

РАЗДЕЛЕНИЕ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ГРОХОТАХ

ДЕНИСОВ Д.Г., асп.

Рассмотрены особенности классификации сыпучих материалов на плоских грохотах. Представлена математическая модель односитного грохота. Предложено выражение для определения вероятности извлечения мелкого класса продукта грохочения. Определена адекватность модели по результатам сопоставления расчетных и экспериментальных данных.

Ключевые слова: полидисперсные материалы, грохочение, математическая модель односитного грохота.

BULK MATERIALS UPON FLAT SCREEN CLASSIFICATION

D.G. DENISOV, postgraduate

This paper is devoted to the peculiarities of bulk materials upon flat screen classification. The author represents the mathematical model of one-sifted screen. There is also the expression for possibility of cure determining of screen sizing product minute group. Model adequacy is determined according to the results of calculation and experimental data.

Key words: polydisperse materials, screen sizing, mathematical model of one-sifted screen.

На тракте топливоподачи угольных ТЭС в качестве одной из операций подготовки топлива к сжиганию используется грохочение. Грохочением называется процесс разделения полифракционных материалов на просеивающих поверхностях с калиброванными отверстиями [1]. По конструкции и принципу действия грохоты обладают весьма широкой классификацией [2]. В настоящее время наибольшее распространение получили наклонные грохоты, в которых реализуется инерционный и вибрационный принцип действия одновременно. Инерционная классификация осуществляется за счет гравитационных и инерционных сил, действующих на угольные частицы. Интенсификация движения материала (например, при повышении угла наклона грохота) приводит к повышению эффективности процесса грохочения. Вибрация материала, возникающая под воздействием вынужденных колебаний сита грохота, способствует очищению ячеек сита, всплыванию крупных частиц и «трудных зерен» в слое грохотимого материала и интенсификации прохождения мелких частиц сквозь слой и сито в подрешеточный продукт. Колебания, как известно, характеризуются двумя основными параметрами – частотой и амплитудой. Влияние частоты и амплитуды на эффективность процесса грохочения носит экстремальный характер (рис. 1). Для каждого грохота существуют оптимальные значения данных параметров, при которых эффективность извлечения максимальна.

Зависимость качества грохочения от частоты колебаний обладает аналогичным характером. Таким образом, амплитуда и частота для каждого грохота, предназначенного для просева угля определенной крупности, являются величинами постоянными и входят в технические характеристики грохота.

В эксплуатационных условиях нагрузка грохота непостоянна, это приводит к изменению эффективности разделения. Для прогнозирования качества процесса грохочения нами предлагается математическая модель, позволяющая рассчитывать дисперсные составы и массопотоки надрешеточного и подрешеточного продуктов в зависимости от технических характеристик грохота, granulometric composition, расход и влажности материала, подвергающегося грохочению. Принципиальная конструкция грохота представлена на рис. 2.

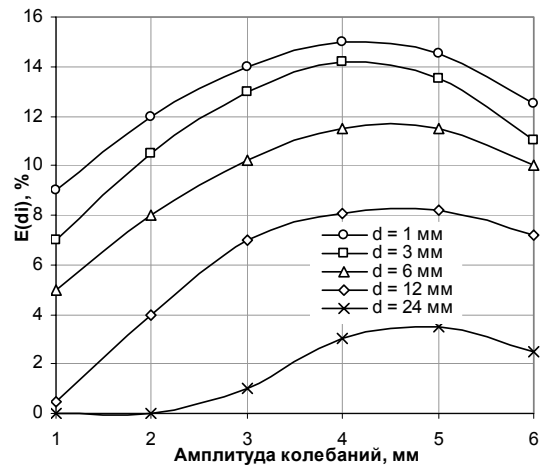


Рис. 1. Зависимость эффективности извлечения классов различной крупности от амплитуды колебаний грохота



Рис. 2. Принципиальная схема односитного грохота

Исходный материал (Q) подается на сито (колосниковую решетку), где разделяется на два продукта – надрешеточный (S) и подрешеточный (P). Уравнение материального баланса исходного материала можно представить в виде

$$Q = S + P \tag{1}$$

или

$$Q = G_m + G_k, \tag{2}$$

где G_m – массовый расход мелкого ($d_i < d_{sita}$) класса, кг/с; G_k – масса крупного класса в единицу времени, кг/с.

