

ности материала образцов, соотношения их размеров с длиной трещины и зависимости призмной прочности от соотношения размеров образцов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костандов Ю.А. Исследование предельного состояния хрупких тел с трещинами при одноосном сжатии / Ю.А. Костандов, В.С. Медведев // Заводская лаборатория. – 2011. - №3. - С. 54-57.
2. Пат. 45121 Україна, Спосіб визначення коефіцієнта тертя / Ю.А. Костандов; заявник і патентовласник Таврійський національний університет - №200905365; заявлене 28.05.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. №20.
3. Васильев Л.М. Дифференциальное уравнение предельного состояния деформируемого твердого материала с учетом внутреннего и внешнего трения / Л.М. Васильев, Д.Л. Васильев // Геотехническая механика. – 2003. - Вып.41. - С. 145-152.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд. / Ю.М. Баженов. - М. : Высшая школа, 1987. - 415 с.
5. Костандов Ю.А. Влияние контактного трения на предельное напряжение в образце горной породы и вид траектории разрушения при сжатии / Ю.А. Костандов, Л.Я. Локшина // Физико-технические проблемы горного производства. – 2010. - №13. – С. 42-47.
6. Костандов Ю.А. Компьютерное моделирование разрушения хрупких образцов при сжатии / Ю.А. Костандов, И.Е. Шиповский // Материалы XXII Межд. науч. школы им. С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках». – Симферополь: ТНУ, 2012. - С. 165-170.

УДК 622. 742:621. 926:621.3. 06

Канд. техн. наук А.И. Шевченко
(ИГТМ НАН Украины)

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОХОЧЕНИЯ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ВИБРАЦИОННЫХ ГРОХОТАХ

Експериментальним методом досліджено шляхи збільшення ефективності грохочення та зневоднювання мінеральної сировини на вібраційних грохотах. Наведено результати процесів грохочення та зневоднювання матеріалів різної крупності за допомогою дезінтегруючих елементів при різних питомих навантаженнях і режимах. Встановлено вплив на показники розділення і вологості амплітуди і частоти віброзбудження при імпульсному впливі на просівальну поверхню.

WAYS OF INCREASE OF EFFICIENCY OF SCREENING AND DEHYDRATION OF MINERAL RAW MATERIALS ON VIBRATING SCREENS

The experimental method investigated ways of increase of efficiency a screening and dehydration of mineral raw materials on vibrating screens. Results of processes of a screening and dehydration of materials of a various size by means of disintegrate elements are given at various specific loadings and modes. Influence on indicators of division and humidity of amplitude and frequency of a vibroexcitation is established at pulse impact on a sifting surface.

При тонком и сверхтонком грохочении мокрого минерального сырья разделение материалов по крупности и удаление жидкости требует существенных энергозатрат, поскольку этому процессу препятствуют силы поверхностного натяжения, которые значительно превосходят силу тяжести [1-3].

Традиционные способы грохочения позволяют в зависимости от крупности материала снижать его влажность только до 18-25 % [1, 2].

Эффективное разделение по крупности обеспечивается при размере частиц более 1 мм. Грохочение материалов крупностью менее 1 мм традиционными методами не дает высоких результатов, а при размере частиц менее 0,2 мм

практически невозможно. Особую трудность представляет переработка широких классов крупности, когда необходимо отделить тонкие классы (как правило, некондиционный продукт) и максимально обезводить готовый (надрешетный) продукт. Например, при переработке строительных песков для получения из исходного сырья продукта, пригодного для приготовления качественных строительных смесей, необходимо удалить пыль и глинистые включения – частицы размером менее 0,14 мм (регламентировано ГОСТ 8736-77 "Требования к продукции. Зерновой состав песка") [4].

Частицы минерального сырья имеют случайные форму, размер, шероховатость, плотность и поверхностное натяжение. Из анализа научно-технической информации установлено, что на преодоление частицами сил, действующих со стороны жидкости, влияют следующие факторы: грансостав, геометрические параметры частицы, ее плотность, поверхностное натяжение, плотность и вязкость жидкости, угол смачивания, амплитуда и частота вибровозбуждения [5].

Одна из причин, по которой сдерживается повышение эффективности разделения по крупности и обезвоживания, большое разнообразие перерабатываемого сырья с различными физико-механическими свойствами и грансоставом, которое требует индивидуального подхода в каждом конкретном случае [5]. Поэтому необходим поиск условий, которые обеспечат это повышение, а задача, направленная на решение этих вопросов, несомненно, актуальна. Особенно это важно при тонком и сверхтонком грохочении.

