

**КИНЕТИКА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ
МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СИТОВЫХ ТКАНЫХ ПОЛОТЕН**

**KINETICS OF FINE GRANULAR MATERIALS
SCREENING WITH APPLICATION OF WOVEN SCREEN CLOTH**

В.А. ОГУРЦОВ, А.П. АЛЕШИНА, А.В. ОГУРЦОВ, Е.Р. БРИК
V.A. OGURTZOV, A.P. ALESHINA, A.V. OGURTZOV, E.R. BRIK

(Ивановский государственный политехнический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru, annaricci89@mail.ru

В статье рассмотрена математическая модель процесса фракционирования мелкодисперсных сыпучих материалов на вибрирующем ситовом тканом полотне, выполненном переплетением тонких нитей из шелковых или синтетических тонких нитей. Модель основана на теории цепей Маркова. Доказано, что эффективность процесса отсева зависит от материала нитей ситовой ткани, формы и размера ячеек просеивающего полотна.

A mathematical model of screening of fine granular materials on vibrating woven screen cloth made by weaving of fine silk or synthetic threads is proposed. The model is based on the theory of Markov chains. It is proved that the screening process efficiency depends on the material of threads the screen cloth is made of, on the shape and size of openings in the screen.

Ключевые слова: ситовое тканое полотно, фракционирование, мелкодисперсный сыпучий материал, цепь Маркова, эффективность отсева.

Keywords: woven screen cloth, screening, fine granular material, Markov chain, screening efficiency.

Массу сыпучих частиц разделяют на фракции с помощью сит, полученных переплетением тонких нитей из натурального шелка или синтетических материалов [1], [2]. Чтобы движение частиц

к просеивающей поверхности состоялось, необходимо обеспечить их подвижность в слое, то есть привести сыпучую среду в состояние псевдооживления, для чего часто используют вибровоздействие на нее со

стороны просеивающего полотна виброклассификатора. Разделение сыпучей среды на крупную и мелкую фракции происходит на поверхности сита, через ячейки которого проходят мелкие частицы, а крупные задерживаются на нем. При рассеиве мелких частиц с высокой удельной поверхностью распределение сыпучего материала тонким слоем по просеивающему полотну неприемлемо из-за большой требуемой поверхности, и материал приходится подавать на сито относительно толстым слоем. При этом проходовой частице требуется некоторое время, чтобы достичь просеивающей поверхности. Таким образом, физическим содержанием этого процесса является случайная миграция частиц в слое виброоживленного материала с возможностью выхода проходových частиц через нижнюю границу слоя в подситовое пространство. Полный выход всех проходových частиц через эту границу и определяет кинетику фракционирования.

Подход к математическому моделированию процесса основан на теории цепей Маркова, как наиболее естественного инструмента для описания случайной миграции частиц внутри слоя сыпучего материала. Базовые положения этой теории к моделированию процессов в дисперсных средах изложены в работах [3], [4].

Расчетная схема процесса и его ячеечное представление показаны на рис. 1-а, б (рис. 1 – расчетная схема процесса (а), его ячеечная модель (б), пример распределения вероятностей состояний (в) и схема выделения переходных вероятностей (г)). Весь слой материала, содержащего крупные и мелкие частицы, разбит на m подслоев конечного размера. Толщина подслоя Δx должна быть больше размера самой

крупной частицы, но меньше полной толщины слоя. Вероятности S_i того, что в данный момент времени частица окажется в i -й ячейке, различны (рис. 1-в). Их полный набор образует вектор состояния ячеек цепи:

$$S = [S_1 \ S_2 \ \dots \ S_m]^T, \quad (1)$$

где индекс T означает транспонирование вектора.

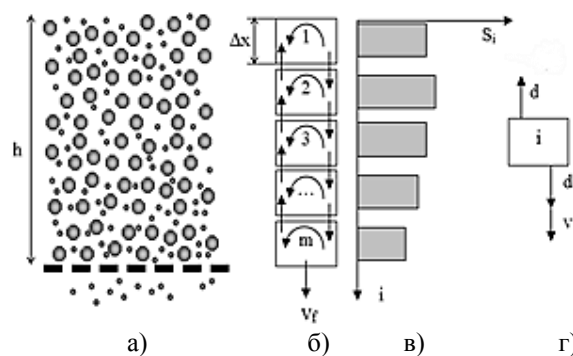


Рис. 1

Процесс протекает в дискретные моменты времени $t_k = (k-1)\Delta t$, где Δt – продолжительность, а k – номер временного перехода. В течение времени одного перехода частицы могут перейти из данной ячейки в соседние ячейки, вверх или вниз, или остаться в ней. Доля частиц, переносимых из ячейки вниз, больше, чем доля частиц, переносимых вверх. Это вызвано сегрегацией частиц мелкой фракции к поверхности сита (рис. 1-в).