Основная задача моделирования грохота заключается в определении гранулометрических составов и расходов надрешеточного и подрешеточного продуктов. Процессы формирования дисперсных составов данных потоков обладают существенными отличиями. Так, например, сквозь сита просеивающей поверхности пройдет не весь мелкий класс грохотимого материала, а лишь его часть – β . Следовательно, в надрешеточный продукт перейдет $(1-\beta)$ массы мелкого класса. Объясняется это явление наличием «трудных зерен», недостаточным временем просева, стохастическим характером процесса классификации и прочими причинами.

С учетом вышеизложенного расход подрешеточного продукта составит

$$P = G_m \beta. \tag{3}$$

Расход надрешеточного продукта, соответственно,

$$S = G_k + G_m(1 - \beta). \tag{4}$$

Для определения величины β необходимо ввести величину, отражающую эффективность извлечения частиц мелкого класса в подрешеточный продукт. Для определения данной величины нами предлагается использовать следующее выражение:

$$\begin{cases} E(d_i) = \frac{h}{e\left(\frac{d_i}{p}\right)^m} & \text{при } d_i < d_{sita} \\ E(d_i) = 0 & \text{при } d_i \geq d_{sita}, \end{cases} \tag{5}$$

где h, m, p – параметры идентификации.

Зависимость (5) обладает прогностической способностью в достаточно широком диапазоне изменения численных значений эмпирически определяемых параметров p и m (рис. 3). Коэффициент h при этом равен единице.

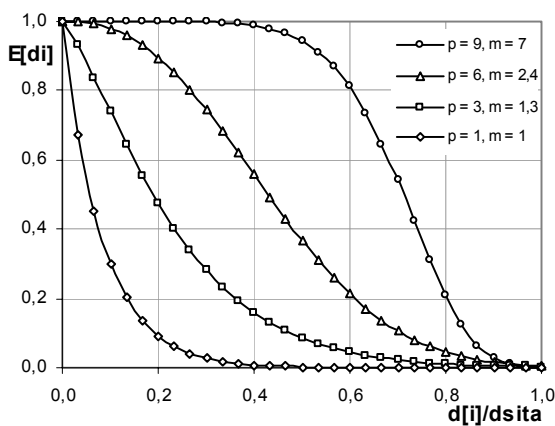


Рис. 3. Эффективность извлечения частиц мелких классов

Плотность распределения подрешеточного продукта рассчитывается по формуле

$$f(d)_m = \frac{G_{im}}{\sum_{d_i=0}^{d=d_{sita}} G_{im}}, \tag{6}$$

где $G_{im} = G_i E(d_i)$; G_i – масса i -го класса.

Очевидно, что должно выполняться условие

$$G_m \beta = \sum_{d_i=0}^{d=d_{sita}} G_{im}. \tag{7}$$

Из формулы (7) определяется массовая доля мелких классов β , прошедших сквозь сито грохота.

Суммарная масса надрешеточного продукта составляет

$$S = \sum_{d=0}^{d_{sita}} G_{ikm} + \sum_{d_{sita}}^{d_{max}} G_{ki}, \tag{8}$$

где $G_{ikm} = G_i - G_{im}$, $G_{ki} = f(d)Q$.

Причем должно выполняться условие

$$S = G_k + G_m(1 - \beta). \tag{9}$$

Гранулометрический состав надрешеточного продукта рассчитывается следующим образом:

$$\begin{cases} f(\delta)_k = \frac{G_{ikm}}{S}, & \text{при } d_i < d_{sita} \\ f(\delta)_k = \frac{G_{ki}}{S}, & \text{при } d_i \geq d_{sita}. \end{cases} \tag{10}$$

Таким образом, система уравнений (1)–(10) представляет собой математическую модель односитного грохота, обладающую тремя эмпирически определяемыми параметрами – h, m, p .

Для проверки прогностической способности предложенной модели произведено сопоставление результатов испытаний грохота марки ГИТ 51 (см. таблицу), полученных ЗАО «Новые технологии», с результатами численных экспериментов, полученных с помощью предлагаемой нами математической модели. Грохоты ГИТ (грохоты инерционные наклонные тяжелого типа) предназначены для сухой классификации углей и руды с насыпной плотностью до 2,8 т/м³. Данные грохоты применяются на обогатительных и дробильно-сортировочных фабриках черной и цветной металлургии, а также имеют перспективное направление применения для грохочения улей при подготовке к сжиганию в кипящем слое.

