

ханов, Б. Н. Кутузов, Р. Г. Шмидт. – М.: Недра. – С. 127.

Г. Б. Иосилевич. – М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.

3. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин. Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр,

Поступила 05.01.2016



УДК 622.794.004.15:621.928.2:534.2

Производство



А. И. Шевченко /к. т. н./

Институт геотехнической механики имени Н. С. Полякова
Национальной академии наук Украины

Интенсификация разделения по крупности и обезвоживания угольных шламов при виброударном грохочении

Выполнен анализ разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах. Описана конструкция экспериментальной модели виброударного грохота и методика проведения экспериментов. Исследован новый метод виброударного грохочения. Выполнена экспериментальная проверка путей по интенсификации разделения по крупности и обезвоживания угольных шламов при новом способе виброударного грохочения. (Ил. 5. Библиогр.: 10 назв.).

Ключевые слова: разделение по крупности, обезвоживание, виброударное грохочение, угольные шламы, влажность, извлечение, частицы.

The analysis by size separation and dewatering of mineral raw materials for vibrating screens. Described the construction of an experimental model of vibrating blow screen and technique of the experiments. Investigated a new method of vibrating blow screening. The experimental verification of the ways to intensify the separation by size and dewatering coal slurries with a new method of vibrating blow screening.

Key words: separation by size, dehydration, vibrating blow screening, coal slurries, humidity, extraction, particle.

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 (как правило, некондиционный продукт) и максимально обезвоживать готовый (надрешетный) продукт.

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 [1–3]. 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 оно вообще не классифи-

цируется из-за их прилипания к просеивающей поверхности [1–3].

Как известно, угольные шламы представляют собой углеродно-силикатную массу, в которой содержится от 30 до 70 % углерода [4; 5]. Причем наибольшее количество силикатной составляющей (зольной) содержится, как правило, в тонких классах (менее 0,2 мм). Если отделить эти классы, можно получить товарный продукт с высоким содержанием углерода при нормативной зольности. При этом необходимо максимально снизить влажность готового продукта. Учитывая количество шламов в накопителях, актуальность решения данной проблемы не вызывает сомнений.

Чтобы повысить эффективность классификации и обезвоживания, необходимо интенсифицировать разрыхление сырья и преодолеть силы поверхностного натяжения для удаления капиллярно-стыковой воды [1–3]. Для этого в ИГТМ НАН Украины предложен новый метод виброударного грохочения [6–8], 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.

Для дальнейшей интенсификации разрыхления материала дополнительно использовались крупные частицы размером +5–10,0 мм, которые добавлялись к сырью в различных соотношении-

ях. Более высокие показатели достигнуты при соотношении материала мелкий/крупный 1/2.

При изучении разделения по крупности и обезвоживания строительных песков (гранитный отсев с размерами частиц 0–10 мм) новым способом установлено [9; 10], что использование активатора и дезинтегрирующих элементов (ДЭ, металлические шары и крупные частицы в соотношении мелкие/крупные – 1/2) позволяет увеличить извлечение класса –0,1 мм в подрешетный продукт до 60–75 %, а влажность надрешетного материала снизить до 6–7 %. Вместе с тем исследованиями не было установлено, какие результаты грохочения могут быть получены при переработке других материалов, например, угольных шламов.

В связи с вышеизложенным цель работы заключается в исследовании нового метода виброударного грохочения и экспериментальной проверке путей по интенсификации разделения по крупности и обезвоживания угольных шламов при новом способе виброударного грохочения.

