М.К. БАГДАСАРЯН, С.М. МУРАДЯН

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРОЦЕССА
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ**

Предложен способ оптимизации электропотребления процесса измельчения руды на основе комплексного рассмотрения усовершенствованной конструкции мельниц с целью повышения ее производительности и оптимизации управляемых параметров. Предложенный способ позволяет при заданных исходных данных разработать электромеханическую систему мельница-двигатель, которая обеспечит минимальный расход электроэнергии.

Ключевые слова: электропотребление, наклон оси, оптимизация, удельный расход, управляемые параметры, усовершенствованная конструкция.

Энергетические затраты на измельчение руды непрерывно растут в связи с расширяющимся освоением новых месторождений бедных руд и необходимостью переработки отходов, а также с развитием процессов порошковой и других малоотходных технологий. Доля энергетических затрат на измельчение большинства использующих этот процесс предприятий составляет более 40% их экономического баланса. В этой связи разработка способа для снижения расходов электроэнергии измельчительных процессов становится все более актуальной [1].

Революция на рынке измельчительного оборудования – явление редкое. Подавляющее большинство предприятий для измельчения используют стержневые и шаровые мельницы, принцип действия которых не претерпел изменения за много лет. Существующие конструкции обеспечивают не более 40% активного участия мелющих тел в процессе измельчения из числа находящихся в барабане мельницы. Остальные частицы в виде плотного компактного слоя перемещаются в центральной части загрузки, никак не воздействуя на измельчаемый материал. Из вышесказанного следует, что оптимизацию режимов электропотребления процесса измельчения можно обеспечить комплексным рассмотрением возможности активизирования действия мелющих тел внутри барабана, т.е. определением оптимальных конструктивных параметров усовершенствованной мельницы и определения управляемых параметров, обеспечивающих эффективный расход электроэнергии.

Целью настоящей работы является оптимизация режимов электропотребления процесса измельчения руды для разработанной нами усовершенствованной конструкции мельницы, обеспечивающей активизирование действия мелющих тел внутри барабана [2].

Отличительной особенностью усовершенствованной мельницы является то, что за счет наклона оси вращения барабана под углом α активизируются действия мелющих тел, так как при каждом обороте барабана они перемещаются не только в поперечном сечении, но и вдоль оси вращения мельницы. При таком измельчении положение центра масс загрузки изменяется, что, в свою очередь, вызывает изменение величины потребляемой полезной мощности мельницы.

Исследования показали, что полезная мощность потребляемой мельницы, а также производительность мельницы в большей степени зависят от длины, внутреннего радиуса и угла наклона оси вращения барабана мельниц. Решение задачи разбито на два этапа.

На первом этапе необходимо найти оптимальные значения конструктивных параметров мельницы, обеспечивающие максимальную эффективность измельчения для различных значений производительности мельниц, плотности загрузки, а также угла поворота барабана.

Математическая формулировка задачи первого этапа имеет вид

$$\begin{cases} \varepsilon(x) = \frac{Q(\beta - \beta_0)}{P_0} \rightarrow \max, \\ x = \begin{pmatrix} R \\ L \\ \alpha \end{pmatrix}, \quad R_{\min} \leq R \leq R_{\max}, \quad L_{\min} \leq L \leq L_{\max}, \quad \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где β_0, β - соответственно содержание расчетного класса в исходном и измельченном продуктах; L, R - соответственно длина и внутренний радиус барабана мельницы; P_0 - полезная мощность, расходуемая на приведение в движение мелющей среды, определяемая с учетом того, что при каждом обороте барабана мелющие тела перемещаются как в поперечном сечении, так и вдоль оси вращения мельницы [3]:

$$P_0 = Vfg\gamma \frac{0.105 * 30 * \sqrt{g}}{\pi\sqrt{R}} \Psi \left(\sqrt{\ell_x^2 + \ell_z^2 + \ell_y} \right). \quad (2)$$

Здесь f - коэффициент трения; V - объем заполнения мельницы; Ψ - скорость вращения барабана в относительных единицах; γ - плотность внутримельничной загрузки; ℓ_x, ℓ_y, ℓ_z - расстояние центра тяжести от оси координат x, y, z .