Технические характеристики грохота ГИТ 51

Производительность, т/ч	600
Допустимый размер кусков для грохочения, мм	350
Масса, кг	6713
Число ярусов сит, шт.	1
Амплитуда колебаний, мм	4; 5; 6
Частота колебаний, кол/мин	600; 645; 720
Мощность электродвигателя, кВт	20
Число оборотов в мин.	1475
Угол наклона грохота, град	15-18
Габаритные размеры, мм	
Длина	4045
Ширина	3275
Высота	2400
Размер поверхности просеивания, мм	
Ширина	1750
Длина	3500

Испытания грохота проводились на Михайловском горно-обогатительном комбинате совместно с испытаниями центробежной дробилки. Производительность

грохота при испытаниях варьировалась от 260 до 380 т/ч, гранулометрический состав исходной руды при этом не изменялся. Влажность руды составляла 1,98 %, плотность – 3,54 т/м³, насыпная плотность – 2,04 т/м³ в крупности -25 +0 мм.

В результате идентификации модели оказалось, что коэффициенты h и t являются постоянными величинами, не зависящими от расхода исходного материала. При этом для вычисления зависимости коэффициента p от нагрузки грохота в диапазоне от 260 до 380 т/ч предлагается использовать следующее выражение:

$$p = \frac{1}{\exp\left(\frac{D}{131}\right)^{1,56}} + 0,342. \quad (11)$$

Сопоставление выражения (11) с эмпирическими данными показано на рис. 4.

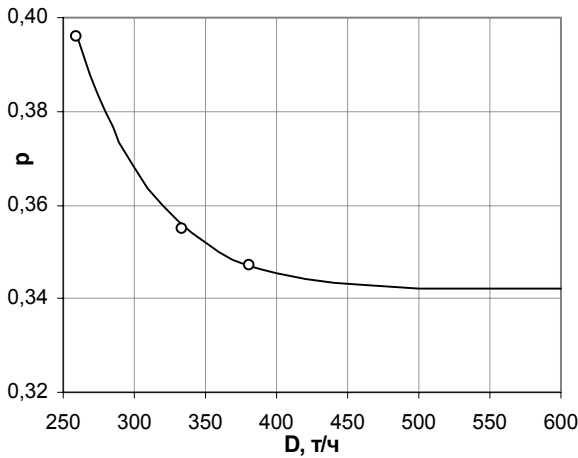


Рис. 4. Зависимость коэффициента p от нагрузки грохота: точки – опытные данные; линия – расчет по модели

Извлечение из исходного материала частиц размером меньше размера ячейки сита грохота является основной характеристикой эффективности процесса грохочения.

Анализ кривой эффективности извлечения частиц мелких классов (рис. 5) показывает, что частицы меньшего размера обладают большей проникающей способностью. Эффективность извлечения «трудных зерен» (частиц, близких по размерам к размеру ячейки сита грохота) резко снижается вследствие интенсивного забивания ими сита. Кроме особенностей гранулометрического состава (доля «трудных зерен») на эффективность грохочения оказывают влияние также влажность и насыпная плотность материала, подвергающегося грохочению. Повышение влажности и насыпной плотности ведет к снижению качества грохочения.

Сопоставление результатов численных экспериментов с эмпирическими данными представлено на рис. 6.

Адекватность модели проверялась с помощью множественного коэффициента детерминации R^2 (квадрат множественного коэффициента корреляции), который широко применяется для оценки адекватности регрессионных моделей [3]. Диапазон изменения данного коэффициента находится в пределах $0 < R^2 \leq 1$. При стремлении R^2 к единице объяснительная способность регрессионной зависимости возрастает. Во всех сериях опытов данная величина составляла более 0,95, что свидетельствует, как минимум, о достоверности предлагаемой модели

95 %. Например, при $D = 380$ т/ч коэффициент детерминации $R^2_{\text{надреш}} = 0,977$, $R^2_{\text{подреш}} = 0,991$. Следовательно, полученной моделью объясняется 97,7 и 99,1 % изменчивости дисперсных составов надрешеточного и подрешеточного продуктов, соответственно.

