

Е.С. ЛАПШИН, д-р техн. наук,

А.И. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук

(Днепропетровск, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины)

ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ВИБРАЦИОННЫХ ГРОХОТАХ

Обезвоживание минерального сырья на вибрационных грохотах происходит в результате прохождения жидкости через слой частиц и отверстия просеивающей поверхности. Исходя из природы сил, обуславливающих связь частиц с влагой, последнюю подразделяют на адсорбированную (связанную), капиллярную и свободную (гравитационную) [1]. В пористых средах различают несколько видов влаги. Применительно к грохочению наиболее энергоемким является удаление капиллярно-стыковой воды (капиллярно-стыковых мостиков) [2]. Содержание капиллярно-стыковой воды в пористой среде в зависимости от вида укладки частиц колеблется от 18 до 30% (в среднем 24%) от общего количества воды при полном насыщении среды [1]. Традиционные способы грохочения позволяют в зависимости от крупности материала снижать влажность минерального сырья только до 18-25%.

Поэтому необходим поиск решений для эффективного обезвоживания минерального сырья, а задача, направленная на дальнейшее уменьшение влажности, несомненно, актуальна. Особенно это важно при тонком и сверхтонком грохочении.

Исходя из изложенного, сформулирована цель работы – экспериментальная проверка путей по интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах.

В Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины) на протяжении многих десятилетий ведутся исследования в области вибрационной техники, направленные, в том числе, и на снижение влажности материала при тонком и сверхтонком грохочении.

Чтобы удалить капиллярно-стыковую воду, необходимо преодолеть силы поверхностного натяжения жидкости. Для этого используют импульсное воздействие, например виброудар [3]. Последнее может сообщаться как непосредственно ситу, так и через промежуточный элемент, выполненный в виде более крупного сита или решетчатой конструкции [3].

Традиционно при обезвоживании используют "одинокые удары" – режимы, когда за период возбуждения просеивающей поверхности наносится один удар.

В ИГТМ НАН Украины были выполнены эксперименты по обезвоживанию минерального сырья с помощью виброудара. На первом этапе исследований изучалось влияние конструкции грохота и режимов вибровозбуждения на интенсивность прохождения жидкости через ячейки различных стальных и по-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

лиамидних сеток [3-6]. Было установлено, что более эффективное прохождение жидкости обеспечивает стальная сетка.

На следующем этапе необходимо выявить условия, при которых обеспечивается максимальное снижение влажности минерального сырья.

Одна из причин, по которой сдерживается повышение эффективности процесса обезвоживания, большое разнообразие перерабатываемого сырья с различными физико-механическими свойствами и грансоставом, которое требует индивидуального подхода в каждом конкретном случае.

При гармоническом вибровозбуждении просеивающей поверхности материалы узкого спектра крупности обезвоживаются только до 18-22%. Чем меньше крупность частиц, тем выше влажность. Наиболее трудным является уменьшение влажности материалов широкого спектра крупности, которые в ряде случаев вообще не обезвоживаются. Поэтому для испытаний в качестве материала для обезвоживания использовали модельную смесь (гранитный отсев – отходы добычи и переработки гранита) крупностью -10,0+0 мм.

При исследованиях решалось две задачи: обезвоживание материалов узкого и широкого спектров крупности при различных режимах вибрационного грохочения.

Для снижения влажности необходимо обеспечить разрыхление материала и разрыв капиллярных мостиков. Для этого предложено воздействовать на него в локальных областях нормальными и сдвиговыми импульсами с помощью дезинтегрирующих элементов, в качестве которых используются крупные частицы материала, а также сферические, эллипсоидные тела, изготовленные из разных материалов. Также предложено использовать режимы с "двойными ударами" [7], когда за период возбуждения просеивающей поверхности наносится два удара. Вначале наносится первый удар, который способствует отрыву сырья от просеивающей поверхности и его разрыхлению. Затем на этапе полета наносится второй удар, который сообщает дополнительное ускорение просеивающей поверхности, что обеспечивает ее очистку от застрявших в отверстиях частиц и разрыв менисков жидкости. Важно отметить, что при нанесении второго удара грохотимое сырье не препятствует удалению частиц и жидкости.

Эксперименты проводились на модели вибрационного грохота [3, 5], на которой монтировали просеивающую поверхность, состоящую из сетки и стальных стержней. Под сеткой устанавливались стальные стержни, закрепленные на упругих прокладках, а под ними на упругих элементах – ударники. Эта конструкция позволяла гармоническое возбуждение короба преобразовывать в импульсное воздействие на просеивающую поверхность.

