

Е.С. ЛАПШИН, д-р техн. наук,

А.И. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук

(Україна, Дніпропетровськ, Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України)

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ВИБРОУДАРНОМ ГРОХОЧЕНИИ

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 обезвоживать готовый (надрешетный) продукт. Поэтому задачи, направленные на решение этих вопросов, несомненно, актуальны. Особенно это важно при тонком и сверхтонком грохочении.

Чтобы повысить эффективность грохочения необходимо интенсифицировать разрыхление сырья и преодолеть силы поверхностного натяжения для удаления капиллярно-стыковой воды [1-3]. Для этого предложен метод виброударного грохочения [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 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 по-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

верхности от частиц, застрявших в ячейках и налипшего материала, что улучшает процесс классификации и обезвоживания.

Исходя из изложенного, сформулирована цель работы: исследование нового метода виброударного грохочения и экспериментальное изучение кинетики разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья.

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.

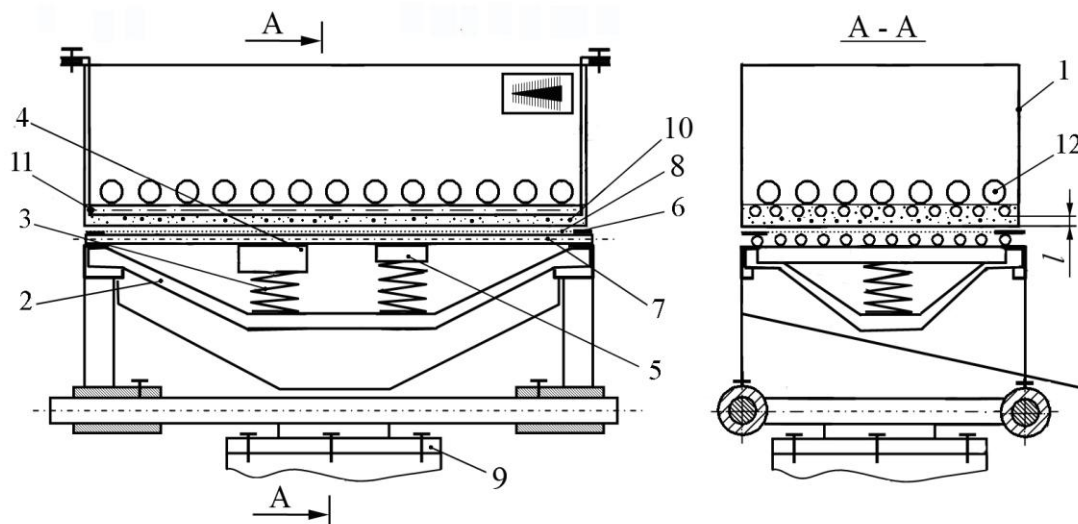


Рис. 1. Модель грохота с ударниками и активатором:
1 – короб; 2 – балка; 3 – упругий элемент; 4 – основной ударник;
5 – дополнительный ударник; 6 – упругая прокладка; 7 – стержни;
8 – сетка; 9 – основание; 10 – слой сырья; 11 – активатор;
12 – дезинтегрирующие элементы

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

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

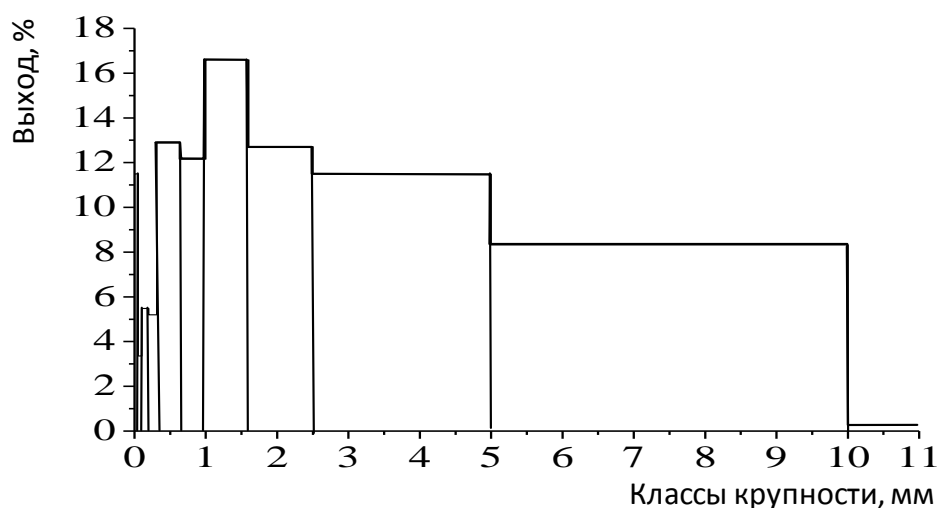
Для исследований использовалась модельная смесь (гранитный отсев – отходы добычи и переработки гранита) с размерами частиц $+0-10$ мм с высоким **Збагачення корисних копалин, 2013. – Вип. 53(94)**

