

М. К. БАГДАСАРЯН

К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ПОТРЕБЛЯЕМОЙ РУДОРАЗМОЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ

Предлагается модель для теоретического исследования активной мощности, потребляемой мельницей. Освещены основные подходы формирования алгоритмов, на основе которых создана модель.

Ключевые слова: потребляемая мощность, рудоразмольная мельница, случайный фактор, момент сопротивления.

Известно, что процесс измельчения руд, а следовательно, и мощность, потребляемая приводным двигателем в рудоразмольной мельнице, носит случайный характер.

Статистическая взаимосвязь между параметрами процесса измельчения и мощности, потребляемой двигателем мельницы, обусловлена случайной функцией времени момента сопротивления. Известные методы определения активной мощности мельницы учитывают только ее средние значения и, следовательно, непригодны для анализа случайного характера мощности приводного двигателя мельницы.

Целью работы является разработка модели активной мощности, потребляемой приводным двигателем рудоразмольной мельницы, случайным образом меняющейся во времени.

Поставленная задача реализуется:

- формированием алгоритма, определяющего количество материала на каждом такте измельчения;
- формированием случайной функции времени момента сопротивления мельницы $M(t)$.

Для разработки алгоритма, определяющего количество материалов на каждом такте, процесс измельчения представляется действием элементарных процессов, проходящих на отдельных участках прохождения материала (круговой, параболический, малоподвижный). В целом процесс измельчения рассматривается как последовательность тактов измельчения (один такт соответствует времени одного цикла). Это значит, что количество рудных пульпов перед каждым измельчением будет [1]

$$m_{ip} = \sum_{j=1}^k F_{ij}, \quad (1)$$

где $F_{ij} = F_{i-1j} X$, $X = \frac{(1-C)(BD+1-D)}{1-C(BD+1-D)}$;

B, C, D - матрицы разрушения, классификации и отбора, соответствующие конкретным классам крупности; k - класс крупности, для которого выполняется условие $d_k < d_{доп}$.

При вращении барабана мельницы материал поднимается по круговым траекториям на высоту, различную для отдельных слоев материала, затем падает по параболическим траекториям обратно на круговые. В результате рудные частицы попадают под удар шаров [2], приводя к разрушению материала, вероятность которого зависит от массы внутримельничной загрузки, находящейся в параболической траектории, в свою очередь, зависящей от скорости вращения и заполнения мельницы. Очевидно, что изменение загрузки падающих материалов (параболическая траектория) приводит к изменению загрузки и на других участках мельницы, вследствие чего изменяется и момент сопротивления на этих участках. Из сказанного следует, что мощность электродвигателя расходуется на преодоление нескольких моментов (момент, создаваемый силами тяжести, действующими на круговых M_k и параболических M_p траекториях, момент малоподвижного участка M_c), случайным образом меняющихся во времени.

Вероятность попадания тех или иных частиц под удар шаров в процессе измельчения регулируется величиной циркулирующей нагрузки. При контролируемой крупности слива классификатора замедление измельчения зерен той или иной крупности приводит к возрастанию циркулирующей нагрузки, что увеличивает вероятность измельчения накапливающегося продукта до необходимого уровня за счет рассредоточения более крупных кусков руды в массе циркулирующего материала. Таким образом, для определения случайной функции времени момента сопротивления необходимо определить изменение циркулирующей нагрузки в зависимости от интенсивности попадания рудных частиц под удар шаров в i -ом такте измельчения.

Учитывая, что в начале измельчения циркулирующая нагрузка возрастает прямолинейно (первый этап), а по мере уменьшения диаметров рудных кусков (конечный этап) становится почти постоянной, получим

$$D = \begin{cases} KS \frac{t}{t_1}, & \text{если } t_i \leq t < t_i + t_1, \\ KS, & \text{если } t_i + t_1 \leq t < t_i + t_2, \\ 0, & \text{если } t_i > t > t_i + t_2, \end{cases} \quad (2)$$

где t_i - момент попадания частиц под удар шаров; t_1, t_2 - продолжительность первого и конечного этапов соответственно; K - коэффициент твердости материала; S - матрица циркуляции количества материалов всех классов крупности, подаваемой в процесс измельчения.