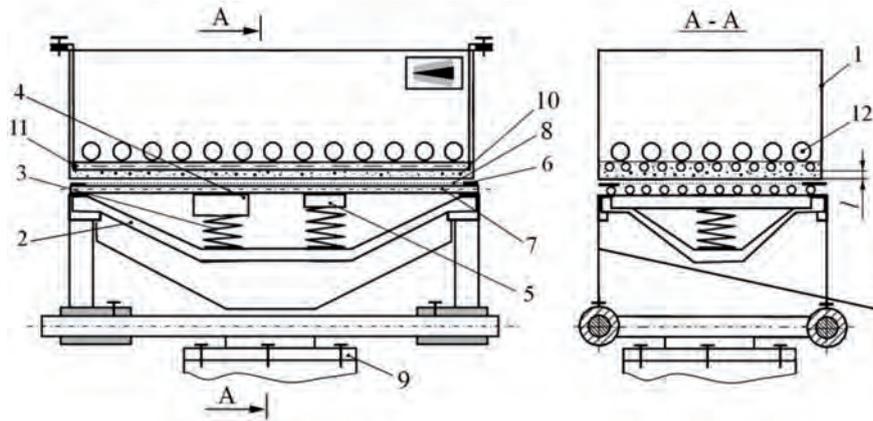
Для этого выполнены эксперименты на модели грохота (рис. 1), состоявшей из короба 1, под которым установлена балка 2 с упругим элементом 3 и ударниками 4 (основной) и 5 (дополнительный). На упругих прокладках 6 смонтированы стальные стержни 7, на которых располагалась сетка 8. При гармоническом возбуждении 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 1 монтировался активатор 11. Дезинтегрирующие элементы 12 располагались на активаторе 11.

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 использовались угольные шламы с размерами частиц +0–10 мм с высоким содержанием глинистых частиц, грансостав ко-



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

Рис. 1. Модель грохота с ударниками и активатором

торых 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.

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, остав-

шейся 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 имеют переменные параметры: диаметр изменялся от 10 до 14 мм, масса – от 4,81 до 11,48 г. УНП (удельная насыпная плотность) шаров – $26,5 \text{ кг/м}^2$. 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 (извлечения) 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/м^2 (рис. 5). Кроме того, контролировалась

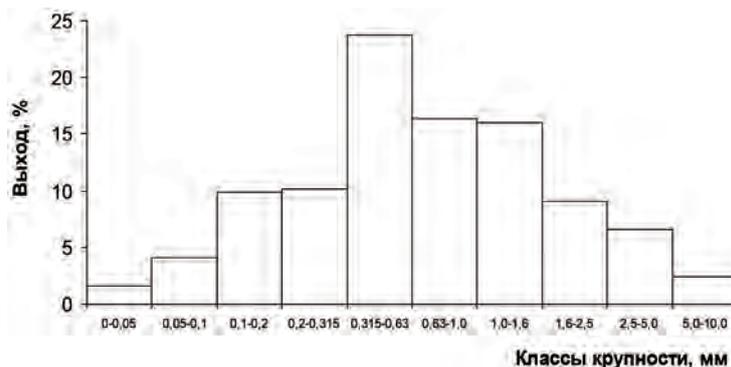
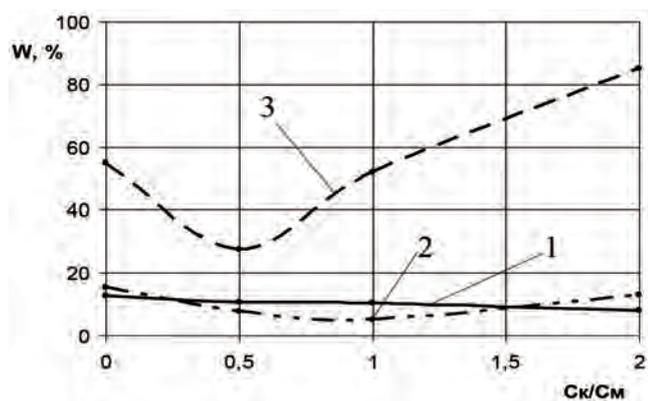
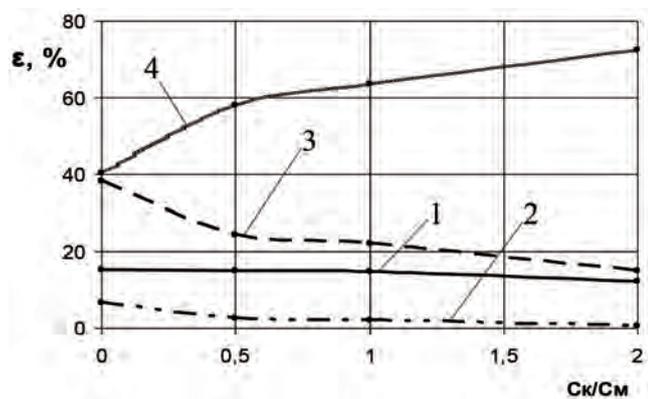


