

**А.И. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОПУТСТВУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ЕГО РАЗДЕЛЕНИИ ПО КРУПНОСТИ И ОБЕЗВОЖИВАНИИ НОВЫМ СПОСОБОМ ВИБРОУДАРНОГО ГРОХОЧЕНИЯ**

При разделении по крупности и обезвоживании минерального сырья широко применяется вибрационное грохочение. Эффективность и производительность этих процессов в существенной мере определяют качество и себестоимость конечной продукции, поэтому не случайно внимание многих исследователей направлено на их совершенствование.

Интенсивность разделения и обезвоживания зависит от физико-механических свойств сырья, грансостава, формы частиц, конструктивных и динамических параметров грохота. В зависимости от размера частиц и влажности доминирующую роль играют различные силы. При тонком и сверхтонком грохочении – это силы поверхностного натяжения. Поэтому наиболее энергоемким является удаление капиллярно-стыковой воды (менисков) [1].

Особенно сложны эти процессы при переработке минерального сырья, сформированного из широких классов крупности (например, строительные пески, шламы и т.п.), когда необходимо отделить тонкие классы с размерами частиц менее 0,2 мм (подрешетный продукт) и максимально удалить влагу из надрешетного продукта.

Традиционными способами такое сырье обезвоживается только до 18-22%. Разделение сырья крупностью менее 1 мм традиционными методами не дает высоких результатов, а при размере частиц менее 0,2 мм в ряде случаев вообще не классифицируется из-за их прилипания к просеивающей поверхности [1-4].

Вследствие этого задачи, направленные на поиск решений по совершенствованию разделения и обезвоживания, несомненно, актуальны.

Чтобы повысить эффективность грохочения необходимо интенсифицировать разрыхление сырья и преодолеть силы поверхностного натяжения для удаления капиллярно-стыковой воды [1-3]. Для этого в ИГТМ НАН Украины предложено использовать импульсное воздействие с "двойными ударами" на просеивающую поверхность и перерабатываемое сырье, при котором за период возбуждения кроме основного наносится дополнительный импульс [1-7]. За счет основного надрешетный продукт подбрасывается и во время его полета просеивающей поверхности сообщается дополнительный импульс, усиливающий ее колебания. Вследствие этого происходит разрыв капиллярных мостиков и потеря устойчивости капиллярных менисков в ячейке просеивающей поверхности, улучшается процесс разделения и обезвоживания.

Для реализации этого метода разработан новый способ виброударного гро-

## **Підготовчі процеси збагачення**

хочения [2-7], заключающийся в следующем. Короб грохота и активатор возбуждают гармоническими колебаниями, которые преобразовываются ударными элементами в импульсы. Материал подают на активатор, установленный над просеивающей поверхностью на расстоянии, менее высоты подбрасывания материала, где под действием вынужденных колебаний активатора материал разрыхляется для свободного перемещения через отверстия активатора на просеивающую поверхность. За счет взаимодействия ударных элементов с просеивающей поверхностью осуществляется усиление ее колебаний, в результате чего надрешетный материал подбрасывается. За промежуток времени от момента отрыва материала от просеивающей поверхности и до падения ему сообщают дополнительные импульсы за счет колебаний активатора.

Дополнительно активатор возбуждают дезинтегрирующими элементами (ДЭ) для усиления воздействия на разделяемый материал и жидкость в локальных областях нормальными и сдвиговыми импульсами, которые изменяют по длине активатора. Вследствие этого происходят разрыв капиллярных мостиков и потеря устойчивости капиллярных менисков в ячейке просеивающей поверхности, разделение материала по величине частиц и очистка просеивающей поверхности от частиц, застрявших в ячейках и налипшего материала, что улучшает процесс классификации и обезвоживания.

Экспериментами [3,4] установлено, что использование нового способа виброударного грохочения при переработке сырья, которое традиционными методами практически не классифицируется и не обезвоживается, позволяет повышать извлечение класса  $-0,1$  мм до 65-75%, а влажность надрешетного материала снижать до 6-8%. При исследованиях также был отмечен побочный эффект нового способа виброударного грохочения, сопутствующее разрушение минерального сырья вследствие действия дезинтегрирующих элементов, т.е. его дополнительное переизмельчение и повышение выхода мелких частиц. Вместе с тем не было установлено насколько переизмельчается сырье.

Исходя из изложенного, сформулирована цель работы: исследование сопутствующего разрушения минерального сырья при его разделении по крупности и обезвоживании новым способом виброударного грохочения.