Эволюция состояния цепи описывается матричным рекуррентным равенством:

$$S^{k+1} = PS^k, \quad (2)$$

где P – матрица переходных вероятностей, которая имеет вид:

$$P = \begin{bmatrix} 1-d-v & d & 0 & \dots & 0 & 0 \\ d+v & 1-2d-v & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & d+v & \dots & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & 1-2d-v & d \\ 0 & 0 & 0 & 0 & d+v & 1-d \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где d – безразмерный коэффициент макро-диффузии, а v – безразмерная скорость сегрегации.

Выход мелкой фракции в подрешетный продукт может быть описан за пределами матрицы P следующим образом [5], [6]. Пусть на каждом временном переходе после воздействия на вектор состояния S^k матрицей P из нижней ячейки цепи выводится доля v_f содержащейся в ней мелкой фракции, то есть ее выход составляет:

$$q^{k+1} = S_m^{k+1} v_f, \quad (4)$$

а оставшаяся в ней доля мелкой фракции равна:

$$S_m^{k+1} := S_m^{k+1} (1 - v_f), \quad (5)$$

где $:=$ – оператор присваивания.

Кинетика извлечения мелкой фракции в подситовое пространство рассчитывается как

$$\varepsilon(k+1) = \sum_{k=1}^{k+1} q(k+1). \quad (6)$$

Пример расчетной эволюции распределения частиц мелкой фракции в ячейках слоя ($d=0,2$; $v=0,2$; $v_f=0,2$) показан на рис. 2.

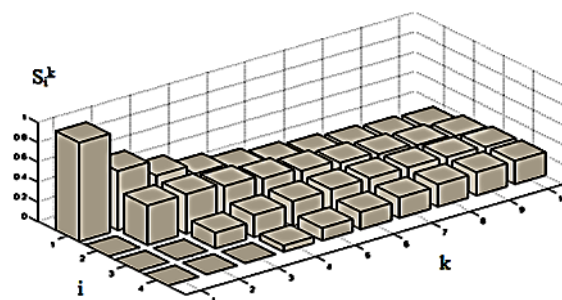


Рис. 2

На рис. 3 показан пример результатов расчета кинетики извлечения проходовой фракции: а) $d=0,2$; $v=0,2$; 1, 2, 3, 4 - $v_f = 0,01$; 0,1; 0,2; 0,4; б) $d=0,2$; $v_f=0,2$; 1, 2, 3, 4 - $v=0$; 0,1; 0,2; 0,4; в) $v=0,2$; $v_f=0,2$; 1, 2, 3, 4 - $d=0$; 0,1; 0,2; 0,4.

На рис. 3-а кривые различаются вероятностями прохождения частиц сквозь сито, на рис. 3-б – величинами скорости сегрегации, на рис. 3-в – величинами дисперсионных коэффициентов. Результаты расчетов показывают, что величина вероятности проникновения частиц через отверстия сита значительно влияет на кинетику процесса, влияние скорости сегрегации меньше, чем влияние вероятности прохождения через сито, а величина коэффициента макро-диффузии практически не влияет на кривую кинетики рассева.

