

А.И. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук

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

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПО КРУПНОСТИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ НОВОМ СПОСОБЕ ВИБРОУДАРНОГО ГРОХОЧЕНИЯ

Вибрационное грохочение широко применяется при разделении по крупности и обезвоживании минерального сырья. Наиболее сложные эти операции при переработке влажного сырья, сформированного из широких классов крупности (например, шламы, строительные пески и т.п.), когда необходимо отделить тонкие классы с размерами частиц менее 0,1-0,2 мм и максимально удалить влагу из надрешетного продукта. В зависимости от размера частиц и влажности доминирующую роль играют различные силы. При тонком и сверхтонком грохочении это силы поверхностного натяжения, для преодоления которых требуются значительные энергозатраты [1-4].

Традиционными способами такое сырье обезвоживается только до 18-22%. Разделение сырья крупностью менее 1 мм 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].

Обзор путей интенсификации этих процессов показал перспективность импульсного воздействия, которое может сообщаться как просеивающей поверхности, так и перерабатываемому сырью [1-4]. Однако успешная реализация такого воздействия существенно зависит от схем и динамических параметров грохота. Поэтому необходим поиск условий, которые обеспечат повышение эффективности разделения и обезвоживания, а задача, направленная на решение этих вопросов, несомненно, актуальна.

При исследованиях [1-4] для импульсного воздействия на просеивающую поверхность и перерабатываемое сырье использовались режимы с "двойными ударами" [2-5]. При "двойных ударах" за период возбуждения кроме основного наносится дополнительный импульс. 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. Исследования показали возможность извлечения класса -0,1 мм до 30-35% при снижении влажности надрешетного продукта до 14-15%. Более высоких показателей не удалось достичь из-за того, что часть сырья комкуется.

Применение дезинтегрирующих элементов (ДЭ) [3, 4, 6] позволило за счет динамического воздействия путем сообщения сырью и просеивающей поверхности нормальных и сдвиговых импульсов преодолевать силы поверхностного

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

натяжения. За счет нанесения импульсов усиливаются колебания просеивающей поверхности, что увеличивает эффективность разделения и обезвоживания. Этим решением удалось снизить влажность надрешетного продукта до 10-12%, а извлечение в подрешетный продукт классов $-0,1$ мм увеличить до 45-50%.

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 поверхности от частиц, застрявших в ячейках и налипшего материала, что улучшает процесс классификации и обезвоживания. Применение этого способа позволило снизить влажность надрешетного продукта до 8-10%, а извлечение в подрешетный продукт классов $-0,1$ мм увеличить до 50-55%.

Результаты получены при перегрузках (ускорение вибровозбуждения к ускорению свободного падения) порядка 8-10 g.

Повышение технологических показателей возможно при режимах с перегрузками свыше 10 g. Такие ускорения не характерны для серийных грохотов. Обеспечение таких режимов требует создания особо прочных конструкций.

Известен опыт использования при импульсном воздействии ("одиночные удары") для интенсификации разрыхления, разделения и обезвоживания сырья крупных частиц [4]. При этих условиях для узкого класса крупности $+0,4-0,63$ мм увеличен выход подрешетного продукта до 70% при снижении влажности надрешетного до 4-5%.

При разделении и обезвоживании сырья широкого класса крупности новым способом виброударного грохочения крупные частицы не применялись. Предварительные испытания показали перспективность этого направления. Необходимо выяснить влияние на показатели разделения и обезвоживания коли-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

чества крупных частиц, и какие технологические результаты грохочения могут быть при этом достигнуты.

В связи с вышеизложенным, цель работы – экспериментальная проверка путей по интенсификации разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья при новом способе виброударного грохочения

Для этого выполнены эксперименты на модели грохота (рис. 1), состоявшей 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.

