

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ МЕЛКОЙ ФРАКЦИИ В СЛОЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА ПОВЕРХНОСТИ СИТА ВИБРОГРОХОТА

ОГУРЦОВ В.А., ОГУРЦОВ А.В., кандидаты техн. наук, ГАЛИЕВА А.Ф., инж.

Предложена математическая модель процесса классификации бинарной смеси сыпучего материала на виброгрохоте при свободном проникновении проходových частиц через отверстия сита. Целью моделирования является описание распределения мелких частиц по высоте грохотимого слоя в различные моменты времени.

Ключевые слова: грохочение, распределение концентрации, диффузия, сегрегация.

INVESTIGATION OF FINE PARTICLES FRACTION DISTRIBUTION ABOVE A VIBRATION SCREEN SURFACE

V.A. OGURTZOV, A.V. OGURTZOV, Candidates of Engineering, A.F. GALIEVA, Engineer

A mathematical model of the process of classification of a binary mixture of fractions of granular material at a vibration screen for free penetration of fine particles through openings in the screen is proposed. The objective of the modeling is description of fine particles concentration distribution over the height of the material layer to be classified at different moments of time.

Key words: screening, concentration distribution, diffusion, segregation.

Грохочение относится к процессам механической классификации полидисперсной смеси частиц на просеивающем сите на крупную и мелкую фракции и широко распространено в строительной, горнорудной и других отраслях промышленности. От эффективности грохочения в значительной степени зависят потребительские характеристики продуктов разделения, а также единичная производительность грохотов. При грохочении частиц достаточно крупного размера (с низкой удельной поверхностью) слой материала на грохоте может составлять одну или несколько частиц среднего размера. Все частицы находятся в непосредственной близости от разделяющего сита, и эффективность прохождения сквозь него проходových частиц зависит только от соотношения их размера и размера отверстий сита. При разделении более мелких частиц (с высокой удельной поверхностью) распределение материала тонким слоем по просеивающей поверхности уже неприемлемо из-за большой требуемой поверхности грохота, и материал приходится подавать на грохот относительно толстым слоем. При этом проходовой частице требуется некоторое время, чтобы достичь просеивающей поверхности, и это время может стать определяющим в формировании кинетики извлечения проходových частиц. Кроме того, чтобы движение частиц к просеивающей поверхности состоялось, необходимо обеспечить их подвижность в слое, то есть привести материал в состояние псевдооживления, для чего часто используют вибровоздействие на материал со стороны просеивающей поверхности – виброгрохочение. Таким образом, физическим содержанием этого процесса является случайная миграция

частиц в слое виброоживленного материала с возможностью выхода проходových частиц через границу слоя, примыкающую к просеивающей поверхности. Полный выход всех проходových частиц через эту границу и определяет кинетику грохочения.

Предметом наиболее часто встречающихся исследований является кинетика процесса грохочения, то есть зависимость степени извлечения частиц мелких фракций из сыпучего слоя, находящегося на поверхности вибросита, в подситовой продукт от времени классификации. Известные математические модели [1 и др.], описывающие кинетику процесса, рассматривают упрощенные ситуации. Так, при виброклассификации крупных и мелких частиц одной плотности процесс сегрегации не учитывается. При этом расчетные и экспериментальные кинетики грохочения совпадают, так как являются интегральными характеристиками процесса. Однако если рассматривать процесс движения ансамбля мелких частиц по высоте виброоживленного сыпучего слоя, то принимаемые упрощения существенно исказят физическую картину процесса. Поэтому необходимо создание математической модели, описывающей поведение мелких частиц в слое сыпучего материала, подверженного вибровоздействию.

