

УДК 622.011

**К.И. Наумов, А.С. Самарханова, Е.И. Труба,
Н.В. Харитонова**

**ОСОБЕННОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ
ПОРОД, ПОДВЕРЖЕННЫХ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ
ОБРАБОТКЕ**

Семинар № 3

В зависимости от природы перерабатываемого материала и характера его использования к процессу измельчения предъявляются разнообразные требования по крупности готового продукта, его чистоте и другое. Это приводит к необходимости детального изучения закономерностей процесса измельчения материалов, в частности, установлению взаимосвязи между крупностью готового продукта, определению физико-химических и механических параметров его частиц.

Для управления процессом измельчения различных материалов с целью получения желаемой характеристики крупности готового продукта необходимо знать, как протекает данный процесс во времени, т.е. знать его кинетику, иметь математическое выражение этого процесса. Изучением кинетики измельчения занимались в разное время многие исследователи. Предложено много простых и сложных уравнений, с той или иной степенью точности учитывающих физическую сущность процесса и описывающих кинетику измельчения.

Для выбора необходимого в дальнейших исследованиях простого и удобного уравнения кинетики, отвечающего физической сущности процесса, рассмотрим известные уравне-

ния и различные подходы к математическому описанию измельчения как кинетическому процессу.

Е. Дэвис высказал предположение о том, что скорость измельчения крупного класса прямо пропорциональна количеству этого класса. Миттаг, А.И. Загустин, В.В. Товаров выразили эту закономерность в виде:

$$\frac{dR}{dt} = -kR \quad (1)$$

где R - содержание крупного неизмельченного класса в продукте измельчения, равное остатку на сите к моменту времени t , %; t - время измельчения; k - постоянный параметр, зависящий от условий измельчения и свойств измельчаемого материала.

При интегрировании этого уравнения получаем

$$R = R_0 \cdot e^{-k \cdot t}, \quad (2)$$

где R_0 - содержание крупного класса в материале до начала измельчения, %.

Данное уравнение применимо к процессу измельчения лишь в редких случаях: при постоянной измельчаемости крупного класса, когда скорость измельчения не зависит от продолжительности, крупности и содержания в измельчаемом продукте крупного класса. Это может иметь место при измельчении гомогенных мономинеральных пород, таких как, на-

пример, кварц или мрамор. Для рудных материалов это уравнение дает значительные отклонения от опытных данных.

В.В. Товаров в упрощенное уравнение (2) зависимости содержания крупной фракции в мельнице от времени измельчения ввел эмпирический показатель степени b при времени t , учитывающий изменение скорости измельчения со временем:

$$R = R_0 e^{-kt^b}, \quad (3)$$

Данное уравнение достаточно хорошо описывает большинство опытных данных в определенных пределах времени измельчения и крупности измельчаемого продукта.

Величина параметра k уравнения (3) зависит от крупности частиц. Некоторые авторы дали количественные выражения зависимости между скоростью измельчения и крупностью частиц продукта.

А.Г. Тунцов установил, что величины, обратные продолжительности измельчения до данной крупности (соответствующие параметру k в уравнении кинетики), оказываются прямо пропорциональными крупности частиц.

В.А. Перов, предположив, что при измельчении различных классов производительность изменяется приблизительно прямо пропорционально крупности класса X , взятой в некоторой степени n , заменив величину k в уравнении кинетики выражением ax^n . Тогда уравнение кинетики измельчения принимает вид

$$R = R_0 e^{-ax^n t^b}, \quad (4)$$

где a – некоторый коэффициент пропорциональности, учитывающий условия измельчения.

Уравнение (4) может быть названо объединенным уравнением кинетики измельчения – характеристики круп-

ности. Оно выражает зависимость содержания частиц одновременно от двух факторов: предельной крупности и продолжительности измельчения.

Объединенное уравнение пригодно не для всех случаев и условий измельчения. Опыт показывает, что с уменьшением крупности измельчения величина n возрастает. Объединенное уравнение этого не отражает.

