

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ДРОБИЛКАХ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

ДЕНИСОВ Д.Г., асп.

Представлена математическая модель, описывающая процесс измельчения в дробилке центробежного типа. Определены аналитические выражения селективной и распределительной функций дробления. Представлены результаты идентификации предложенной модели, полученные при измельчении известняка и железной руды.

Ключевые слова: дробилка центробежного типа, математическая модель, программный комплекс.

CRUSHING PROCESS MODELING IN STROKE TYPE CRUSHERS

DENISOV D.G., postgraduate.

The article contains the mathematical model describing the crushing process in centrifugal crusher. It defines analytical statements of selective and distributive crushing functions. It has the identification results of the given model, the results were got while limestone and iron ore crushing.

Key words: centrifugal crusher, mathematical model, bundled software.

Введение. Центробежные дробилки нашли широкое применение во многих отраслях промышленности. Основанием для этого являются: простота их конструкции, малые габариты, низкие эксплуатационные затраты, возможность эффективного управления гранулометрическим составом, получение дробленого материала правильной формы, возможность получения малого количества мелочи в готовом продукте и т.д.

Оценка возможности использования центробежных дробилок в тракте топливоподачи пылеугольных ТЭС в специальной литературе отсутствует. Для решения данной задачи нами разработана математическая модель, описывающая процесс дробления при свободно-ударном разрушении, которая позволяет производить расчёт гранулометрического состава продукта дробления в зависимости от начальной крупности измельчаемого материала, его физико-механических свойств, конструктивных и режимных параметров дробильного устройства. Поскольку опыт дробления энергетических углей в аппаратах рассматриваемого типа нам неизвестен, модель идентифицирована по имеющимся экспериментальным данным, полученным при дроблении известняка и железной руды с учетом физико-механических свойств материалов.

В основу математической модели положена классическая балансовая модель измельчения:

$$f(\delta_i) = f_0(\delta_i) [1 - P(\delta_i)] + \int_{\xi=\delta_i}^{\delta_{\max}} \frac{dF(\delta_i, \xi)}{d\xi} f_0(\xi) P(\xi) d(\xi), \quad (1)$$

где $P(\xi)$ – селективная функция измельчения; $F(\delta_i, \xi)$ – распределительная функция; $f_0(\delta)$ – плотность распределения исходного материала; $f(\delta)$ – плотность распределения разрушенного материала.

Математическое описание процесса преобразования дисперсной среды по балансовой модели заключается в составлении материальных балансов для всех классов крупности до и после разрушения на основе расчета селективной и распределительной функций для каждого класса.

Селективная функция. Селективная функция $P(\delta)$ определяет вероятность разрушения частиц размера δ и численно равна массовой доле разрушенных частиц класса δ .

Для описания селективной функции $P(\delta)$ нами предложена следующая зависимость:

$$P(\delta) = 1 - e^{-\left(\frac{\delta}{a}\right)^{b \cdot D + c}}, \quad (2)$$

где a, b, c – константы; D – производительность дробильного устройства, т/ч; δ – размер разрушаемых частиц, мм.

Коэффициент a определяет размер частиц, вероятность разрушения которых составляет 63,2%. Параметры идентификации a, b и c зависят от конструктивных особенностей дробильного устройства. Большее количество параметров идентификации определяет лучшие прогностические свойства модели.

Существенным достоинством формулы (2) является наличие асимптотического предела вероятности разрушения, равного 100% (рис. 1), достижение и превышение которого невозможно в силу специфики аналитического выражения (2).

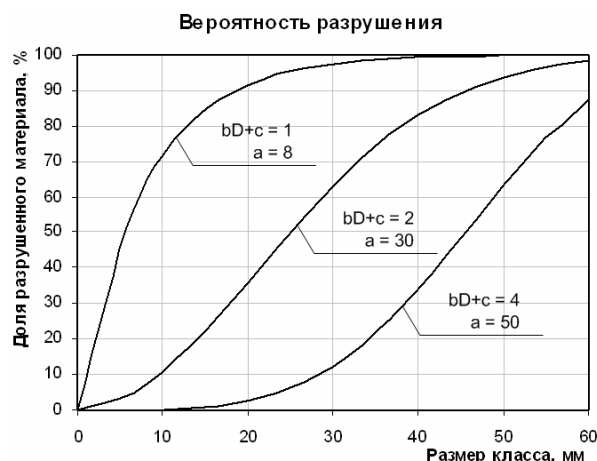


Рис. 1. Селективная функция распределения

Аналитические выражения, аналогичные (3)

$$P(\delta) = \alpha \cdot \delta^\beta, \quad (3)$$

не обладают подобного рода фиксированной асимптотой, и для некоторых классов крупности их значения могут выходить за рамки физического смысла. Определение подобных выбегов и устранение при-

чин, их вызывающих, является дополнительной задачей, усложняющей расчет.

