного компонента из измельченной горной массы является мелкое и тонкое виброгрохочение, которое интенсифицирует процессы сегрегации и

разделения. Однако процесс переработки минерального сырья в большинстве случаев усложняется наличием воды и глинистых включений. Технической проблемой является эффективное грохочение по крупности в интервале от $-1,0$ мм до 40 мкм, поскольку недостаточно изучены и учтены закономерности истечения капиллярной жидкости сквозь слой горной массы, находящейся на сите виброгрохота. В то же время жидкость при прохождении сквозь пористый слой материала увлекает за собой мелкие частицы горной массы и интенсифицирует процесс разделения. Это указывает на то, что при грохочении мелких и тонких классов крупности требуются специальные режимы работы оборудования, которые позволят снизить влияние капиллярных сил и гидравлических сопротивлений на процесс классификации и обезвоживания. Изучение равновесных состояний и процессов истечения жидкости сквозь ячейки сита и поровые каналы горной массы является актуальным направлением исследований, результаты которых позволяют обосновать конструктивные и режимные параметры виброгрохота для тонкой классификации и обезвоживания. Использование таких грохотов дает возможность повышать эффективность извлечения ценных компонентов на последних стадиях переработки и снижать количество отходов производства. Поэтому адаптация режимных и конструктивных параметров грохота на основе установленных зависимостей движения жидкости и мелких классов горной массы по поровым каналам и сквозь мелкие ячейки сита является актуальной задачей.

Целью выполненного комплекса исследований являлось обоснование параметров вибрационного грохочения в области виброударного режима с учетом закономерностей движения жидкости сквозь ячейки сита и по поровым каналам слоя горной массы на сите и создание на этой основе конструкций виброгрохотов с интенсивным режимом на уровне изобретений для высокоэффективной переработки измельченной горной массы.

Выполненный анализ области использования тонкого грохочения при переработке горной массы, конструкций грохотов, теоретических исследований позволил сделать вывод о том, что перспективным для разделения горной массы тонких классов крупности является использование виброгрохотов с интенсивным режимом работы.

Важным для процесса дообогащения угольных отходов (шламов) является определение выхода промышленно пригодных классов, их качества и возможных объемов получения твердого продукта из конкретного шламохранилища на основании взятых проб по его площади и объему. Были проведены опробования шламов в различных точках шламохранилища как по периметру, так и во внутренней части на различных глубинах. Результаты таких исследований приведены в табл. 1, где представлены данные по одному из горизонтов шламохранилища ЦОФ "Кураховская", полученные на основании 14 проб с пятикратным статистическим анализом по каждой из них. При этом по каждой пробе получена ситовка из 9 классов крупности, выходом и зольностью каждого класса.

Таблица 1

Итоговые результаты опробования состава шламохранилища по классам крупности

Класс крупности, мм	Выход класса, %	Содержание золы в классе, %	Содержание угля в классе, %
+2,5	1,26	0,16	1,1
-2,5+1,6	1,65	0,27	1,38
-1,6+1,0	2,97	0,48	2,49
-1,0+0,63	4,81	0,85	3,96
-0,63+0,315	13,28	3,15	10,13
-0,315+0,2	7,10	2,57	4,53
-0,2+0,1	9,39	4,53	4,86
-0,1+0,05	5,69	2,89	2,80
-0,05	53,84	37,24	16,6

Аналогичным образом получены результаты опробований по шести горизонтам шламохранилища объемом 1,2 млн. м³ и средней зольностью 37,8 %. Учитывая объемы и крупность перерабатываемого материала, наличие в нем жидкости, предложено избирательное тонкое грохочение с целью выделения перспективных классов угольных шламов в готовый концентрат с допустимым количеством зольности. В рассматриваемом случае тонкое грохочение шламовой пульпы по крупности разделения 50 мкм позволяет получать угольный концентрат с содержанием золы до 15 %, что приемлемо для его использования в энергетике. Параллельно, с удалением высокозольного класса от исходного материала в виде пульпы (Т:Ж=1:3) концентрат получен с влажностью 18÷20 %. Это стало возможным при использовании виброгрохота типа ГНВС с динамически активной рабочей поверхностью и регулируемой частотой колебаний, конструкция которого создана в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины). Подробное описание конструкции и результаты работы приведены в работах [1, 2]. Подобные исследования проведены на шламохранилищах целого ряда ЦОФ Донбасса, и грохот рекомендован к промышленному внедрению. Эффективность его работы апробирована в различных условиях и при классификации горной массы. Результаты выполненных исследований при грохочении по крупности разделения 50 мкм на грохотах ГНВС при различных режимах процесса представлены в табл. 2. Конечная влажность надрешетного продукта составляла 15÷20 % в зависимости от режима работы грохотов. Конструктивно грохот ГНВС состоит из нижней поддерживающей сетки в виде резиновых ленточно-струнных сит с ячейкой 5,0 мм или 10,0 мм и верхней, классифицирующей, металлической сетки с ячейкой 60 микрон. С помощью частотного регулятора варьировалась частота возмущений и амплитуда колебаний лент-струн сита для обеспечения ударных возмущений по верхнему металлическому сити. Степень закрутки продуктов регулировалась углом наклона короба грохота.