Эксперименты проводились на калибровочных стальных сетках с размерами ячеек 0,63 и 0,12 мм. Изучалось влияние удельной нагрузки по исходному питанию, которая составляла 6,25, 12,5 и 25 кг/м² при влажности исходного продукта 30%.

В результате испытаний определялось количество воды, остающейся после вибрационного воздействия в надрешетном продукте.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Експерименти виконувались в такій послідовності:

- монтировалась просеивающая поверхность с заданным размером отверстий;
- включался вибратор, и устанавливалась требуемая амплитуда и частота вибровозбуждения;
- на калибровочную сетку подавался материал для обезвоживания, а при использовании дезинтегрирующих элементов их подавали одновременно с материалом;
- включался секундомер;
- через заданное время выключался вибратор;
- извлекались дезинтегрирующие элементы;
- извлекался и взвешивался надрешетный продукт;
- далее надрешетный продукт подвергался сушке и снова взвешивался.

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 табл. 1-3, где приведены средние значения по результатам пяти опытов при каждом режиме.

Вначале оценивалось действие одного ударника на просеивающую поверхность и материал ("одиночные удары"). 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.

На первом этапе изучалось обезвоживание материала крупностью -1,0+0,63 мм. Испытания проводились на стальной сетке с ячейкой 0,63 мм и диаметром проволоки сетки 0,2 мм.

При гармоническом вибровозбуждении просеивающей поверхности материалы такой крупности обезвоживаются только до 20-22%. Необходимо экспериментальным путем определить условия, которые обеспечат максимальное снижение влажности сырья.

Для интенсификации разрыхления во время экспериментов к частицам крупностью -1,0+0,63 мм добавлялся более крупный материал -10,0+5,0 мм.

Изучалось влияние на процесс обезвоживания соотношения материала "мелкий/крупный", которое изменялось в соотношении от 1/0 до 1/3.

Результаты исследований по обезвоживанию материала с использованием "одиночных ударов" при варьировании соотношения материала "мелкий / крупный" и при различных режимах (продолжительность обезвоживания 300 с, удельная нагрузка 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %) показаны в табл. 1.

Обезвоживание материала крупностью -1,0+0,63 мм

Соотношение материала "мелкий/крупный", %	Частота, Гц	Амплитуда, мм	Влажность надрешетного продукта, %
1/0	40,0	2	21,08
1/0	60,0	1	17,36
1/1	32,5	2	10,47
1/1	35,0	2	10,93
1/3	37,5	2	3,85
1/3	40,0	2	5,04

Как видно из табл. 1, при использовании "одиночных ударов" для обезвоживания материала крупностью -1,0+0,63 мм влажность исходного продукта уменьшена с 30% всего лишь до 17%, т. к. при этих условиях материал недостаточно разрыхляется. Под действием колебаний циркуляция влажного материала по просеивающей поверхности приводит к его слипанию и окомкованию. Образуется комок размерами 120×90 мм и толщиной 20 мм. Поэтому эффективность обезвоживания резко снижается. Для разрушения комков необходимо приложить дополнительную энергию.

Наличие крупных частиц позволяет разрушать комки материала и способствует его разрыхлению, но для этого требуется продолжительное время, в данном случае 300 сек, что значительно превышает время пребывания материала на просеивающей поверхности в реальных условиях. Необходимо добиться положительных результатов при снижении времени грохочения. Следует отметить, что использование "одиночных ударов" и крупного материала позволило снизить влажность надрешетного продукта при соотношении "мелкий/крупный" 1/1 до 10-11%, а при 1/3 – до 3,5-5%.

Результаты опытов представляют интерес для обезвоживания материала крупностью -1,0+0,63 мм, но, как известно, при обезвоживании минерального сырья наиболее трудоемким и имеющим высокие энергетические затраты является процесс удаления влаги из продуктов, сформированных из тонких классов размером менее 0,63 мм. Поэтому последующие исследования проводились на материале крупностью -0,4+0,12 мм на просеивающей поверхности с ячейкой 0,12 мм и диаметром проволоки 0,1 мм.

Для интенсификации разрыхления и разрушения капиллярных мостиков добавлялись крупные частицы (-10,0+5,0 мм), дезинтегрирующие шаровые элементы, изготовленные из резины (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 до 24 мм, масса – от 9,6 до 23,0 г, соотношение шаров разных размеров составляло 50/50. Во время экспериментов варьировалось количество шаров.