Для этого выполнены эксперименты на модели грохота (рис. 1), состоящей из короба 1, под которым установлена балка 2 с упругим элементом 3 и ударниками 4 (основной) и 5 (дополнительный). На упругих прокладках 6 смонтированы стальные стержни 7, на которых располагалась сетка 8. При гармоническом возбуждении основания 9 на ударник действует переменная сила инерции, что приводит к периодическим разрывам контакта ударника 4 со стержнями 7. В результате этого генерируются ударные импульсы, передающиеся через стержни 7 сетке 8 и перерабатываемому сырью 10. Режим с "двойными ударами" осуществлялся с помощью дополнительного ударника 5 с жесткостью упругого элемента, отличной от жесткости упругого элемента ударника 4. Над сеткой 8 на расстоянии  $l$  монтировался активатор 11. Дезинтегрирующие элементы 12 располагались на активаторе 11.

## Підготовчі процеси збагачення

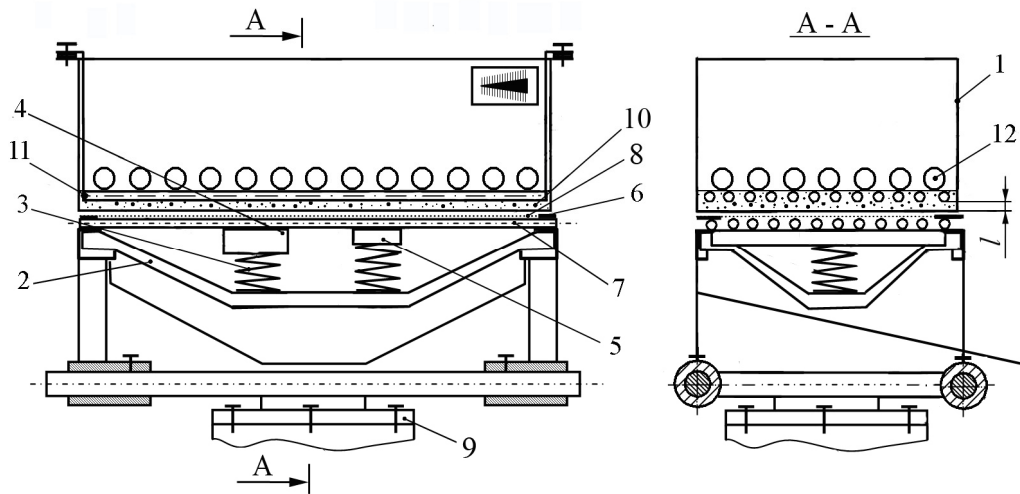


Рис. 1. Модель грохота с ударниками и активатором:  
 1 – короб; 2 – балка; 3 – упругий элемент; 4 – основной ударник;  
 5 – дополнительный ударник; 6 – упругая прокладка; 7 – стержни;  
 8 – сетка; 9 – основание; 10 – слой сырья; 11 – активатор;  
 12 – дезинтегрирующие элементы

Стальные стержни имели длину 308 мм, диаметр 5 мм и шаг установки 15 мм. Параметры ударников: масса 0,331 кг; жесткость упругого элемента ударника 3-1,23 кН/м, а жесткость упругого элемента дополнительного ударника 10-0,7 кН/м; жесткость упругих прокладок 52 кН/м.

Эксперименты выполнены на металлической сетке с ячейкой 0,1 мм и диаметром проволоки 0,1 мм.

Для исследований использовалась модельные смеси: строительный песок (гранитный отсев – отходы добычи и переработки гранита) и угольные шламы с размерами частиц -10+0 мм с высоким содержанием глинистых частиц, грансостав которых приведен на рис. 2 и 3 соответственно. Влажность исходного продукта 30%.

