

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ КИНЕТИКИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ПРИ ВИБРОУДАРНОМ ГРОХОЧЕНИИ

А. И. Шевченко

Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины
ул. Симферопольская, 2а, г. Днепр, 49005, Украина. E-mail: alex-tpm@ukr.net

На математической модели с помощью численных экспериментов изучена кинетика удаления капиллярно-стыковой воды при виброударном грохочении для материалов узких и широких спектров крупности при различных режимах виброударного грохочения. Установлено, что экспериментальные и расчетные данные отличаются не более, чем на 15 %, т.е. формулы математической модели с доверительной вероятностью 0,95 адекватно описывают экспериментальные результаты. Полученные результаты позволяют с помощью математической модели обезвоживания рассчитать и выбрать рациональные параметры процесса удаления жидкости. Создана методика определения эффективности обезвоживания при виброударном грохочении в технологиях обогащения техногенных месторождений, которая позволяет рассчитать рациональные режимные и технологические параметры процесса обезвоживания минерального сырья при виброударном грохочении и увеличить его эффективность, что позволит повысить качество товарного продукта и, как следствие, прибыль горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: обезвоживание, капиллярно-стыковая вода, мениски, виброудар, грохочение, численные эксперименты.

ЧИСЕЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ З ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ ЗНЕВОДНЕННЯ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВІБРОУДАРНОМУ ГРОХОЧЕННІ

О. І. Шевченко

Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України
вул. Симферопольська, 2а, м Дніпро, 49005, Україна. E-mail: alex-tpm@ukr.net

Жодна з теорій грохочення не є універсальною або, принаймні, загальноприйнятною. Ряд важливих особливостей процесу залишаються недослідженими. До них відносяться: вивчення впливу поверхневого натягу на процес проходження рідини через чарунки просіваючої поверхні і шар мінеральної сировини з урахуванням її властивостей; питомих енергетичних витрат на видалення рідини, вплив на кінетику вібраційного грохочення змін вологості сировини в процесі просіювання (тобто взаємний вплив класифікації по крупності і зневоднення). В ІГТМ НАН України було створено математичну модель зневоднення крізь шар мінеральної сировини, яка описує кінетику цього процесу. У ній математично описано процес видалення рідини, що знаходиться в капілярно-стикувальних містках між частинками. Це досягнуто завдяки моделюванню переходу рідини по висоті шару дискретним марковським процесом з дискретними станами. Математично описано геометричні та енергетичні умови, при яких рідина переміщується між частинками. Разом з тим не були проведені чисельні експерименти, які підтверджують, що математична модель адекватно описує експериментальні дані. Метою даної роботи є вивчення кінетики зневоднення при виброударному грохоченні за допомогою чисельних експериментів. На математичній моделі за допомогою чисельних експериментів вивчена кінетика видалення капілярно-стыковой води при виброударному грохоченні для матеріалів вузьких і широких спектрів крупності при різних режимах виброударного грохочення. Встановлено, що експериментальні і розрахункові дані відрізняються не більше, ніж на 15 %, тобто формули математичної моделі з довірчою ймовірністю 0,95 адекватно описують експериментальні результати. На основі математичної моделі створено методику визначення ефективності зневоднення при виброударному грохоченні, яка дозволяє розрахувати раціональні режимні та технологічні параметри процесу зневоднення мінеральної сировини при виброударному грохоченні і збільшити його ефективність, що дозволить підвищити якість товарного продукту і, як наслідок, прибуток гірничодобувних і переробних підприємств.

Ключові слова: зневоднення, капілярно-стыкова вода, меніски, виброудар, грохочення, чисельні експерименти.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Для обезвоживания минерального сырья широко используется вибрационное грохочение. Интенсивность обезвоживания зависит от грансостава, формы частиц, физико-механических свойств сырья, конструктивных и динамических параметров грохота. При тонком и сверхтонком грохочении удаление жидкости требует существенных энергозатрат, поскольку этому процессу препятствуют силы поверхностного натяжения, которые значительно превосходят силу тяжести. Поэтому удаление капиллярно-стыковой воды (менисков) является наиболее энергоемким [1, 2].

Из анализа научно-технической информации [1–4] установлено, что на преодоление частицами сил, действующих со стороны жидкости, влияют следующие факторы: геометрические параметры частицы, ее плотность, поверхностное натяжение, плотность и вязкость жидкости; угол смачивания; амплитуда и частота вибровозбуждения. Поэтому при обезвоживании минерального сырья необходимо учитывать эти свойства.

При тонкой классификации и обезвоживании основные трудности заключается в преодолении капиллярных сил, действующих не только между частицами, но и в ячейках просеивающей поверхности.

Наличие в них воды, удерживаемой силами поверхностного натяжения, также значительно снижает эффективность этих процессов [3, 4]. Следует отметить, что надрешетный материал, находящийся на просеивающей поверхности, также снижает эффективность воздействия на частицы и воду, находящиеся в ее ячейках.

Известные технологии не обеспечивают эффективного обезвоживания [5–9]. Поэтому необходим поиск решений для эффективного удаления воды, а задача, направленная на дальнейшее уменьшение влажности, несомненно, актуальна. Особенно это важно при тонком и сверхтонком грохочении. Эту проблему можно решить путем совершенствования существующих технологий

Еще 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 [5–9].

