

УДК 621.926

П.Е. Вайтехович, доцент; Д.В. Гапанюк, студент; Д.В. Семененко, студент
**УСЛОВИЯ ОТРЫВА ШАРА ОТ СТенок БАРАБАНА В ПЛАНЕТАРНОЙ
 МЕЛЬНИЦЕ С ВНУТРЕННЕЙ ОБКАТКОЙ**

With use of D'alambert's principle the analysis of movement a grind sphere in a planetary mill is carried out and his condition avulsion from walls of a drum is established. Formulas for calculation of speed and a corner in time avulsion are received. The settlement way analyses change of normal reaction for one full cycle and the moment avulsion a sphere is determined on change of corners of turn drove and drum.

В барабанных мельницах, к которым можно отнести и планетарные, наиболее эффективным режимом работы является водопадный [1]. Он характеризуется подъемом материала и мелющих тел на угол больший 90° с последующим отрывом от стенок и падением вниз. В результате удара происходит дополнительное разрушение твердого материала.

Рассмотрим положение измельчающего тела (шара) в произвольной точке B , рис. 1.

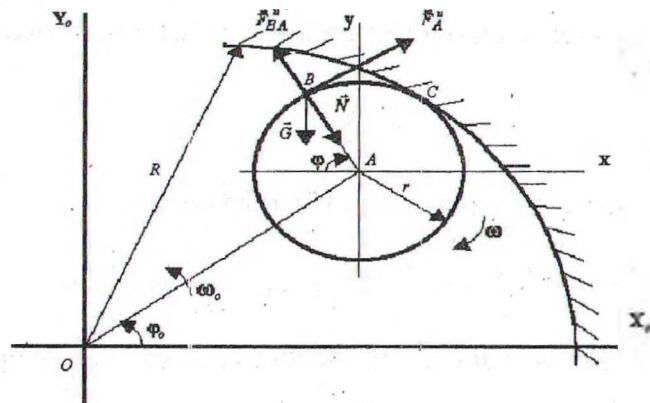


Рис. 1. Расчетная схема планетарной мельницы

Его движение представляется в подвижной системе координат AXU , которая перемещается поступательно по окружности относительно неподвижной системы координат OX_0Y_0 . В этом случае на шар действуют: сила тяжести G , сила трения F_T , реакция связи N , переносная F_A^u и относительная F_{BA}^u силы инерции [2].

Для выяснения условий отрыва шара от стенок барабана необходимо спроектировать все силы на ось, совпадающую с его радиусом. Уравнение в проекциях на эту ось будет иметь вид

$$F_{BA}^u = N + G \cdot \sin \varphi + F_A^u \cdot \cos(\varphi_0 + \varphi), \quad (1)$$

где φ_0 и φ – углы поворота водила и барабана.

В момент отрыва реакция связи становится равной нулю $N = 0$. Или из уравнения (1)

$$N = F_{BA}^u - G \cdot \sin \varphi - F_A^u \cdot \cos(\varphi_0 + \varphi) = 0, \quad (2)$$

Инерционные силы рассчитываются по формулам:

$$F_A = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot k^2 \cdot R}{1-k}; \quad F_{BA} = m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot R, \quad (3)$$

где m – масса шара; ω – угловая скорость барабана; $k = r/R$ – геометрический критерий; r – радиус барабана; R – радиус неподвижной окружности.

Подставив значения для всех сил в уравнение (2), получим

$$m \cdot \omega^2 \cdot k \cdot R - m \cdot g \cdot \sin \varphi - \frac{m \cdot \omega^2 \cdot k^2 \cdot R}{1-k} \cdot \cos(\varphi_0 + \varphi) \leq 0, \quad (4)$$

После сокращения массы и упрощения выражения оно примет вид

$$\omega^2 \cdot k \cdot R \cdot \left[1 - \frac{k}{1-k} \cdot \cos(\varphi_0 + \varphi)\right] - g \cdot \sin \varphi \leq 0, \quad (5)$$

Уравнение (5) представляет условие отрыва шара от стенок барабана. Причем его можно считать как относительную реакцию, т.е. величину реакции, отнесенную к единице массы шара $N_{\text{отн}} = N / m$. По этому уравнению можно легко проследить изменение реакции связи при разных значениях углов поворота водила и барабана.

