

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУД

Докт. техн. наук, проф. ШПУРГАЛОВ Ю. А.¹⁾, САПЕШКО В. В.²⁾, асп. ШПУРГАЛОВА М. Ю.¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,
²⁾ОАО «Белгорхимпром»

Процессы подготовки руд к обогащению (дробление, грохочение, измельчение, классификация) широко используются во многих отраслях переработки минерального сырья как у нас в стране, так и за рубежом. Поэтому актуальной является задача исследования этих процессов на математических моделях. В результате решения такой задачи можно достаточно точно предсказать и оптимизировать показатели работы промышленных установок.

Авторами ставилась задача разработать компьютерную модель, позволяющую достаточно полно учесть основные технико-экономические характеристики изучаемого процесса дробления, а также связь между количеством полезно затрачиваемой энергии и характеристиками материала до и после дробления, что, в конечном счете, позволяет достичь наибольшей экономичности процесса.

Вывод основных расчетных соотношений. Большинство прикладных оптимизационных задач промышленного производства могут быть формализованы в классическом представлении в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} F_j(\bar{X}_N, \bar{A}, t) \rightarrow \text{extr}; \\ \hat{O}_r(\bar{X}_N, \bar{A}, t) \leq 0, \quad r \in [1, R]; \\ Q_s(\bar{X}_N, \bar{A}, t) = 0, \quad s \in [1, S]; \\ \bar{X}_N \in x_1, x_2, \dots, x_N; \\ x_i \in x_{i\min}, x_{i\max}, \quad i \in 1, N; \\ \bar{A} \in a_1, a_2, \dots, a_A, \end{cases} \quad (1)$$

где $F_j(\bar{X}_N, \bar{A})$ – формализует достижение экстремальных значений критериями задачи; $\Phi_r(\bar{X}_N, \bar{A})$ и $Q_s(\bar{X}_N, \bar{A})$ – формализуют соответственно R ограничений и S условий, которым должны удовлетворять переменные параметры модели; t – указывает на то, что модель является динамической; \bar{X}_N – неизвестные переменные, полно и однозначно характеризующие процесс дробления.

Следует отметить, что формализованная в виде (1) модель является достаточно универсальной и описывает широкий круг практических проблем [1].

Определим переменные, входящие в целевую функцию и ограничения, применительно к исследуемому процессу дробления калийных руд. В исходных данных целесообразно выделить следующие классы переменных:

- первая группа характеризует физико-механические свойства руды:

γ – плотность, кг/м³;

l_{cp} – средний размер структурного образца, поступающего на дробление, мм;

$\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности на сжатие, МПа;

σ_{p} – предел прочности на растяжение, МПа;

A – показатель абразивности руды;

R_5 – процентное содержание класса +5 мм;

α_1 – процентное содержание класса –1 мм;

ν – коэффициент Пуассона;

- вторая группа характеризует режим процесса дробления:

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования оборудования во времени за смену;

$n_{см}$ – число рабочих смен;

$d_{ср}$ – средний диаметр кусков дробленой руды, по которому рассчитываются параметры дробления, м;

K_d – число вариантов расчетов, которые нужно сделать при различных $d_{ср}$;

• третья группа характеризует технические и экономические показатели дробильных установок:

n – количество оборотов ротора дробилки;

b – величина нагрузки, т/ч;

I – потребляемый ток, кВт.

Преобразуем выражение (1) для установления зависимости между технико-экономическими показателями дробления калийной руды.

Для построения аналитического вида целевой функции и ограничений поставленной задачи были проанализированы экспериментальные данные работы молотковой дробилки СМ-170В при дроблении калийной руды на

4-м рудоуправлении ОАО «Беларуськалий». Эти данные взяты из отчета о НИР [2].

В процессе экспериментальных исследований измеряли потребляемый ток электродвигателя дробилки в зависимости от нагрузки по руде для различных значений количества оборотов двигателя установки. Полученные данные представлены в табл. 1.

Считая напряжение двигателя дробилки примерно постоянным $U = const = 380$ В, считаем значения мощности $N = \frac{380I}{1000}$, кВт, и

удельной потребляемой мощности дробилки

$$\eta = \frac{N}{B}, \text{ кВт}\cdot\text{ч/т.}$$

Находим вид зависимости между удельной потребляемой мощностью η и исходной нагрузкой с помощью пакета Excel для вычислений по следующему алгоритму.