Исходя из изложенного, сформулирована цель работы – экспериментальная проверка путей повышения эффективности грохочения и обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах.

В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины) были разработаны эффективные способы обезвоживания минерального сырья с импульсным воздействием на просеивающую поверхность и перерабатываемый материал [6, 7].

Традиционно для импульсного воздействия используют "одиночные удары", когда за период времени просеивающей поверхности сообщают один импульс. Исследованиями [5, 8] было установлено, что более эффективное обезвоживание осуществляется за счет "двойных ударов", когда за период времени кроме основного наносится дополнительный удар. Экспериментальные исследования [5, 8] показали, что реализация режима колебаний просеивающей поверхности с дополнительными ударами, по сравнению с одиночными ударами, повышает эффективность обезвоживания сырья в зависимости от его физико-механических свойств от 5 % до 15 %. Дополнительно для интенсификации процесса удаления влаги применялись дезинтегрирующие элементы (ДЭ) [5, 7, 8].

Ранее экспериментальным методом исследованы пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах [5] и определены параметры режимов, обеспечивающих эффективное удаление воды из материалов узких и широких классов крупности [8]. Установлено, что использование "одиночных ударов" и крупных частиц при обезвоживании материала крупностью +0,63-1,0 мм позволило снизить его влажность при соотношении

"мелкий/крупный" 1/1 до 10-11 %, а при 1/3 – до 3,5-5 %. Для сырья крупностью +0,12-0,4 мм уменьшение влажности до 4 % достигается с помощью "одиночных ударов" и ДЭ в виде шаров. Для обезвоживания материалов широкого спектра крупности +0-10 мм требуются режимы с "двойными ударами" и ДЭ в виде эллипсоида вращения. Это позволило снизить влажность такого материала до 8-10 %. Полученные результаты сопоставимы с показателями влажности при обезвоживании материалов на центрифугах. Однако при исследованиях не было выяснено, какие показатели разделения по крупности при этом получают. Поэтому в ИГТМ НАН Украины в лабораторных условиях были выполнены эксперименты по изучению процессов грохочения и обезвоживания материалов различной крупности при импульсном воздействии на просеивающую поверхность и материал. При исследованиях использовались "одиночные удары", "двойные удары" и ДЭ.

Эксперименты проводились на модели вибрационного грохота [1, 2], которая позволяла устанавливать под просеивающей поверхностью стальные стержни, а под ними на упругих прокладках монтировались ударники, осуществляющие импульсное воздействие на просеивающую поверхность и грохотимый материал.

Вначале оценивалось действие одного ударника на просеивающую поверхность и материал.

Масса ударника составляла 0,28 кг, жесткость упругого элемента – 3,31 кН/м, жесткость упругих прокладок – 52 кН/м; стальные стержни имели длину 308 мм, диаметр 5 мм и шаг установки 15 мм. При использовании "двойных ударов" на модели грохота были установлены с различной жесткостью ударник 1 и ударник 2. Масса ударников составляла 0,331 кг; жесткость упругого элемента 1 – 1,23 кН/м, а жесткость упругого элемента 2 – 0,7 кН/м; жесткость упругих прокладок 52 кН/м.

Во время экспериментов изучалось влияние удельной нагрузки по исходному питанию, которая составляла 6,25; 12,5 и 25 кг/м². Влажность исходного продукта 30 %. Исследовалось также изменение влажности во времени.

Для интенсификации процессов разделения по крупности и обезвоживания, за счет разрушения комков слипшегося материала на просеивающей поверхности, использовались крупные частицы отсева, ДЭ различной формы и размеров и металлический экран, который устанавливался над просеивающей поверхностью.

Эксперименты выполнялись в такой последовательности:

- монтировалась просеивающая поверхность с заданным размером отверстий;
- включался вибратор, и устанавливались требуемые амплитуда и частота вибровозбуждения;
- на калибровочную сетку одновременно с материалом подавались ДЭ;
- включался секундомер;
- через заданное время выключался вибратор;
- извлекались ДЭ;
- извлекался и взвешивался надрешетный продукт;

– далее надрешетный и подрешетный продукты подвергались сушке и снова взвешивались.

Эффективность грохочения оценивалась по выходу мелкого класса в подрешетном продукте по сравнению с его содержанием в надрешетном. При этом учитывалась степень обезвоживания надрешетного продукта.