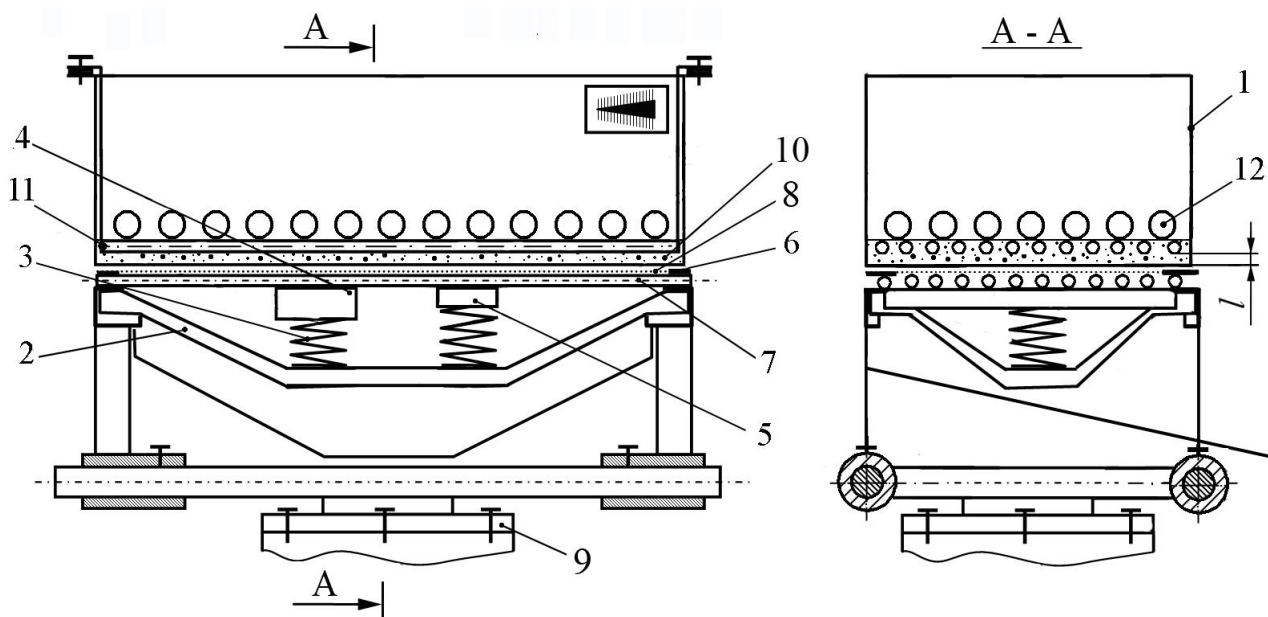


Рис. 1. Модель грохота с ударниками и активатором:

- 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.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Для досліджень використовувалась модельна суміш (гранитний отсев – отходи добути і переробки граніта) з розмірами частинок +0-10 мм з високим вмістом глинистих частинок, грансостав якої приведений на рис. 2. Вміст вологи вихідного продукту 30%.