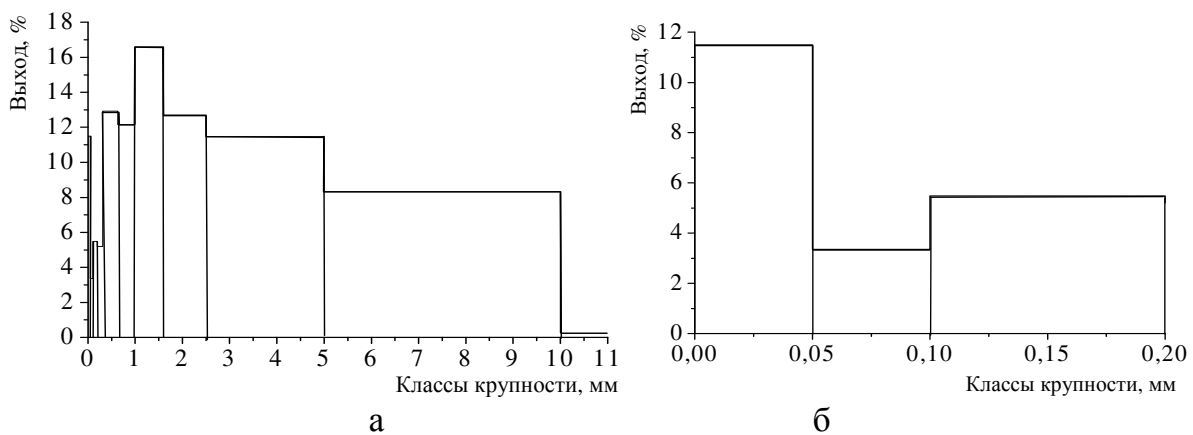


Рис. 2. Грансостав гранитного отсева:  
 а – интервал крупности от 0 до +10 мм; б – интервал крупности от 0 до 0,2 мм

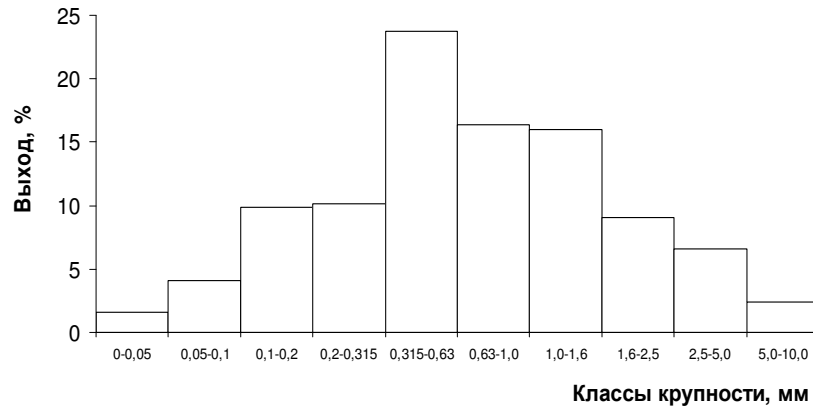


Рис. 3. Грансостав шламов

Експерименти виконувались в такій послідовності:

- монтировалась просеивающая поверхность и на расстоянии  $l$  от нее – активатор;
- включался вибратор, и устанавливались требуемые амплитуда и частота вибровозбуждения;
- на просеивающую поверхность через активатор подавалось сырье;
- включался секундомер;
- через заданное время выключался вибратор;
- извлекались и взвешивались продукты на просеивающей поверхности (надрешетный), на ДЭ и на активаторе;
- извлекался подрешетный продукт;
- далее продукты грохочения подвергались сушке и снова взвешивались.

Эффективность разделения оценивалась по извлечению класса  $-0,1$  мм в подрешетный продукт по сравнению с его содержанием в надрешетном.

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

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

где  $m_m$  – масса влажного продукта;  $m_c$  – масса сухого продукта.

В качестве ДЭ использованы металлические шары, изготовленные из стали ШХ 15, которые имели переменные параметры: диаметр изменялся от 10 до 14 мм, масса – от 4,81 до 11,48 г. При экспериментах изучалось влияние на переизмельчение сырья удельной насыпной плотности (УНП) шаров.

Исследования выполнены при частоте 35,5 Гц, амплитуде 2 мм, времени грохочения 180 с, расстоянии  $l = 2$  мм и удельная нагрузка по питанию  $12,5 \text{ кг/м}^2$ .

По результатам экспериментов построены графики суммарного извлечения

## Підготовчі процеси збагачення

частиц  $\varepsilon$  в классах крупности для гранитного отсева (рис. 4) и угольных шламов (рис. 5) при различной удельной насыпной плотности (УНП) дезинтегрирующих элементов, которая менялась от 0 до 70 кг/м<sup>2</sup>.

