

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ КИНЕТИКИ ГРОХОЧЕНИЯ С ОБЕЗВОЖИВАНИЕМ 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 разделения частиц по крупности с одновременным обезвоживанием надрешетного продукта 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 кинетики разделения частиц по крупности с одновременным обезвоживанием рассчитать и выбрать рациональные параметры процесса классификации и удаления жидкости. Создана методика расчета технологических показателей грохочения и обезвоживания при переработке влажного техногенного сырья, которая позволяет рассчитать рациональные режимные и технологические параметры процесса грохочения с обезвоживанием при виброударном грохочении и увеличить его эффективность, что позволит повысить качество товарного продукта и, как следствие, прибыль горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: численные эксперименты, кинетика, виброударное грохочение, разделение по крупности, обезвоживание.

ЧИСЕЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ З ВИВЧЕННЯ КІНЕТИКИ ГРОХОЧЕННЯ ЗІ ЗНЕВОДНЕННЯМ 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 відноситься 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 грохочення зі зневодненням мінеральної сировини, яка описує кінетику цього процесу. У ній математично описано процес розділення за крупністю та видалення рідини, що знаходиться в капілярно-стикувальних містках між частинками. Це досягнуто завдяки моделюванню переходу часток та рідини по висоті шару сировини дискретним марковським процесом з дискретними станами, тобто математично описано взаємний вплив класифікації по крупності і зневоднення. Разом з тим не були проведені чисельні експерименти, які підтверджують, що математична модель адекватно описує експериментальні дані. Метою даної роботи є вивчення кінетики грохочення зі зневодненням при виброударному грохоченні за допомогою чисельних експериментів. На математичній моделі за допомогою чисельних експериментів вивчена кінетика розділення за крупністю та видалення капілярно-стикової 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 розрахунку технологічних показників грохочення та зневоднення при переробці вологої техногенної сировини, яка дозволяє розрахувати раціональні режимні та технологічні параметри процесу розділення за крупністю та зневоднення сировини при виброударному грохоченні і збільшити його ефективність, що дозволить підвищити якість товарного продукту і, як наслідок, прибуток гірничодобувних і переробних підприємств.

Ключові слова: чисельні експерименти, кінетика, виброударне грохочення, розділення за крупністю, зневоднення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. При тонком и сверхтонком грохочении мокрого минерального сырья разделение по крупности и удаление жидкости требует существенных энергозатрат, поскольку этому процессу препятствуют силы поверхностного натяжения, которые значительно превосходят силу тяжести. Для снижения этих затрат необходимо интенсифицировать разрыхление сырья и разрушить капиллярные мостики между частицами [1–4].

Традиционные методы грохочения не позволяют решать эти задачи. При гармоническом вибровозбуждении просеивающей поверхности сырье узкого спектра крупности обезвоживается только до 18–

22 %. Чем меньше крупность частиц, тем выше влажность. Трудоемким и имеющим высокие энергетические расходы является процесс разделения и удаления влаги из сырья, сформированного из классов крупности менее 0,2 мм. Частицы указанной крупности из-за их прилипания вследствие действия сил адгезии забивают ячейки просеивающей поверхности и нарушают эти процессы. Наиболее сложным является разделение по крупности и уменьшение влажности сырья широкого спектра крупности, которые в ряде случаев вообще не разделяются и не обезвоживаются. Следует сказать, что надрешетный продукт, находящийся на просеи-

ваючої поверхності, також знижує ефективність впливу на частини та рідину, що знаходяться в її клітинах [1–5]. Тому необхідний пошук рішень для ефективного розділення по крупності та видалення води, а задача, спрямована на подальше зниження крупності розділення та зменшення вологості, безсумнівно, актуальна. Особливо це важливо при тонкому та надтонкому грохоченні. Цю проблему можна вирішити шляхом удосконалення існуючих технологій.

Ще однією з причин, по якій зменшується ефективність процесу обезвожування, є велике різноманітність перероблюваного сировини з різними фізико-механічними властивостями та складом, що вимагає індивідуального підходу в кожному окремому випадку [5–9].

Раніше виконаними дослідженнями [1–6] встановлено, що для ефективного розділення та обезвожування мінеральної сировини потрібна імпульсна дія на просіваючу поверхню та перероблювану сировину. Для цього використовують «одиночні удари» та «двійні» [10]. При «двійних ударах» за період збудження крім основної наноситься додатковий імпульс. За рахунок основної надрештної продукції відбирається і в момент польоту просіваючої поверхні наноситься додатковий імпульс, посилюючи її коливання. Внаслідок цього відбувається розрив капілярних мостиків та втрата стійкості капілярних менисків в клітині просіваючої поверхні, покращується розділення та очищення просіваючої поверхні від залишкової сировини, що інтенсифікує процес класифікації та обезвожування.

Були знайдені та вивчені режими, що забезпечують підвищення ефективності вилучення тонких частинок в надрештний продукт з максимальним зниженням вологості надрештної. При переробці сировини вузького спектра крупності застосовувалися режими з «одиночними ударами», а для широкого – «двійні» [10].

Для інтенсифікації розриву сировини та посилення впливу на просіваючу поверхню використовувалися дезінтегруючі елементи (ДЭ). Дослідження [10] показали, яку важливу роль виконують ДЭ. В тих випадках, коли «одиночні» та «двійні удари» не забезпечують потрібних показників розділення та обезвожування через перешкоди цьому процесу сил поверхневого натягнення, їх перемагають за рахунок динамічного впливу шляхом передачі продуктам грохочення та просіваючої поверхні нормальних та зсувних імпульсів. Імпульси виконують дезінтегруючими елементами. При створенні збурень ДЭ ударяють продукт грохочення, видавляючи з нього воду. За рахунок нанесення продукту грохочення та просіваючої поверхні в локальних областях нормальних імпульсів посилюються коливання просіваючої поверхні та продукту на ній, інтенсифікують процес розділення та обезвожування. Використовувалися ДЭ, виготовлені з різних матеріалів та мають різні розміри, форму та удільну насипну щільність (УНП) (масу на одиницю площі просіваючої поверхності, $\text{кг}/\text{м}^2$).