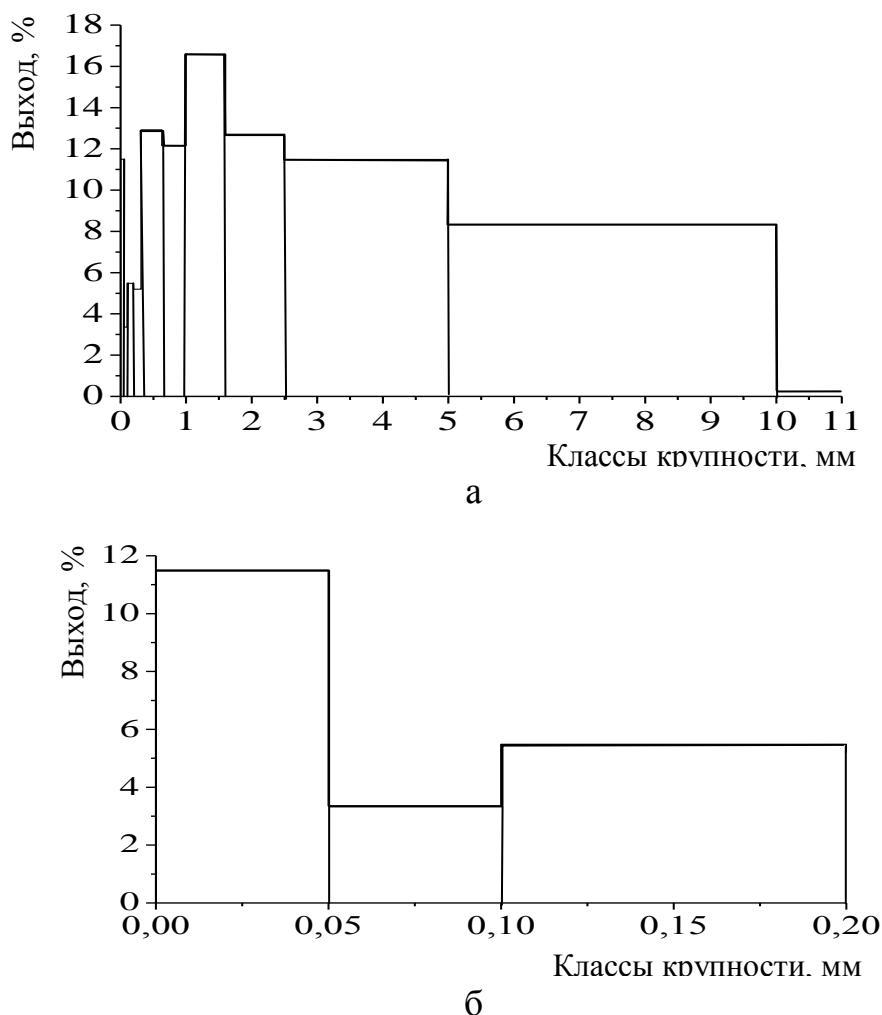


Рис. 2. Грансостав матеріала:

а – інтервал крупності від 0 до +10 мм; б – інтервал крупності від 0 до 0,2 мм

Експерименти виконувались в такій послідовності:

- монтувалась просіююча поверхність і на відстані l від неї – активатор;
- включался вібратор, і встановлювались потрібні амплітуда і частота вібровозбудження;
- на просіюючу поверхність через активатор подавалось сировина;
- включался секундомір;
- через задане час вимикався вібратор;
- вилучались і вважувались продукти на просіюючій поверхності (надсітний), на ДЭ і на активаторі;
- вилучался підсітний продукт;
- далі продукти грохочення піддавались сушці і знову вважувались.

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 металлические шары и крупные частицы размером +5-10,0 мм. Шары изготовлены из стали ШХ 15 и имели переменные параметры: диаметр изменялся от 10 до 14 мм, масса – от 4,81 до 11,48 г. УНП (удельная насыпная плотность) шаров 26,5 кг/м². Во время исследований варьировалось соотношение содержания крупных частиц c_k к мелким c_m

Эксперименты выполнены при частоте 35,5 Гц, амплитуде 2 мм, времени грохочения 180 с, расстоянии $l = 2$ мм и различных удельных нагрузках по питанию.

По результатам экспериментальных исследований построены графики изменения влажности надрешетного и содержания классов в продуктах в зависимости от соотношения крупных частиц к мелким c_k/c_m при удельных нагрузках 6,25 (рис. 3), 12,5 (рис. 4) и 25 кг/м² (рис. 5).

Как видно из графиков 3-5 использование крупных частиц позволяет уменьшить влажность надрешетного продукта и увеличить извлечение подрешетного.

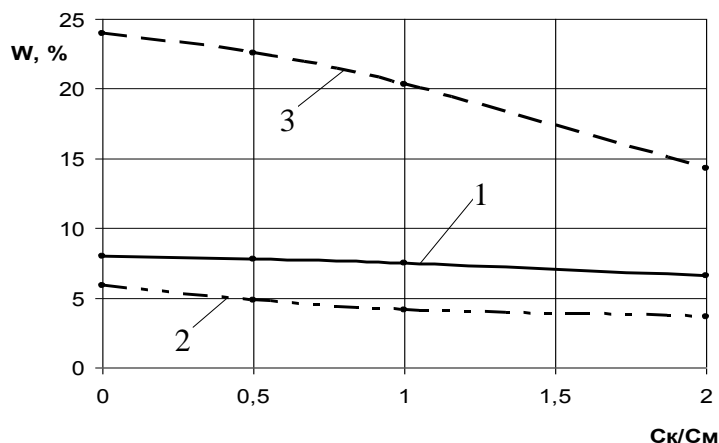
При увеличении c_k/c_m от 0 до 2 влажность снижается с 8-9% до 6-6,5%.

Извлечение класса -0,1 мм в подрешетный продукт повышается с 45-55% до 60-66%.