Некоторые исследователи использовали другие уравнения для описания кинетики измельчения. В частности Ж. Гудерманн использовал уравнение

$$\frac{dR}{dt} = -kR^n, \quad (5)$$

которое формально равнозначно процессу протекания химических реакций, где n определяет порядок реакции. Скорость «протекания функции» dR/dt равна функции «концентрации» R реагирующих частиц. Интересно заметить, что дифференциальные уравнения химической кинетики являются универсальным способом представления зависимости концентраций веществ от времени и составляют основу её математического аппарата [1].

$$w = -\frac{d[A]}{dt}, \quad (6)$$

где w – скорость химической реакции, $d[A]/dt$ – изменение концентрации вещества с течением времени.

Согласно основному постулату химической кинетики,

$$w = k \cdot [A], \quad (7)$$

Таким образом, система дифференциальных уравнений химической кинетики, описывающая изменение концентраций участников реакции с течением времени, имеет следующий вид [2].

$$\frac{d[A]}{dt} = -k \cdot [A], \quad (8)$$



а)



б)



в)

Рис. 1. Магнитно-импульсная установка ГАН-5000

Просматривается аналогия уравнения (8) с уравнениями кинетики измельчения (1).

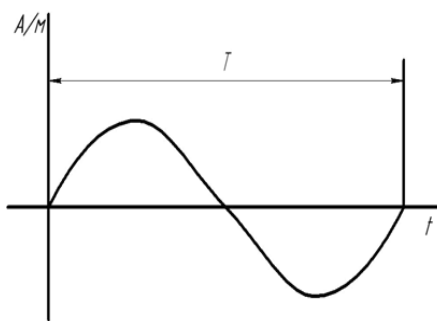
В действительности на практике используется аналогичное уравнение кинетики измельчения, которое наиболее точно отражает все особенно-

сти процесса и имеет вид:

$$R = e^{-kd^m}, \quad (7)$$

где R - содержание в продукте частиц крупнее d , %; d - крупность частиц, мкм; k , m - постоянные для данного гранулометрического состава коэффициенты.

НЧ



КОМБ.

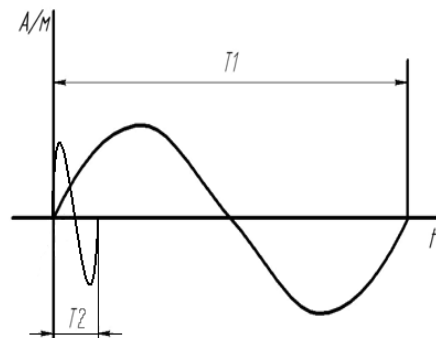


Рис. 2. Напряженность поля в одном импульсе при режимах НЧ и комбинированном

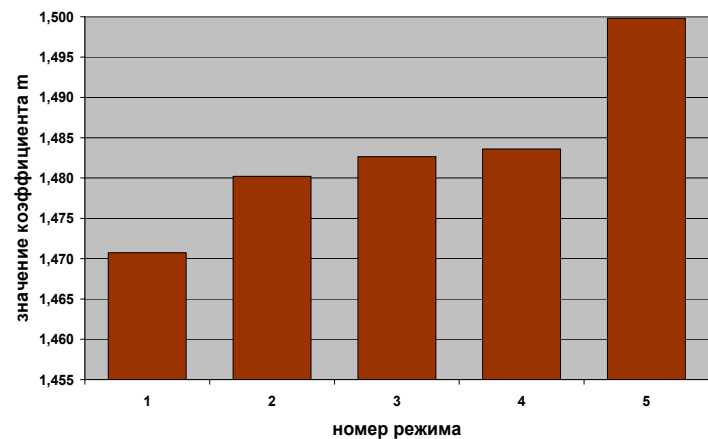
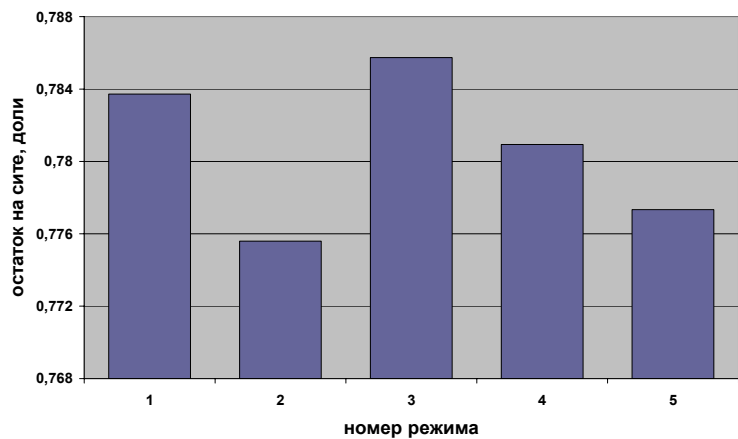