В результаті досліджень встановлено, що застосування нового способу віброударного грохочення при переробці сировини вузького спектра круп-

ності $+0-0,2$ мм забезпечує вилучення класу $0-0,1$ мм в надрештний продукт до 82-85 % при зниженні вологості надрештної до 4 %. При переробці сировини широкого спектра крупності $+0-10,0$ мм вилучення класу $0-0,1$ мм в надрештний продукт становить 70-80 % при вологості надрештної 7-10 % [10].

Отримані результати представляють практичний інтерес для перероблюючих підприємств. Однак, для вибору раціональних параметрів процесу видалення рідини, що знаходиться в капілярно-стичкових мостиках між частинками, та відділення тонких та надтонких класів необхідно мати можливість їх розрахунку.

Метою статті – створення та експлуатація грохотів потребує більшого обсягу трудомістких натурних експериментів, сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки робить доцільним перехід до чисельних експериментів на математичній моделі [11, 12].

Ні одна з теорій грохочення не є універсальною або хоча б загальноприйнятною. Ряд важливих особливостей процесу залишаються не дослідженими. К таким в першу чергу слід віднести – як змінюються показники розділення з зміною вологості сировини, тобто взаємне вплив класифікації по крупності та обезвожування. Відсутність цих закономірностей зменшує подальше розвиток теорії грохочення та підвищення ефективності розділення по крупності з обезвожуванням. В результаті відбувається втрата інформації про зв'язки та відносини між складовими процесу, що не дозволяє синтезувати раціональний процес обезвожування та розділення по крупності.

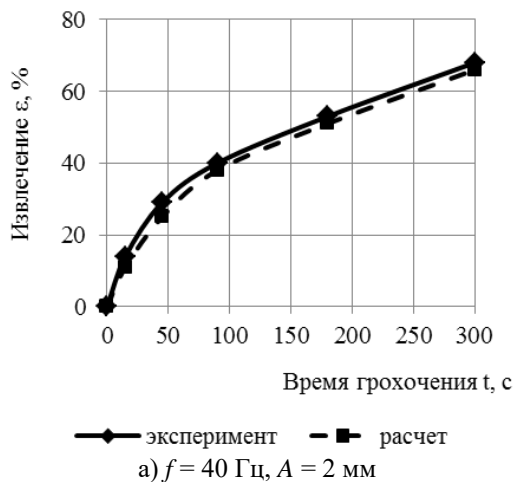
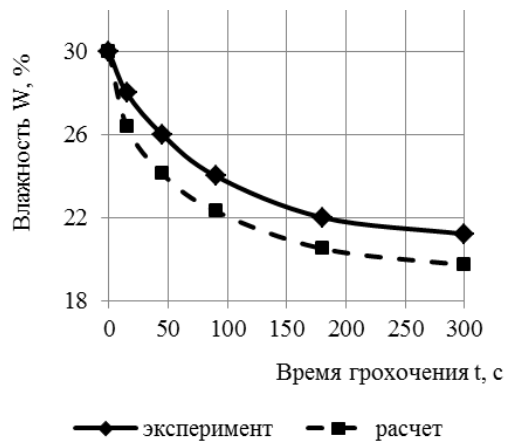
В ІГТМ НАН України була створена математична модель кінетики грохочення з обезвожуванням, комплексно враховуюча початкові розподіли частинки та рідини по висоті шару мінеральної сировини, сегрегацію, перемішування, просівання, особливості вібротранспортування (швидкість, кратність та кількість падіння за період вібротранспортування) та зміну висоти шару. Новизна моделі полягає в урахуванні взаємного впливу класифікації по крупності та обезвожування [12].

В ній математично описано процес просівання частинки заданої крупності та видалення рідини, що знаходиться в капілярно-стичкових мостиках між частинками. Це досягнуто завдяки моделюванню переходу частинки та рідини по висоті шару дискретним марковським процесом з дискретними станами. На основі розрахунку визначаються ймовірності переходу частинки та рідини з одного елементарного шару в інший, з дезінтегруючих елементів – в елементарні шари, з елементарних шарів – на дезінтегруючі елементи; проходження частинки та рідини через отвори просіваючої поверхні [12].

Разом з тим не були проведені чисельні експерименти, які підтверджують, що математична модель адекватно описує експериментальні дані. Тому метою даної роботи є вивчення кінетики розділення по крупно-

сти с обезвоживанием 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 «Кинетика», позволившая рассчитать показатели разделения по крупности и обезвоживания для минерального сырья узкого и широкого спектра крупности с учетом его свойств при различных параметрах вибровозбуждения. Результаты исследований показаны на рис. 1-6.



На рис. 1 приведены экспериментальные и расчетные зависимости изменения влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,63$ мм в подрешетный продукт в зависимости от времени t обезвоживания, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при переработке 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 %).

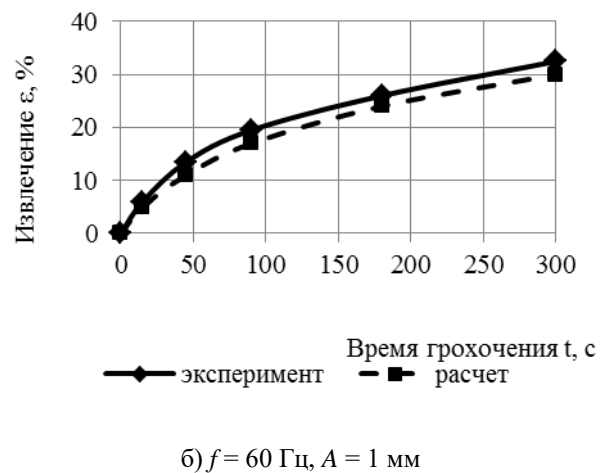
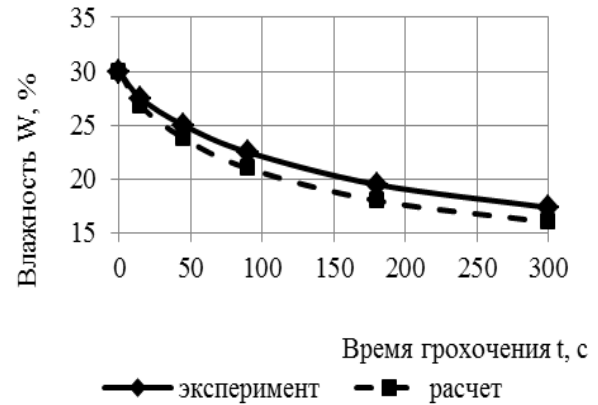