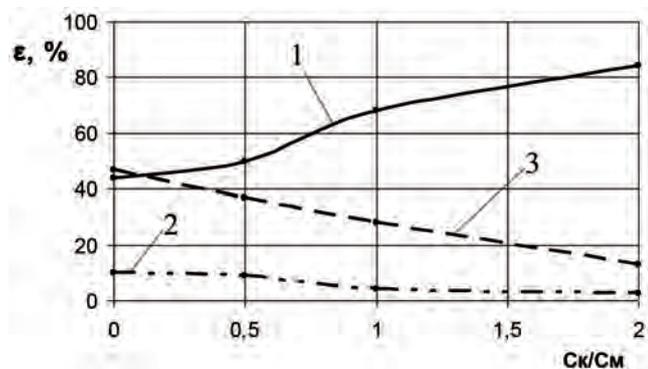
Рис. 2. Грансостав угольных шламов



а)



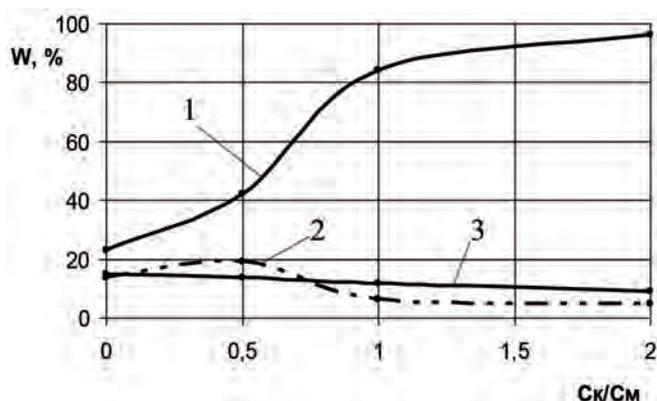
б)



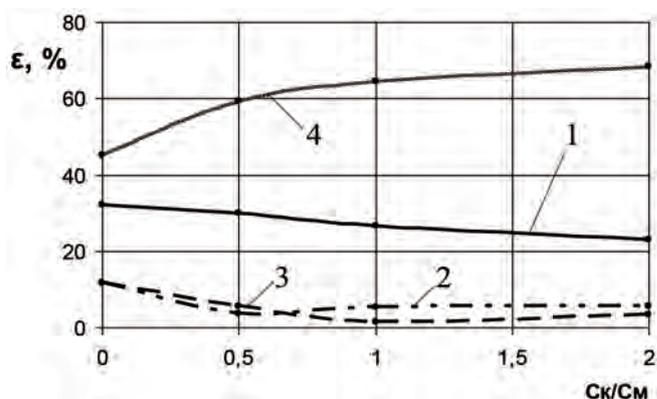
в)

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

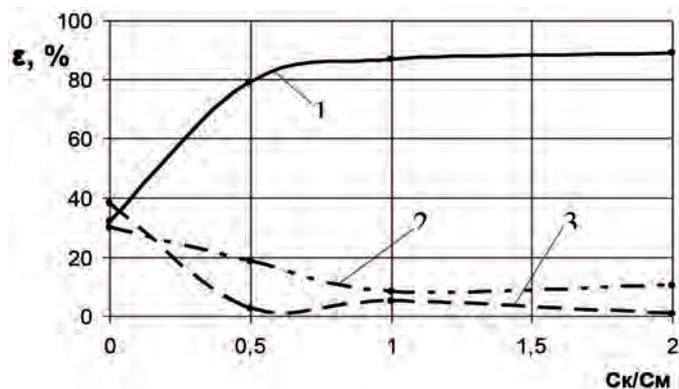
Рис. 3. Изменение влажности W и извлечения ϵ классов в продуктах в зависимости от соотношения количества крупного материала к мелкому c_k/c_m при времени грохочения 180 с, расстоянии $l = 2$ мм и удельной нагрузке по питанию $6,25$ кг/м²



а)



б)



в)

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

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 $12,5$ кг/м²

влажность материала, который во время эксперимента накапливался на активаторе и ДЭ.