Распределительная функция. Распределительная функция $F(\delta_i, \xi)$ характеризует распределение осколков разрушенного материала δ_i по классам меньшего размера ξ .

Как правило, распределительную функцию представляют в виде диагональной матрицы коэффициентов b_{ij} , соответствующих относительной доле разрушенных частиц класса i , попавших в класс j после цикла нагружения. Способы определения коэффициентов b_{ij} зачастую взаимосвязаны с соответствующими значениями селективной функции

$$b_{ij} = \frac{S_{i-1} - S_i}{S_j} \quad (4)$$

В подобных случаях значительно ухудшаются прогностические свойства моделей, вследствие зависимости гранулометрического состава дробимого продукта от значений параметров идентификации, входящих лишь в селективную функцию. Это обстоятельство противоречит физике процесса измельчения, согласно которой распределение осколков по размерам в большей степени зависит от физико-механических свойств дробимого материала, а не условий размола, в то время как на параметры селективной функции доминирующее влияние оказывают как раз конструктивные и режимные особенности процесса измельчения.

Для расширения области применения модели ударного разрушения, представленной в данной статье, в качестве распределительной функции была взята зависимость Харисона, значения которой не зависят от значений селективной функции:

$$F(\delta_i, \xi) = 1 - \left[1 - \left(\frac{\xi - \delta_{\min}}{\delta_i - \delta_{\min}} \right)^m \right]^q \quad (5)$$

где m, q – параметры вида кривой распределения; δ_i, δ_{\min} – параметры положения кривой распределения, мм.

Коэффициент m является параметром идентификации дисперсной среды и зависит от комплекса физико-механических свойств дробимого материала.

Коэффициент q зависит как от производительности, так и от частоты вращения ускорителя, интенсивность его возрастания повышается при снижении расхода дробимого материала и увеличении угловой скорости ускоряющего диска (рис. 2).

Функция Харисона адекватно описывает распределение осколков хрупкого материала, подвергающегося однократному нагружению сжатием. Разрушение при свободном ударе отличается от разрушения сжатием высокой интенсивностью нагружения при малом времени контакта и высокой скорости соударения. К тому же, осколки разрушенного при свободном ударе материала обладают более высоким количеством степеней свободы, чем при стесненном ударе и, тем более, чем при чистом сжатии. Далее будет определена возможность применения зависимости (5) в качестве распределительной функции при свободно-ударном разрушении таких материалов, как известняк и железная руда.

Плотность распределительной функции (5) удовлетворяет стандартному условию нормировки

$$\int_{\delta_{\min}}^{\delta_i} \frac{dF(\delta_i, \xi)}{d\xi} = 1 \quad (6)$$

и показана на рис. 3, 4.

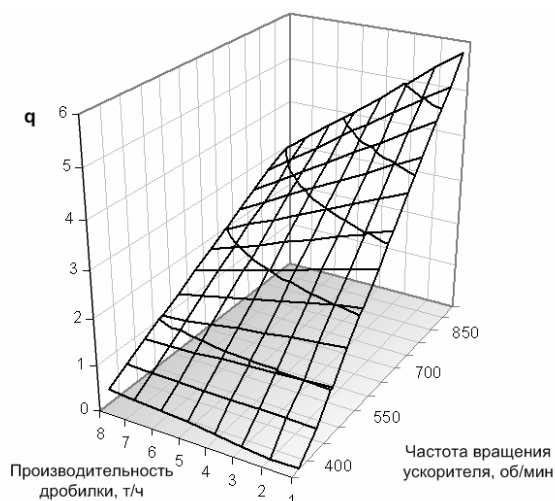


Рис. 2. График зависимости коэффициента q от режимных параметров дробильного устройства при измельчении известняка