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

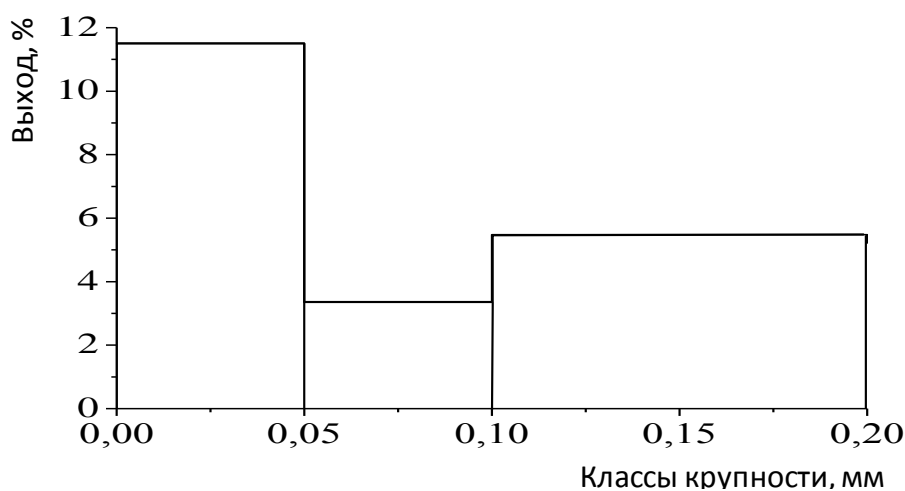
содержанием глинистых частиц, грансостав которой приведен на рис. 2. Влажность исходного продукта 30%.

Эксперименты выполнялись в такой последовательности:

- 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.



а



б

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

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

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 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. УНП шаров 26,5 кг/м².

Эксперименты выполнены при $l = 8$ и 2 мм и различных удельных нагрузках по питанию.

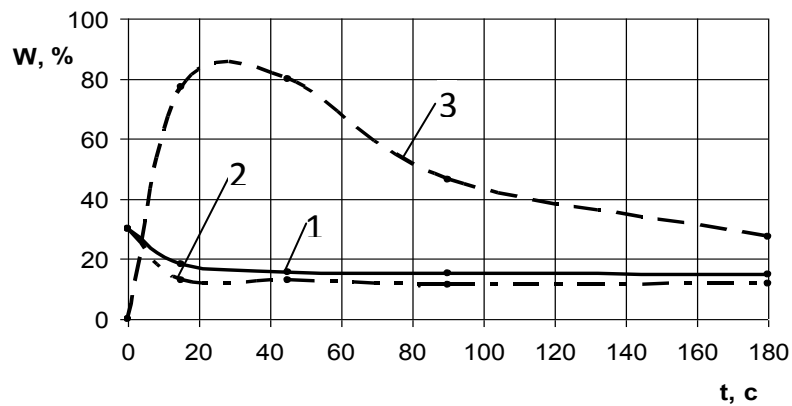
По результатам экспериментальных исследований разделения по крупности и обезвоживания сырья крупностью +0-10,0 мм построены зависимости влажности надрешетного и содержания классов в продуктах от времени грохочения для $l = 8$ и 2 мм (частота 35,5 Гц, амплитуда 2 мм) при удельных нагрузках 12,5 кг/м² (рис. 3, 4) и 6,25 кг/м² (рис. 5, 6).