Как видно из графиков на рис. 3-5, использование крупных частиц позволяет уменьшить влажность надрешетного продукта и повысить извлечение подрешетного.

При увеличении c_k/c_m от 0 до 2 влажность снижается с 13-15 до 7-10 %.

Извлечение класса -0,1 мм в подрешетный продукт повышается с 40-45 до 68-76 %.

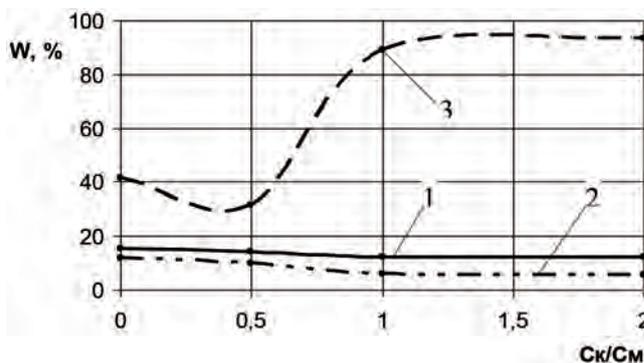
Наибольшая эффективность грохочения (минимальная влажность надрешетного и максимальное извлечение в подрешетный продукт класса -0,1 мм) наблюдается при уменьшении удельной нагрузки по питанию (рис. 3-5). Снижение удельной нагрузки с 25 до 6,25 кг/м² позволяет уменьшить влажность на 1-2 %, а извлечение класса -0,1 мм в подрешетный продукт повысить на 5-6 %.

При экспериментах часть сырья накапливалась на активаторе и ДЭ и циркулировала в процессе. Без использования крупных частиц его количество достигало 30-50 %. Применение крупных частиц позволило снизить эти показатели до 2-12 %, а выход надрешетного продукта увеличить с 50-70 до 88-98 %.

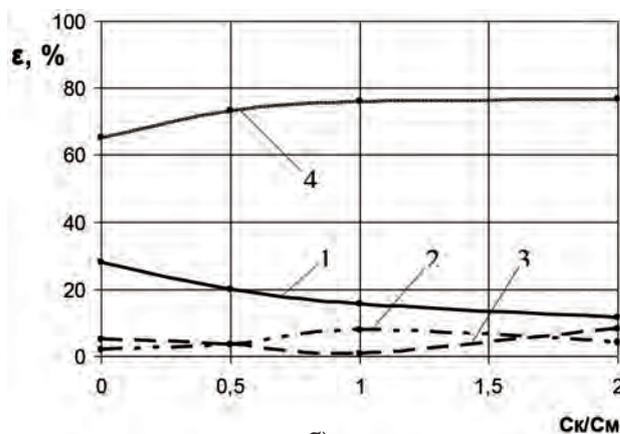
Выводы

Таким образом, установлено, что применение нового способа виброударного грохочения при переработке угольных шламов широкого спектра крупности, которые традиционными методами практически не классифицируются и не обезвоживаются, позволяет эффективно отделять тонкие классы и удалять влагу из надрешетного продукта. Использование ДЭ (крупных частиц) дает возможность интенсифицировать эти процессы. Дезинтегрирующие элементы повышают эффективность разрыхления слипшегося материала и позволяют преодолеть силы поверхностного натяжения для удаления капиллярно-стыковой воды. В результате чего при увеличении соотношения содержания крупных частиц к мелким c_k/c_m от 0 до 2 влажность снижается с 13-15 до 7-9 %, а извлечение класса -0,1 мм в подрешетный продукт повышается с 45-55 до 60-66 %.