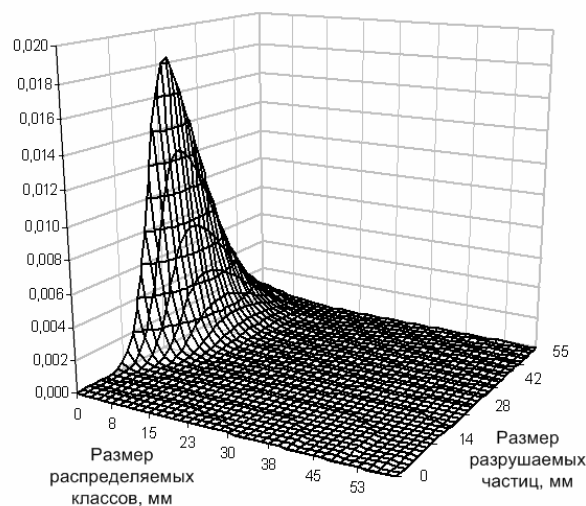


Рис. 3. Трехмерный график плотности распределительной функции при ударном разрушении железной руды в центробежной дробилке Титан Д-250 при $D = 152,4$ т/ч, $\omega = 675$ об/мин

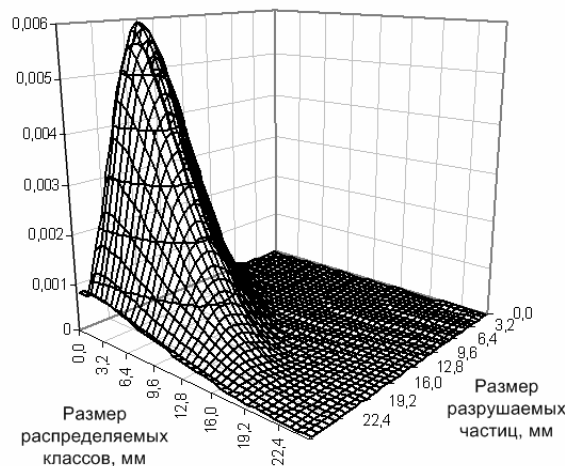


Рис. 4. Трехмерный график плотности распределительной функции при ударном разрушении известняка в осевой горизонтальной центробежной дробилке при $D = 7$ т/ч, $\omega = 540$ об/мин

Идентификация модели. В качестве экспериментальных данных были использованы результаты тестовых испытаний по размолу железной руды в центробежной дробилке Титан Д-250 (ЗАО «Новые технологии») [2] и данные, полученные С. Николовым по дроблению известняка в горизонтальной осевой ударной дробилке [3].

Испытания дробилки Д-250 проводились на обогатительной фабрике Качканарского ГОКа. В качестве дробимого материала использовалась железная руда Михайловского месторождения. Эксперименты проводились при нагрузках от 100 до 230 т/ч, при частоте вращения ускорителя от 650 до 750 об/мин. Результаты расчета по математической модели в достаточной степени адекватности согласуются с опытными данными по дроблению железной руды (рис. 5).

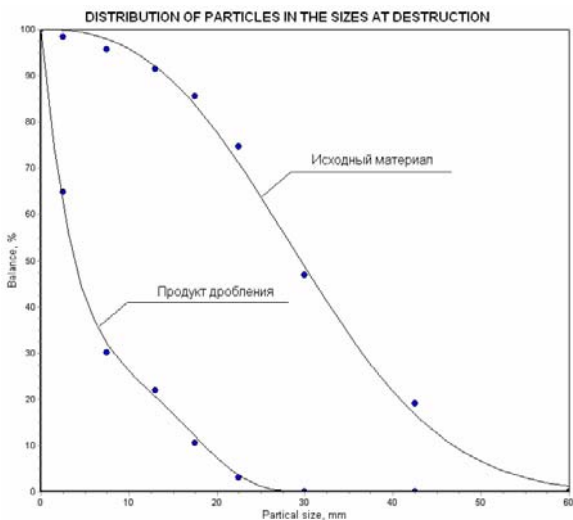


Рис. 5. Графическое представление процесса преобразования гранулометрического состава в центробежной дробилке Титан Д-250 при $D = 195,5$ т/ч, $\omega = 700$ об/мин: точки — опытные данные; линия — расчет по модели

Результаты расчета процесса дробления известняка показаны на рис. 6. Опыты проводились при нагрузках 2 и 7 т/ч и различных скоростях вращения ускорителя: 540, 720, и 900 об/мин (линии 1, 2, 3 соответственно).