При гармоническом вибровозбуждении просеивающей поверхности материалы узкого спектра крупности обезвоживаются только до 18–22 %. Чем меньше крупность частиц, тем выше влажность. Наиболее трудным является снижение влажности материалов широкого спектра крупности, которые в ряде случаев вообще не обезвоживаются [10].

Чтобы удалить капиллярно-стыковую воду, необходимо преодолеть силы поверхностного натяжения жидкости. Для этого используют импульсное воздействие, например виброудар [5–9]. Последнее может сообщаться как непосредственно ситам, так и через промежуточный элемент, выполненный в виде более крупного сита или решетчатой конструкции [3]. Традиционно при обезвоживании используют «одиночные удары» – режимы, когда за период возбуждения просеивающей поверхности наносится один удар.

В работе [10] приведены результаты исследований по обезвоживанию минерального сырья с помощью виброудара. В связи с тем, что сырье различается по грансоставу и свойствам, при обезвоживании ставятся различные задачи в зависимости от потребительского спроса. Поэтому исследования были выполнены для материалов узких и широких спектров крупности.

Поскольку для снижения влажности необходимо обеспечить разрыхление материала и разрыв капиллярных мостиков, было предложено воздействовать на него в локальных областях нормальными и сдвиговыми импульсами с помощью дезинтегрирующих элементов (ДЭ), в качестве которых использовались крупные частицы материала, а также сферические и эллипсоидные тела, изготовленные из разных материалов.

Экспериментами установлено [10], что при обезвоживании материала крупностью +0,63–1,0 мм использование «одиночных ударов» и крупных частиц позволило уменьшить его влажность при соотношении «мелкий/крупный» 1/1 до 10–11 %, а при 1/3 – до 3,5–5 %.

Результаты исследований представляют интерес для обезвоживания материала крупностью +0,4–1,0 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 0,4 мм.

Для сырья крупностью +0,1–0,4 мм снижение влажности до 4 % достигалось с помощью «одиночных ударов» и дезинтегрирующих элементов в виде шаров [10].

Эти результаты получены для сырья узкого спектра крупности. На практике приходится сталкиваться с обезвоживанием продуктов, сформированных из более широкого спектра крупности. В этом случае процесс удаления влаги – наиболее сложный.

При обезвоживании сырья широкого спектра крупности (0–10 мм с высоким содержанием глинистых частиц), которое традиционными методами практически не обезвоживается, требуется более интенсивное разрыхление материала и воздействие на просеивающую поверхность. Для этого предложено использовать режимы с «двойными ударами», когда за период возбуждения просеивающей поверхности наносится два удара.

При «двойных ударах» за период возбуждения кроме основного наносится дополнительный импульс. За счет основного надрешетный продукт подбрасывается и во время его полета просеивающей поверхности наносится дополнительный импульс, усиливающий ее колебания. Вследствие этого происходит разрыв капиллярных мостиков и потеря устойчивости капиллярных менисков в ячейке просеивающей поверхности, улучшается обезвоживание и очистка просеивающей поверхности от налипшего сырья, что интенсифицирует процесс обезвоживания.

Результаты исследований показали, что использование «двойных ударов» и дезинтегрирующих элементов (металлические шары и крупные частицы в соотношении мелкий/крупный – 1/3) позволяет снизить влажность надрешетного материала с 30 до 6–7 % [10].

Полученные результаты представляют практический интерес для перерабатывающих предприятий. Однако, для выбора рациональных параметров процесса удаления жидкости, находящейся в капиллярно-стыковочных мостиках между частицами, и отделения тонких и сверхтонких классов необходимо иметь возможность их вычисления.

Создание и эксплуатация грохотов требует большего объема трудоемких натуральных экспериментов. Современный уровень развития компьютерной техники делает целесообразным переход к численным экспериментам на математической модели [11, 12].

Ни одна из теорий грохочения не является универсальной или хотя бы общепризнанной. Ряд важных особенностей процесса остаются неисследованными. К таким в первую очередь следует отнести изучение влияния поверхностного натяжения на процесс прохождения жидкости через ячейки просеивающей поверхности и слой минерального сырья с учетом его свойств, удельных энергетических

затрат на удаление жидкости; влияние на кинетику вибрационного грохочения (сегрегацию, просеивание и вибротранспортирование) изменения влажности сырья в процессе грохочения, т.е. взаимное влияние классификации по крупности и обезвоживания. Кроме того, не изучено действие анизотропии смачивания на прохождение жидкости через отверстия просеивающей поверхности. Отсутствие этих закономерностей сдерживает дальнейшее развитие теории грохочения и повышение эффективности разделения по крупности с учетом обезвоживания. В результате происходит потеря информации о связях и отношениях между составляющими процесса, что не позволяет синтезировать рациональный процесс обезвоживания и разделения по крупности.

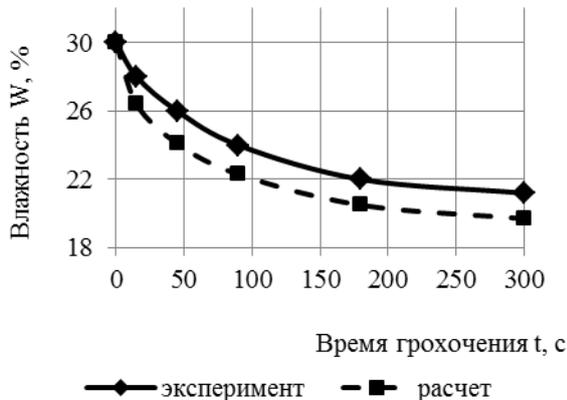
В ИГТМ НАН Украины была создана математическая модель обезвоживания сквозь слой минерального сырья [12], которая описывает кинетику этого процесса. В ней математически описан процесс удаления жидкости, находящейся в капиллярно-стыковочных мостиках между частицами. Это достигнуто благодаря моделированию перехода жидкости по высоте слоя дискретным марковским процессом с дискретными состояниями. Математически описаны геометрические и энергетические условия, при которых жидкость перемещается между частицами. На основании расчета определяются вероятности переходов жидкости из одного элементарного слоя в другой, с дезинтегрирующих элемен-

тов – в элементарные слои, из элементарных слоев – на дезинтегрирующие элементы; прохождения жидкости через отверстия просеивающей поверхности [12].