Согласно гипотезе Е.А. Непомнящего, представим движение мелких частиц по высоте виброоживленного сыпучего слоя несимметричным одномерным марковским процессом, учитывающим диффузионные и сегрегационные механизмы движения (рис. 1). Плотность распределения вероятности положения частицы $\rho(x,t)$, считаемую адекватной относитель-

ной концентрации частиц i -фракции в слое сыпучего материала, можно определить из уравнения Колмогорова-Фоккера-Планка

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} + C \frac{\partial \rho}{\partial x}, \quad (1)$$

где D – коэффициент макродиффузии; C – скорость сегрегации, направленная против оси x . Будем считать стохастические коэффициенты постоянными в течение всего времени процесса и соответствующими частицам i -й фракции сыпучего материала с заданными физико-механическими свойствами и условиям виброоживления сыпучего слоя.

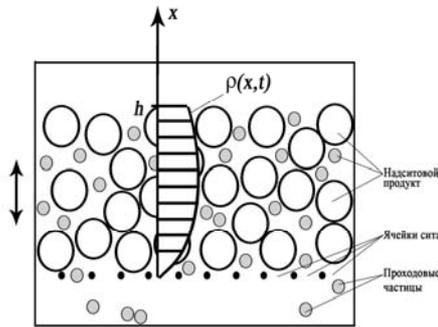


Рис. 1. Расчетная схема процесса

Уравнение (1) должно удовлетворять граничным и начальным условиям:

$$\rho(0, t) = 0; \quad (2)$$

$$D \frac{\partial \rho}{\partial x} + C \rho \Big|_{x=h} = 0; \quad (3)$$

$$\rho(x, 0) = 1/h, \quad (4)$$

где h – высота слоя, которую считаем постоянной при условии, что извлечение мелких частиц не окажет существенного влияния на его высоту.

Условие (2) соответствует модели «поглощающего экрана» и выполняется, если размер проходных частиц как минимум вдвое меньше размера ячеек сита. Условие (3) учитывает отсутствие потока частиц через верхнюю границу слоя. Условие (4) соответствует равномерному распределению проходных частиц по высоте слоя в начальный момент времени. Решая уравнение (1) с учетом условий (2) и (3) методом Фурье, получим распределение нормированной плотности вероятности положения частицы:

$$\begin{aligned} \bar{\rho}(\bar{x}, \bar{\tau}) &= \frac{\rho(x, t)}{\rho(x, 0)} = \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(\psi_k \bar{x}) \exp \left[-\left(\psi_k^2 + \frac{S^2}{4}\right) \bar{\tau} - \frac{S}{2} \bar{x} \right], \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{x} = x/h$ – безразмерная координата; $\bar{\tau} = Dt/h^2$ – безразмерное время (аналог кри-

терию Фурье); $S = Ch/D$ – безразмерный диффузионный критерий Пекле; ψ_k – корни трансцендентного уравнения

$$tg \psi_k = -2\psi_k / S; \quad (6)$$

b_k – совокупность безразмерных коэффициентов, определяемых выражением

$$b_k = \frac{4 \sin^2 \psi_k [1 - 2 \cos \psi_k \exp(-\psi_k C t g \psi_k)]}{2\psi_k - \sin(2\psi_k)}. \quad (7)$$

Уравнение кинетики грохочения, то есть зависимость степени извлечения ε мелких частиц в подрешетный продукт от времени грохочения, рассчитывается по выражению

$$\varepsilon = 1 - \int_0^1 \bar{\rho}(\bar{x}, t) d\bar{x} = 1 - \sum_{k=1}^{\infty} b_k \frac{\sin^2 \psi_k}{\psi_k} \exp \left[-\left(\psi_k^2 + \frac{S^2}{4}\right) \bar{\tau} \right]. \quad (8)$$

Для получения опытных данных распределения относительной концентрации проходных частиц по высоте сыпучего слоя в различные моменты времени была создана экспериментальная установка, позволившая реализовать плоский вариант расчетной схемы процесса виброклассификации бинарной сыпучей смеси [2].