Рис. 3. Диаграммы зависимости остатка на сите с размером ячеек 2 мм и коэффициента m от режима обработки *

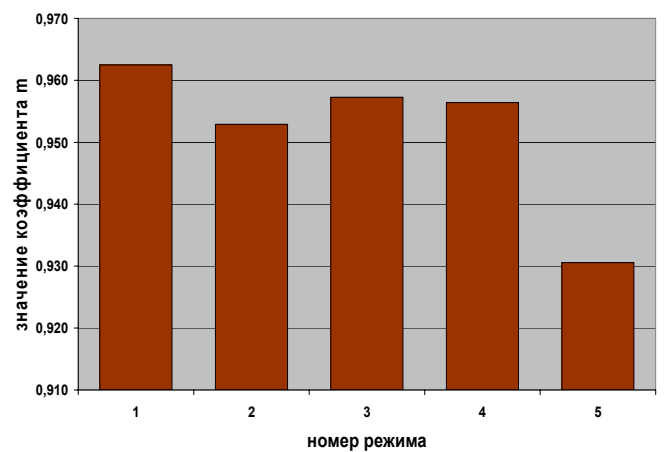
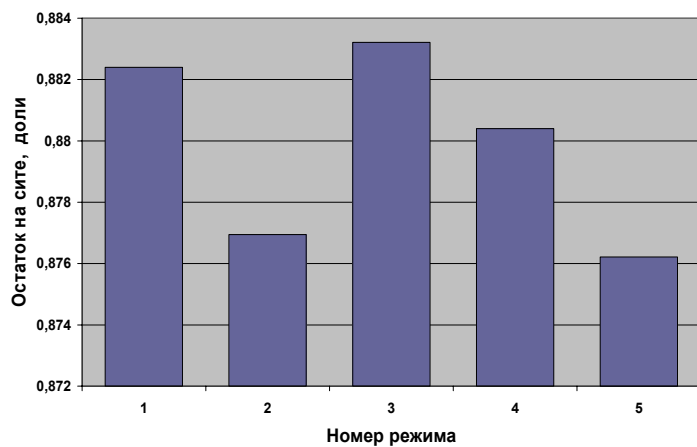


Рис. 4. Диаграммы зависимости остатка на сите с размером ячеек 1 мм и коэффициента m от режима обработки *