Как видно из графиков 3, 4, прохождение жидкости сквозь слой сырья наиболее интенсивно происходит в течении 45 с (угол наклона касательной изменяется в пределах от 95° до 150°). Влажность снижается с 30 % до 14-15%. Затем, по мере уменьшения влаги, когда все большее влияние оказывает поверхностное натяжение жидкости, прохождение замедляется, и в интервале времени 60÷180 с угол наклона касательной меняется только от 170° до 178°, уменьшается до 12,8 %. Извлечение класса -0,1 мм за время от 0 до 45 с повышается до 42-50%, а с 45 с до 180 с – до 53,68%. Из рисунков также следует, что более высокие показатели разделения и обезвоживания обеспечиваются при расстоянии $l = 2$ мм. Показатели на 15-20% выше нежели с $l = 8$ мм.

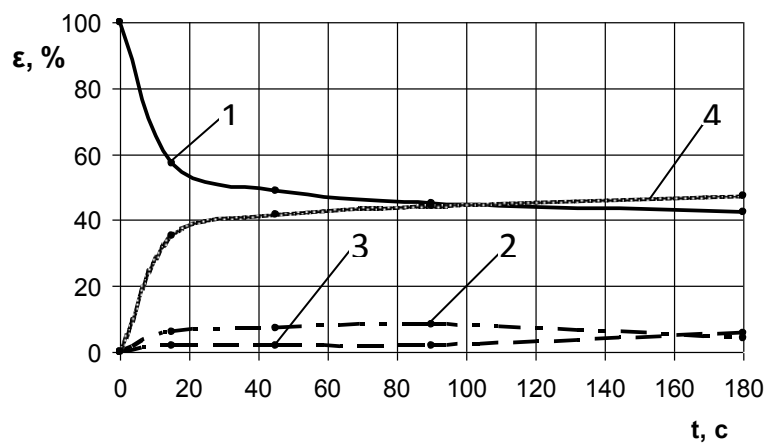
Часть сырья накапливается на активаторе и ДЭ. Поэтому во время экспериментов контролировалось его количество на указанных элементах. Как видно из рисунков, содержание не превышает 18%.

При уменьшении удельной нагрузки по питанию (рис. 5, 6) наибольшая эффективность грохочения также наблюдается в течение 45 с, влажность снижается с 30% до 13-15% (угол наклона касательной изменяется в пределах от 95° до 165°). За промежуток времени с 60 с до 180 с сырье содержание влаги уменьшается до 11,8-12,5% (изменение угла наклона от 175° до 182°). Извлечение класса -0,1 мм за 45 с достигает 50-52%, а с 60 с до 180 с увеличивается до 53-55%.

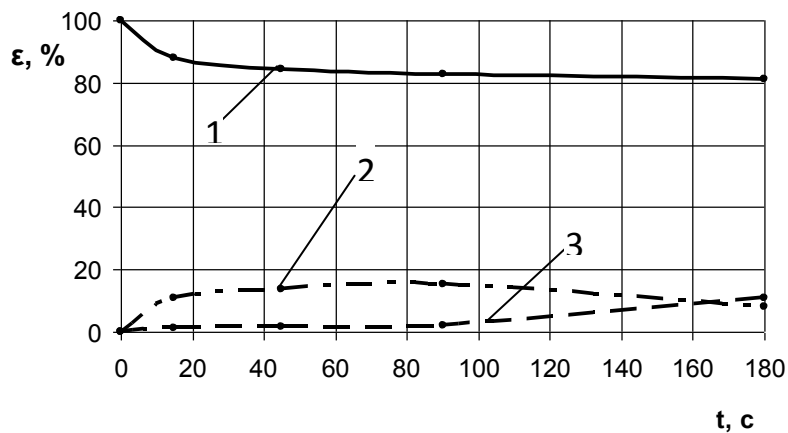
Снижение удельной нагрузки с 12,5 до 6,25 кг/м² практически не влияет на показатели влажности при расстоянии $l = 8$ мм. В большей степени это влияние видно при $l = 2$ мм. Снижение удельной нагрузки позволяет за 45 с увеличивать извлечение класса -0,1 мм на 8-15%, причем выше эти показатели при $l = 8$ мм.