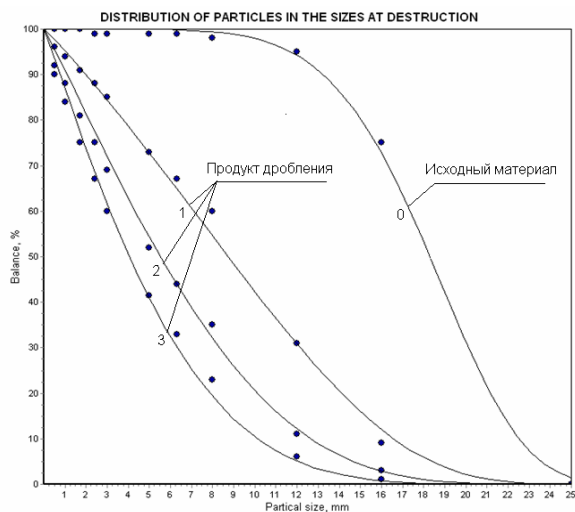


Рис. 6. Графическое представление процесса преобразования гранулометрического состава в горизонтальной осевой ударной дробилке при производительности 7 т/ч: точки — опытные данные; линия — расчет по модели

Анализ результатов расчетов гранулометрического состава измельчения известняка и железной руды показал:

- плотность распределения продукта дробления смещается в сторону мелких классов:
 - при увеличении скорости нагружения;
 - снижении производительности дробильного устройства при равных скоростях вращения ускорителя;
- отклонение расчетного гранулометрического состава от полученного в эксперименте не превышает погрешности определения последнего.

Программный комплекс. Для прогнозирования деформации дисперсного состава продукта измельчения при конструктивных изменениях дробильного устройства, отклонениях режимных параметров, а также изменении физико-механических характеристик исходного материала в среде Delphi разработан программный комплекс, позволяющий проводить численные эксперименты при возможности изменения исходного гранулометрического состава, производительности дробилки и частоты вращения ускорителя. В программном комплексе при аппроксимации гранулометрического состава исходного материала используется закон Розина-Раммлера, широко используемый для большинства полидисперсных сред.

Одна из экранных расчетных форм данной автоматизированной программы приведена на рис. 7.

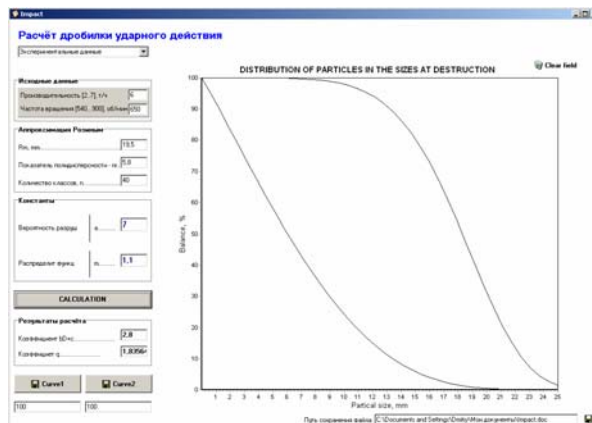


Рис. 7. Экранная форма расчета параметров продукта дробления при производительности горизонтальной осевой ударной дробилки 6 т/ч и частоте вращения ускорителя 650 об/мин

Заключение

1. Разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать преобразование гранулометрического состава в дробилках, реализующих ударный принцип разрушения.
2. Предложенное уравнение (2) удовлетворительно описывает вероятность разрушения твердых частиц при свободном ударе.
3. Расширена область верификации зависимости Харисона (5), которая была использована в качестве распределительной функции балансовой модели (1) при свободно-ударном дроблении.
4. Разработан программный комплекс, позволяющий прогнозировать деформацию фракционного состава продукта измельчения при изменении конструктивных и эксплуатационных параметров дробилки и физико-механических свойств дробимого материала.

Список литературы

- 1. Головков Ю.П.** Дробление твердого топлива на тепловых электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 114 с.
- 2. Испытания** центробежной дробилки Титан Д-250 на Качканарском ГОКе / Л.Ф. Биленко, Ю.И. Азбель, В.И. Лисица и др. // Обогащение руд. – 2004. – № 1.
- 3. Nicolov S., Lucion Chr.** Modeling and simulation of particle breakage in impact crushers// 10th European Symposium on Comminution, 2–5 September 2002, Heidelberg, Germany.