

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОНИКНОВЕНИЯ
ЧАСТИЦ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА
ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ СИТОВОГО ТКАНОГО ПОЛОТНА
ПРИ ВИБРОСЕПАРАЦИИ**

**DETERMINATION OF PROBABILITY OF FINE-PARTICLE MATERIALS
PENETRATION THROUGH OPENINGS OF CLOTH SIEVE
DURING VIBRATORY SEPARATION**

В.А. ОГУРЦОВ, А.П. АЛЕШИНА, М.А. ГРИЦЕНКО, А.В. ОГУРЦОВ
V.A. OGURTZOV, A.P. ALESHINA, M.A. GRITZENKO, A.V. OGURTZOV

(Ивановский государственный политехнический университет,
Ивановский государственный энергетический университет)
(Ivanovo State Polytechnical University,
Ivanovo State Power University)
E-mail: ogurtzovvawork@mail.ru

В работе рассмотрена математическая модель определения вероятности проникновения частиц мелкодисперсных сыпучих материалов через отверстия вибрирующего ситового тканого полотна, выполненного переплетением шелковых или синтетических нитей. Модель построена на основе одномерной версии метода дискретных элементов, рассматривающей законы движения ансамбля частиц над вибрирующим ситом.

The mathematical model of determination of probability of fine-particle materials penetration through openings of cloth sieve which is made of silk or synthetic fibers was investigated. The model is based on the one-dimensional version of the discrete element method that considers the laws of motion of the particle ensemble under the vibrating sieve.

Ключевые слова: ансамбль частиц, ситовое тканое полотно, мелкодисперсный сыпучий материал, эффективность отсева.

Keywords: ensemble of particles, woven screen cloth, fine granular material, screening efficiency.

Целью вибрационной сепарации является разделение мелкодисперсных сыпучих материалов на надситовой и подситовой классы, у которых размер частиц соответственно больше и меньше размера отверстий сита. Сыпучая среда приводится в псевдооживленное состояние за счет вибродействия, которое передается от сита слою сыпучего материала. Частицы подситового класса мигрируют через слой сыпучего материала к ситам и, в зависимости от их размера и условий контакта с просеивающей поверхностью, проходят или не про-

ходят через отверстия сита. Вероятность такого прохождения является определяющим параметром протекания всего процесса сепарации [1].

Скорость выхода частиц в подситовое пространство зависит от амплитуды и частоты колебаний сита и определяется числом соударений частиц с просеивающей поверхностью [2]. Существенное влияние на процесс классификации оказывают характеристики ситовых полотен: размеры и форма отверстий (расстояния между нитями основы и утка), способы переплетения

(полотняное, саржевое и другие), материалы нити (капрон, полиэфир, полиамид, натуральный шелк) и ее толщина. Эффективность процесса сепарации зависит от физико-механических свойств сепарируемого материала и, в частности, от соотношения размеров частиц подситового класса и отверстий сита, а мелкодисперсный сыпучий материал содержит значительное количество частиц граничной крупности [3].

Подавляющее большинство авторов, моделирующих процесс проникновения частиц через отверстия просеивающей поверхности при вибросепарации, рассматривают взаимодействие одиночной частицы с вибрирующим ситом [2...6]. Такая модель является весьма приближенной. Она не позволяет учесть взаимодействия частиц друг с другом и с просеивающей поверхностью при их столкновениях. Влияние параметров процесса на число соударений частиц с просеивающей поверхностью может быть выявлено на основе простейшей одномерной версии метода дискретных элементов, рассматривающей поведение не отдельной частицы, а ансамбля частиц над вибрирующим ситом.

Моделирование пространственного процесса движения ансамбля частиц над ситом с учетом широкого спектра их размеров и форм проблематично. Поэтому реальные частицы условно заменяются эквивалентными телами правильной формы – шарами, диаметры которых равны и соответствуют характеристике крупности сыпучей среды [5]. Количество частиц выбирается в соответствии с высотой слоя сыпучего материала на сите.

Расчетная схема процесса показана на рис. 1.

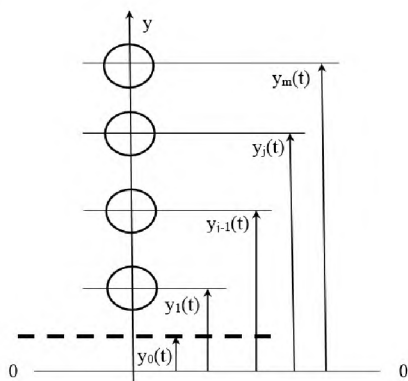


Рис. 1

Сито совершает колебания по закону:

$$y_0(t) = A \sin \omega t, \quad (1)$$

где A и ω – амплитуда и частота колебаний.