а



б



в

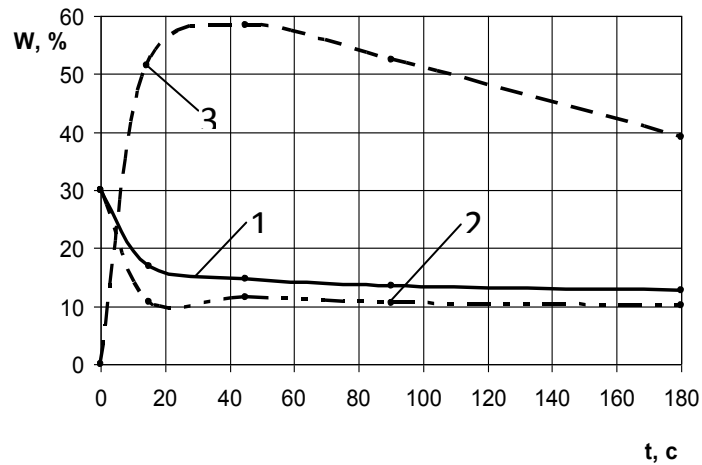
Рис. 3. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от времени грохочения при расстоянии $l = 8$ мм; удельной нагрузке по питанию $12,5$ кг/м²:

а – изменение влажности W ; б – изменение извлечения ϵ класса +0-0,1 мм;

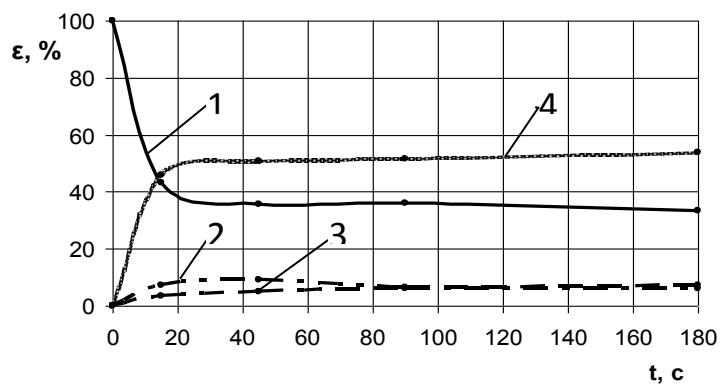
в – изменение содержания класса +0-10,0 мм.

1 – надрешетный продукт; 2 – продукт на активаторе;

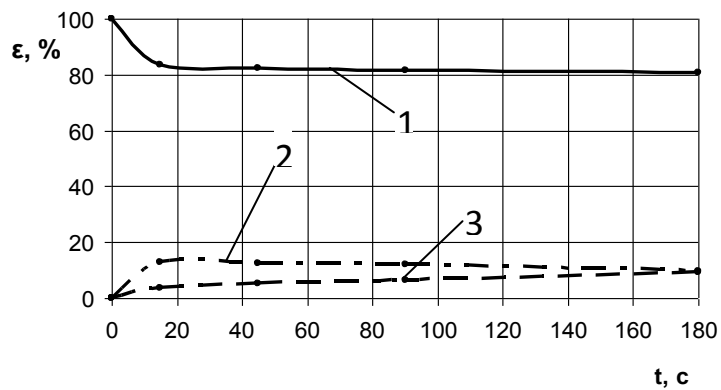
3 – продукт на ДЭ; 4 – подрешетный продукт