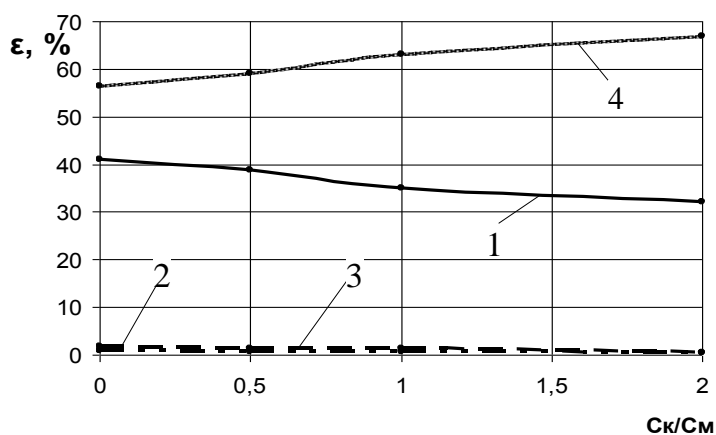
Наибольшая эффективность грохочения (минимальная влажность надрешетного и максимальное извлечение в подрешетный продукт класса -0,1 мм) наблюдается при уменьшении удельной нагрузки по питанию (рис. 3-5).

При экспериментах часть сырья накапливалась на активаторе и ДЭ и циркулировала в процессе. Без использования крупных частиц его количество достигало 7-30%. Применение крупных частиц позволило снизить эти показатели до 3-7%, а выход надрешетного продукта увеличить с 70-93 до 93-97%.

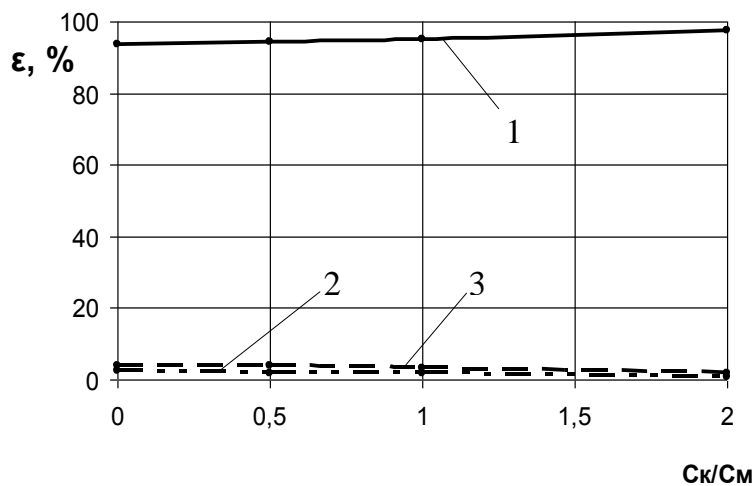
Таким образом, установлено, что режимы с "двойными ударами" позволяют повысить извлечение класса -0,1 мм до 30-35% при снижении влажности надрешетного продукта до 14-15%. Более высоких показателей не удается достичь из-за того, что часть сырья комкуется. Применение ДЭ интенсифицирует разрыхление сырья, за счет чего влажность надрешетного продукта уменьшается до 10-12%, а извлечение в подрешетный продукт классов -0,1 мм увеличивается до 45-50%. Чтобы повысить эффективность грохочения необходимо еще интенсифицировать разрыхление сырья и преодолеть силы поверхностного натяжения для удаления капиллярно-стыковой воды. Новый способ виброударного грохочения с использованием активатора дает возможность снизить влажность надрешетного продукта до 8-10%, а извлечение в подрешетный продукт классов -0,1 мм повысить до 50-55%. Для дальнейшего повышения эффективности грохочения необходимы дополнительные условия интенсификации разрыхления сырья.