1. Строим график зависимости между исходными данными (функция «Графики» → «Точечная диаграмма»).

Таблица 1

Экспериментальные данные испытаний дробилки СМ-170В на 4-м РУ ОАО «Беларуськалий»

Количество оборотов ротора дробилки n , об/мин	Исходная нагрузка по руде b , т/ч	Содержание класса +5 мм в готовом дробленом продукте R_5 , %	Содержание класса –1 мм в готовом дробленом продукте α_1 , %	Потребляемый ток двигателя дробилки I , А	Потребляемая мощность дробилки N , кВт·ч	Удельная потребляемая мощность дробилки η , кВт·ч/т
350	178	14,1	38,4	160	60,8	0,34
	333	21,9	31,3	210	79,8	0,24
	681	30,0	35,7	380	144,4	0,21
450	205	14,5	34,6	200	76	0,37
	392	17,2	36,1	250	95	0,24
	546	25,0	32,5	380	144,4	0,26
550	272	13,2	40,5	210	79,8	0,29
	427	15,7	39,3	290	110,2	0,26
	414	12,6	40,9	380	144,4	0,35
650	284	9,9	44,4	220	83,6	0,29
	362	10,9	42,2	260	98,8	0,27
	356	10,8	43,3	380	144,4	0,41
750	383	10,6	43,9	320	121,6	0,32
	467	8,6	45,7	380	144,4	0,31

2. Добавляем на полученный график линию тренда, аппроксимирующую исходную функцию к одной из шаблонных зависимостей, включенных в пакет Excel: экспоненциальной, линейной, логарифмической, полиномиальной или степенной.

3. Рассчитываем при помощи встроенных в Excel функций коэффициент корреляции полученной функции и выбираем из них ту, которая наиболее точно описывает соответствие между исходными параметрами (иными словами, имеет коэффициент корреляции, наиболее близкий к единице).

В табл. 2 и 3 показана наиболее точная зависимость между параметрами, описывающими процесс дробления калийной руды для количества оборотов ротора $n = 350$.

Таблица 2

Зависимость удельной потребляемой мощности η от исходной нагрузки дробилки b

Исходная нагрузка b , т/ч	Удельная потребляемая мощность η , кВт·ч/т
178	0,34
250	0,27
333	0,24
500	0,21
557	0,21
681	0,21

Таблица 3

Подбор эмпирической формулы для определения зависимости между η и b

Вид эмпирической зависимости	Формула	Коэффициент корреляции
Линейная	$y = 0,000001x + 0,344$	0,750
Экспоненциальная	$y = 0,353e^{0,000001x}$	0,791
Логарифмическая	$y = 0,09\ln(x) + 0,806$	0,882
Степенная	$y = 2,029x^{-0,35}$	0,912
Полиномиальная	$y = 0,000001x^2 - 0,000994x + 0,476731$	0,961

Поскольку наибольший коэффициент корреляции имеет квадратическая (полиномиальная) функция, то выбирается зависимость вида, представленного на рис. 1.

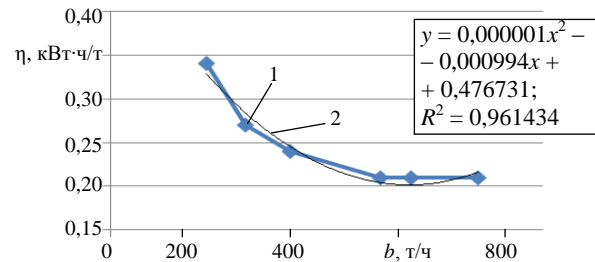


Рис. 1. Квадратическая зависимость удельной потребляемой мощности от исходной нагрузки: 1 – ряд 1; 2 – полиномиальная функция (ряд 1)

Аналогичным образом установим зависимости между исходной нагрузкой и удельной потребляемой мощностью для оборотов ротора, равных соответственно 450, 550, 650, 750:

$$\eta(b, n) = \begin{cases} 0,000001b^2 - 0,000994b + 0,476731, & n = 450; \\ 0,000002b^2 - 0,002139b + 0,706946, & n = 550; \\ -0,000047b^2 + 0,032774b - 5,136319, & n = 650; \\ -0,000321b^2 + 0,207427b - 32,688454, & n = 750. \end{cases}$$

Задача состоит в том, что требуется для каждого числа оборотов ротора n найти оптимальные (минимальные) значения удельной потребляемой мощности η при заданных ограничениях. Оптимальные точки находили с помощью встроенных функций пакета Excel (табл. 4).