Рисунок 1 – Зависимость влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,63$ мм в подрешетный продукт от времени t обезвоживания, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью $+0,4-1,0$ мм с помощью «одиночных ударов»

Экспериментальные и расчетные зависимости изменения влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,63$ мм от времени t обезвоживания, 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. на рис. 2.

На рис. 3 показаны экспериментальные и расчетные зависимости изменения влажности W и извлечения ϵ класса $-0,2$ мм в подрешетный продукт в зависимости от времени t обезвоживания, частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при переработке материала крупностью $+0-0,4$ мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ (в соотношении мелкий/крупный от $1/1$ до $1/4$, 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 %).

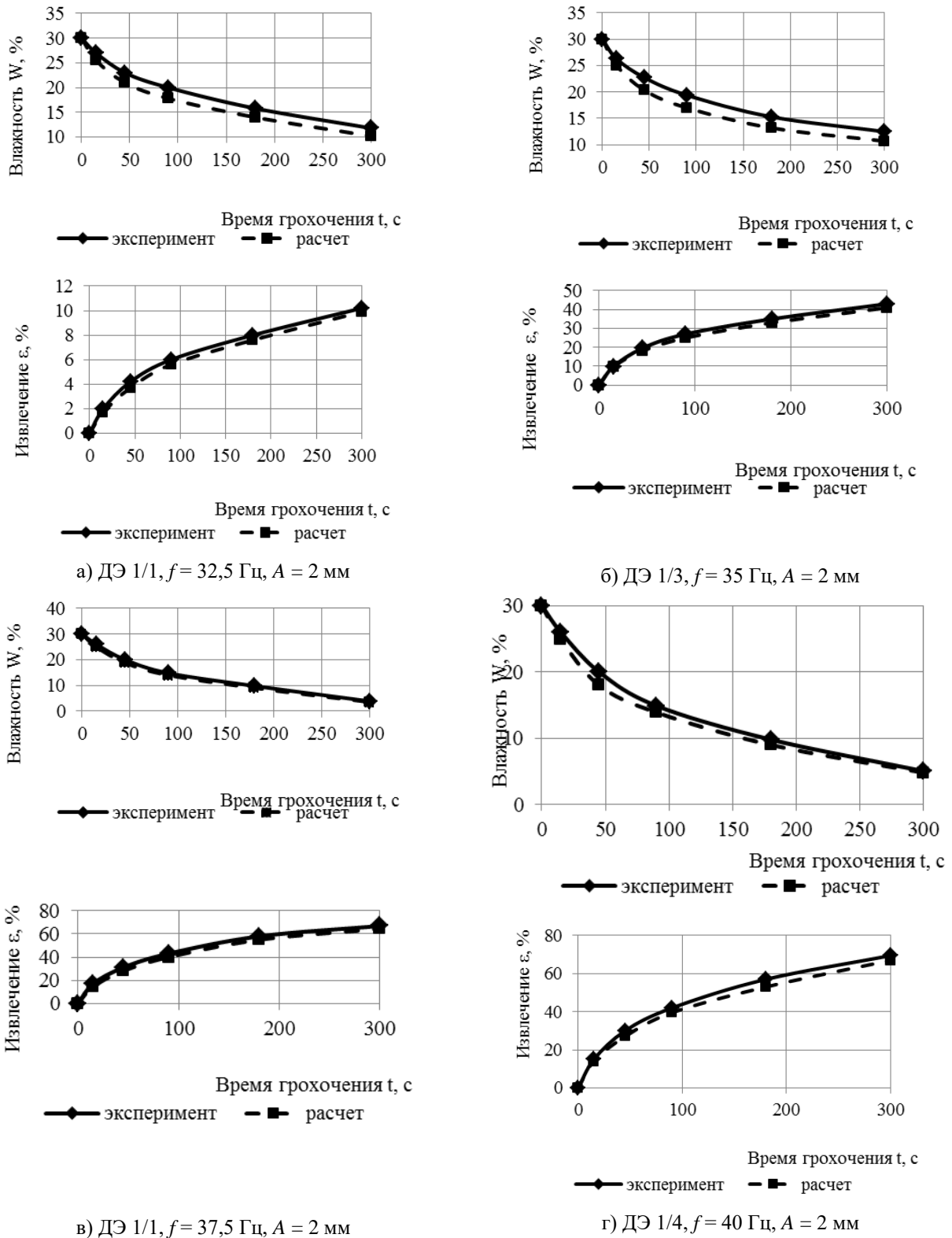
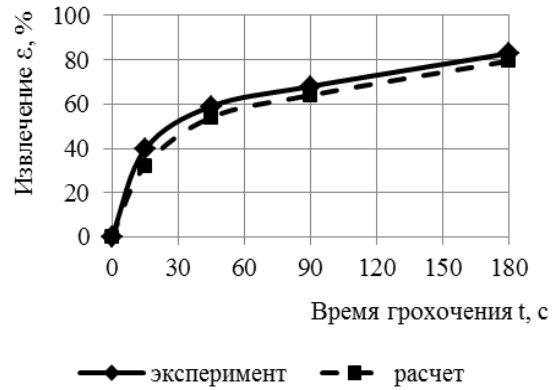
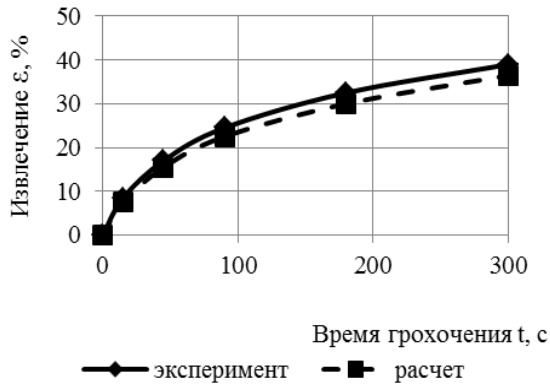
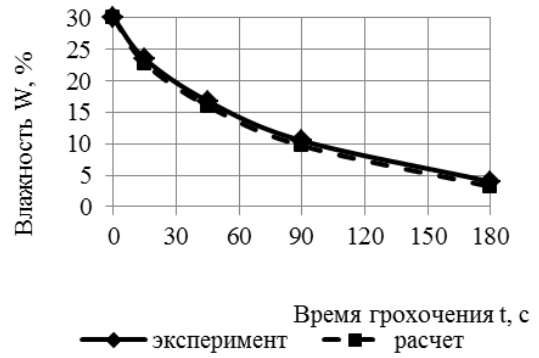
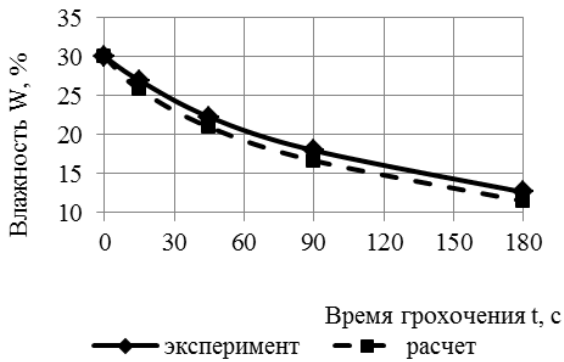
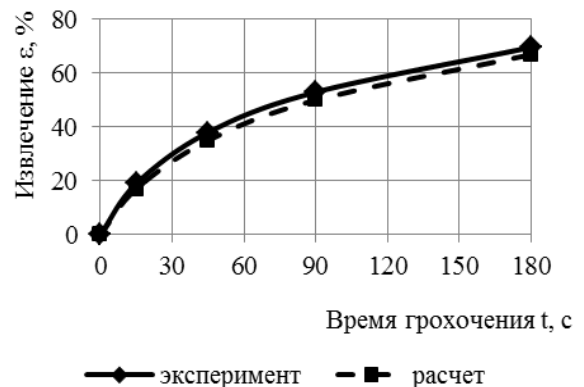
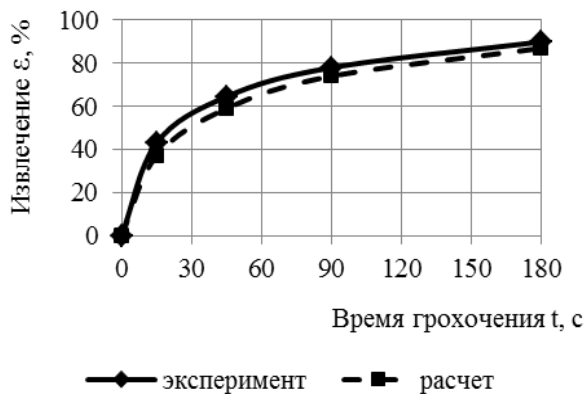
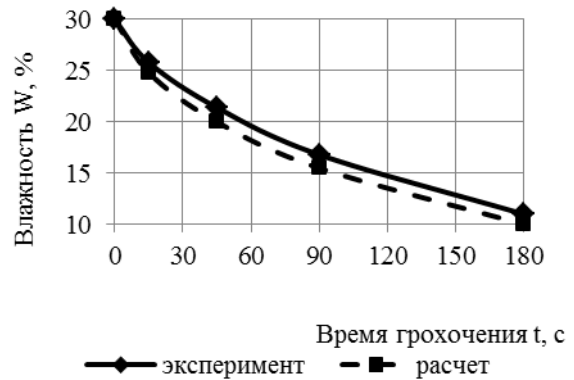
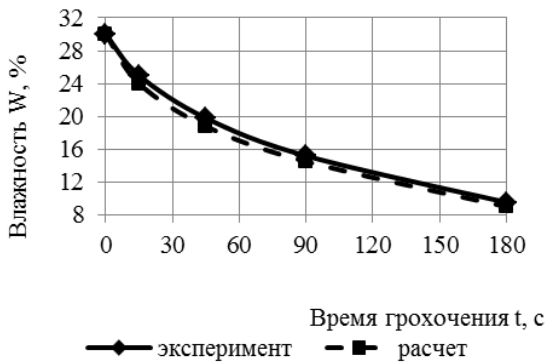


Рисунок 2 – Зависимость влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,63$ мм в подрешетный продукт от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала крупностью $+0,4-1,0$ мм с помощью «одиночных ударов» и ДЭ