а



б



в

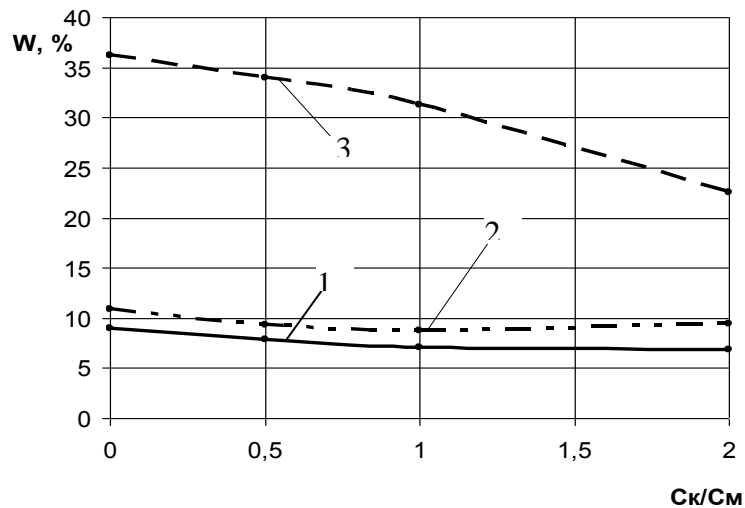
Рис. 3. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от соотношения количества крупного материала к мелкому c_k/c_m при времени грохочения 180 с, расстоянии $l = 2$ мм и удельной нагрузке по питанию $6,25 \text{ кг/м}^2$:

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

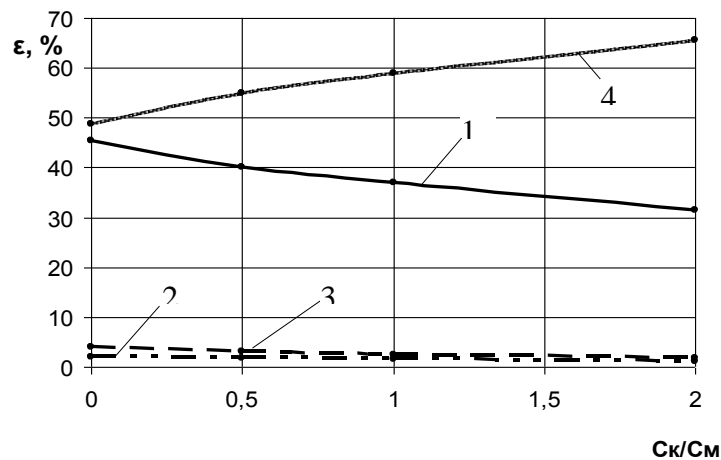
в – изменение содержания класса +0-10,0 мм.

1 – надрешетный продукт; 2 – продукт на активаторе; 3 – продукт на ДЭ;