Таблица 2

Результаты определения эффективности грохочения различной горной массы по крупности 50 мкм на грохотах ГНВС

Вид горной массы	Показатели режима		Эффективность грохочения, %			Примечание
	Амплитуда короба, мм	Частота, Гц	Сухой	Влажный, %	Пульпа	
Угольный шлам	1,5÷2,0	25	75	-	65	Т:Ж=1:3
Хвосты железной руды	1,5÷2,0	25	80	-	72	Т:Ж=1:3
Песок	2,5÷3,0	20	75	40	70	Влажность 4,0 %
Гранитный отсев (глины 6 %)	1,5÷2,0	25	55	-	60	Т:Ж=1:3
Базальтовая мелочь	2,0	20	75	-	60	Т:Ж=1:3
Туф	2,0	20	71	-	65	Т:Ж=1:3
Лавобрекчия	2,0	20	73	-	62	Т:Ж=1:3
Мел (белая глина вскрыши)	5,0	20	70	-	-	-
Кокс	2,0	20	65	-	-	-
Доменный шлак	2,0	20	82	-	-	-

В последние годы интенсифицировались исследования базальтов Волыни в связи с их минеральным составом в виде титаномагнетита, самородной меди, серебра в количествах, представляющих интерес для промышленности [3, 4]. В настоящее время разработка базальтов ведется для получения строительного щебня, что нерационально с точки зрения использования месторождения. При этом сопутствующие базальт породы в виде туфа и лавобрекчии не используются и отправляются в отвалы, которые на сегодняшний день представляют собой миллионные запасы и занимают большие площади. В то же время все три компонента ба-

зальтового месторождения имеют богатый минеральный состав, а отвалы являются техногенными месторождениями. Разрабатываемая безотходная технология комплексной их переработки требует высокоэффективной мелкой и тонкой классификации измельченной горной массы, поскольку значительная часть минералов содержится в виде тонких включений. В ИГТМ НАН Украины выполнен комплекс исследований по выбору необходимого оборудования и обоснованию его параметров как в процессе рудоподготовки, так и для извлечения полезных продуктов [5, 6]. С этой целью разработан специальный способ подготовки медьсодержащего базальтового сырья для его комплексной безотходной технологии, который реализуется путем использования мелкого и тонкого грохочения [7]. Способ апробирован в процессе стендовых испытаний технологической линии по комплексной переработки минерального сырья. В табл. 2 и 3 приведены результаты исследований базальтового сырья и показана возможность подготовки его к обогащению. При этом учтено влияние регулируемых параметров грохотов и горной массы на эффективность и производительность процесса. В табл. 3 за варьируемые параметры приняты: угол направления возмущающей силы вибропривода (β , град.), размер ячейки поддерживающего сита виброгрохота ($\Delta = 5$ мм), размер ячейки классифицирующей сетки грохота ($a = 0,5$ мм и $a = 0,1$ мм), а также плотности пород, составляющих базальтовую горную массу: $\gamma = 1,4$ г/см³ (туф), $\gamma = 2,2$ г/см³ (лавобрекчия), $\gamma = 2,6$ г/см³ (базальт). Более подробно влияние режимных и конструктивных параметров виброгрохотов новой конструкции на эффективность разделения и производительность представлены в работах [2, 5]. Учет этих факторов влияния важен при отработке технологии переработки сырья и адаптации оборудования к высоким технологическим показателям.