На рис. 2 показаны осредненные опытные данные и расчетные кривые кинетики классификации, по которым была проведена идентификация, позволившая определить стохастические коэффициенты, учитывающие диффузионный и сегрегационный процессы (кривая 1) и чисто диффузионные процессы (кривая 2).

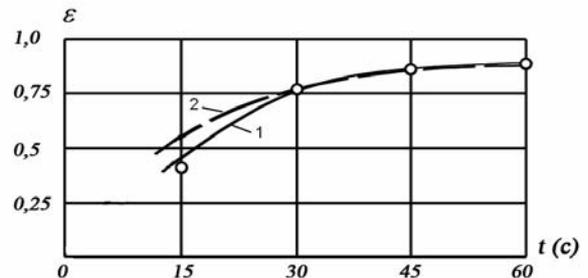


Рис. 2. Кинетика процесса виброгрохочения (○ – опытные точки)

Анализ полученных данных (рис. 2) показывает, что расхождение между расчетными кривыми и опытными данными не очень велико. Если сравнить опытные данные и расчетные кривые распределения относительной концентрации проходных частиц по высоте грохотимого слоя в различные моменты времени (рис. 3), то расхождение результатов расчетов по этим двум моделям существенно.

Кривая 1, учитывающая диффузионный и сегрегационный процессы, более точно отражает истинную картину распределения мел-

ких частиц по высоте слоя, чем кривая 2, учитывая лишь диффузионный процесс.

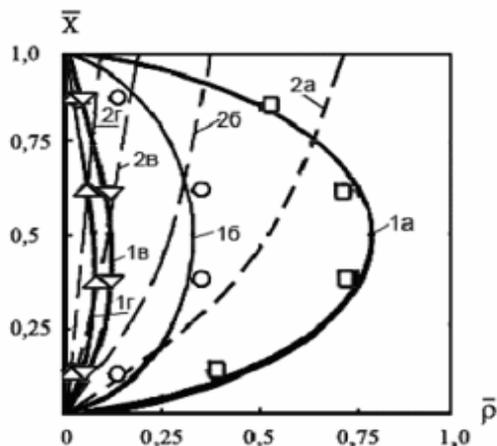


Рис. 3. Распределение мелких частиц по высоте виброожуженного слоя при разном времени грохочения: — — — расчетные кривые, учитывающие диффузионный и сегрегационный механизмы процесса (1а – 15 с, 1б – 30 с, 1в – 45 с, 1г – 60 с); - - - - расчетные кривые, учитывающие диффузионный механизм процесса (2а – 15 с, 2б – 30 с, 2в – 45 с, 2г – 60 с); опытные данные (□ – 15 с, ○ – 30 с, ▽ – 45 с, △ – 60 с)

Огурцов Валерий Альбертович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики,
e-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

Огурцов Антон Валерьевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики,
телефон (4932) 26-97-45.

Галиева Альфия Фазиповна,
Ивановский государственный архитектурно-строительный университет,
ассистент кафедры гидравлики,
e-mail: yelinnn@mail.ru

Результаты экспериментов, полученные на данной установке, носят демонстрационный характер. Однако они позволили качественно оценить картину распределения проходových частиц по высоте виброожуженного слоя и доказать адекватность предлагаемой модели изучаемому процессу не по интегральным характеристикам, а по локальным параметрам. Эта модель легла в основу метода расчета классификации сыпучих материалов на виброгрохотах [3], который учитывает полидисперсный фракционный состав подситового продукта, переменную высоту грохотимого слоя и условия проникновения частиц различной крупности через отверстия сита.

Список литературы

1. Непомнящий Е.А. // Теоретические основы химической технологии. – 1973. – Т.7. – № 5. – С. 754–763.
2. Огурцов В.А. // Строительные материалы. – 2007. – № 11. – С. 38–39.
3. Федосов С.В., Мизонов В.Е., Огурцов В.А. // Строительные материалы. – 2007. – № 11. – С.26–28.