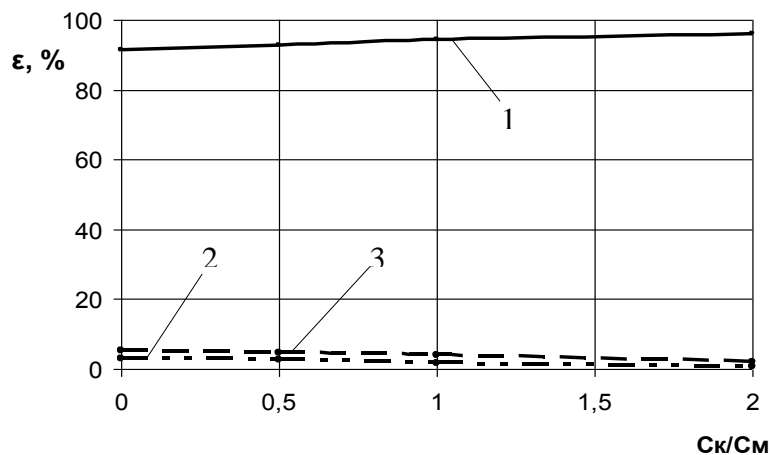
4 – подрешетный продукт



а



б



в

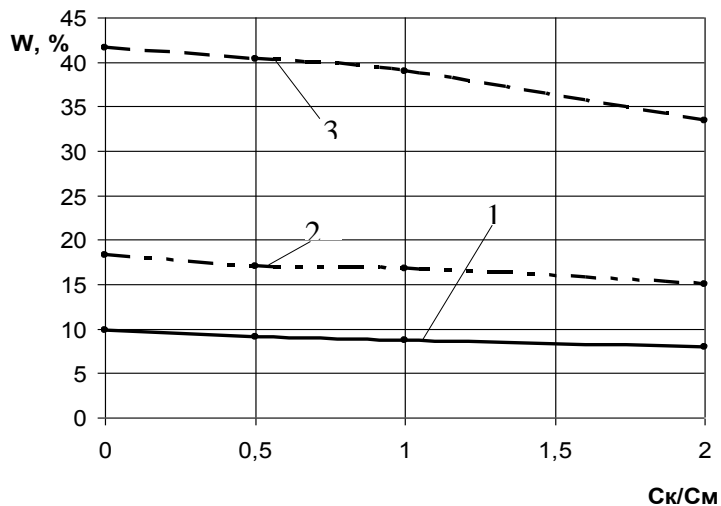
Рис. 4. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от соотношения количества крупного материала к мелкому c_k/c_m при времени грохочения 180 с, расстоянии $l = 2$ мм и удельной нагрузке по питанию $12,5 \text{ кг/м}^2$:

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

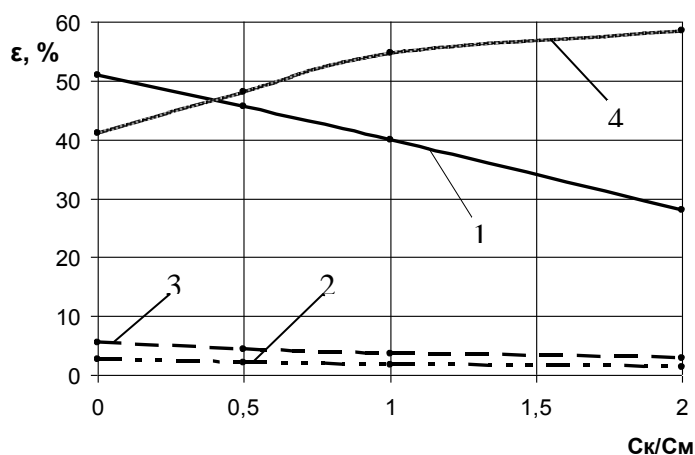
в – изменение содержания класса +0-10,0 мм.

1 – надрешетный продукт; 2 – продукт на активаторе; 3 – продукт на ДЭ;

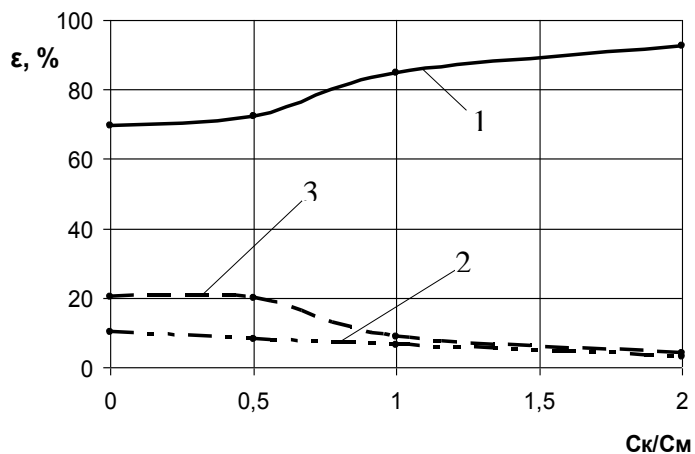
4 – подрешетный продукт



а



б



в

Рис. 5. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от соотношения количества крупного материала к мелкому c_k/c_m при времени грохочения 180 с, расстоянии $l = 2$ мм и удельной нагрузке по питанию 25 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

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Добавление крупных частиц к перерабатываемому материалу позволяет улучшить показатели разделения и обезвоживания. Влажность снижается с 8-9 до 6-6,5% при увеличении соотношения содержания крупных частиц к мелким c_k/c_m от 0 до 2 мм, а извлечение класса -0,1 мм в подрешетный продукт повышается с 45-55 до 60-66%. Кроме того, использование крупных частиц позволяет уменьшить содержание материала на активаторе и ДЭ и повысить извлечение надрешетного продукта.

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 вiсник: 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.
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. - № u 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. - № u 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. - № u 2012 09458 ; заявл. 02.08.2012 ; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3. – 4 с.

© Шевченко А.И., 2013

*Надійшла до редколегії 17.08.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Г.О. Шевченком*