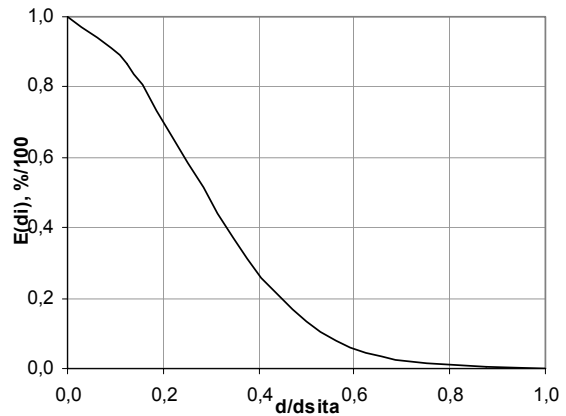


Рис. 5. Эффективность извлечения частиц мелких классов при нагрузке грохота 380,7 т/ч

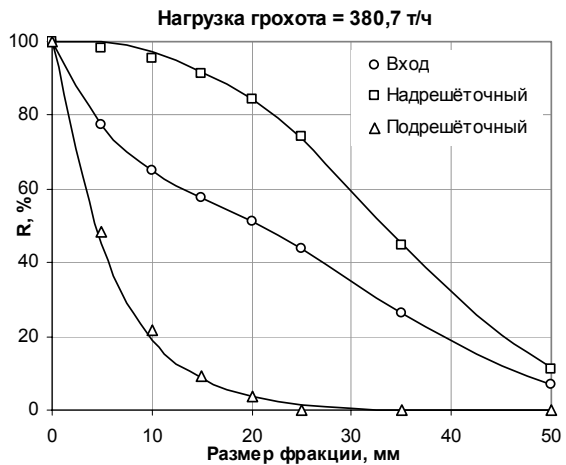


Рис. 6. Дисперсный состав продуктов классификации грохота: точки – опытные данные; линия – расчет по модели

На основе представленной модели в среде Delphi был разработан программный продукт, позволяющий производить численные эксперименты в определенном диапазоне производительности.

Программа (рис. 7) позволяет рассчитывать дисперсные составы и определять массопотоки надрешеточного и подрешеточного продуктов в зависимости от дисперсного состава исходного материала, подаваемого на грохот, нагрузки грохота, размера ячейки сита и эмпирически определяемых параметров идентификации – h , t , p . В качестве характеристики гранулометрического состава выбрана плотность распределения материала по классам крупности как исходного материала, так и продуктов грохочения.

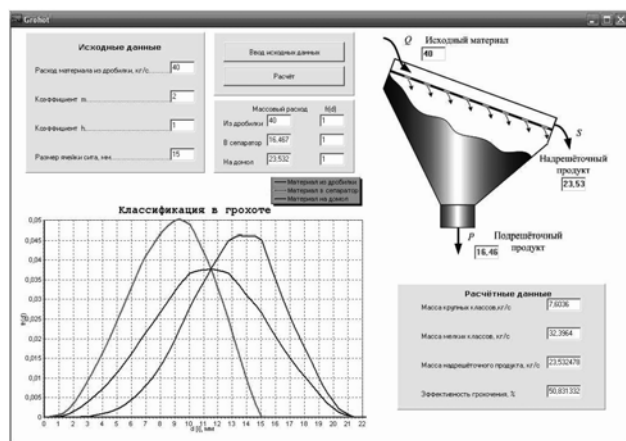


Рис. 7. Расчет параметров грохочения

Денисов Дмитрий Геннадьевич,
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
 аспирант кафедры тепловых электрических станций,
 телефон (4932) 41-60-56,
 admin@tes.ispu.ru

Заключение

Составлена балансовая модель расчета односитного грохота. Предложено выражение (5) для расчета эффективности извлечения мелких классов. С помощью экспериментальных данных, представленных в специализированной литературе, проверена прогностическая способность и адекватность модели. На основе предложенной модели разработан программный комплекс, позволяющий производить численные эксперименты.

Список литературы

1. Гринман И.Г., Бекбаев А.Б. Контроль и регулирование процессов дробления и грохочения руд. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1977.
2. Олевский В.А. Конструкции и расчеты грохотов. – М.: Металлургиздат, 1955.
3. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1980.