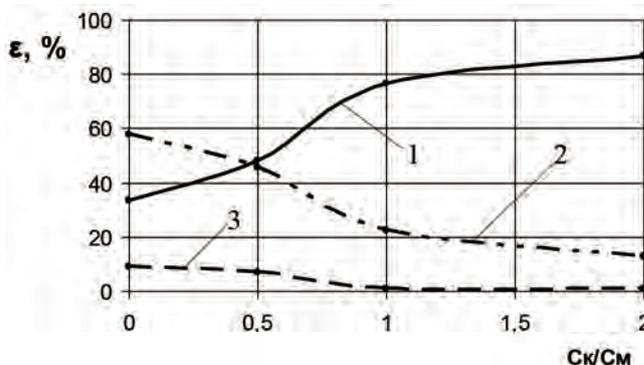
Наибольшая эффективность грохочения (минимальная влажность надрешетного и максимальное извлечение в подрешетный продукт класса -0,1 мм) наблюдается при уменьшении удельной нагрузки по питанию. Снижение удельной нагрузки с 25 до 6,25 кг/м² позволяет уменьшить влажность на 1-2 %, а извлечение класса -0,1 мм в подрешетный продукт повысить на 5-6 %.



а)



б)



в)

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

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/м²

Кроме того, использование крупных частиц позволяет уменьшить содержание материала на активаторе и ДЭ и повысить извлечение надрешетного продукта. Без использования крупных частиц его количество достигало 30–50 %. Применение крупных частиц позволило снизить эти показатели до 2–12 %, а выход надрешетного продукта увеличить с 50–70 до 88–98 %.

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

Библиографический список

1. Лапшин Е. С. Пути интенсификации обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах / Е. С. Лапшин, А. И. Шевченко // Збагачення корисних копалин: наук.-техн. зб. Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 47 (88). – С. 144–151.
2. 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.
3. Шевченко А. И. Пути повышения эффективности грохочения и обезвоживания минерального сырья на вибрационных грохотах / А. И. Шевченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 97. – С. 240–252.
4. Надутый В. П. Тонкое вибрационное грохочение при переработке угольных шламов / В. П. Надутый, А. Ф. Нагорский, А. И. Шевченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2005. – Вып. 58. – С. 185–190.
5. Шевченко А. И. Определение возможности обогащения угольных шламов для получения концентрата / А. И. Шевченко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 111–117.
6. Декл. пат. на кор. мод. України 65469. Спосіб грохочення та зневоднювання мінеральної сировини, що важко класифікується; В 07В 1/40 / В. П. Надутий, Є. С. Лапшин, О. І. Шевченко. – № у 2011 05325; Заявл. 26.04.2011; Опубл. 12.12.2011. Бюл. № 23. – 4 с.
7. Декл. пат. на кор. мод. України 67194. Спосіб грохочення та зневоднювання матеріалів, що важко класифікуються; В 07В 1/40 / В. П. Надутий, Є. С. Лапшин, О. І. Шевченко. – № у 2011 07943; Заявл. 23.06.2011; Опубл. 10.02.2012. Бюл. № 3. – 4 с.
8. Декл. пат. на кор. мод. України 77362. Спосіб розділення за крупністю та зневоднювання сипучого матеріалу, який важко класифікується; В 07В 1/40 / В. П. Надутий, Є. С. Лапшин, О. І. Шевченко. – № у 2012 09458; Заявл. 02.08.2012; Опубл. 11.02.2013. Бюл. № 3. – 4 с.
9. Лапшин Е. С. Изучение кинетики разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья при виброударном грохочении / Е. С. Лапшин, А. И. Шевченко // Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 53 (94). – С. 179–188.
10. Шевченко А. И. Интенсификация разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья при новом способе виброударного грохочения / А. И. Шевченко // Збагачення корисних копалин: науково-технічний збірник ДВУЗ НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – Вип. 54 (95). – С. 157–166.

Поступила 12.01.2016

Metallurgical and Mining
Industry

www.metaljournal.com.ua