Интенсивность обезвоживания характеризовалась относительным количеством воды, оставшейся в надрешетном продукте после вибрационного воздействия

$$W = \frac{m_m - m_c}{m_c} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_m – масса мокрого материала; m_c – масса сухого материала.

Данные исследований показаны в таблицах, в которых приведены средние значения по результатам пяти опытов при каждом режиме.

Предварительно были выполнены эксперименты по разделению и обезвоживанию материала узкого класса крупности +0,4–0,63 мм с помощью "одиночных ударов" на просеивающей поверхности с ячейкой 0,63 мм и диаметром проволоки сетки 0,2 мм (продолжительность грохочения 300 с, удельная нагрузка 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %), которые показали следующие результаты (табл. 1):

Таблица 1– Классификация и обезвоживание материала крупностью +0,4-0,63 мм

Соотношение материала "мелкий/крупный"	1/0	1/0	1/4	1/3	1/1	1/1
Частота, Гц	60	40	40	35	37,5	32,5
Амплитуда, мм	1	2	2	2	2	2
Влажность надрешетного, %	17,36	21,08	5,3	12,26	4,0	11,69
Содержание в надрешетном класса +0,4-0,63 мм, %	67,5	32,68	30,09	55,82	27,35	89,61
Содержание в подрешетном класса +0,4-0,63 мм, %	32,5	67,32	69,91	44,18	72,65	10,39

Как видно из табл. 1, при "одиночных ударах" не весь материал проходит через просеивающую поверхность. Несмотря на длительное время грохочения его остается на ней от 32 % до 67 %, причем влажность исходного продукта уменьшена с 30 % всего лишь до 17 %. Это является следствием недостаточного разрыхления материала. Под действием колебаний циркуляция влажного материала по просеивающей поверхности приводит к его слипанию и окомкованию. Поэтому эффективность грохочения резко снижается. Для разрушения комков необходимо приложить дополнительную энергию, например, за счет применения крупных частиц материала +5,0–10,0 мм. При использовании крупных частиц в соотношении "мелкий/крупный" от 1/4 до 1/1 можно получить выход подрешетного продукта до 70 % при снижении влажности надрешетного до 4-5 %.

Как известно, наиболее трудоемким и имеющим высокие энергетические расходы является процесс грохочения и удаления влаги из продуктов, сформированных из тонких классов размером менее 0,2 мм. В связи с этим дальнейшие

эксперименты по разделению и обезвоживанию горной массы проводились на просеивающей поверхности с ячейкой 0,12 мм и диаметром проволоки 0,1 мм.

В табл. 2 приведены результаты исследований разделения по крупности и обезвоживания материала с размерами частиц +0–0,12 мм при различных режимах (продолжительность грохочения 180 с, удельная нагрузка 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %).

Из табл. 2 следует, что использование крупных частиц в соотношении "мелкий/крупный" 1/1 при грохочении материала крупностью +0–0,12 мм позволяет повысить выход подрешетного продукта до 40 % при влажности надрешетного 12,65 %. Необходим поиск условий, которые обеспечат дальнейшее повышение эффективности грохочения и снижение влажности надрешетного продукта.