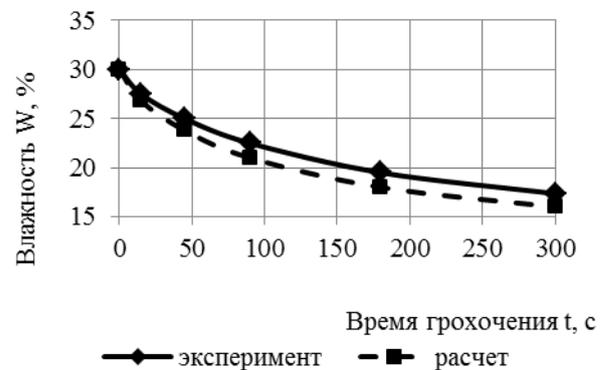
Вместе с тем не были проведены численные эксперименты, которые подтверждают, что математическая модель адекватно описывает экспериментальные данные. Поэтому целью данной работы является изучение кинетики обезвоживания при виброударном грохочении на математической модели с помощью численных экспериментов.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. На основе математической модели [12] на языке C++ с подключением математических библиотек и «Excel» создана программа «Обезвоживание», позволившая рассчитать показатели обезвоживания для минерального сырья узкого и широкого спектра крупности с учетом его свойств при различных параметрах вибровозбуждения. Результаты исследований показаны на рисунках.

На рис. 1 показаны экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t грохочения, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью +0,4-1,0 мм с помощью «одиночных ударов» на просеивающей поверхности с ячейкой 0,63 мм и диаметром проволоки 0,2 мм (удельная нагрузка по питанию 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %).



а) $f = 40$ Гц, $A = 2$ мм

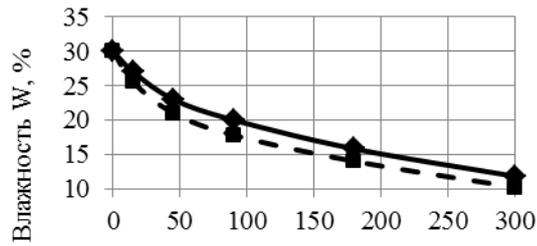


б) $f = 60$ Гц, $A = 1$ мм

Рисунок 1 – Зависимость влажности W надрешетного продукта от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью +0,4-1,0 мм с помощью «одиночных ударов»

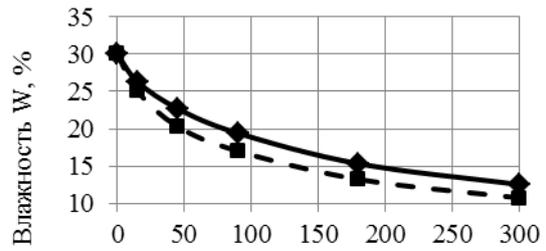
Экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t грохочения, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью +0,4-1,0 мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ (в соотношении мелкий/крупный от 1/1 до 1/4) на просеивающей поверхности с ячейкой 0,63 мм и диаметром проволоки 0,2 мм (удельная нагрузка по питанию 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %) приведены на рис. 2.

На рис. 3 показаны экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t грохочения, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании тонких материалов крупностью +0,04 мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ (в соотношении мелкий/крупный от 1/1 до 1/4, с различной удельной насыпной плотностью, кг/м³, УНП) на просеивающей поверхности с ячейкой 0,1 мм и диаметром проволоки 0,1 мм (удельная нагрузка по питанию 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %).



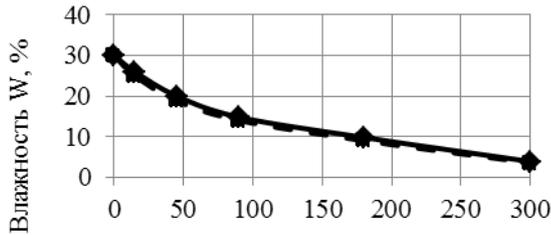
Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

а) ДЭ 1/1, $f=32,5$ Гц, $A=2$ мм



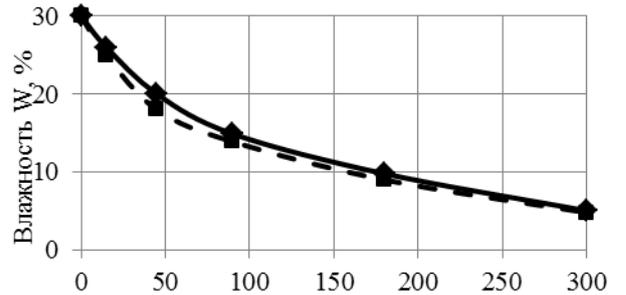
Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