Обычно изменение всех параметров осуществляется за один полный оборот водила. Поэтому целесообразнее в уравнении (5) провести замену φ и ω на φ_0 и ω_0 . Для планетарной мельницы с внутренней обкаткой связь этих параметров устанавливается формулами

$$\omega = \omega_0 \cdot \frac{1-k}{k}; \quad \varphi = \varphi_0 \cdot \frac{1-k}{k}. \quad (6)$$

Подставив эти значения в уравнение (5), получим

$$\omega_0^2 \cdot \left(\frac{1-k}{k}\right)^2 \cdot k \cdot R \cdot \left[1 - \frac{1-k}{k} \cdot \cos \frac{\varphi_0}{k}\right] - g \cdot \sin \left(\frac{1-k}{k} \cdot \varphi_0\right) \leq 0. \quad (7)$$

После преобразования условие отрыва шара (относительная реакция) примет вид

$$\omega_0^2 \cdot R \cdot (1-k) \cdot \left[\frac{1-k}{k} - \cos \frac{\varphi_0}{k}\right] - g \cdot \sin \left(\frac{1-k}{k} \cdot \varphi_0\right) \leq 0. \quad (8)$$

Важным параметром является скорость шара в точке B в момент его отрыва от стенок барабана. Полная скорость складывается из переносной и относительной:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}. \quad (9)$$

Так как точка C является мгновенным центром скоростей [2], то

$$V_B = 2V_A \cdot \cos \alpha; \quad V_A = V_{BA}, \quad (10)$$

где α – угол между соответствующими векторами скоростей \vec{V}_A и \vec{V}_B .

Угол между радиусом AO и AB равен $\varphi + \varphi_0$. Соответственно и между перпендикулярными им векторами скоростей \vec{V}_A и \vec{V}_{BA} он будет таким же. С учетом того, что $V_A = V_{BA}$, можно записать:

$$\alpha = \frac{\varphi + \varphi_0}{2}, \quad (11)$$

Переносная скорость

$$V_A = \omega_o \cdot (R - r) = \omega_o \cdot R \cdot (1 - k). \quad (12)$$

Если дополнительно учесть, что связь между углами поворота барабана и водила устанавливается формулой (6), т.е. подставив в формулу (10) выражения для переносной скорости V_A и угла α , после несложных преобразований окончательно получим:

$$V_B = 2\omega_o \cdot R \cdot (1 - k) \cdot \cos \frac{\varphi_o}{2k} \quad (13)$$

Оценка изменения относительной реакции проводилась путем расчета ее по уравнению (6) с использованием пакета программ "Mathcad". Угол поворота водила изменялся $\varphi_o = 0 \div 2\pi$. За начальное положение шара (точка B) принято $\varphi_o = 0$ и $\varphi = 0$, т.е. в начальный момент предполагалось, что шар находится на оси X.

На рис. 2 приведены расчетные зависимости изменения относительной реакции для значения геометрического критерия $k = 0,25$ и радиуса неподвижной окружности $R = 0,2$ м.

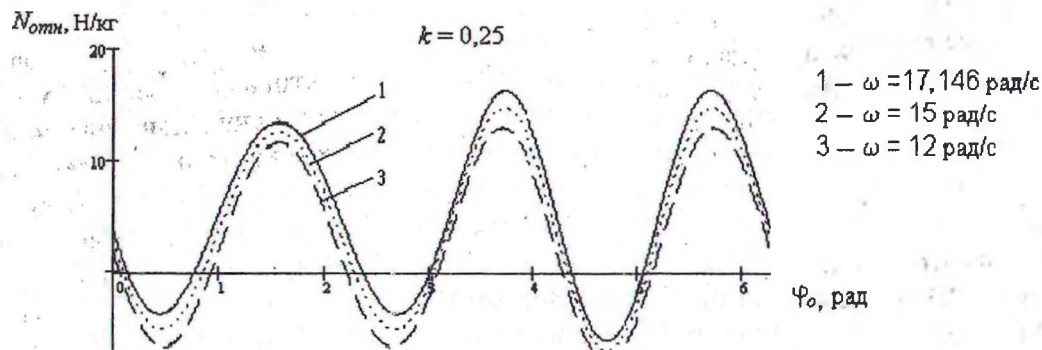


Рис. 2. Зависимость нормальной относительной реакции от угла поворота водила

Сплошной линией на графиках показано изменение относительной реакции при скорости вращения барабана, соответствующей критической, характерной для наступления центрифугального режима. Для штриховых линий скорость меньше критической. Из графиков видно, что при всех скоростях за один оборот водила реакция трижды переходит в отрицательную область, что свидетельствует об отрыве измельчающего тела.

Таким образом, традиционный подход оценки режимов движения для планетарной мельницы с внутренней обкаткой не совсем корректен. Здесь отрыв шаров от стенок барабана происходит при скоростях, соответствующих началу центрифугального режима и даже немного больших. Увеличение количества отрывов шаров приводит к увеличению циклов циркуляции загрузки, а значит, и интенсификации помола.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1988. – 415 с.
2. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1998. – 416 с.