Таблица 2– Классификация и обезвоживание материала крупностью +0-0,12 мм

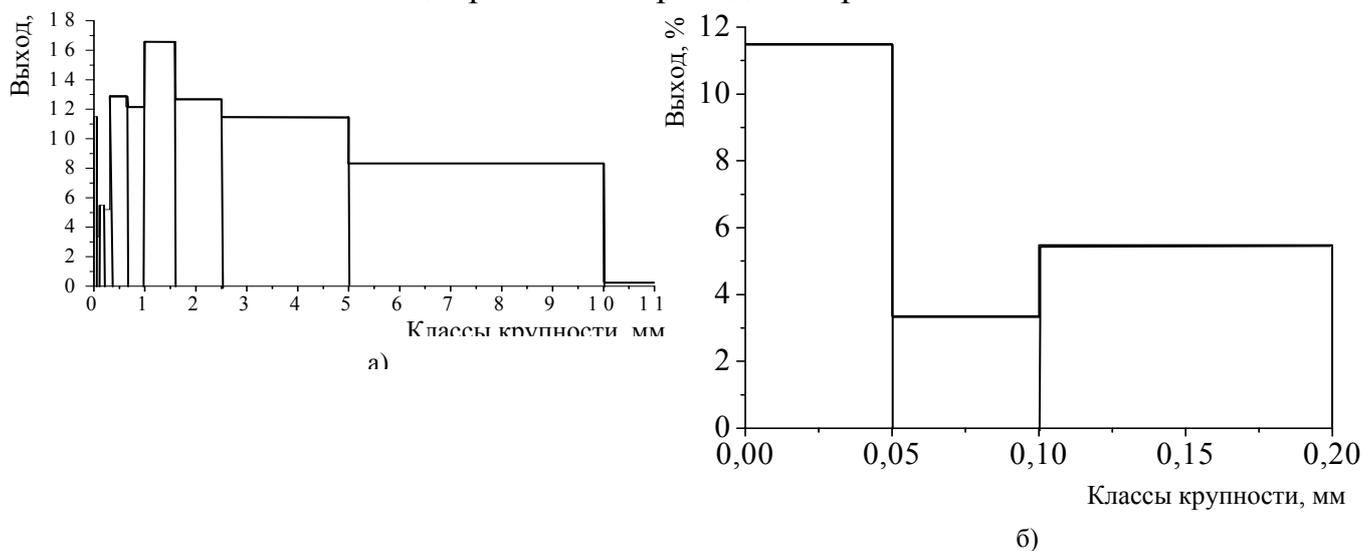
Шары 1: - количество, шт., - масса шаров, г, - нагрузка H , г/см ²	-	5 406,5 0,88	5 406,5 0,88	16 813 1,77	-	-	-
Шары 2: - количество слоев, - масса шаров, г, - нагрузка H , г/см ²	-	-	-	-	1 1287,9 2,81	2 2344,5 5,11	3 3700,4 8,07
Соотношение материала "мелкий/крупный"	1/1	3/2	3/2	3/1	3/2	3/2	3/2
Частота, Гц	60	20	40	35	30	30	30
Амплитуда, мм	1	3	2,5	2	4	4	4
Влажность надрешетного, %	12,65	13,58	11,0	17,33	9,53	3,99	12,59
Содержание на шарах класса +0-0,1 мм, %	-	-	-	5,62	7,87	16,4	21,15
Содержание в надрешетном класса +0-0,1 мм, %	60,98	69,84	78,38	0,71	1,71	1,03	9,18
Содержание в подрешетном класса +0-0,1 мм, %	39,02	30,16	21,62	93,67	90,42	82,93	69,67

Для этого необходимо увеличить разрыхление материала и разрыв капиллярных мостиков путем воздействия на него ДЭ в локальных областях нормальными и сдвиговыми импульсами, имеющими различные формы и размеры. При создании возмущений эти элементы сообщают материалу импульс, выдавливая из него воду. За счет нанесения материалу и просеивающей поверхности в локальных областях нормальных импульсов усиливаются колебания просеивающей поверхности и материала на ней, что способствует более интенсивному его разрыхлению и разрушению капиллярных мостиков между частицами, интенсифицируя процесс разделения материала и обезвоживания, вследствие чего повышается его эффективность. Для этого вместе с крупными частицами использовались различные дезинтегрирующие шаровые элементы, изготовленные из резины (назовем их шары 1) и спеченные из железной руды (шары 2), которые подавались на просеивающую поверхность вместе с обезвоживаемым материалом. Параметры шаров 1: диаметр 50 мм, масса 81,3 г. Шары 2 имели переменные параметры: диаметр изменялся от 10 мм до 24 мм, масса – от 9,6 г

до 23,0 г. Во время экспериментов варьировалось количество шаров.

Как видно из табл. 2, наибольший выход подрешетного продукта 82-90 % получают при использовании крупных частиц в соотношении "мелкий/крупный" 3/2 и ДЭ (шары 2), уложенных в один или два слоя (нагрузка $H=2,8-5$ г/см²). При этом влажность надрешетного продукта снижена до 9 %. Увеличение количества шаров 2 до трех слоев приводит к снижению показателей грохочения, т.к. при нагрузке H свыше 5 г/см² энергии ударников недостаточно для передачи ее ДЭ и величина сообщаемого ими материалу импульса резко снижается. Использование шаров 1 в количестве 16 шт. (нагрузка $H = 1,77$ г/см²) и крупных частиц в соотношении "мелкий/крупный" 3/1 позволяет увеличивать выход подрешетного продукта до 93 %, однако влажность надрешетного продукта уменьшается лишь до 17 %.