б) ДЭ 1/3, $f=35$ Гц, $A=2$ мм



Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

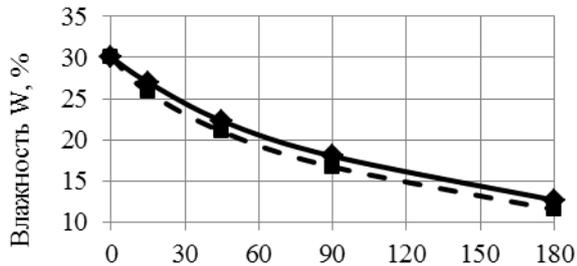
в) ДЭ 1/1, $f=37,5$ Гц, $A=2$ мм



Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

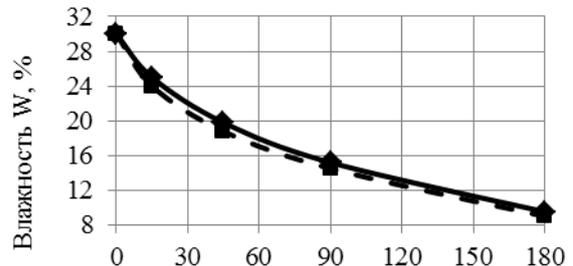
г) ДЭ 1/4, $f=40$ Гц, $A=2$ мм

Рисунок 2 – Зависимость влажности W надрешетного продукта от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью +0,4-1,0 мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ



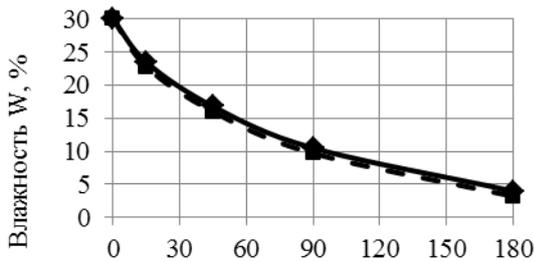
Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

а) ДЭ - крупные частицы 1/1,
 $f=60$ Гц, $A=1$ мм



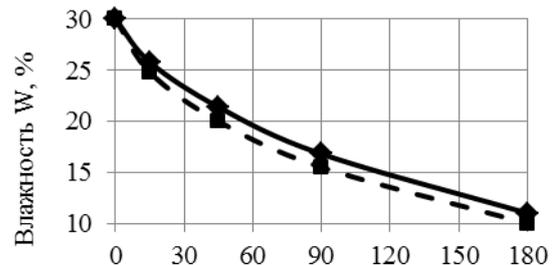
Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

б) ДЭ - шары (руда), УНП=28,1 кг/м²,
 $f=30$ Гц, $A=4$ мм



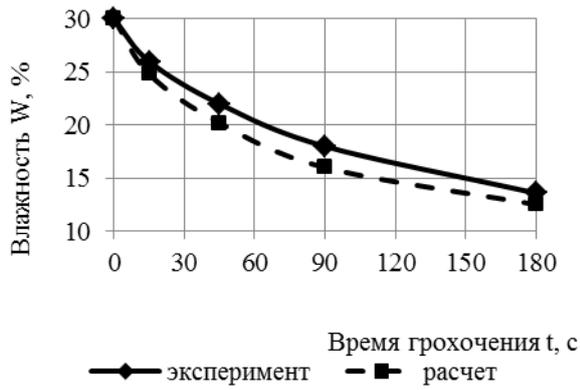
Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

в) ДЭ - шары (руда), УНП=51,1 кг/м²,
 $f=30$ Гц, $A=4$ мм

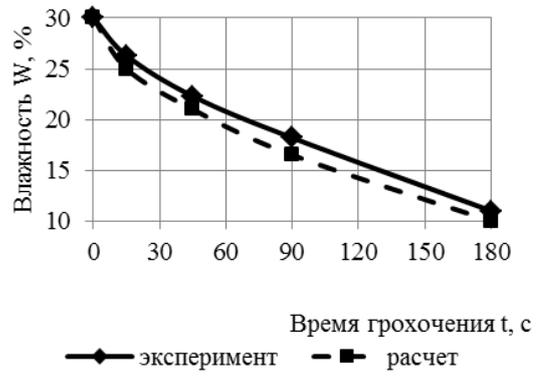


Время грохочения t , с
 —◆— эксперимент —■— расчет

г) ДЭ - шары (руда), УНП=80 кг/м²,
 $f=30$ Гц, $A=4$ мм



д) ДЭ – шары, резиновые, $R = 25$ мм, УНП=8,8 кг/м², $f = 20$ Гц, $A = 3$ мм

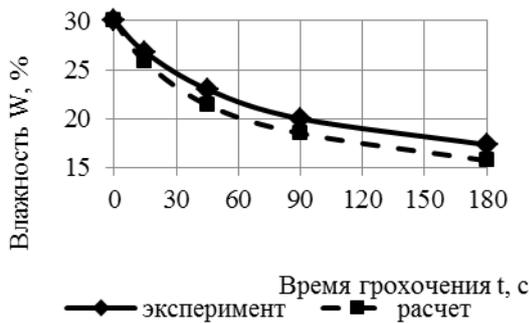


е) ДЭ – шары, резиновые, $R = 25$ мм, УНП=8,8 кг/м², $f = 40$ Гц, $A = 2,5$ мм

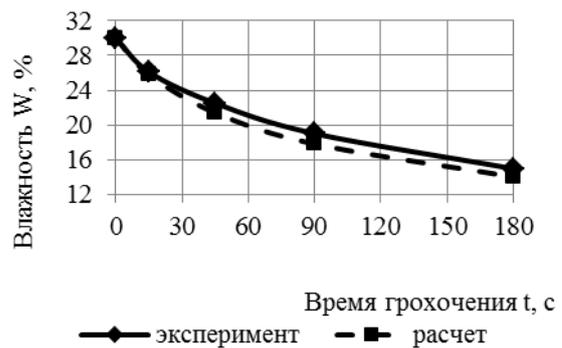
Рисунок 3 – Зависимость влажности W надрешетного продукта от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью +0-0.4 мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ

Экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t грохочения, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании тонких материалов крупностью +0-10 мм с помощью «одиночных, двойных

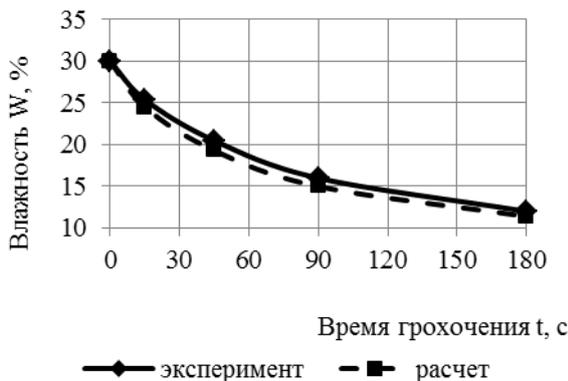
ударов» и ДЭ (с различной удельной насыпной плотностью, кг/м², УНП) на просеивающей поверхности с ячейкой 0,1 мм и диаметром проволоки 0,1 мм (удельная нагрузка по питанию 12,5 кг/м², влажность исходного продукта 30 %) приведены на рис. 4.



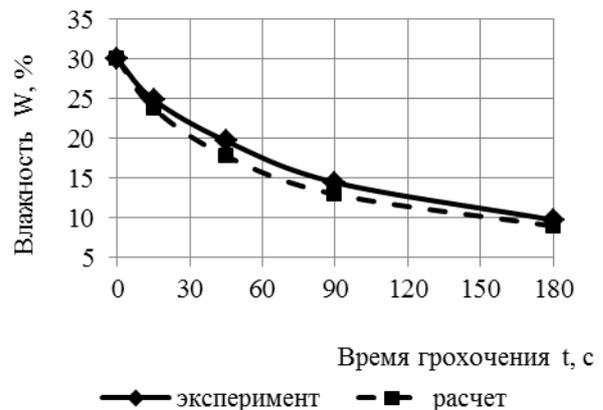
а) «одиночные удары», ДЭ – резиновые шары, $R=25$ мм, 2 слоя, $f = 35$ Гц, $A = 3$ мм



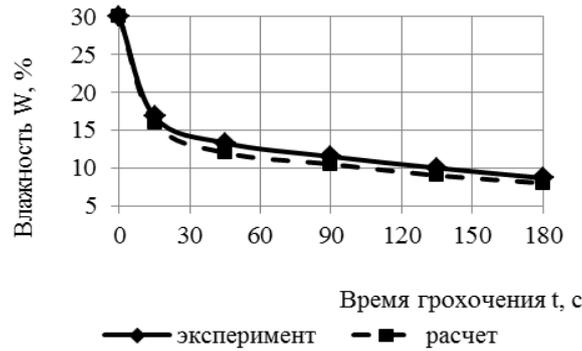
б) «одиночные удары», ДЭ – шары, руда, 2 слоя, $f = 30$ Гц, $A = 7$ мм



в) «двойные удары», ДЭ – крупные частицы, 2 слоя, $f = 20$ Гц, $A = 9$ мм



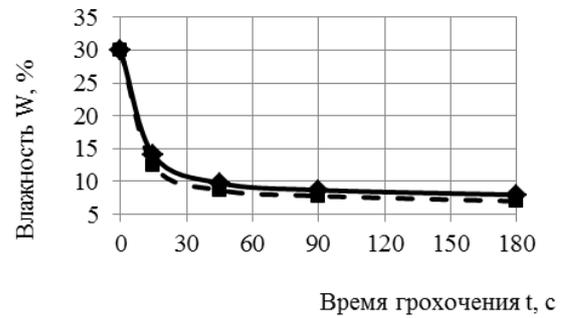
г) «двойные удары», ДЭ – шары, руда, 2 слоя, $f = 20$ Гц, $A = 9$ мм



д) «двойные удары», ДЭ – эллипсоид вращения, галька, 2 слоя, $f = 20$ Гц, $A = 9$ мм

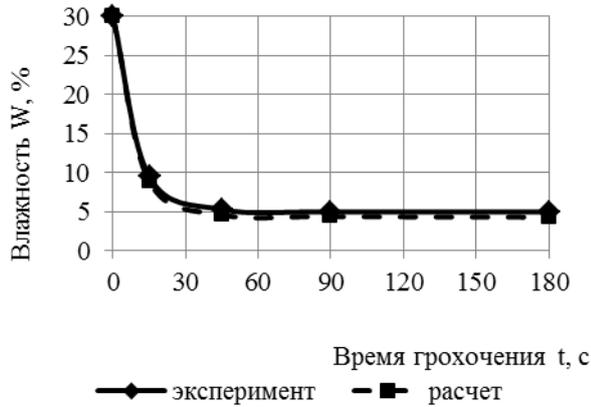
Рисунок 4 – Зависимость влажности W надрешетного продукта от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью +0-0.4 мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ

На рис. 5 показаны экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t грохочения и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании гранитного отсева крупностью +0-10 мм с помощью «двойных ударов» и ДЭ (металлические шары, УНП=26,5 кг/м²) на просеивающей поверхности с ячейкой 0,1 мм и диаметром проволоки 0,1 мм (влажность исходного продукта 30 %, параметры вибровозбуждения: частота $f = 32,5$ Гц, амплитуда $A = 2,5$ мм).