В табл. 2 приведены результаты исследований по обезвоживанию материала крупностью +0,12-0,4 мм с помощью "одиночных ударов", крупных частиц и

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

дизинтегруючих шарових елементів при різних режимах (продовжительність обезвоживання 180 с, удельна навантаження 12,5 кг/м², вологість вихідного продукту 30%).

Таблиця 2

Обезвоживання матеріала крупністю -0,4+0,12 мм

Шари 1, шт.	Шари 2, кількість слоев/маса, г	Соотношение материала "мелкий/крупный", %	Частота, Гц	Амплитуда, мм	Влажность надрешетного продукта, %
–	–	1/0	20	5,0	28,36
–	–	1/0	60	1,0	21,98
–	–	1/1	60	1,0	12,65
5	–	3/2	20	3,0	13,58
16	–	3/2	35	2,0	17,33
5	–	3/2	40	2,5	11,00
–	1/1287,9	3/2	30	4,0	9,53
–	2/2344,5	3/2	30	4,0	3,99
–	3/3700,4	3/2	30	4,0	11,00

Як видно з табл. 2, при обезвоживанні матеріала крупністю -0,4+0,12 мм з допомогою "одиначних ударів" вологість вихідного зменшена з 30% тільки до 22%, що є наслідком недостаточного розривлення матеріала і його слипання. За рахунок додавання до нього крупного матеріала в співвідношенні "мелкий/крупный" 1/1 вологість надрешетного продукту зменшена до 12,65%.

Найбільше зниження вологості отримано при використанні крупних частинок і шарів 2 (табл. 2). Причому, при збільшенні кількості шарів 2 до двох шарів вологість надрешетного продукту зменшується до 4%. При подальшому збільшенні їх кількості вологість підвищується, т. к. шари гасять енергію друг друга, і в результаті різко зменшується вплив на обезвоживаний матеріал.

На практиці приходиться стикатися з обезвоживанням продуктів, сформованих з більш широкого спектра крупності. В цьому випадку процес видалення вологи – найбільш складний. Тому подальші дослідження проводилися на модельній суміші з частинок кварцу крупністю -10,0+0 мм з високим вмістом глинистих частинок. Грансостав наведено на рис. 1.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

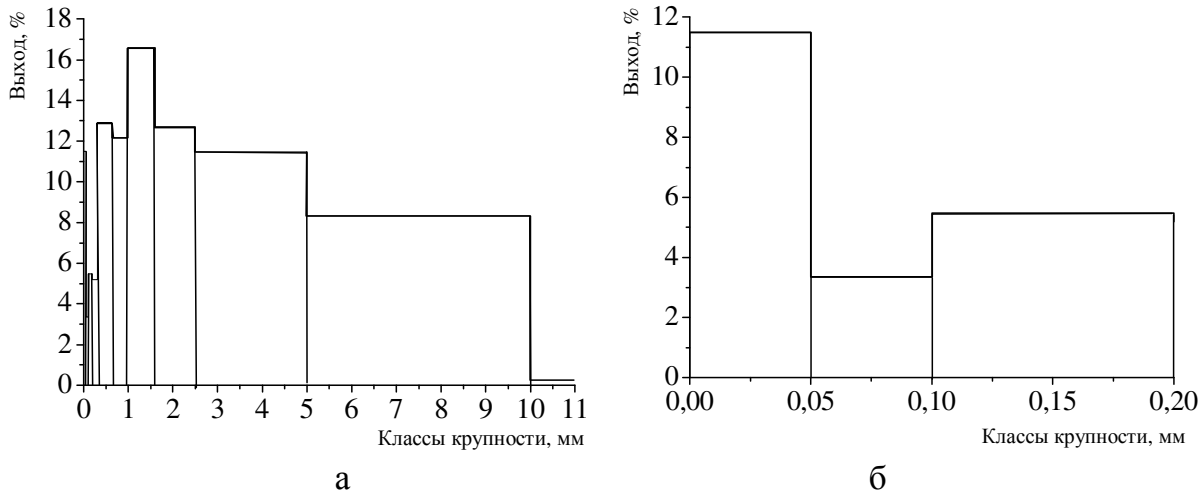


Рис. 1. Грансостав материала:

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

Обезвоживание осуществлялось с помощью "одиночных ударов", крупных частиц и дезинтегрирующих шаровых элементов. Для более интенсивного разрыхления и разрушения капиллярных мостиков между частицами использовались режимы с "двойными ударами" и дезинтегрирующие элементы в виде эллипсоида вращения. Для обеспечения таких режимов на модели грохота устанавливались на упругих элементах 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.