Таблица 4

Оптимальные значения нагрузки для различных оборотов ротора дробилки

Количество оборотов ротора, об/мин	Оптимальная нагрузка, т/ч	Минимальная удельная потребляемая мощность, кВт·ч/т
350	681,00	0,158
450	534,75	0,135
550	427,00	0,258
650	362,00	0,335

ВЫВОДЫ

1. На основании экспериментальных данных, используя встроенные функции пакета Excel, построены аналитические функции, описывающие зависимость между основными параметрами процесса дробления калийных руд.

2. По полученным данным установлены оптимальные значения исходной нагрузки при

минимальной удельной потребляемой мощности для различных оборотов ротора дробилки.

3. Сравнив оптимальные значения, полученные экспериментальным путем, с опытными данными, можно сделать заключение о том, что модель адекватно и достоверно описывает процесс дробления и в дальнейшем может быть включена в состав автоматизированных систем управления технологическими процессами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпургалов, Ю. А. Компьютерное моделирование принятия решений в производственных задачах / Ю. А. Шпургалов. – Минск: БНТУ, 2009. – 217 с.

2. Выполнить исследования и провести опытно-промышленные испытания замкнутого цикла дробления калийной руды на 4-м РУ с использованием различных типов дробилок и модернизированного грохота ГИТ-71М с целью улучшения грансостава дробленого продукта: отчет о НИР / ОАО «Белгорхимпром»; рук. В. В. Сапешко. – Минск, 2007. – 56 с. – № ГР 400.В.2005–2006.

Поступила 10.10.2012

УДК 539.3/6 (076.5)

ТЕСТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ РАМНОЙ КОНСТРУКЦИИ КОМПАКТНОГО МЮОННОГО СОЛЕНоиДА МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Кандидаты техн. наук ЛАРЧЕНКОВ Л. В.¹⁾, ПРОТАСЕНЯ О. Н.¹⁾, инж. ПРОТАСЕНЯ И. О.²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет,
²⁾ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга»

ОАО «МЗОР» – управляющая компания холдинга «Белстанкоинструмент» изготовлены детали компактного мюонного соленоида (КМС) для большого адронного коллайдера (БАК) по заказу Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Швейцария). Коллайдер – устройство, в котором производится разгон протонов водорода до скорости света и столкновение их в КМС, где происходит измерение энергий и фотографирование образовавшихся частиц [1, 2].

Исследования проводятся учеными, которые должны дать ответ на интригующий вопрос физики о Вселенной. Откуда у тел возникает масса? Ученые пытаются отследить распад бозона «хиггса» на мюоны, считающиеся последними недостающими элементами современной теории элементарных частиц стандартной модели, образующиеся в результате столкновений встречных пучков, например «протон – протон» водорода. Эти гипотетические частицы отвечают за массы всех других частиц.

Пучки протонов, введенные в коллайдер, направляют навстречу друг другу. Образование новых частиц в КМС фиксируют кремниевые микроскопы и два калориметра: электромагнитный и адронный. Первый измеряет энергии электронов, позитронов и фотонов, второй – протонов, нейтронов, пионов и других тяжелых частиц. Мюоны свободно проходят через оба калориметра, поэтому пропорциональные камеры для их регистрации установлены вне соленоида.

В БАКе установлен самый мощный в мире сверхпроводящий электромагнит, энергия магнитного поля которого составляет 3 ГДж, а величина магнитной индукции – 4 Тл. С учетом этих условий проведено тестирование основных деталей КМС на кафедре «Сопротивление материалов машиностроительного профиля» БНТУ методом неразрушающего контроля.

Всякое изготавливаемое изделие – конструкция, сооружение – имеет целенаправленное назначение. Полнота осуществления назначения определяет нормальные условия исполь-