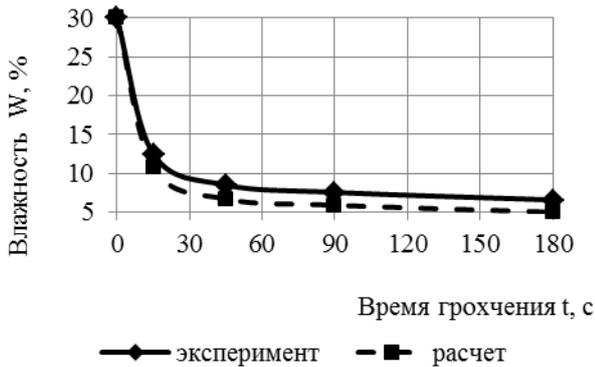
в) $q = 25$ кг/м²

Рисунок 5 – Зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t обезвоживания и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании гранитного отсева

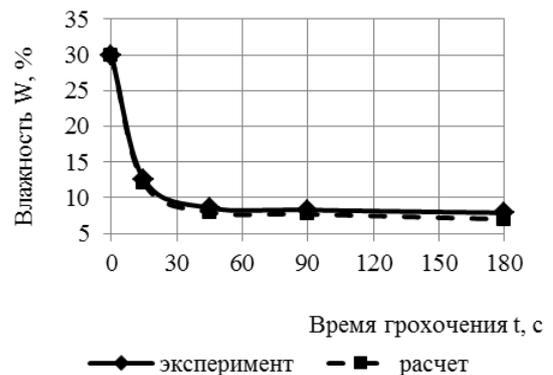


а) $q = 6,25$ кг/м²

На рис. 6 показаны экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t грохочения и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании угольного шлама крупностью +0-10 мм с помощью «двойных ударов» и ДЭ (металлические шары, УНП = 26,5 кг/м²) на просеивающей поверхности с ячейкой 0,1 мм и диаметром проволоки 0,1 мм (влажность исходного продукта 30 %, параметры вибровозбуждения: частота $f = 32,5$ Гц, амплитуда $A = 2,5$ мм).



б) $q = 12,5$ кг/м²



а) $q = 6,25$ кг/м²

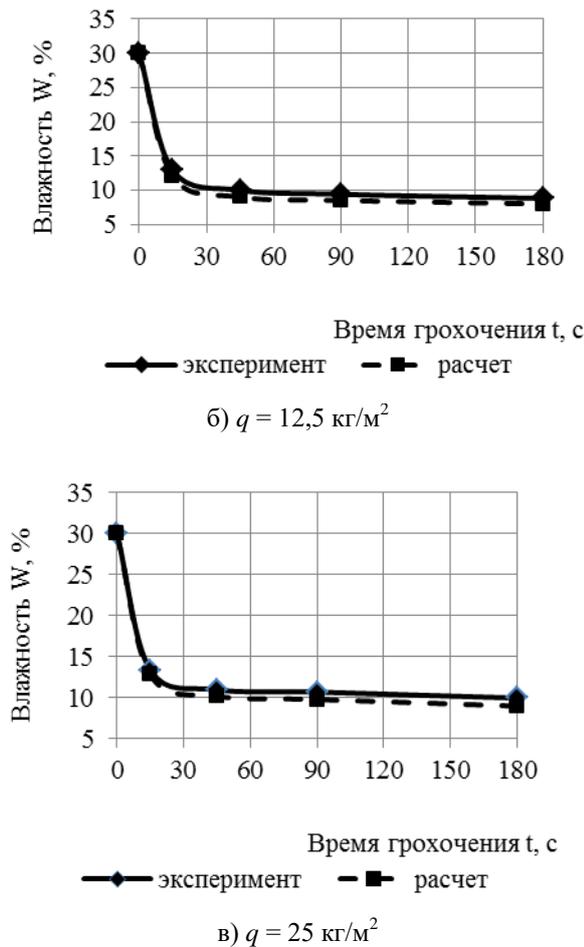


Рисунок 6 – Зависимости влажности W надрешетного продукта от времени t обезвоживания и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании угольного шлама

Из сравнения результатов экспериментальных и расчетных данных установлено, что они отличаются не более, чем на 15 %, т.е. формулы математической модели с доверительной вероятностью 0,95 адекватно описывают экспериментальные результаты.

Таким образом, установлено, что математическая модель [12] позволяет путем численного эксперимента определять рациональные конструктивные и динамические параметры, при которых достигаются требуемые технологические показатели грохочения.

На основе полученных результатов создана «Методика определения эффективности обезвоживания при виброударном грохочении в технологиях обогащения техногенных месторождений», которая внедрена на горно-обогатительных предприятиях и карьерах. Она позволяет рассчитать рациональные режимные и технологические параметры процесса обезвоживания минерального сырья при виброударном грохочении и увеличить его эффективность, что позволит повысить качество товарного продукта и, как следствие, прибыль горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

ВЫВОДЫ.