Таблица 3

Результаты исследований зависимости эффективности и производительности виброгрохота тонкого грохочения от варьируемых параметров

Варьируемые параметры		Эффективность, E , %					
		$\Delta = 5$ мм; $a = 0,5$ мм			$\Delta = 5$ мм; $a = 0,1$ мм		
		$\gamma = 1,4$ г/см ³	$\gamma = 2,2$ г/см ³	$\gamma = 2,6$ г/см ³	$\gamma = 1,4$ г/см ³	$\gamma = 2,2$ г/см ³	$\gamma = 2,6$ г/см ³
β , град.	25	25	33	40	18	22	30
	30	37	46	55	24	29	38
	40	50	65	73	40	49	59
	45	58	68	75	45	56	65
	50	54	66	74	45	55	64
	60	45	64	70	44	48	55
Варьируемые параметры		Производительность, Q , т/ч					
		$\Delta = 5$ мм; $a = 0,5$ мм			$\Delta = 5$ мм; $a = 0,5$ мм		
		$\gamma = 1,4$ г/см ³					
β , град.	25	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	30	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	40	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	45	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	50	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	60	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2

Таким образом, по результатам выполненных исследований и промышленной апробации разработанных новых технических решений вибрационные грохоты с непосредственным возбуждением ситовой поверхности рекомендуются для широкого промышленного использования мелкой и тонкой классификации горной массы по крупности, для реализации технологических схем комплексной безотходной переработки базальтового сырья, шламо- и хвостохранилищ, при реализации тонких технологий переработки горно-металлургического сы-

рья. Опыт такой переработки представлен в работах [8, 9], где рассмотрены результаты переработки угольных шламов с высоким содержанием угольной мелочи (до 45 %) и мелкодисперсной зольной части. Переработка пульпы с таким содержанием по твердому на грохоте указанной концентрации позволяет получать угольный концентрат с зольностью ниже 20 %.

Список литературы

1. Булат А.Ф. Перспективы развития сырьевой базы горного производства на основе комплексной переработки техногенных отходов / А.Ф. Булат, В.П. Надутый, Е.З. Маланчук // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. // Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 101. – 2012. – С. 3-9.
2. Надутый В.П. Исследование закономерностей мелкого вибрационного грохочения базальтового сырья / В.П. Надутый, Е.З. Маланчук, И.П. Хмеленко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. // Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 94. – 2011. – С. 260-266.
3. Маланчук Є.З. Результати досліджень розташування самородної міді в базальтовій гірській масі Рафалівського рудного вузла / Є.З. Маланчук // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. // Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 107. – 2012. – С. 198-204.
4. Надутый В.П. Модельное представление зависимости извлечения самородной меди из пород базальтового месторождения методом электростатической сепарации / В.П. Надутый, П.В. Левченко, Е.З. Маланчук // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. // Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск. – Вып. 97. – 2012. – С. 206-211.
5. Надутый В.П. Исследование влияния режимных и конструктивных параметров на технологические показатели тонкого виброгрохочения базальтового сырья / В.П. Надутый, И.П. Хмеленко, Е.З. Маланчук // Збагачення корисних копалин : Наук-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ. – Вип. 46(87). – 2011. – С. 42-47.
6. Надутый В.П. Обобщение результатов исследований магнитной восприимчивости составляющих базальтового сырья / В.П. Надутый, А.М. Эрперт, Е.З. Маланчук // Збагачення корисних копалин: Наук-техн. зб. / ДВНЗ "Національний гірничий університет". – Дніпропетровськ. – Вип. 51(92). – 2012. – С. 144-149.
7. Патент на корисну модель № 42265, Україна.. Спосіб підготовки мідевмісних базальтів до комплексного збагачення. Автори А.Ф. Булат, В.П. Надутый, З.Р. Маланчук, І.А. Тимошенко. З. № U200901225 від 05.05.2009, Опубл. 25.06.2009, Бюл. № 2.
8. Надутый В.П. Обоснование метода определения эффективности разработки техногенных отходов углеобогащения / В.П. Надутый // Збагачення корисних копалин : Наук-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ. – Вип. 23(70). – 2007. – С. 224-226.
9. Надутый В.П. Оптимизация процесса вибрационной классификации угольных шламов / В.П. Надутый, А.М. Эрперт, И.П. Хмеленко // Вібрації в техніці та технологіях : Всеукр. наук.-техн. журнал. – Вінниця. – № 2(51). – 2008. – С. 85-89.