



Надуть В. П.

Лапшин Е. С.

Институт
геотехнической
механики
им. Н. С. Полякова
НАН Украины

УДК 622.742.002.5

ВЛИЯНИЕ ЗАБИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА КИНЕТИКУ ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОЧЕНИЯ

Запропоновано кінетику грохочення вологої сировини моделювати дискретним процесом Маркова, що дозволило врахувати вплив сегрегації, просівання, забивання отворів сита й транспортування. Описано алгоритм, що дає можливість проаналізувати вплив інтенсивності забивання отворів на ефективність грохочення.

It is offered to model kinetics of a screen sizing of wet raw material digital process Markov that has allowed to consider effect of a segregation, sifting, driving down of meshes and transportations. The algorithm which enables is presented to analyze agency of intensity of driving down of holes on a sizing efficiency.

Одна из важнейших проблем в вибрационном грохочении – забивание отверстий просеивающей поверхности частицами сырья. При грохочении влажного сырья забивание отверстий происходит, как отдельными трудными частицами, так и в результате прилипания агрегатов из мелких частиц. Если проанализировать патенты, то более 70 % из них направлены на уменьшение забивания либо очистку просеивающей поверхности. Проводятся многочисленные исследования по выбору конструктивных и динамических параметров, при которых обеспечивается очистка сит [1–3]. Ведутся интенсивные поиски полимерных материалов для сит [1]. Несмотря на значительные успехи, устранить забивание не удается. Это приводит к тому, что в процессе работы грохота снижаются эффективность и производительность по подрешетному продукту. Нередки случаи и полного прекращения грохочения. В работе [4], основанной на вычислении количества забитых ячеек, определено время планово-предупредительной очистки просеивающей поверхности. Однако отсутствуют исследования, в которых математически описано влияние забивания ячеек на кинетику грохочения, что не позволяет определить качество полученного продукта в условиях, когда изменяется пропускная способность просеивающей поверхности. В этой связи цель

работы – математическое моделирование кинетики грохочения с учетом забивания отверстий просеивающей поверхности.

Для математического описания кинетики грохочения с учетом просеивания, сегрегации и вибротранспортирования в ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины предложено процесс моделировать марковской цепью [2, 5]. В грохотимом материале выделяют контрольный объем, который по высоте делят на элементарные слои. Их нумеруют сверху вниз $i = (1, 2, 3, \dots, n)$. Подрешетное пространство условно считают слоем $n+1$. Распределение мелких частиц по элементарным слоям характеризуют вектором вероятностей

$$\bar{P} = \|P_1 \ P_2 \ P_3 \ \dots \ P_i \ \dots \ P_{n+1}\|,$$

где P_i – вероятность нахождения мелких частиц в i -ом элементарном слое.

Под действием вибрации мелкие частицы с вероятностью π_{ij} переходят из элементарного слоя i в слой j . Переход совершается за время t_n , кратное периоду колебаний. Это событие названо шагом. Количество шагов обозначим – k . В результате переходов изменяется распределение мелких частиц и уменьшается высота слоя. В модели высоту контрольного объема изменяют



дискретно с шагом, равным толщине элементарного слоя h . При этом нумерацию последующих элементарных слоев сохранять, а полагают, что поочередно устраняются слои 1, 2 и т. д. Величины, зависящие от высоты, записывают с индексом m , равным номеру верхнего элементарного слоя.

Распределение мелких частиц по элементарным слоям на k -ом шаге описывается выражениями [2, 5]

$$\left. \begin{aligned} H_m &= H_1 - (m-1)h; \\ \bar{P}(k_m, m) &= \bar{P}(0, m) \|\pi_{ij}(m)\|^{k_m}; \\ t &= \sum_{f=1}^m t_{n,f} k_f; \\ L_k &= \sum_{f=1}^m V_f t_{n,f}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где H – высота слоя грохотимого материала; $\bar{P}(0, m)$ и $\bar{P}(k_m, m)$ – вектор вероятностей начального и текущего распределения мелких частиц по высоте слоя; $\|\pi_{ij}(m)\|$ – стохастическая матрица размера $(n_m+1) \times (n_m+1)$; t – время грохочения; f – индекс суммирования; L_k – путь, пройденный контрольным объемом V – скорость вибротранспортирования.