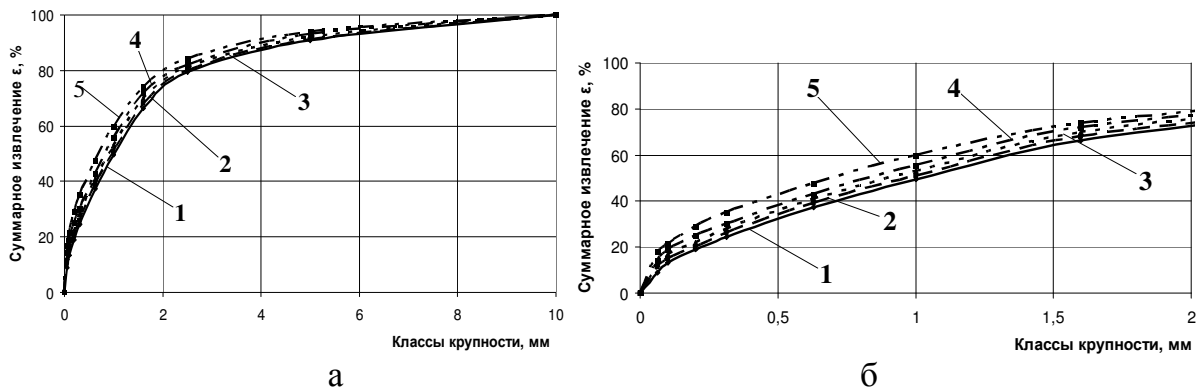


Рис. 4. Суммарное извлечение  $\varepsilon$  частиц в классах крупности для гранитного отсева при различной удельной насыпной плотности (УНП) дезинтегрирующих элементов: 1 – УНП 0 кг/м<sup>2</sup>; 2 – УНП 20 кг/м<sup>2</sup>; 3 – УНП 26,5 кг/м<sup>2</sup>; 4 – УНП 30 кг/м<sup>2</sup>; 5 – УНП 70 кг/м<sup>2</sup>. а – интервал крупности от 0 до +10 мм; б – интервал крупности от 0 до 0,2 мм

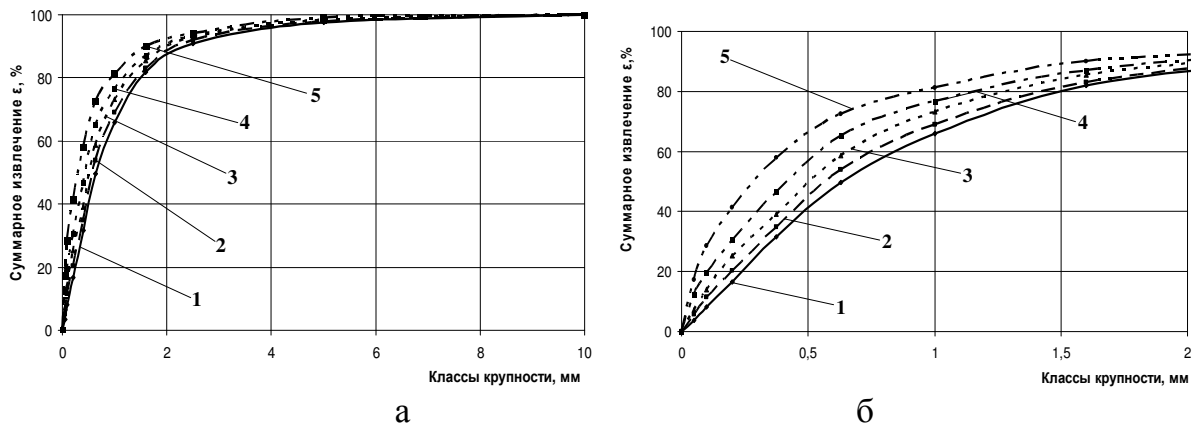


Рис. 5. Суммарное извлечение  $\varepsilon$  частиц в классах крупности для угольных шламов при различной удельной насыпной плотности (УНП) дезинтегрирующих элементов: 1 – УНП 0 кг/м<sup>2</sup>; 2 – УНП 20 кг/м<sup>2</sup>; 3 – УНП 26,5 кг/м<sup>2</sup>; 4 – УНП 30 кг/м<sup>2</sup>; 5 – УНП 70 кг/м<sup>2</sup>. а – интервал крупности от 0 до +10 мм; б – интервал крупности от 0 до 0,2 мм

Как следует из графиков, с повышением удельной насыпной плотности дезинтегрирующих элементов количество мелких частиц в классах увеличивается и при УНП = 30-70 кг/м<sup>2</sup> достигает для гранитного отсева 7-10%, а для угольных шламов 15-20%. Из предыдущих экспериментов установлено, что при повышении УНП свыше 30 кг/м<sup>2</sup> показатели грохочения ухудшаются: извлечение тонких частиц в подрешетный продукт уменьшается, а влажность надрешетного увеличивается. Наиболее высокие показатели грохочения (извлечение класса -0,1 мм до 65-75%, а влажность надрешетного материала снижена до