Над поверхностью с возможностью свободного движения в вертикальном направлении движутся m шарообразных частиц радиусом r с координатами центров $y_j(t)$. Считается, что в промежутках времени между столкновениями частицы движутся по закону свободного падения.

Разностная схема расчета этого движения имеет вид:

$$v_j^{i+1} = v_j^i + (-g)\Delta t, \quad (2)$$

$$y_j^{i+1} = y_j^i + v_j^i \Delta t, \quad (3)$$

где v – скорость частицы; Δt – шаг интегрирования по времени; i – номер шага.

На каждом временном шаге положения частиц проверяются на наличие или отсутствие удара. Соотношения удара рассчитываются различно для нижней частицы ($j=1$) и остальных ($j=2, \dots, m$) частиц.

Для $j=1$:

если

$$y_1^{i+1} \leq y_0^{i+1} + r,$$

то

$$y_1^{i+1} := y_0^{i+1} + r, \quad (4)$$

$$v_1^{i+1} := -(v_1^{i+1} - v_0^{i+1})k_1 + v_0^{i+1}, \quad (5)$$

где k_1 – коэффициент восстановления скорости при ударе нижней частицы о поверхность сита; $:=$ – оператор присваивания.

Для $j=2, \dots, m$:

если

$$y_j^{i+1} \leq y_{j-1}^{i+1} + 2r,$$

то

$$y_j^{i+1} := y_{j-1}^{i+1} + 2r, \quad (6)$$

$$v_{j-1}^{i+1} := \frac{1-k}{2} v_{j-1}^{i+1} + \frac{1+k}{2} v_j^{i+1}, \quad (7)$$

$$v_j^{i+1} := \frac{1+k}{2} v_{j-1}^{i+1} + \frac{1-k}{2} v_{j+1}^{i+1}, \quad (8)$$

где k – коэффициент восстановления скорости при ударе частиц друг о друга.

На рис. 2 представлен закон движения нижней частицы ансамбля из пяти частиц над ситом, совершающим колебания с амплитудой 5 мм и частотой 100 с⁻¹.

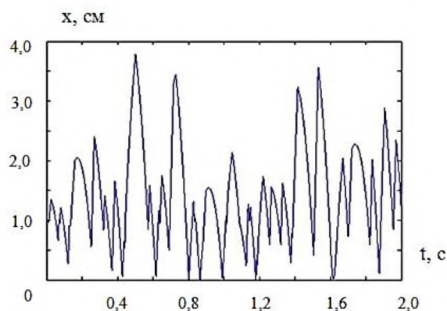


Рис. 2

На рис. 3 показано влияние частоты колебаний на частоту контактов частицы с ситом ϑ при различных амплитудах колебаний.

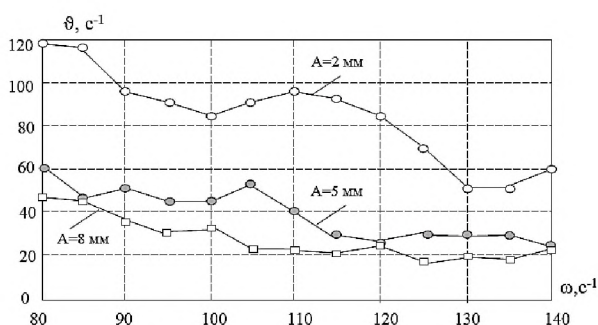


Рис. 3

Вероятность прохождения частицы через отверстие сита при одном соударении определится как:

$$p_f = \varphi \left(1 - \frac{\delta}{D}\right)^2, \quad (9)$$

где φ – коэффициент живого сечения сита; δ – диаметр частицы; D – размер отверстия. Для квадратного отверстия сита:

$$\varphi = \left(\frac{D}{D+d}\right)^2, \quad (10)$$

где d – толщина нити ситового полотна.