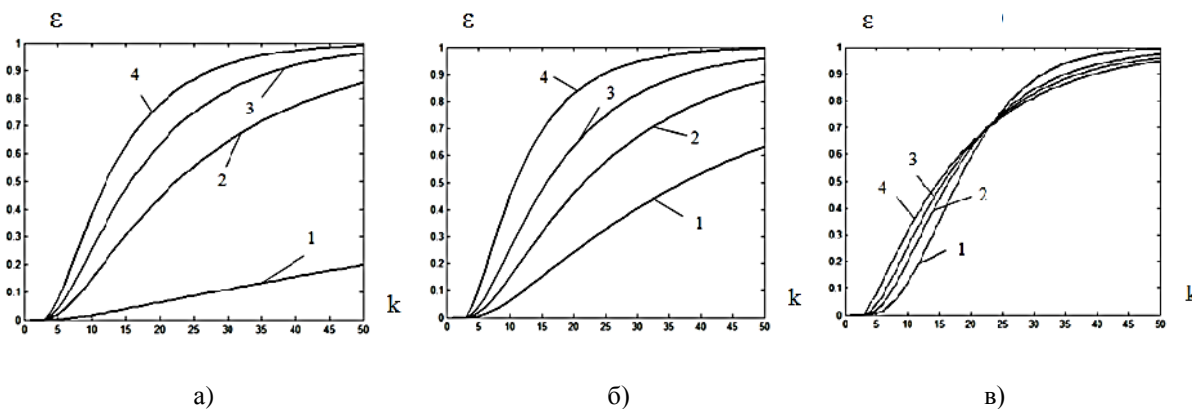


Рис. 3

Стохастические параметры ячеечной модели можно определять согласно [7] по результатам тестовых опытов по рассеvu

реальных сыпучих материалов на ситовой ткани, используя лабораторную установку периодического действия.

ВЫВОДЫ

Скорость проникновения частиц через отверстия сита является определяющей для процесса фракционирования. Эффективность отсева зависит как от параметров колебаний сита, так и характеристик просеивающего полотна: вида ситовой ткани, ее материала, формы и размера ячеек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сокова Г.Г., Сорокин М.В., Исаева М.В., Соков М.А. Автоматизированное проектирование переплетений технических многослойных сеток // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, № 6. С. 94...98.
2. Заздравных В.С., Юхин С.С. Разработка оптимальных технологических параметров выработки многослойных тканых структур для фильтров // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, № 1. С. 48.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. – Т. IV-12/ Под общ. ред. М.Б. Генералова. – М.: Машиностроение, 2004. (В.Е. Мизонов. Оборудование для классификации сыпучих материалов. С.160...179).
4. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process Engineering: A Review //The Canadian Journal of Chemical Engineering. – V.85, №6, 2004. P.1143...1168.
5. Аleshina А.П., Огурцов В.А. и др. Применение теории цепей Маркова к моделированию кинетики виброгрохочения в слое переменной высоты // Вестник ИГЭУ. – Вып. 5, 2014. С.42...46.
6. Аleshina А.П., Огурцов В.А. и др. Расчетно-экспериментальное исследование сегрегационного механизма миграции ансамбля частиц в слое сыпучего материала при виброгрохочении // Вестник ИГЭУ. – Вып. 1, 2015. С. 50...54.

7. Мизонов В.Е., Огурцов В.А. и др. Процессы сепарации частиц в виброоживленном слое: моделирование, оптимизация, расчет. – Иваново: ИГЭУ, ИВГПУ, 2010.

REFERENCES

1. Sokova G.G., Sorokin M.V., Isaeva M.V., Sokov M.A. Avtomatizirovannoe proektirovanie perepletений tehnikeskikh mnogoslujnykh setok // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, № 6. S.94...98.
2. Zazdravnyh V.S., Juhin S.S. Razrabotka optimal'nykh tehnologicheskikh parametrov vyrabotki mnogoslujnykh tkanykh struktur dlja fil'trov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010, № 1. S.48.
3. Mashinostroenie. Jenciklopedija. Mashiny i apparaty himicheskikh i neftehicheskikh proizvodstv. – Т. IV-12/ Pod obshh. red. M.B. Generalova. – М.: Mashinostroenie, 2004. (V.E. Mizonov. Oborudovanie dlja klassifikacii sypuchih materialov. S.160...179).
4. Berthiaux H., Mizonov V. Applications of Markov Chains in Particulate Process Engineering: A Review //The Canadian Journal of Chemical Engineering. – V.85, №6. 2004. P.1143...1168.
5. Aleshina A.P., Ogurcov V.A. i dr. Primenenie teorii cepej Markova k modelirovaniju kinetiki vibrogrochochenija v sloe peremennoj vysoty // Vestnik IGJeU. – Vyp. 5, 2014. S.42...46.
6. Aleshina A.P., Ogurcov V.A. i dr. Raschetno-eksperimental'noe issledovanie segregacionnogo mehanizma migracii ansamblja chastic v sloe sypuchego materiala pri vibrogrochochenii // Vestnik IGJeU. – Vyp. 1, 2015. S. 50...54.
7. Mizonov V.E., Ogurcov V.A. i dr. Processy separacii chastic v vibrozhizhennom sloe: modelirovanie, optimizacija, raschet. – Ivanovo: IGJeU, IVGPU, 2010.

Рекомендована кафедрой технологии строительного производства. Поступила 01.02.16.