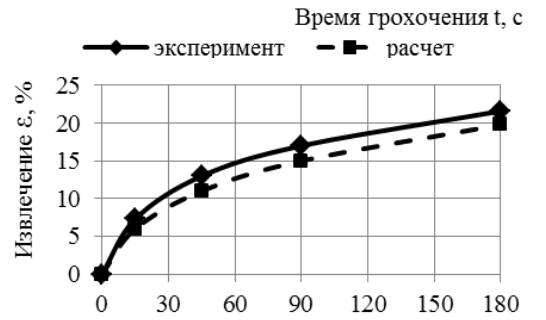
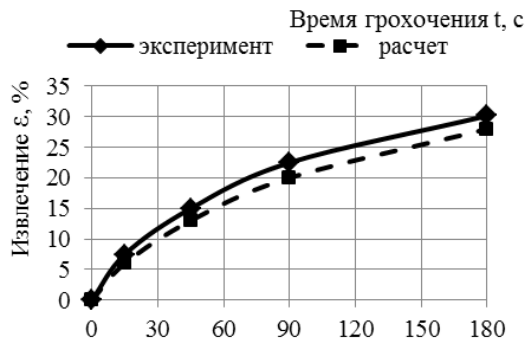
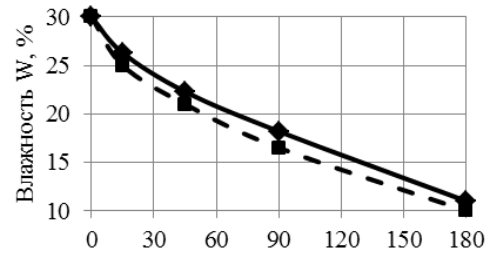
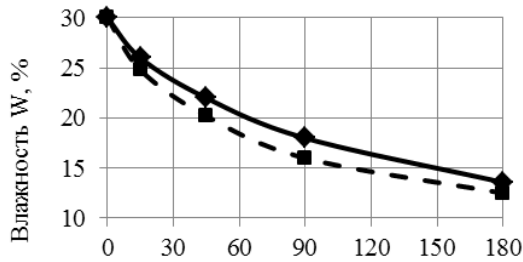
а) ДЭ – крупные частицы 1/1,
 $f = 60$ Гц, $A = 1$ мм

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



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

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



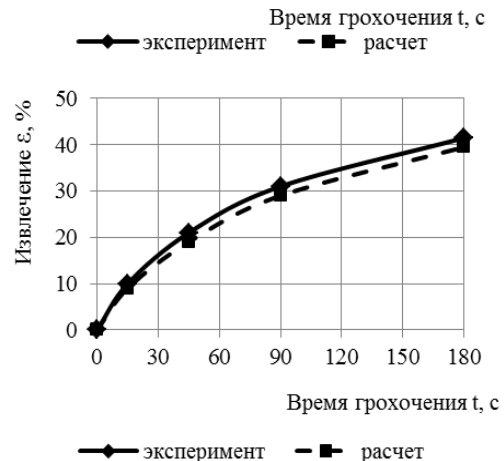
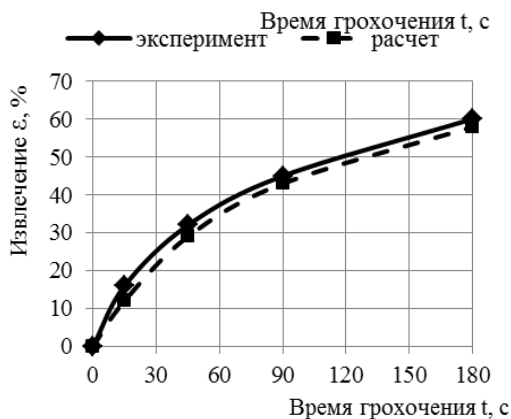
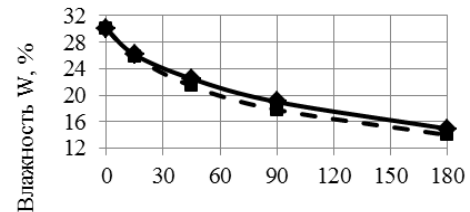
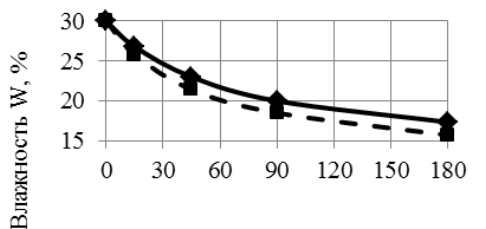
д) ДЭ – шары, резиновые, $R = 25$ мм, УНП=8,8 кг/м², $f = 20$ Гц, $A = 3$ мм

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 и извлечения ϵ класса $-0,2$ мм в подрешетный продукт 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

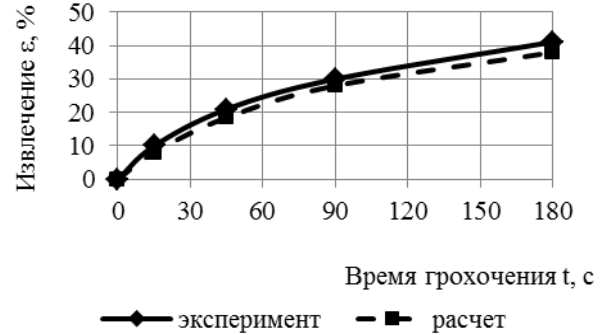
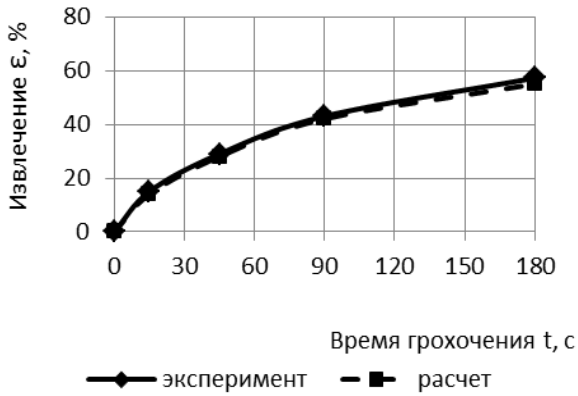
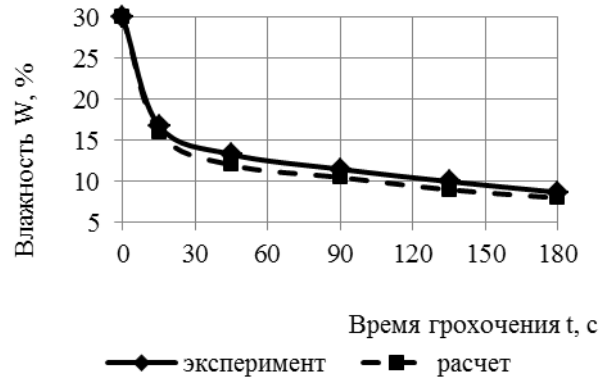
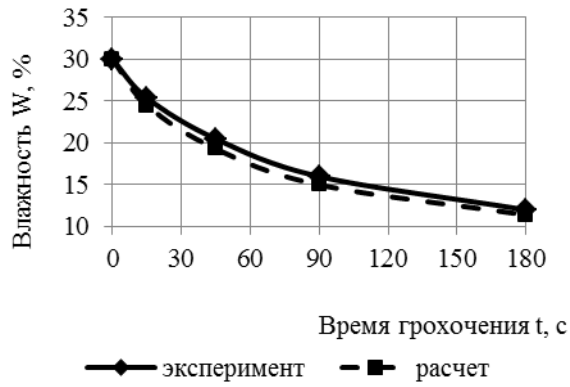
Экспериментальные и расчетные зависимости изменения влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,1$ мм в подрешетный продукт от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании тонких материалов крупностью $+0-10$ мм с помощью «оди-