1. Для эффективного обезвоживания требуется индивидуальный подход в зависимости от свойств

перерабатываемого сырья и грансостава в каждом конкретном случае.

2. Для повышения эффективности обезвоживания используют импульсное воздействие – виброудар, который может сообщаться как непосредственно просеивающей поверхности (ситу), так и через промежуточный элемент, выполненный в виде более крупного сита или решетчатой конструкции.

3. Для выбора рациональных параметров процесса удаления жидкости, находящейся в капиллярностыковочных мостиках между частицами, и отделения тонких и сверхтонких классов необходимо иметь возможность их вычисления.

4. Математическая модель обезвоживания сквозь слой минерального сырья описывает кинетику этого процесса. В ней математически описан процесс удаления жидкости, находящейся в капиллярностыковочных мостиках между частицами. Это достигнуто благодаря моделированию перехода жидкости по высоте слоя дискретным марковским процессом с дискретными состояниями. Математически описаны геометрические и энергетические условия, при которых жидкость перемещается между частицами. На основании расчета определяются вероятности переходов жидкости из одного элементарного слоя в другой, с дезинтегрирующих элементов – в элементарные слои, из элементарных слоев – на дезинтегрирующие элементы; прохождения жидкости через отверстия просеивающей поверхности

5. Изучение кинетики обезвоживания при виброударном грохочении на математической модели с помощью численных экспериментов выполнены для материалов узких и широких спектров крупности при различных режимах виброударного грохочения. Результаты исследований позволили установить, что экспериментальные и расчетные данные отличаются не более, чем на 15 %, т.е. формулы математической модели с доверительной вероятностью 0,95 адекватно описывают экспериментальные результаты.

6. Полученные результаты представляют практический интерес для перерабатывающих предприятий, т.к. позволяют с помощью математической модели обезвоживания рассчитать и выбрать рациональные параметры процесса удаления жидкости.

7. Создана «Методика определения эффективности обезвоживания при виброударном грохочении в технологиях обогащения техногенных месторождений», которая внедрена на горно-обогатительных предприятиях и карьерах. Она позволяет рассчитать рациональные режимные и технологические параметры процесса обезвоживания минерального сырья при виброударном грохочении и увеличить его эффективность, что позволит повысить качество товарного продукта и, как следствие, прибыль горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

Автор выражает благодарность научному консультанту доктору технических наук Лапшину Евгению Семеновичу, ведущему научному сотруднику отдела геомеханических систем и вибрационных технологий Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины) за указания по определению главных направлений моего исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Meinel A. Zu den Grundlagen der Klassierung sieschwieriger Materialien. *Aufbereitungs-Technik*. 1999. N 7. S. 313–3271.
2. Гаркушин Ю. К., Сергеев П. В., Белицкий В. С. Проблема механического обезвоживания тонкодисперсных углей. *Збагачення корисних копалин. Науково-технічний збірник. Національної гірничої академії України*. 2000. № 8(49). С. 111–119.
3. Лапшин Е. С. Определение собственной частоты колебаний жидкости в отверстии просеивающей поверхности грохота *Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины*. 2011. Выпуск 92. С. 19–24.
4. Надутый В. П., Лапшин Е. С. Кинетика вибрационного грохочения влажного сырья. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2008. № 2(51). С. 25–29.
5. Искович-Лотоцький Р. Д., Іванчук Я. В., Кобилянський С. О. Вібраційне та віброударне навантаження при механічних випробуваннях деталей і вузлів машин. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Сучасні технології в машинобудуванні, транспорті та гірництві*. 2018. Випуск 2 (109). С. 60–65.
6. Повышение эффективности удаления влаги при тонком грохочении горной массы за счет импульсного воздействия Надутый В. П. и др. *Науково-технічний журнал Науковий вісник Національного гірничого університету України*. 2011. № 2(122). С. 95–99.
7. Надутый В. П. Лапшин Е. С., Краснопер В. П. Особенности конструкции и обоснование расчетной схемы грохота с виброударным режимом возбуждения сита. *Тезисы докладов Международной конференции по динамике и прочности машин*. Тбилиси. 1999. С. 72–73.
8. Надутый В. П. Лапшин Е. С., Краснопер В. П. Определение динамических параметров грохота с виброударным возбуждением просеивающей поверхности. *Науково-технічний журнал Науковий вісник Національного гірничого університету України*. № 3. 1998. С. 73–75.
9. Лапшин Е. С. Метод определения времени увлечения стохастически вращающегося шара при виброударном воздействии. *Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины*. 2011. Выпуск 93. С. 178–193.
10. Лапшин Е. С., Шевченко А. И. Пути совершенствования вибрационного разделения по крупности и обезвоживания минерального сырья. *Науково-технічний журнал Науковий вісник Національного гірничого університету України*. 2013. № 3(135). С. 45–51.
11. Лапшин Е. С. Математическое моделирование процесса вибрационного грохочения марковской целью переменной структуры. *Разработка рудных месторождений. Научно-технический сборник Криворожского технического университета*. 2000. № 73. С. 65–68.
12. Лапшин Е. С., Шевченко А. И. Математическое моделирование кинетики обезвоживания при вибрационном грохочении. *Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал*. 2011. Випуск 4(64). С. 20–24.