Полученные результаты показательны для грохочения и обезвоживания узких классов крупности. На практике приходится сталкиваться с разделением по крупности и обезвоживанием продуктов, сформированных из широкого спектра крупности. В этом случае эти процессы – наиболее сложные, т.к. традиционными способами перерабатываемый материал вообще не обезвоживается и не классифицируется. Поэтому необходим поиск условий для решения этой проблемы. В связи с этим дальнейшие лабораторные исследования выполнены на модельной смеси из частиц кварца крупностью +0–10,0 мм с высоким содержанием глинистых частиц. Грансостав приведен на рис. 1.



а) интервал крупности от 0 до +10 мм, б) интервал крупности от 0 до 0,2 мм

Рис. 1 – Грансостав материала

В табл. 3 представлены результаты по разделению и обезвоживанию материала +0–10,0 мм с помощью "одиночных", "двойных ударов" и различных ДЭ (продолжительность грохочения 180 с, удельная нагрузка 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %).

Для разрушения комков слипшегося материала на расстоянии 120 мм от просеивающей поверхности устанавливался металлический экран. Эксперименты не показали высоких результатов, поэтому при дальнейших исследованиях он не использовался.

Таблица 3 – Классификация и обезвоживание материала крупностью +0–10,0 мм

Импульс (удары: 1– одиночный, 2– двойной)	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Экран	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Шары 1: - количество, шт., - масса, г, - нагрузка H , г/см ²	16 813 1,77	-	16 813 1,77	16 813 1,77	-	-	-	-	-	-	-
Шары 2: - количество слоев, - масса, г, - нагрузка H , г/см ²	-	2 2344,5 5,11	1 1287,9 2,81	1 1287,9 2,81	-	-	-	2 2344,5 5,11	2 2344,5 5,11	-	-
Эллипсоид враще- ния: - количество слоев, - масса, г, - нагрузка H , г/см ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 1960 4,27	2 1960 4,27
Частота, Гц	35	30	30	20	20	20	20	20	20	20	20
Амплитуда, мм	3	7	5	10	9	4	9	4	9	4	9
Влажность надре- шетного, %	15,79	14,95	16,61	6,04	16,11	16,73	12,02	12,85	8,77	10,78	8,68
Содержание на де- зинтегрирующих элементах / на эк- ране класса 0–10,0 мм, %	4,12	67,36	58,16	82,9	0,44	-	-	44,41	81,06	15,12	70,5
Содержание на де- зинтегрирующих элементах / на эк- ране класса +0–0,1 мм, %	1,86	56,4	49,7	55,56	0,25	-	-	43,26	59,11	13,75	49,66
Содержание в над- решетном класса 0– 10,0 мм, %	95,88	32,64	41,84	17,1	99,56	100	100	55,59	18,94	84,88	29,5
Содержание в над- решетном % класса +0–0,1 мм,	38,04	2,12	4,43	2,46	57,63	56,45	42,74	24,68	4,77	35,2	9,19
Содержание в под- решетном класса +0–0,1 мм, %	60,1	41,47	45,88	41,98	42,11	43,55	57,26	32,06	36,13	51,05	41,15

Анализ данных табл. 3 позволил сделать вывод, что наибольшую эффективность грохочения при обезвоживании материала достигается при использовании "двойных ударов" и ДЭ в виде эллипсоидов вращения: выход подрешетного продукта составляет 40-50 % при влажности надрешетного продукта 8-10 %. Однако при этом возникают перегрузки (ускорение вибровозбуждения к ускорению свободного падения) порядка 15-20 g. Обеспечение таких ускорений требует создания особо прочных конструкций грохотов. Поэтому необходим поиск таких условий, при которых обеспечивается эффективное разделение по крупности и обезвоживание материала без создания перегрузок.

Дальнейшие исследования были выполнены с использованием "двойных ударов" и ДЭ в виде эллипсоидов вращения (два слоя, нагрузка $H = 5,11 \text{ г/см}^2$) и направлены на поиск условий при которых обеспечивается максимальное извлечение тонких классов в подрешетный продукт при минимальном содержании влаги надрешетного продукта.

В табл. 4 приведены результаты исследований процесса разделения и обезвоживания материалов при различных режимах.