ночных, 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

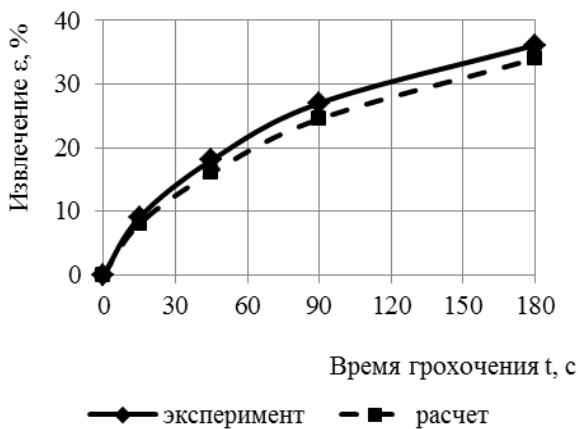
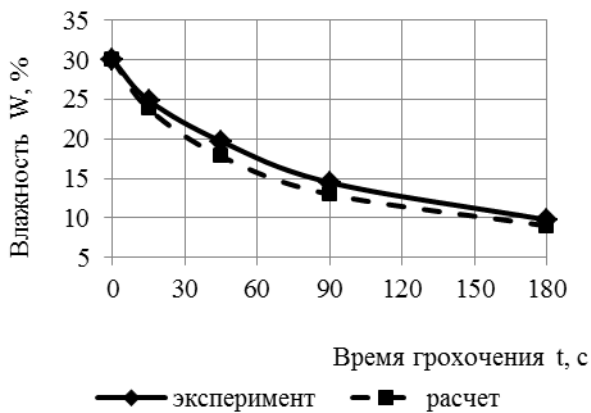
б) «одиночные удары», ДЭ – шары, руда, 2 слоя, $f = 30$ Гц, $A = 7$ мм



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

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

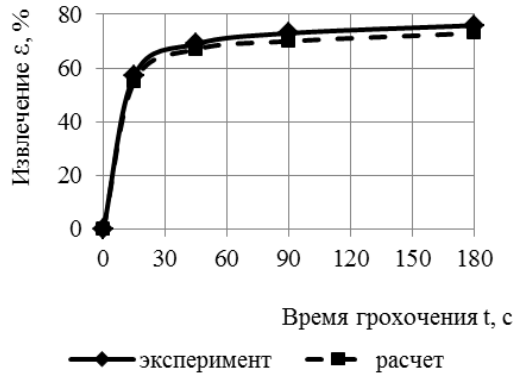
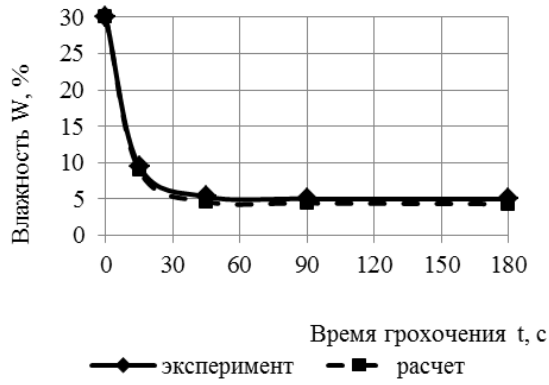
Рисунок 4 – Зависимость влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,1$ мм в подрешетный продукт от времени t обезвоживания и частоты f и амплитуды A вибровозбуждения при обезвоживании материала $+0-10$ мм с помощью «одиночных», «двойных ударов» и различных ДЭ



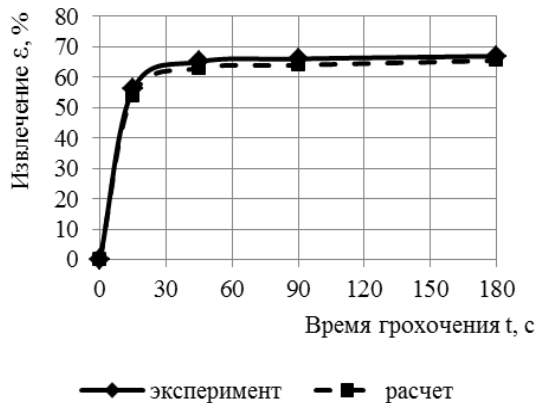
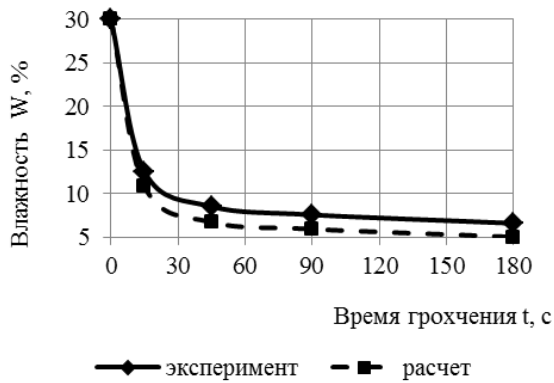
г) «двойные удары», ДЭ – шары, руда, 2 слоя, $f = 20$ Гц, $A = 9$ мм

На рис. 5 показаны экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,1$ мм в подрешетный продукт 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).