NUMERICAL EXPERIMENTS FOR STUDYING THE KINETICS OF DECOMPOSITION OF MINERAL RAW MATERIALS WITH VIBRO-IMPACT SCREENING

A. Shevchenko

N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine
vul. Simferopolskaya, 2a, Dnepr, 49005, Украина. E-mail: alex-tpm@ukr.net

Purpose. The study of the kinetics of dehydration in vibroimpact screening on a mathematical model using numerical experiments. **Methodology.** Synthetic of research results using computer simulation methods has been used. **Findings.** None of the theories of screening is universal or at least generally accepted. A number of important features of the process remain unexplored. These include: studying the effect of surface tension on the process of passing a liquid through the cells of the screening surface and a layer of mineral raw materials, taking into account its properties; the impact on the kinetics of vibratory screening changes in the moisture of the raw material in the process of screening (the mutual influence of the classification by size and dehydration). IGTM NAS of Ukraine created a mathematical model of dehydration, which describes its laws. At the same time, numerical experiments that did not confirm that the mathematical model adequately describes the experimental data were not carried out. **Originality.** Mathematically described the process of removing fluid located in the capillary-docking bridges between the particles. This is achieved by simulating the transition of a fluid over the height of a layer by a discrete Markov process with discrete states. Geometrical and energy conditions are described mathematically, under which a fluid moves between particles. The mathematical model using numerical experiments studied the kinetics of the removal of capillary-butt water during vibro-impact screening for materials of narrow and wide size spectra with different modes of vibro-impact screening. It is established that the experimental and calculated data differ by no more than 15%, i.e. The mathematical model formulas with a confidence level of 0.95 adequately describe the experimental results. **Practical value.** The results obtained allow using the mathematical model of dehydration to calculate and select rational parameters of the process of fluid removal. **Conclusions.** A method for determining the efficiency of dehydration during vibro-impact screening in enrichment technologies of technogenic deposits has been created, which allows calculating rational regime and technological parameters of the process of mineral dehydration during vibro-impact screening and increasing its efficiency, which will improve the quality of a commercial product and, as a result, the profits of mining and processing enterprises.

Key words: dehydration, capillary-butt water, meniscus, vibro-impact, screening, numerical experiments

REFERENCES

1. Meinel, A. (1999), Zu den Grundlagen der Klassierung sieschwieger Materialien, *Aufbereitungs-Technik*, no. 7, pp. 313–3271.
2. Garkushin, Yu. K., Sergeev, P. V., Belitsky, V. C. (2000), The problem of mechanical dehydration of finely divided carbons, *Zbahachennya korysnykh kopalyn. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk, Natsional'noyi hirnychoyi akademiyi Ukrainy*, no. 8(49), pp. 111–119.
3. Lapshin, E. S. (2011), Determination of the eigenfrequency of fluid oscillations in the opening of the screening surface of the screen, *Geotekhnicheskaya mekhanika, Mezhdvostvennyy sbornik nauchnykh trudov IGTM NAN Ukrainy*, issue 92, pp. 19-24.
4. Naduty, V. P., Lapshin, E. S. (2008), Kinetics of vibrating screening of wet raw materials, *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh*, no. 2 (51), pp. 25-29.
5. Iskovich-Lototsky, R. D., Ivanchuk, Ya. V., Kobilyansky, Ye.O. (2018), Vibration and vibration damping during mechanical tests of parts and units of machines, *Transactions of Kremenchuk Mikhailo Ostrohradskyi National University, Modern technologies in mechanical engineering, transport and mining, issue 2 (109)*, pp. 60-65.
6. Improvement of the efficiency of removal of moisture at a thin screen of rock mass due to impulse influence, Naduty, V.P. and other, (2011), *Naukovo-tekhnichnyy zhurnal Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu Ukrainy*, no. 2 (122), pp. 95-99.
7. Naduty, V. P., Lapshin, E. S., Krasnoper, V. P. (1999), Features of the design and justification of the calculation scheme of the screen with the vibro-shock mode of excitation of the screen. *Abstracts of the International Conference on the Dynamics and Strength of Machines*, Tbilisi, pp. 72-73.
8. Naduty, V. P., Lapshin, E. S., Krasnoper, V. P. (1998), Determination of dynamic parameters of the screen with vibro-impact excitation of the screening surface, *Naukovo-tekhnichnyy zhurnal Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu Ukrainy*, no. 3, pp. 73-75.
9. Lapshin, E. S. (2011), Method of determining the time of humidification of a stochastically rotating ball during vibro-impact action. *Geotekhnicheskaya mekhanika. Mezhdvostvennyy sbornik nauchnykh trudov IGTM NAN Ukrainy*, issue 93, pp. 178-193.
10. Lapshin, E. S., Shevchenko, A. I. (2013), Ways to improve vibration separation by size and dehydration of mineral raw materials, *Naukovo-tekhnichnyy zhurnal Naukovyy visnyk Natsional'noho hirnychoho universytetu Ukrainy*, no. 3 (135), pp. 45-51.
11. Lapshin, E. S. (2000), Mathematical modeling of the vibratory screening process by a Markov chain of variable structure, *Razrobotka rudnykh mestorozhdeniy. Nauchno-tekhnicheskyy sbornik Krivorozhskogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 73, pp.65-68.
12. Lapshin, E. S., Shevchenko, A. I. (2011), Mathematical modeling of the kinetics of dehydration during vibration screening, *Vibratsiyi v tekhnitsi ta tekhnolohiyakh, Vseukrayins'kyi naukovo-tekhnichnyy zhurnal*, issue 4 (64), pp. 20–24.

Стаття надійшла 20.11.2018.