Элемент с индексом n_m+1 в векторе вероятностей – E эффективность грохочения.

При вибротранспортировании с кратностью режима r_v , частицы совершат следующее количество переходов

$$k = L_s / r_v T,$$

где L_s – длина просеивающей поверхности; T – период колебаний.

Применительно к грохочению сырья слоем, высота которого не больше десяти диаметров крупных частиц стохастическая матрица имеет вид [2]

$$\begin{pmatrix} 1-p & p & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ q & p_0 & p & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & q & p_0 & p & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & q & p_0 & p & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 1-P_s & P_s \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

где p и q вероятности переходов частиц вниз и вверх по высоте слоя грохотимого сырья; $p_0 = 1 - p - q$ – вероятность частицам остаться в элементарном слое; P_s – вероятность просеивания.

Когда все отверстия просеивающей поверхности свободные, то вероятность просеивания характеризуется вероятностью попадания частицы в отверстие P и вычисляется с помощью аналитических и численных методов, описанных в монографии [2]. Однако отверстия просеивающей поверхности забиваются. Вероятностью этого события обозначим P_z . На основании результатов работы [5] примем, что изменение вероятности забивания просеивающей поверхности от количества шагов описывается зависимостью

$$P_z = 1 - \exp(-\zeta_z k), \quad (2)$$

где ζ_z – эмпирический коэффициент, характеризующий интенсивность забивания.

Рис. 1 иллюстрирует влияние коэффициента на значение вероятности забивания отверстий просеивающей поверхности.

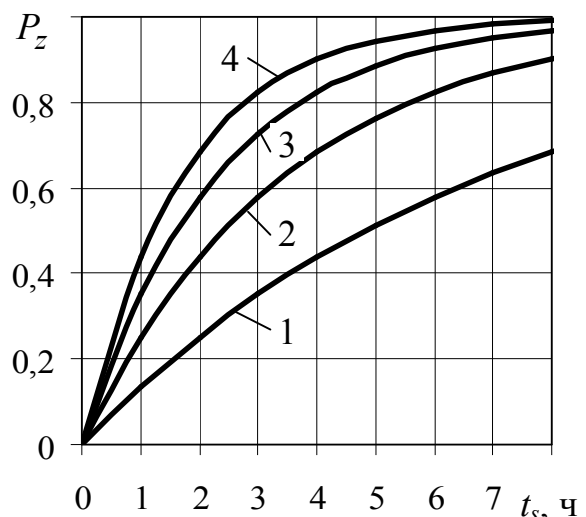
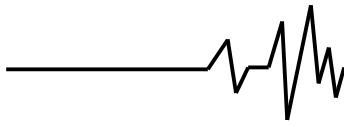


Рис. 1. Изменение вероятности забивания отверстий просеивающей поверхности во времени (амплитуда колебаний 4 мм, частота 20 Гц, вероятность просеивания 0,1, влажность 4 %):
1 – $\zeta_z = 2 \times 10^{-6}$, 2 – $\zeta_z = 4 \times 10^{-6}$, 3 – $\zeta_z = 6 \times 10^{-6}$,
4 – $\zeta_z = 8 \times 10^{-6}$



Поскольку события отверстия забьется или не забьется, образуют полную группу, то вероятность того, что сито не забьется

$$P_{z0} = 1 - P_z = \exp(-\zeta_z k).$$

Частица из контактного элементарного слоя n перейдет в подрешетное пространство при условии, что она попадет в отверстие просеивающей поверхности и что оно будет свободным. Вероятность такого совместного события равна произведению вероятностей элементарных событий [6], т. е.