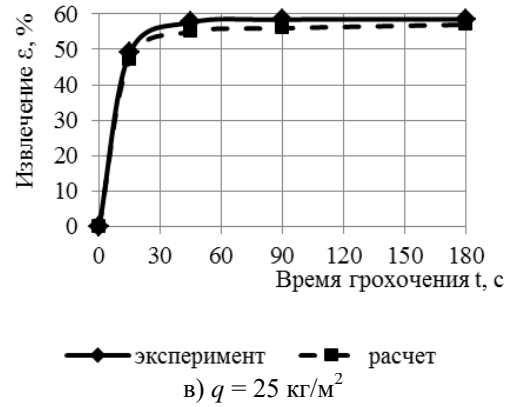
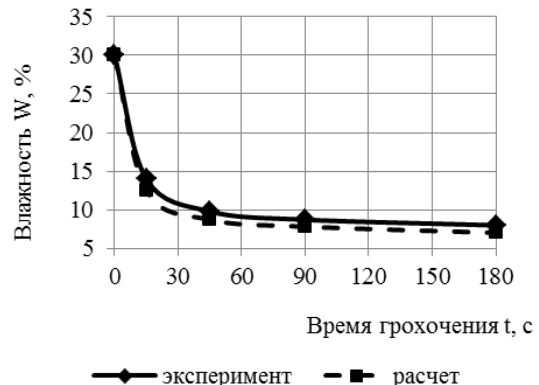
На рис. 6 показаны экспериментальные и расчетные зависимости влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,1$ мм в подрешетный продукт от времени t грохочения и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании угольного шлама крупностью $+0-10$ мм с помощью «двойных ударов» и ДЭ (металлические 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).



а) $q = 6,25 \text{ кг/м}^2$

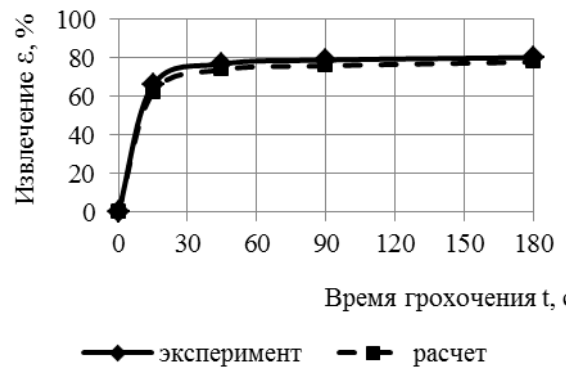
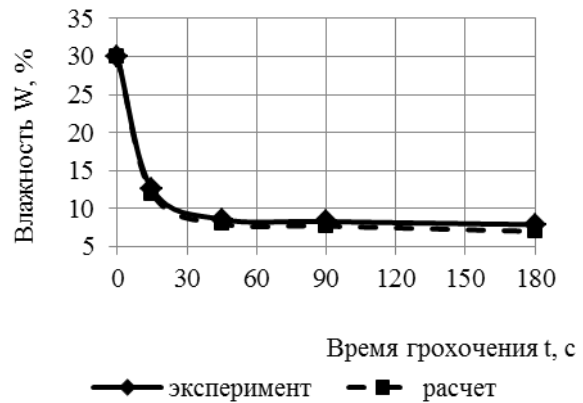


б) $q = 12,5 \text{ кг/м}^2$



в) $q = 25 \text{ кг/м}^2$

Рисунок 5 – Зависимости влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,1 \text{ мм}$ в подрешетный продукт от времени t обезвоживания и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании гранитного отсева



а) $q = 6,25 \text{ кг/м}^2$

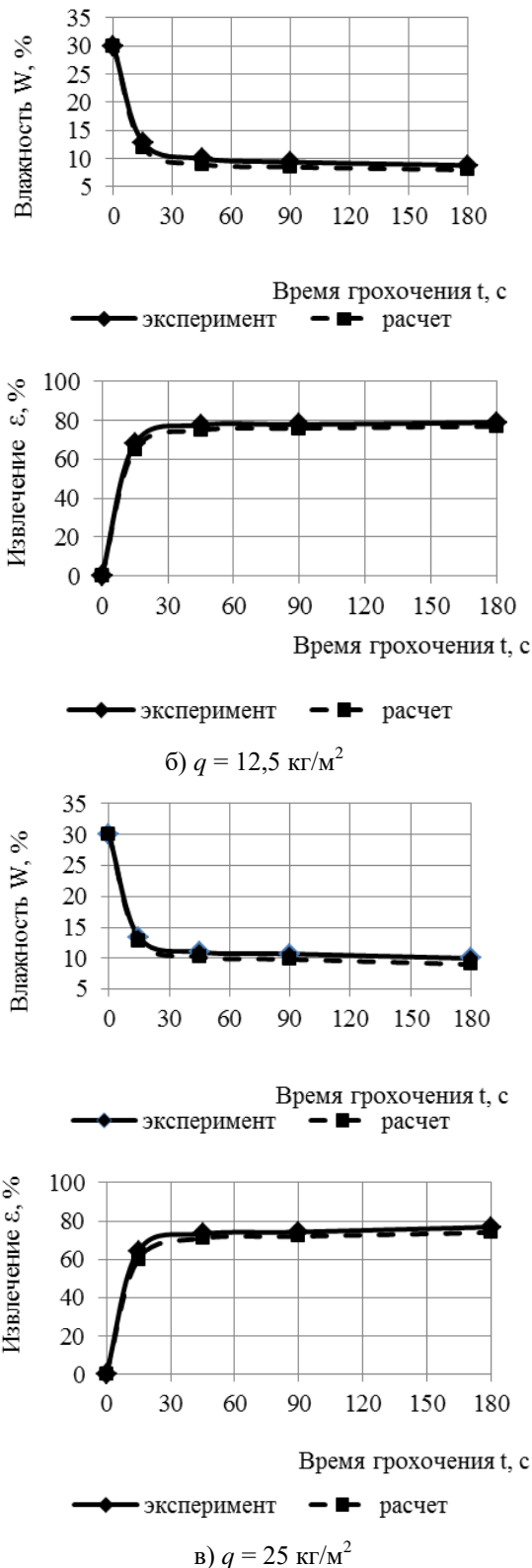


Рисунок 6 – Зависимости влажности W надрешетного продукта и извлечения ϵ класса $-0,1 \text{ мм}$ в подрешетный продукт от времени t обезвоживания и удельных нагрузок по питанию q при обезвоживании угольного шлама