Таблица 4 – Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных режимах (жесткость упругих элементов, кН/м 2,46/1,41)

Частота, Гц	0	0	0	0	0	0	0	0
Амплитуда, мм								
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Время, с	5	5	0	0	80	80	80	80
Характеристики продуктов грохочения								
Влажность надрешетного, %	1,99	4,74	,85	3,89	,2	2,73	,9	,68
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	4,88	2,72	8,14	9,98	2,23	9,6	1,54	9,5
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	5,2	0,54	4,58	7,73	3,08	5,42	,31	,19
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	1,05	0,86	5,9	3,2	7,1	1,17	5,65	1,15
Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах								
Влажность, %	2,62	2,98	0,8	1,44	2,28	0,35	5,12	1,47
Содержание класса 0–10,0 мм, %	5,12	,28	1,86	0,02	7,77	0,4	8,46	0,5
Содержание класса 0–0,1 мм, %	3,75	,6	9,52	9,07	9,82	3,41	9,04	9,66

В табл. 4-10 приведены результаты изучения процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных удельных нагрузках, режимах и жесткостях упругих элементов (ударник 1 / ударник 2). Влажность исходного продукта составляла 30 %. Во время исследований изучалось также количество, грансостав и влажность материала на ДЭ.

Таблица 5 – Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных режимах (жесткость упругих элементов, кН/м 1,97/1,09

Частота, Гц	20	0 ²	20
Амплитуда, мм	9	9	9
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	12,5	2,5 ¹	12,5
Время, с	45	0 ⁹	180
<u>Характеристики продуктов грохочения</u>			
Влажность надрешетного, %	12,79	3,43 ¹	8,58
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	82,64	8,05 ⁷	36,85
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	30,83	2,6 ³	8,57
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	55,88	2,82 ⁵	53,99
<u>Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах</u>			
Влажность, %	25,36	5,2 ²	21,08
Содержание класса 0–10,0 мм, %	17,36	1,95 ²	63,15
Содержание класса 0–0,1 мм, %	13,29	4,58 ¹	37,44

Таблица 6 –Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных режимах
(жесткость упругих элементов, кН/м 11,35/3,24)

Частота, Гц	20	20	20	35,5	49	20	20	20	20	20	20	20	35,5	35,5	49
Амплитуда, мм	9	9	9	4	1,5	9	9	9	9	9	9	9	4	4	1,5
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	12,5	6,25	12,5	12,5	12,5	25	6,25	12,5	12,5	12,5	6,25	25	12,5	25	12,5
Время, с	15	45	45	45	45	45	90	90	90	135	180	180	180	360	180
Характеристики продуктов грохочения															
Влажность надрешетного, %	14,84	11,39	14,64	13,09	13,61	15,54	7,38	15,55	13,64	12,86	3,99	13,61	10,81	11,38	11,27
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	92,03	68,53	89,57	86,17	91,78	94,6	32,05	90,67	86,46	73,61	18,8	88,74	26,73	65,51	66,54
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	31,23	28,15	48,54	40,82	34,61	51,44	8,37	51,94	37,33	38,32	2,8	53,82	6,75	29,23	25,25
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	63,68	42,79	41,22	46,94	58,2	43,32	33,36	36,54	51,5	38,66	26,55	33,01	49,49	46,34	48,48
Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах															
Влажность, %	30,57	25,19	39,9	19,02	13,62	22,35	23,24	49,45	33,27	27,23	22,11	24,77	16,96	14,28	15,62
Содержание класса 0–10,0 мм, %	7,97	31,47	10,43	13,83	8,22	5,4	67,95	9,33	13,54	26,39	81,2	11,26	73,27	34,49	33,46
Содержание класса 0–0,1 мм, %	5,09	29,06	10,24	12,24	7,19	5,24	58,27	11,52	11,17	23,02	70,65	13,17	43,76	24,43	26,27

Таблица 7 – Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных режимах (жесткость упругих элементов, кН/м 3,29/1,98)

Частота, Гц	20
Амплитуда, мм	4
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	12,5
Время, с	45
<u>Характеристики продуктов грохочения</u>	
Влажность надрешетного, %	13,45
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	94,26
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	51,76
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	39,88
<u>Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах</u>	
Влажность, %	5,78
Содержание класса 0–10,0 мм, %	5,74
Содержание класса 0–0,1 мм, %	8,36

Таблица 8 – Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных режимах (жесткость упругих элементов, кН/м 1,42/2,25)

Частота, Гц	18
Амплитуда, мм	6
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	12,5
Время, с	45
<u>Характеристики продуктов грохочения</u>	
Влажность надрешетного, %	14,69
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	90,44
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	38,42
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	54,12
<u>Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах</u>	
Влажность, %	7,14
Содержание класса 0–10,0 мм, %	9,56
Содержание класса 0–0,1 мм, %	7,46