а

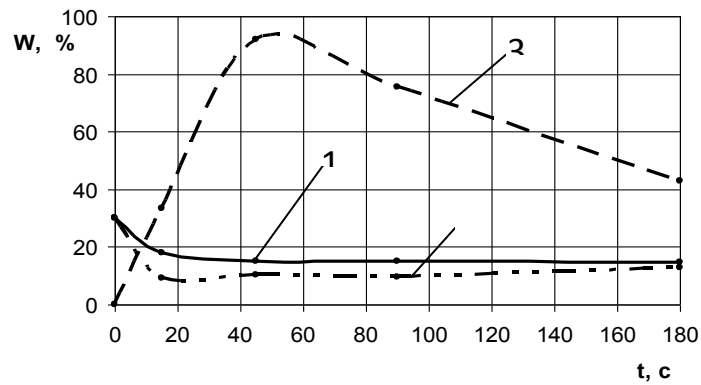


б

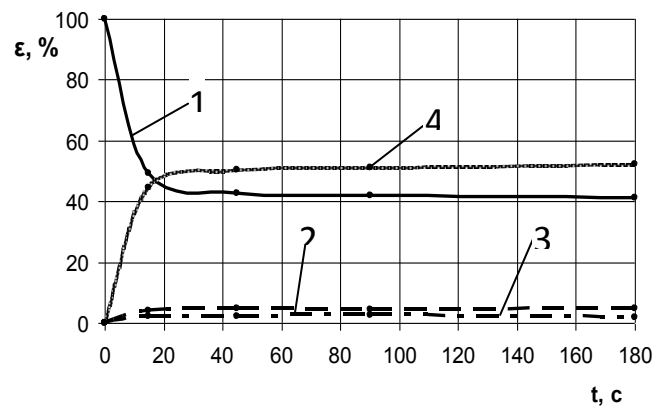


в

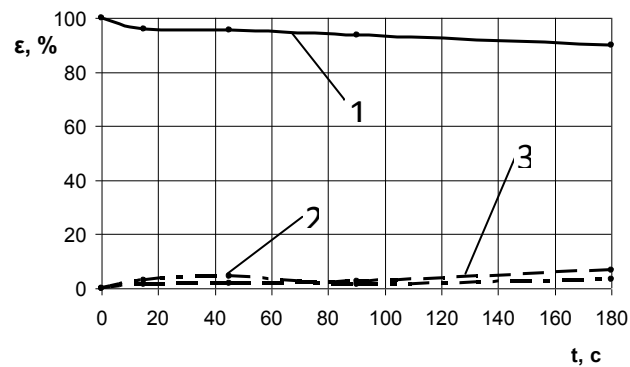
Рис. 4. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от времени грохочения при расстоянии $l = 2$ мм; удельной нагрузке по питанию $12,5$ кг/м²:
 а – изменение влажности W ; б – изменение извлечения ϵ класса +0-0,1;
 в – изменение содержания класса +0-10,0 мм.
 1 – надрешетный продукт; 2 – продукт на активаторе;
 3 – продукт на ДЭ; 4 – подрешетный продукт



а



б



в

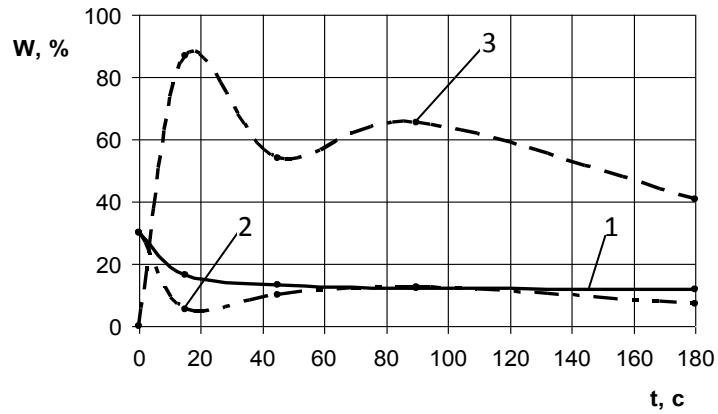
Рис. 5. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от времени грохочения при расстоянии $l = 8$ мм; удельной нагрузке по питанию $6,25$ кг/м²:

а – изменение влажности W ; б – изменение извлечения ϵ класса+0-0,1 мм;