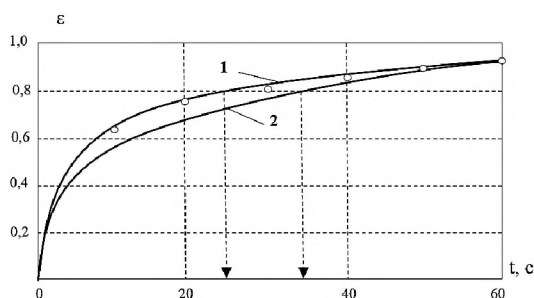


Рис. 4

На рис. 4 показаны расчетные кривые кинетики вибросепарации и опытные данные извлечения частиц подситового класса ϵ через отверстия сита от времени t при классификации двухкомпонентной смеси частиц на установке периодического действия.

Расчет проводили на основе ячеечной модели, изложенной в [1], [2], [4]. Вероятность выхода частицы в подситовое пространство рассчитывалась по формуле:

$$v_f = \vartheta p_f \Delta t = \vartheta \Delta t \varphi \left(1 - \frac{\delta}{D}\right)^2, \quad (11)$$

где ϑ – число контактов частицы с ситом в единицу времени; Δt – время одного перехода ячейки модели.

Для построения расчетной кривой кинетики сепарации 1 при подсчете числа соударений использовали модель движения ансамбля над ситом; для построения расчетной кривой 2 – модель движения одиночной частицы.

Как видно из рис. 4, расхождение между расчетными кривыми и экспериментальными данными невелико (значения кривой 1, кривой 2 и экспериментальные данные отличаются в среднем на 1,5 и 4,5% соответственно). Однако для достижения степени извлечения частиц проходного класса из сыпучей смеси, равной 80%, время классификации для кривой 1 составило 25 с, а для кривой 2 – 34 с. Это означает, что для промышленного аппарата можно увеличить скорость движения сыпучего материала по ситам, а следовательно, и производительность в 1,4 раза.

ВЫВОДЫ

Определение вероятности проникновения частиц мелкодисперсного сыпучего материала через отверстия ситового полотна, где число их соударений с ситом проводилось по модели движения ансамбля частиц над ним, позволило повысить точность расчетов основных показателей процесса: эффективности сепарации и производительности классифицирующего аппарата.

1. Огурцов В.А., Аleshina А.П., Огурцов А.В., Брик Е.Р. Кинетика фракционирования мелкодисперсных сыпучих материалов с применением ситовых тканых полотен // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2016, № 1. С.201...204.
2. Мизонов В.Е., Огурцов В.А. и др. Процессы сепарации частиц в виброоживленном слое: моделирование, оптимизация, расчет. – Иваново, 2010.
3. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Под ред. Л.А. Вайсберга. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005.
4. Алоян Р.М., Федосов С.В., Мизонов В.Е. Теоретические основы математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов. – Иваново: "ПресСто", 2011.
5. Богданов В.С., Ильин А.С. Семикопенко И.А. Процессы в производстве строительных материалов. – Белгород: "Везелица", 2007.
6. Пелевин А.Е. Вероятность прохождения частиц через сито и процесс сегрегации на вибрационном грохоте // Изв. вузов. Горный журнал. – 2011, №1. С. 119...129.

1. Ogurcov V.A., Aleshina A.P., Ogurcov A.V., Brik E.R. Kinetika frakcionirovanija melkodispersnyh syuchih materialov s primeneniem sitovyh tkanyh poloten // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2016, № 1. S.201...204.
2. Mizonov V.E., Ogurcov V.A. i dr. Processy separacii chastic v vibroozhizhennom sloe: modelirovanie, optimizacija, raschet. – Ivanovo, 2010.
3. Vajsberg L.A., Kartavyj A.N., Korovnikov A.N. Proseivajushhie poverhnosti grohotov. Konstrukcii, materialy, opyt primenenija / Pod red. L.A. Vajsberga. – SPb.: Izd-vo VSEGEI. 2005.
4. Alojjan R.M., Fedosov S.V., Mizonov V.E. Teoreticheskie osnovy matematicheskogo modelirovanija mehanicheskikh i teplovyh processov v proizvodstve stroitel'nyh materialov. – Ivanovo: "PresSto", 2011.
5. Bogdanov V.S., Il'in A.S. Semikopenko I.A. Processy v proizvodstve stroitel'nyh materialov. – Belgorod: "Vezelica", 2007.
6. Pelevin A.E. Verojatnost' prohozhdenija chastic cherez sito i process segregacii na vibracionnom grohote // Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. – 2011, №1. S. 119...129.

Рекомендована кафедрой технологии строительного производства. Поступила 06.02.17.