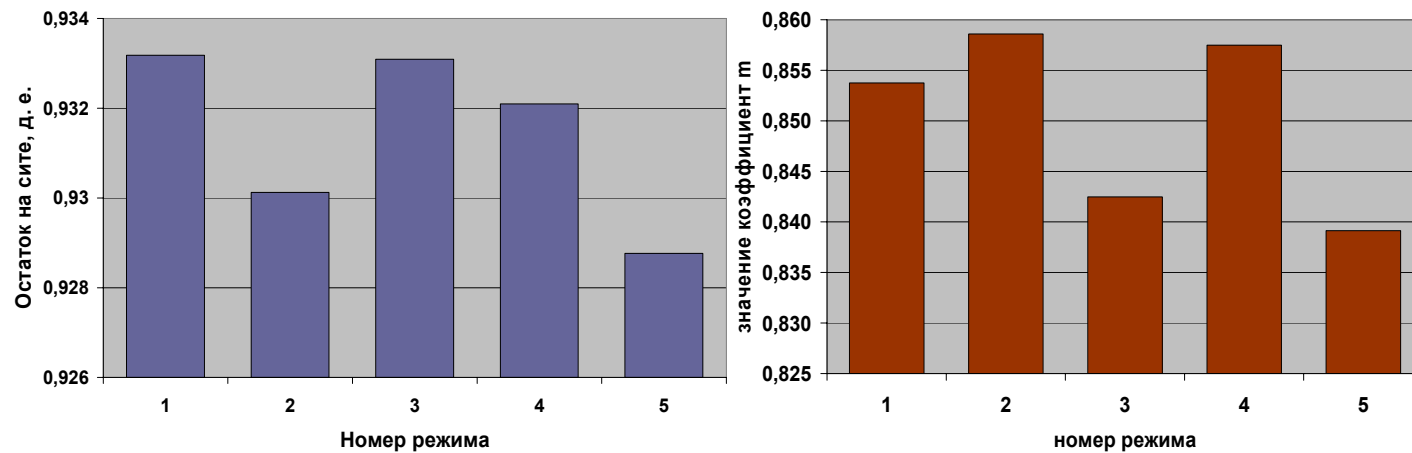


Рис. 5. Диаграммы зависимости остатка на сите с размером ячеек 0, 5 мм и коэффициента t от режима обработки *

*ПРИМЕЧАНИЕ: 1. Контрольная проба; 2. МИО, $N=7,65 \cdot 10^5$ А/м НЧ 3 имп.; 3. МИО, $N=4,6 \cdot 10^5$ А/м НЧ 3 имп.; 4. МИО, $N=2,5 \cdot 10^5$ А/м Комб. 3/30; 5. МИО, $N=4,6 \cdot 10^5$ А/м НЧ 12 имп.

Эта формула получена эмпирическим путем. Показатель m характеризует поверхностную активность разрушенной горной породы и отражает степень однородности размалываемого материала.

В этой работе поставлена задача: исследовать влияние магнитно-импульсной обработки перед измельчением на изменение коэффициента m . Для этого были проанализированы данные, полученные при измельчении золотосодержащих упорных пиритовых руд, при этом перед измельчением проводили магнитно-импульсную обработку на разных режимах.

Режимы магнитно-импульсной обработки реализованы на магнитно-импульсной установке ГАН-5000, которая состоит из блока управления (рис. 1, а), силового блока (рис. 1, б), и непосредственно индукторной части (рис. 1, в).

На установке можно задавать 2 вида режимов: так называемый НЧ – режим с низкочастотным полем, когда можно изменять напряженность поля и количество импульсов; а так же комбинированный режим, когда одновременно на руду воздействуют высокочастотным и низкочастотным полем (рис. 2).

Затем обработанную руду разрушали на копре и просеивали на ситах с размером ячеек 2 мм, 1 мм, 0,5 мм, при этом остаток на сите характеризует степень разупрочнения. Результаты анализа представлены на следующих диаграммах (рис. 3).

Что бы оценить изменение коэффициента m , необходимо рассмотреть и сравнить диаграммы зависимостей остатка на сите и при этом полученного коэффициента m от выбранного режима обработки МИО. Анализируя полученные диаграммы (рис. 3-5) можно сделать вывод:

в процессе проведенных исследований установлено, что магнитно-импульсная обработка не только разупрочняет обрабатываемый материал, а так же изменяет их поверхностные свойства, т.е. разрушенная порода обладает новыми качествами. Следовательно, так как процесс механического разрушения горных пород аналогичен процессу протекания химических реакций, то используя магнитно-импульсную обработку можно управлять и поверхностными свойствами материала и выходом класса крупности, с учетом производственных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биленко Л.Ф.* Закономерности измельчения в барабанных мельницах. – М: Недра, 1984, 200 с.

2. *Леванов А.В., Антипенко Э.Е.* Введение в химическую кинетику. – М.: МГУ Химический факультет, кафедра физической химии, 2006, 51 с. **ИДБ**

Коротко об авторах

Наумов К.И. – кандидат технических наук, профессор каф. ФГПИП;

Самерханова А.С. – аспирант, кафедры ФГПИП;

Труба Е.И. – студент, гр. ГФ-1-04;

Харитонов Н.В. – студент, гр. ГФ-1-04.

Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 3 симпозиума «Неделя горняка-2008».

Рецензент д-р техн. наук, проф. *С.А. Гончаров.*