## **Підготовчі процеси збагачення**

6-8%) получены при УНП = 26,5 кг/м<sup>2</sup>. При такой удельной насыпной плотности дезинтегрирующих элементов количество мелких частиц в классах для гранитного отсева не превышает 2-3%, а для угольных шламов 4-5% (см. рис. 4-5). Поэтому на основании этих данных можно говорить об установленной рациональной удельной насыпной плотности, при которой достигаются достаточно высокие показатели грохочения сырья, сформированного из широких классов крупности, при его минимальном разрушении вследствие действия дезинтегрирующих элементов.

Таким образом, установлено, что при использовании нового способа виброударного грохочения для переработки минерального сырья, сформированного из широких классов крупности, вследствие действия дезинтегрирующих элементов происходит его сопутствующее разрушение, т.е. дополнительное переизмельчение и увеличение количества мелких частиц, которое зависит от удельной насыпной плотности дезинтегрирующих элементов.

Во время экспериментов изучено это влияние. Установлено, что с повышением УНП количество мелких частиц в классах увеличивается и при 30-70 кг/м<sup>2</sup> достигает для гранитного отсева 7-10%, а для угольных шламов 15-20%. Показатели грохочения при увеличении УНП свыше 30 кг/м<sup>2</sup> также ухудшаются: извлечение тонких частиц в подрешетный продукт уменьшается, а влажность надрешетного увеличивается.

Достаточно высокие показатели грохочения (извлечение класса -0,1 мм 65-75%, а влажность надрешетного материала 6-8%) обеспечиваются при УНП = 26,5 кг/м<sup>2</sup>. При такой удельной насыпной плотности дезинтегрирующих элементов отмечено минимальное сопутствующее разрушение сырья: количество мелких частиц в классах для гранитного отсева не превышает 2-3%, а для угольных шламов 4-5%.

Установлена рациональная удельная насыпная плотность, при которой достигаются достаточно высокие показатели грохочения сырья, сформированного из широких классов крупности, при его минимальном разрушении вследствие действия дезинтегрирующих элементов.

Полученные результаты будут использованы при разработке математической модели процесса разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья, а также при создании нового виброударного грохота.

### **Список литературы**

1. Повышение эффективности удаления влаги при тонком грохочении горной массы за счет импульсного воздействия / В.П. Надутый, Е.С. Лапшин, А.И. Шевченко и др. // Научный вестник НГУ: Наук.-техн. журнал. – 2011. – Вып. 2(122). – С. 95-99.
2. Шевченко А.И. Влияние удельной нагрузки, конструктивных и режимных параметров на интенсивность обезвоживания минерального сырья при вибрационном грохочении // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 99. – С. 150-156.
3. Лапшин Е.С., Шевченко А.И. Пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вып. 47(88). – С. 144-151.
4. Шевченко А.И. Пути повышения эффективности грохочения и обезвоживания минерального сырья // Збагачення корисних копалин, 2014. – Вып. 58(99)-59(100)

## **Підготовчі процеси збагачення**

рального сирья на вибрационных грохотах // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 97. – С. 145-152.

5. Пат. № 65469 Україна, МПК В 07В 1/40. Спосіб грохочення та зневоднювання мінеральної сировини, що важко класифікується. Надутий В.П., Лапшин Є.С., Шевченко О.І. ; заявник та патентовласник ІГТМ НАН України. – № у 2011 05325 ; заявл. 26.04.2011 ; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23. – 4 с.

6. Пат. № 67194 Україна, МПК В 07В 1/40. Спосіб грохочення та зневоднювання матеріалів, що важко класифікуються Надутий В.П., Лапшин Є.С., Шевченко О.І. ; заявник та патентовласник ІГТМ НАН України. – № у 2011 07943 ; заявл. 23.06.2011 ; опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3. – 4 с.

7. Пат. № 77362 Україна, МПК В 07В 1/40. Спосіб розділення за крупністю та зневоднювання сипучого матеріалу, який важко класифікується. Надутий В.П., Лапшин Є.С., Шевченко О.І. ; заявник ІГТМ НАН України. – № у 2012 09458 ; заявл. 02.08.2012 ; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 4 с.

© Шевченко А.И., 2014

*Надійшла до редколегії 20.10.2014 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. М.С. Четвериком*