Число рудных частиц и шаров в i -ом такте на круговой (N_{ipk}, N_{gk}) и параболической (N_{inp}, N_{ng}) траекториях будет

$$N_{ikp} = \frac{\pi - 2\alpha}{\pi} t_n N_{ip}, \quad N_{inp} = \frac{\sin 2\alpha}{\pi} t_n N_{ip}, \quad (3)$$

$$N_{kg} = \frac{\pi - 2\alpha}{\pi} t_n N_g, \quad N_{ng} = \frac{\sin 2\alpha}{\pi} t_n N_g, \quad (4)$$

где
$$N_{ip} = \frac{6m_i}{d_p^3 \gamma_p \pi}, \quad \alpha = \arccos \frac{\omega^2 R}{g},$$

N_{ip} - количество рудных частиц; α - угол отрыва материалов внешнего слоя; t_n - время одного оборота барабана.

Учитывая, что вес материала, находящегося на круговых траекториях, во столько раз больше веса материала, находящегося на параболических траекториях, во столько раз время нахождения материала на круговых траекториях больше времени нахождения материала на параболических траекториях, можно определить вес рудных материалов (m_{ikp} , m_{inp}) и шаров (m_{kg} , m_{ng}) на круговой и параболической траекториях, что позволяет определить момент, создаваемый силой тяжести, действующей на круговой и параболической траекториях M_{ik} , M_{in} , и коэффициенты φ_{ik} , φ_{in} заполнения на этих участках в i -ом такте измельчения:

$$\begin{aligned} M_{ik} &= g(m_{ikp} + m_{kg})\ell_{ik}, \\ M_{in} &= g(m_{inp} + m_{ng})\ell_{in}, \\ \varphi_{ik} &= \frac{m_{ikp}}{\gamma_p V} + \frac{m_{kg}}{\gamma_g V} = \varphi_{ikp} + \varphi_{kg}, \\ \varphi_{in} &= \frac{m_{inp}}{\gamma_p V} + \frac{m_{ng}}{\gamma_g V} = \varphi_{inp} + \varphi_{ng}, \end{aligned}$$

где V - объем мельницы; γ_p - удельный вес рудной пульпы; γ_g - удельный вес шаров; ℓ_{ik}, ℓ_{in} - соответственно плечо силы тяжести по параболической и круговой траекториям.

Момент малоподвижного участка определяется, исходя из восстанавливающей силы G_τ и силы трения F между внешними поверхностями малоподвижного участка и участка, движущегося с угловой частотой (ω) барабана мельницы:

$$M_{ic} = G_\tau R_{io} + FR_{i2}, \quad (5)$$

где
$$G_\tau = 0,5gL\gamma_p R_{i2}^2 (\beta_i - \sin \beta_i) \sin \theta,$$

$$R_{io} = \frac{1}{3} R \sin^3 \frac{\beta_i}{2} \left(\frac{\beta_i}{2} - 0,5 \sin \beta_i \right)^{-1},$$

$$R_{i2} = 1,5 R_{io} \left(\frac{\beta_i}{2} - 0,5 \sin \beta_i \right) \left(\sin^3 \frac{\beta_i}{2} \right)^{-1}.$$

Центральный угол ω_i малоподвижного участка определяется решением следующего трансцендентного уравнения:

$$\varphi_{ic} = 0,5 \frac{\beta_i - \sin \beta_i}{\pi} . \quad (6)$$

Исходя из того, что в каждом такте измельчения с большой вероятностью рудные частицы попадают под удар шаров, моментом появления которого является случайный поток событий, рассматривается характер их распределения с учетом следующих предположений.