$$P_s = P \cdot P_{z0} = P \exp(-\zeta_z k). \quad (3)$$

В выражении (1) отсчет количества шагов k ведется с начала движения контрольного объема. Вновь поступивший на сито материал будет грохотиться на сите с уже забитыми ячейками, чтобы это учесть, будем различать количество шагов, которое совершают частицы в процессе движения контрольного объема и количество шагов k_0 , которое прошло с момента первого поступления сырья на сито со всеми свободными ячейками. В этой связи формулы (2) и (3) представим в таком виде

$$P_z = 1 - \exp[-\zeta_z (k_0 + k)], \quad (4)$$

$$P_s = P \exp[-\zeta_z (k_0 + k)]. \quad (5)$$

При этом время работы просеивающей поверхности

$$t_s = T(k_0 + k) / 3600r_v. \quad (6)$$

Для определения коэффициента ζ_z необходимо после работы грохота в течение произвольного времени t_{sz} замерить площадь S_z просеивающей поверхности с забитыми отверстиями и вычислить отношение $k_s = S_z / S$, где S – площадь просеивающей поверхности, которое равно вероятности забивания отверстий просеивающей поверхности. По этим данным из зависимости (4) следует, что

$$\zeta_z = \frac{T \ln(1 - k_s)}{3600 t_{sz}}. \quad (7)$$

Вероятности просеивания P_s , переходов частиц по высоте слоя p и q , а также скорость вибротранспортирования, вычислялись с помощью подпрограмм «Частица», «Сегрегация» и «Вибротранспортирование»,

алгоритмы которых подробно описаны в работах [2, 7–10].

На основе зависимостей (1) – (7) разработана программа «Кинетика», которая позволяет проводить численные эксперименты по исследованию процесса грохочения с учетом забивания отверстий просеивающей поверхности.

Сравнение расчетных и экспериментальных значений эффективности, выполненные для щебня, угля и железной руды, показали, что расхождение между ними не превышает 20 %.

Для иллюстрации возможности программы рассмотрим пример. Сито грохота совершает колебания с частотой 20 Гц и амплитудой перемещения 4 мм, траектория – круговая. Классифицируется гранитный щебень со средним диаметром крупных частиц 3,75 мм и мелких частиц 1 мм, содержание которых 20 %. Влажность щебня 4 %. Высота слоя равна пяти диаметрам крупных частиц. Длина просеивающей поверхности 2 м, угол наклона 10^0 .

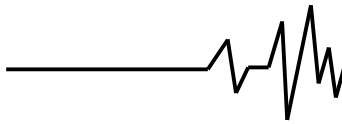
Вычисления с помощью подпрограмм «Частица», «Сегрегация» и «Вибротранспортирование» позволили установить, что вероятности переходов мелких частиц вниз по высоте слоя $p = 0,0204$, вверх – $q = 0,0149$ и вероятность попадания частицы в отверстие $P = 0,1$, скорость вибротранспортирования равна 0,25 м/с. Эксперимент показал, что через час работы грохота площадь просеивающей поверхности с забитыми отверстиями составляет 0,3508 от общей площади просеивающей поверхности. По зависимости (7) установлено $\zeta_z = 6 \times 10^{-6}$.

Результаты расчетов с помощью программы «Кинетика» представлены на рис. 2. Если бы не было забивания отверстий просеивающей поверхности, то эффективность грохочения была бы постоянной 0,5276. Из-за забивания, вероятность которого во времени увеличивается по закону (4) (см. рис. 1), эффективность уменьшается и после 8 ч она составляет 0,111. Изменение эффективности во времени (в диапазоне от 0 до 8 ч) аппроксимировалось полиномом

$$E(t_s) = 0,0009t_s^3 - 0,0131t_s^2 - 0,0045t_s + 0,5252.$$

Средняя эффективность за время t_s работы грохота равна

$$E_s(t_s) = \frac{1}{t_s} \int_0^{t_s} E(t) dt.$$



Этой функции соответствует кривая 2 (см. рис. 2).