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 расчета технологических показателей грохочения и обезвоживания при переработке влажного техногенного сырья», которая позволяет определять технологические показатели грохочения и обезвоживания: извлечение частиц заданной крупности в подрешетный продукт, производительность по подрешетному продукту, массу надрешетного продукта, массу жидкости в надрешетном продукте, влажность надрешетного продукта. Эффективность грохочения оценивается по извлечению частиц заданной крупности в подрешетный продукт и влажности надрешетного продукта.

Методика внедрена для использования на горно-обогатительных предприятиях и карьерах для расчета рациональных режимных и технологических параметров процесса грохочения с обезвоживанием минерального сырья при виброударном грохочении и увеличения его эффективности, что позволит повысить качество товарного продукта и, как следствие, прибыль горнодобывающих и перерабатывающих предприятий.

ВЫВОДЫ. 1. Для эффективного разделения по крупности и обезвоживания требуется индивидуальный подход в зависимости от свойств перерабатываемого сырья и грансостава в каждом конкретном случае.

2. Для повышения эффективности грохочения с обезвоживанием 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 капиллярно-стыковочных мостиках между частицами, и отделения тонких и сверхтонких классов необходимо иметь возможность их вычисления.

4. Математическая модель грохочения с обезвоживанием описывает кинетику этого процесса. В ней математически описан процесс просеивания частиц заданной крупности и удаления жидкости, находящейся в капиллярно-стыковочных мостиках между частицами. Это достигнуто благодаря моделированию перехода частиц и жидкости по высоте слоя дискретным марковским процессом с дискретными состояниями. На основании расчета определяются вероятности переходов частиц и жидкости из одного элементарного слоя в другой, с дезинтегрирующих элементов – в элементарные слои, из элементарных слоев – на дезинтегрирующие элементы; прохождения частиц и жидкости через отверстия просеивающей поверхности.

5. Изучение кинетики грохочения с обезвоживанием при виброударном грохочении на математиче-

ской 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 грохочения с обезвоживанием рассчитать и выбрать рациональные параметры процесса разделения по крупности и удаления жидкости.

7. Создана «Методика расчета технологических показателей грохочения и обезвоживания при переработке влажного техногенного сырья», которая внедрена на горно-обогатительных предприятиях и карьерах. Она позволяет рассчитать рациональные режимные и технологические параметры процесса разделения по крупности и 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 отверстиях просеивающей поверхности грохота *Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины*. 2011. Вып. 92. С. 19–24.

4. Надутый В. П., Лапшин Е. С. Кинетика вибрационного грохочения влажного сырья. *Вібрації та технологія*. 2008. № 2(51). С. 25–29.

5. Искович-Лотоцкий Р. Д., Иванчук Я. В., Кобилянський Є. 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. Вип. 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 увлажнения стохастически вращающегося шара при виброударном воздействии. *Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов ИГТМ НАН Украины*. 2011. Вып. 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 цепью 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 грохочения и обезвоживания минерального сырья. *Науково-технічний збірник Збагачення корисних копалин Національного гірничого університету України*. 2012. Вип. 51(92). С. 55–64.

NUMERICAL EXPERIMENTS FOR STUDYING THE KINETICS OF SCREENING WITH 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 kinetics of separation by size with dehydration during vibro-impact screening was studied 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, first and foremost, how the separation indices change with changes in the moisture content of the raw materials, mutual influence of size classification and dehydration. A mathematical model of screening kinetics with dehydration was created at the IGTM of the National Acade-

my of Sciences of Ukraine. 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 sifting fine particles and removing the liquid in the capillary-docking bridges between the particles. This is achieved by simulating the transition of a fluid along the layer height using a discrete Markov process with discrete states. The mathematical model using numerical experiments studied the kinetics of separation by size and dehydration during vibro-impact screening for materials of narrow and broad spectra with different modes of vibro-impact screening. It was established that the experimental and calculated data differ by no more than 15%, that is, the formulas of a mathematical model with a confidence level of 0.95 adequately describe the results of experiments. **Practical value.** The results obtained make it possible to calculate and select rational parameters of the process of classification and removal of liquid using a mathematical model of the kinetics of particle separation by size with simultaneous dehydration. **Conclusions.** A method has been created for calculating the technological indicators of screening and dehydration during the processing of wet technogenic raw materials, which allows calculating rational regime and technological parameters of the screening process with dehydration during vibro-impact screening and increasing its efficiency, which will improve the quality of a commercial product and, as a result, the profit of mining and processing enterprises.

Key words: numerical experiments, kinetics, vibro-impact screening, separation by size, dehydration

REFERENCES

1. Meinel, A. (1999), Zu den Grundlagen der Klassierung sieschwieriger Materialien, *Aufbereitungstechnik*, 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, Mezhdomestvennyy 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. Mezhdomestvennyy 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-tekhnicheskiy sbornik Krivorozhskogo tekhnicheskogo universiteta*, no. 73, pp.65-68.
12. Lapshin, E. S., Shevchenko, A. I. (2012), Mathematical modeling of the kinetics of screening and dehydration of mineral raw materials, *Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk Zbahachennya korysnykh kopalyn Natsional'noho hirnychoho universytetu Ukrainy*, issue 51 (92), pp. 55–64.

Стаття надійшла 24.01.2019.