Таблица 9 – Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0-10,0 мм при различных режимах (жесткость упругих элементов, кН/м 1,89/1,12)

Частота, Гц	18	18	18	18	18
Амплитуда, мм	6	6	6	6	6
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	6,25	12,5	25	6,25	12,5
Время, с	45	45	45	75	180
Характеристики продуктов грохочения					
Влажность надрешетного, %	13,17	14,27	14,52	10,34	11,51
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	73,44	90,78	94,87	45,8	55,33
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	34,72	45,75	51,41	15,62	21,85
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	50,0	43,65	42,82	42,91	44,96
Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах					
Влажность, %	6,95	14,71	6,67	13,06	15,32
Содержание класса 0–10,0 мм, %	26,56	9,22	5,13	54,2	44,67
Содержание класса 0-0,1 мм, %	15,28	10,6	5,77	41,47	33,19

Таблица 10 – Исследование процесса разделения и обезвоживания материала крупностью +0–10,0 мм при различных режимах (жесткость упругих элементов, кН/м 1,89/1,12)

Частота, Гц	18	18	18	18	18	18
Амплитуда, мм	6	6	6	6	6	6
Удельная нагрузка по исходному питанию, кг/м ²	6,25	12,5	25	6,25	12,5	25
Время, с	45	45	45	180	180	180
Характеристики продуктов грохочения						
Влажность надрешетного, %	11,55	14,01	14,78	4,21	11,26	13,08
Содержание в надрешетном класса 0–10,0 мм, %	72,67	88,92	91,19	19,4	57,58	80,04
Содержание в надрешетном класса 0–0,1 мм, %	21,21	40,93	52,8	5,39	21,06	40,28
Содержание в подрешетном класса 0–0,1 мм, %	51,52	47,75	38,33	46,47	49,0	45,18
Характеристики материала на дезинтегрирующих элементах						
Влажность, %	7,62	3,58	6,47	11,69	13,74	11,83
Содержание класса 0–10,0 мм, %	27,33	11,08	8,81	80,6	42,42	19,96
Содержание класса 0–0,1 мм, %	27,27	11,32	8,87	48,14	29,94	14,54

Полученные результаты (табл. 4–10) позволили сделать следующие выводы.

Использование при грохочении и обезвоживании материала крупностью +0,63-1,0 мм "одиночных ударов" и крупных частиц в соотношении "мелкий/крупный" от 1/4 до 1/1 позволило повысить выход подрешетного продукта до 70 % при снижении влажности надрешетного до 4-5%. Для сырья крупностью +0-0,12 мм наибольший выход подрешетного продукта 82-90 % и уменьшение влажности надрешетного до 4 % достигается с помощью "одиночных ударов" и ДЭ в виде шаров (нагрузка $H=2,8-5$ г/см²). Для разделения по крупности и обезвоживания материалов широкого спектра крупности +0-10 мм требуются режимы с "двойными ударами" и ДЭ в виде эллипсоидов вращения. При этих условиях выход тонких классов в подрешетный продукт увеличива-

ется до 55–60 %, а влажность надрешетного материала снижается до 8-10 %. Содержание материала на ДЭ находится в пределах 5-10 %.

При исследованиях изучалось влияние на показатели грохочения и обезвоживания режимных и конструктивных параметров. При фиксированной удельной нагрузке, продолжительности эксперимента и варьировании жесткости упругих элементов от 1 кН/м до 11 кН/м изменение выхода подрешетного продукта составляет от 5 % до 15 %, а влажности от 12 % до 17 %. При фиксированных жесткости, продолжительности грохочения и обезвоживания и варьировании нагрузки от 6,25 кг/м² до 25 кг/м² показатели разделения изменяются от 4 % до 20 %, а влажности – от 5 % до 26 %. При фиксированных удельной нагрузке, жесткости упругих элементов и варьировании продолжительности эксперимента изменение показателей разделения составляет от 7 % до 30 %, а влажности – от 6 % до 40 %. Как видно из таблиц 4–10, увеличение частоты до 20 Гц и амплитуды до 9 мм при фиксированных удельной нагрузке, жесткости упругих элементов и продолжительности обезвоживания позволяет увеличить выход подрешетного продукта до 63 %, а влажность снизить с 30 % до 8–10 %.

Таким образом, установлено, что наибольшее влияние на показатели разделения и влажности оказывают следующие параметры вибровозбуждения: частота и амплитуда.