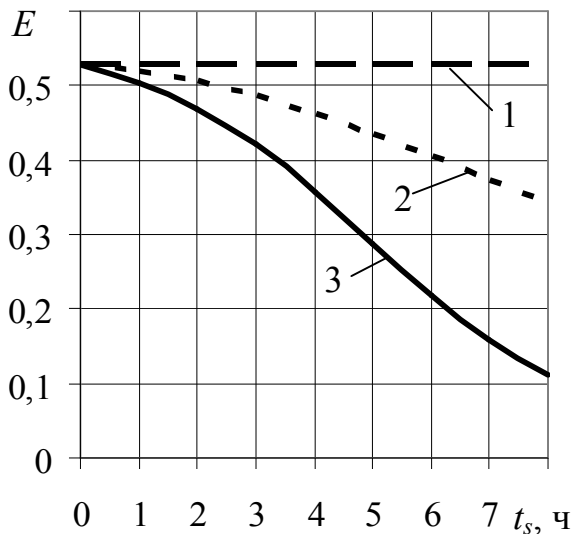


Рис. 2. Изменение эффективности грохочения во времени (амплитуда колебаний 4 мм, частота 20 Гц, вероятность просеивания 0,1, влажность 4 %):

1 – отсутствует забивание ($\zeta_z = 0$), 2 – забивание при $\zeta_z = 6 \times 10^{-6}$, 3 – среднее значение эффективности за время t_s

В зависимости от требований к качеству продуктов грохочения допустимое время t_z работы просеивающей поверхности по условию забивания может оцениваться по кривой $E(t_s)$ или $E_s(t_s)$. Если полученное значение t_z не удовлетворяет технологическим требованиям, то необходимо изменить конструктивные или динамические параметры грохота.

Итак, разработанная математическая модель кинетики грохочения позволяет определить влияние забивания отверстий просеивающей поверхности на эффективность процесса классификации по крупности.

Планируется применение модели для создания автоматизированной системы управления работы грохота.

Литература

1. Вайсберг Л. А. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкция,

материалы, опыт применения / Л. А. Вайсберг, А. Н. Картавый, А. Н. Коровников. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. – 252 с.

2. Надутый В. П. Вероятностные процессы вибрационной классификации минерального сырья / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин. – Киев: Наукова думка, 2005. – 180 с.

3. Надутый В. П. Вибрационное грохочение горной массы повышенной влажности / В. П. Надутый, В. В. Калиниченко. – Днепропетровск: НГУ Украины, 2004. – 135 с.

4. Надутый В. П. Определение времени планово-предупредительной очистки сита грохота / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин. – Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2001. – № 3. – С. 55–57.

5. Лапшин Е. С. Математическое моделирование процесса грохочения с использованием цепи Маркова. – Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. НГА України. – Дніпропетровськ, 1999. – № 5(46). – С. 30–34.

6. Вероятность и математическая статистика: Энциклопедия / Гл. ред. Ю. В. Прохоров. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1999. – 910 с.

7. Надутый В. П. Математическое моделирование сегрегации при вибрационном грохочении влажного минерального сырья / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин. – Збагачення корисних копалин: Наук. техн. зб. НГА України. – Дніпропетровськ, 2008. – № 33(74). – С. 26–32.

8. Надутый В. П. Моделирование процесса просеивания влажного минерального сырья / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин. – Вісник національного технічного університету “ХПІ”. – Харків, 2007. – № 26. – С. 93–98.

9. Надутый В. П. Модельное представление виброперемещения сыпучего материала по ситам грохота / В. П. Надутый, Е. С. Лапшин. – Вибрації в техніці та технологіях: Всеукр. науч.-техн. журн. – Вінниця, 2001. – № 2(18). – С. 183–186.

10. Лапшин Е. С. Влияние на скорость вибротранспортирования при грохочении изменения толщины слоя сыпучего материала. – Геотехнічна механіка: Межвід. зб. наук. праць Ін-та геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2004. – Вип. 50. – С. 123–128.