Дезинтегрирующие элементы в виде эллипсоида вращения при вибровозмущениях создают нормальные и сдвиговые импульсы, что интенсифицирует разрыхление материала и разрыв капиллярных мостиков между частицами.

В табл. 3 представлены результаты по обезвоживанию материала -10,0+0 мм с помощью "одиночных ударов", "двойных ударов" и дезинтегрирующих элементов при различных режимах (продолжительность обезвоживания 180 с, удельная нагрузка 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30%).

Как следует из табл. 3, "одиночные удары" и шары 1 в количестве 16 шт. и шары 2 в один слой позволяют снизить влажность надрешетного продукта до 6%. Однако при этом возникают перегрузки свыше 15 g (ускорение вибровозбуждения к ускорению свободного падения). Такие ускорения не характерны для серийных грохотов. Обеспечение таких режимов требует создания особо прочных конструкций.

Поэтому необходим поиск таких условий, при которых обеспечивается эффективное обезвоживание материала при меньших ускорениях (при перегрузке 6-8 g). Использование "двойных ударов" позволило уменьшить влажность материала крупностью -10,0+0 мм до 12%.

Для дальнейшего снижения необходима дополнительная энергия, которую обеспечили режимы с "двойными ударами" и дезинтегрирующие элементы в

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

виде эллипсоида вращения и позволившие снизить влажность материала до 8-10%.

Таблица 3

Импульс (удары: 1 – одиноч- ный, 2 – двойной)	Дезинтегрирующие элементы			Частота, Гц	Амплитуда, мм	Влажность надрешет- ного продукта, %
	Шары 1, шт.	Шары 2, количество слоев/масса, г	Эллипсоид вращения, количество слоев			
1	16	–	–	35	3	15,79
1	–	2/2344,5	–	30	7	14,95
1	16	1/1287,9	–	30	5	16,61
1	16	1/1287,9	–	20	10	6,04
2	–	–	–	20	4	16,73
2	–	–	–	20	9	12,02
2	–	2/2344,5	–	20	4	12,85
2	–	2/2344,5	–	20	9	9,77
2	–	–	2	20	4	10,78
2	–	–	2	20	9	8,68

Таким образом, экспериментальным методом исследованы пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах. Установлено, что использование "одиночных ударов" и крупных частиц при обезвоживании материала крупностью $-1,0+0,63$ 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 $-0,4+0,12$ мм уменьшение влажности до 4% достигается с помощью "одиночных ударов" и дезинтегрирующих элементов в виде шаров. Для обезвоживания материалов широкого спектра крупности $-10+0$ мм требуются режимы с "двойными ударами" и дезинтегрирующими элементами в виде эллипсоида вращения. Это позволяет снизить влажность такого материала до 8-10%. Полученные результаты сопоставимы с показателями влажности, которые получают при обезвоживании материалов на центрифугах.

Результаты, приведенные в работе, получены впервые. Они будут использованы для разработки методики определения конструктивных и динамических параметров грохота, обеспечивающего повышение эффективности обезвоживания и классификации.

Список литературы

1. Бейлин М.И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
2. Meinel A. Zu den Grundlagen der Klassierung sieschwieriger Materialien // Aufbereitungs-Technik. – 1999. – №7. – S. 313-3271.
3. Повышение эффективности удаления влаги при тонком грохочении горной массы за счет импульсного воздействия / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко др. // Научный вестник. – 2011. – Вып. 2(122). – С. 95-99.
4. Надутый В.П. Определение условий прохождения жидкости через просеивающую

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

поверхность вибрационного грохота // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 44(85). – С. 54-61.

5. Экспериментальные исследования вибрационного воздействия на отделение жидкости при грохочении материала / Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко, Л.Н. Прокопишин и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 3. – С. 71-74.

6. Надутый В.П. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Математическое моделирование прохождения жидкости через просеивающую поверхность при вибрационном грохочении // Вібрації в техніці і технологіях: Всеукр. наук.-техн. журнал. – 2011. – Вип. 3. – С. 48-54.

7. Надутый В.П. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Математическое моделирование грохота с ударным возбуждением просеивающей поверхности // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні: Українська міжвід. наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 45. – С. 320-324.

© Лапшин Е.С., Шевченко А.И., 2011

*Надійшла до редколегії 10.09.2011 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Надутим*