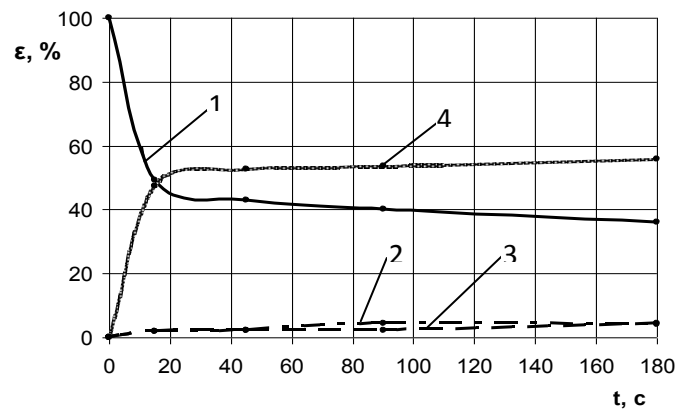
в – изменение содержания класса+0-10,0 мм.

1 – надрешетный продукт; 2 – продукт на активаторе;

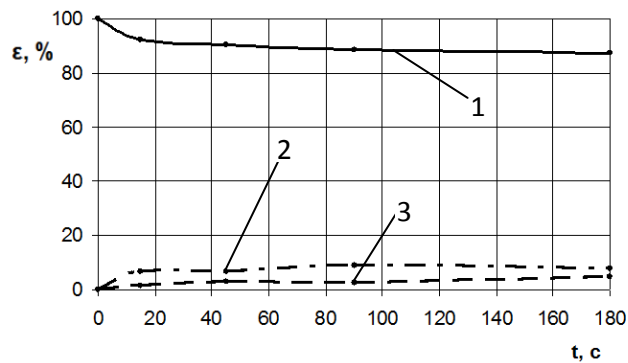
3 – продукт на ДЭ; 4 – подрешетный продукт



а



б



в

Рис. 6. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от времени грохочения при расстоянии $l = 2$ мм; удельной нагрузке по питанию $6,25 \text{ кг/м}^2$:
 а – изменение влажности W ; б – изменение извлечения ϵ класса +0-0,1 мм;
 в – изменение содержания класса +0-10,0 мм.
 1 – надрешетный продукт; 2 – продукт на активаторе;
 3 – продукт на ДЭ; 4 – подрешетный продукт

Из графиков также следует, что количество сырья на активаторе и ДЭ не более 10-12%, т. е. на 35-40% меньше по сравнению с результатами, получен-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

ними при удельной нагрузке по питанию $12,5 \text{ кг/м}^2$.

Из анализа рис. 3-6 видно, что наиболее интенсивно процессы разделения по крупности и обезвоживания проходят в течении 45 с. В интервале с 60 до 180 с интенсивность снижается и результаты меняются незначительно, что говорит о нецелесообразности грохочения свыше 45 с. Поэтому на основании этих данных можно говорить об установленном рациональном времени грохочения.

Таким образом, установлено, что использование активатора и дезинтегрирующих элементов при переработке сырья, которое традиционными методами практически не классифицируется и не обезвоживается, позволяет повышать извлечение класса $-0,1 \text{ мм}$ до 52-55%, а влажность надрешетного материала снижать до 11-12%.

С наибольшей интенсивностью процессы разделения и обезвоживания проходят в течении 45 с. В интервале с 60 до 180 с интенсивность снижается и результаты меняются незначительно, что говорит о нецелесообразности грохочения свыше 45 с. Для описанных выше условий установлено рациональное время грохочения – 45 с.

Более высокие показатели обеспечиваются при расстоянии $l = 2 \text{ мм}$, когда активатор погружен в слой сырья.

Снижение удельной нагрузки с $12,5$ до $6,25 \text{ кг/м}^2$ практически не влияет на показатели влажности при расстоянии $l = 8 \text{ мм}$. В большей степени это влияние видно при $l = 2 \text{ мм}$. Снижение удельной нагрузки позволяет за 45 с увеличивать извлечение класса $-0,1 \text{ мм}$ на 8-15%, причем выше эти показатели при $l = 8 \text{ мм}$.

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: 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 на вибрационных грохотах // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 97. – С. 125-132.
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 ІТМ 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 мате-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

ріалів, 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.

© Лапшин Е.С., Шевченко А.И., 2013

*Надійшла до редколегії 29.04.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Г.О. Шевченком*