

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ КАЛИЙНЫХ РУД

¹Василевич Ю.В., ¹Шпургалова М.Ю., ²Сапешко В.В.¹ УО «Белорусский национальный технический университет», Минск²ОАО «Белгорхимпром», Минск

Развитие компьютерных технологий оценки показателей технических процессов позволяет достаточно точно предсказать исход процесса, который поддается формализационному описанию.

В данной статье изложена задача разработанная компьютерная модель, позволяющая достаточно полно учесть основные технико-экономические характеристики процесса дробления калийных руд, что в конечном счёте, позволяет достичь наибольшей экономичности процесса.

Как установлено в работе [1] большинство прикладных оптимизационных задач промышленного производства могут быть формализованы в классическом представлении в виде:

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

Выражение $F_j(\bar{X}_N, \bar{A})$ формализует достижение экстремальных значений критериями задачи; $\Phi_r(\bar{X}_N, \bar{A})$ и $Q_s(\bar{X}_N, \bar{A})$ соответственно R ограничений и S условий, которым должны удовлетворять переменные параметры модели. Параметр 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 задач.

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

Первая группа переменных 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 +5мм; α_1 – процентное содержание класса –1мм; ν – коэффициент Пуассона.

Вторая группа переменных характеризует режим процесса дробления: k_u – коэффициент использования оборудования во времени за смену; $n_{\text{ссм}}$ – число рабочих смен; d_{cp} – средний диаметр кусков дробленой руды, по которому рассчитываются параметры дробления (м); K_d – число вариантов расчётов, которые нужно сделать при различных d_{cp} .

Третья группа переменных характеризует технические и экономические показатели дробильных установок: n – количество оборотов ротора дробилки; b – величина нагрузки (т/час); I – потребляемый ток (мощность) (кВт).

Преобразуем выражение (1) для установления зависимости между технико-экономическими показателями дробления калийной руды. Для построения аналитического вида целевой функции и ограничений нашей задачи были проанализированы экспериментальные данные работы молотковой дробилки СМ-170В при дроблении калийной руды на 4 рудоуправлении ОАО «Беларуськалий». Эти данные были взяты из отчёта о НИР [3]. Рассматривались экспериментальные данные следующего характера: измерялся потребляемый ток электродвигателя дробилки в зависимости от нагрузки по

руде для различных значений количества оборотов двигателя установки. Экспериментальные данные представлены в таблице:

Таблица 1 – Экспериментальные данные испытаний дробилки CM-170B на 4 РУ

Количество оборотов ротора дробилки	Исходная нагрузка по руде	Содержание класса +5 мм в готовом дробленом продукте	Содержание класса -1 мм в готовом дробленом продукте	Потребляемый ток двигателя дробилки	Потребляемая мощность дробилки	Удельная потребляемая мощность дробилки
n , об/мин	b , т/ч	R_5 , %	α_1 , %	I , А	N , кВт·ч	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

Считая напряжение двигателя дробилки примерно постоянным, $U = \text{const} = 380$ В, рассчитаем значения мощности $N = \frac{380 \cdot I}{1000}$ кВт и удельной потребляемой мощности дробилки $\eta = \frac{N}{B}$ кВт·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»).
2. Добавляем на полученный график линию тренда – линию, 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).

Ниже дан пример установления наиболее точной зависимости между параметрами, описывающими процесс дробления калийной руды для количества оборотов ротора $n = 350$:

Таблица 2 – Зависимость удельной потребляемой мощности η от исходной нагрузки b

Исходная нагрузка, b , т/ч	Удельная потребляемая мощность двигателя, 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 удельной потребляемой мощностью и исходной нагрузкой дробилки

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 следующего вида:

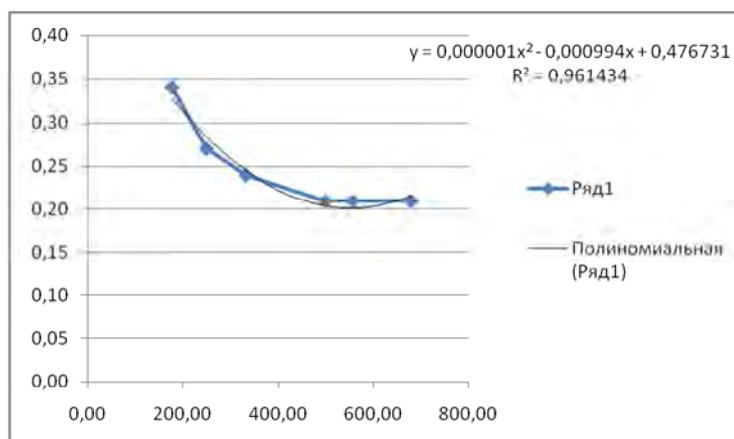


Рисунок 1 – График, выражающий квадратическую зависимость удельной потребляемой мощности от исходной нагрузки

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

$$\eta(b, n) = \begin{cases} 0,000001b^2 - 0,000994b + 0,476731, & n = 350 \\ 0,000002b^2 - 0,002139b + 0,706946, & n = 450 \\ -0,000047b^2 + 0,032774b - 5,136319, & n = 550 \\ -0,000321b^2 + 0,207427b - 32,688454, & n = 650 \end{cases}$$

Задача состоит в том, что требуется для каждого числа оборотов ротора n найти оптимальные (минимальные) значения удельной потребляемой мощности η при заданных ограничениях. Нахождение оптимальных точек велось с помощью встроенных функций пакета Excel.

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

Литература

1. Шпургалов, Ю.А. Компьютерное моделирование принятия решений в производственных задачах: монография/ Ю.А. Шпургалов. – Минск: БНТУ, 2009. – 217 с.
2. Выполнить исследования и провести опытно-промышленные испытания замкнутого цикла дробления калийной руды на 4 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.

Summary

Based on the experimental data the analytic functions that describe the relationship between the main parameters of the crushing process of potash ores. The optimal values of the original load at minimum specific power consumption for different rotor speed grinder. Comparing the optimal values with the experimental data, we conclude that the model adequately and accurately describe the process of fragmentation and can be further incorporated into the automated process control systems.

Поступила в редакцию 13.11.2012