Для процесса измельчения руд характерны следующие особенности: попадания частиц под удар шаров на каждом исследуемом участке единичны; момент появления удара в данный момент времени не зависит от того, в какие моменты появлялись удары в прошлом; число появления ударов на разных участках одинаковой длины имеет одинаковое распределение.

Из сказанного очевидно, что поток событий обладает свойствами ординарности, стационарности и без последствий, следовательно, является стационарным пуассоновским потоком. Итак, функция распределения интервалов периодов появления удара (разрушение) между соседними кусками в i -ом такте ΔT_{iab} ($a = 1, N_{ip}, b = 1, N_{ig}$) (в дальнейшем индексы a и b опускаем) будет [3]

$$F(\Delta T_i) = 1 - \exp(-\lambda_i \Delta T_i) . \quad (7)$$

Дифференцируя (7), найдем плотность распределения случайной величины ΔT_i :

$$f(\Delta T_i) = \lambda_i \exp(-\lambda_i \Delta T_i) . \quad (8)$$

Интенсивность появления разрушения λ_i определяется в виде

$$\lambda_i = \frac{N_{ip}}{T_i} ,$$

где

$$T_i = t_i - N_{ip} \Delta t_k - \Delta t_i ;$$

t_k - продолжительность удара; Δt_i - продолжительность разрушения в i -ом такте за счет последнего куска предшествующего такта.

Условная плотность [3] распределения случайной величины ΔT_i в интервале $(0, T_i)$ будет

$$f^*(\Delta T_i) = \frac{\lambda_i \exp(-\lambda_i \Delta T_i)}{1 - \exp(-\lambda_i T_i)} . \quad (9)$$

Так как точка (T_i) появляется на участке $(0, T_i)$ совершенно случайно, то при этом она будет иметь равномерное распределение на участке $(0, T_i)$ [3]. Исходя из этого, генерировав величину v , равномерно распределенную в интервале $(0, 1)$, можно из соотношения $f^*(\Delta T_i) = f(v)$ определить последовательность ΔT_i :

$$\Delta T_i = (\lambda_i v - \ln(1 - \exp(-\lambda_i T_i))) / \lambda_i .$$

Имея шаг дискретизации ΔT_i , можно определить активную мощность, потребляемую приводным двигателем мельницы:

$$P(t) = (M_k(t) + M_n(t) + M_c(t))\omega .$$

Приведенная модель позволяет теоретически исследовать состояние активной мощности приводного двигателя мельницы, а использование результатов позволит повысить эффективность управления процессом измельчения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Линч А.Дж.** Циклы дробления и измельчения / Пер. с англ. - М.: Недра, 1981. - 343 с.
2. **Крюков Д.К., Миронюк А.Ф.** Учет ударных явлений в барабанных мельницах // Горный журнал. - 1983.- № 11. - С. 78-83.
3. **Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.** Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. - М.: Наука, 1991.- 381 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 7.06.2001.

Մ.Ք. ԲԱԴՂԱՍԱՐՅԱՆ

ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ ԱՂԱՅԻ ԱՎՏԻՎ ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՍՊԱՌՄԱՆ ՄՈՂԵԼԻ ՄՇԱԿՄԱՆ ՀԱՐՅԻ ՇՈՒՐՁ

Առաջարկվում է հանքաքարի աղացի՝ սպառող ակտիվ հզորության տեսական հետազոտման մոդել: Լուսարանվում են մոդելի ստեղծման հիմք հանդիսացող ալգորիթմի ձևավորման հիմնական մոտեցումները:

M.K. BAGHDASARYAN

ON PROBLEM OF ACTIVE POWER MODEL DEVELOPMENT CONSUMED BY ORE – MILLED MILLS

A model for theoretical studies of active power consumed by the mill is proposed. The basic approaches to algorithm formation based on the model are considered.