Следует отметить, что результаты были получены при перегрузках порядка 10-12 g (ускорение вибровозбуждения к ускорению свободного падения). Необходимо обеспечить их дальнейшее снижение для повышения надежности работы грохота при условии, что это не ухудшит достигнутые показатели процессов разделения материала и его обезвоживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П. Повышение эффективности удаления влаги при тонком грохочении горной массы за счет импульсного воздействия / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко, А.В. Буров // Наук.-техн. журнал "Науковий вісник" / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ. – Вип. 2(122). – 2011. – С. 95-99.
2. Лапшин Е.С. Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на отделение жидкости при грохочении материала / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко, Л.Н. Прокопишин, А.В. Буров // Научно-технический и производственный журнал: "Металлургическая и горнорудная промышленность". – 2011. – № 3. – С. 71-74.
3. Надутый В.П. Определение условий прохождения жидкости через просеивающую поверхность вибрационного грохота / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 44(85). – С. 54-61.
4. Лукашева Т.Т. Технология и оборудование для классификации и обогащения строительных песков / Т.Т. Лукашева // "Горный журнал". – 2009. – № 6. – С.76-77.
5. Лапшин Е.С. Пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко // Збагачення корисних копалин : Наук.-техн. зб. / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 47(88). – С. 144–151.
6. Патент України на корисну модель № 65469 від 12.12.2011. Спосіб грохочення та зневоднювання мінеральної сировини, що важко класифікується. Надутий В.П., Лапшин Е.С., Шевченко О.І.
7. Патент України на корисну модель № 67194 від 10.02.2012. Спосіб грохочення та зневоднювання матеріалів, що важко класифікуються. Надутий В.П., Лапшин Е.С., Шевченко О.І.
8. Шевченко А.И. Влияние удельной нагрузки, конструктивных и режимных параметров на интенсивность обезвоживания минерального сырья при вибрационном грохочении / А.И. Шевченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 99. – С. 150-156.

Канд. техн. наук В.Л. Морус
(ИГТМ НАН Украины),
канд. техн. наук П.Е. Филимонов
(АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ РАБОЧИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОТСАДКИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ СИТ

Розроблено високоефективні робочі поверхні устаткування процесів відсадки на основі сит динамічно активних стрічкових. Наведено приклади їхнього використання в процесах відсадки.

HIGH-EFFICIENCY WORKINGS SURFACES OF EQUIPMENT OF PROCESSES OF JIGGING ON BASIS OF DYNAMICALLY ACTIVE BAND SIEVES

The high-efficiency workings surfaces of equipment of processes of jigging on the basis of sieves dynamically active band are developed. The examples of their use in the processes of jigging are resulted.

Одними из самых широко применяемых в промышленности способов обогащения рудных минералов и углей являются гравитационные процессы, а среди них наиболее распространены различные методы отсадки. Технологии обогащения отсадкой реализуют гидродинамическое разделение минералов по плотности в разделяющих средах, так называемых постелях. Постели размещают на решетках отсадочных машин и разрыхляют вертикальными, проходящими через отверстия решёт пульсирующими потоками воды. Параметры пульсаций задают в зависимости от свойств перерабатываемого материала и требований технологических схем обогащения. Диапазон варьирования этих параметров достаточно широк и в практике эксплуатации отсадочных машин применяются режимы с частотами от 30 до 200 – 215 1/мин и амплитудами от 12-15 до 130-250 мм различных по форме, зачастую подбираемых специально, пульсаций [1].

Весьма широк также диапазон крупности перерабатываемых в отсадочных машинах материалов. Он включает как шламы с частицами менее 1,0 мм, так и специально подготовленные машинные классы, а также ширококлассифицированные и неклассифицированные материалы с кусками до 150 - 300 мм, среди которых далеко не всегда исключаются и инородные тела в виде крупногабаритных фрагментов металлического скрапа от горнодобывающего и транспортирующего оборудования. В зависимости от технологических задач и конструктивных особенностей отсадочных машин, толщина размещаемых на их решетках постелей может составлять от 80-100 до 800-1000 мм. По наполнению применяют постели как из исключительно перерабатываемого материала - естественные, так и искусственные - из индивидуально подбираемых, зачастую специально изготавливаемых материалов или элементов различной плотности, прочности и формы. В последнем случае на решетках устанавливаются устройства для удержания наполнителей постелей от уноса - собранные из стальных