Величина объема заполнения мельницы для конструкции рудоразмольной мельницы с углом наклона оси вращения барабана определяется в виде

$$V = V_1 + V_2 + V_3,$$

где

$$V_1 = \frac{2L}{f_4} \left[\begin{array}{l} \frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{array} \right],$$

$$V_2 = \frac{2L}{f_4} \left[\begin{array}{l} \frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ - \frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{array} \right],$$

$$V_3 = \frac{L}{f_4} \left(2Lf_1(-a_3 + a_1) - \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \\ & + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \\ & - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] + \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] \right).$$

Использованы следующие обозначения:

$$a = (f_2^2 - 2f_4f_5), \quad b = (2Lf_3f_4 + 2Lf_2f_1), \quad c = L^2f_1^2 - 2f_6f_4, \quad a_1 = R - \frac{L}{2} \sin \alpha,$$

$$a_2 \equiv \frac{-Lf_3 + \sqrt{f_3^2 - 4f_5f_6}}{2f_6}, \quad a_3 \equiv \frac{Lf_3 - \sqrt{f_3^2 - 4f_5f_6}}{2f_6},$$

$$f_1 = \cos \alpha \sin \alpha \sin \varphi, \quad f_2 = 2 \cos \varphi \sin \varphi \sin^2 \alpha, \quad f_3 = \cos \alpha \sin \alpha \cos \varphi,$$

$$f_4 = 2(\cos^2 \varphi \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha), \quad f_5 = \sin^2 \alpha \sin^2 \varphi + \cos^2 \alpha, \quad f_6 = \frac{L^2}{4} \sin^2 \alpha - R^2,$$

$$\ell_x = \sqrt{y_c^2 + z_c^2}, \quad \ell_y = \sqrt{x_c^2 + z_c^2}, \quad \ell_z = \sqrt{y_c^2 + x_c^2},$$

где φ - угол поворота барабана; x_c, y_c, z_c - координаты центра массы с загрузкой, определяемые в виде

$$x_c = \frac{X_{c1}X_1 + X_{c2}X_2 + X_{c3}X_3}{X_1 + X_2 + X_3}, \quad y_c = \frac{Y_{c1}X_1 + Y_{c2}X_2 + Y_{c3}X_3}{X_1 + X_2 + X_3}, \quad z_c = \frac{Z_{c1}X_1 + Z_{c2}X_2 + Z_{c3}X_3}{X_1 + X_2 + X_3}.$$

Здесь $x_1 = \sqrt{(x_{c2} - x_{c1})^2 + (y_{c2} - y_{c1})^2 + (z_{c2} - z_{c1})^2},$

$$x_2 = \sqrt{(x_{c3} - x_{c2})^2 + (y_{c3} - y_{c2})^2 + (z_{c3} - z_{c2})^2},$$

$$x_3 = \sqrt{(x_{c1} - x_{c3})^2 + (y_{c1} - y_{c3})^2 + (z_{c1} - z_{c3})^2},$$

$(x_{c1}, y_{c2}, z_{c3}), (x_{c1}, y_{c2}, z_{c3}), (x_{c1}, y_{c2}, z_{c3})$ - соответственно координаты центра массы с загрузкой для объемов V_1, V_2, V_3 .

$$x_{c1} = \frac{L^2}{V_1 f_4} \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right],$$

$$\begin{aligned}
y_{c1} &= \frac{2L}{V_1 f_4} \left[\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_2^2 + ba_2 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right], \\
z_{c1} &= \frac{2Lf_2}{V_1 f_4^2} \left(\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_2^2 + ba_2 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \right. \\ &\left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right) - \\
& - \frac{2L^2 f_1}{V_1 f_4^2} \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_2 - b}{4a} \sqrt{(aa_2^2 + ba_2 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \\ & - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right], \\
x_{c2} &= \frac{L^2}{V_2 f_4} \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \\ & - \frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right], \\
y_{c2} &= \frac{2L}{V_2 f_4} \left[\begin{aligned} &\frac{1}{3a} (aa_3^2 - ba_3 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 - ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right],
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z_{c2} &= \frac{2Lf_2}{f_4^2} \left(\begin{aligned} &\left[\frac{1}{3a} (aa_3^2 + ba_3 + c)^{\frac{3}{2}} - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \right. \\ &\left. - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^{\frac{3}{2}} + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \right) + \\ &+ \frac{2L^2f_1}{f_4^2} \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right], \\
x_{c3} &= \frac{L^2}{2V_3f_4} \left(\begin{aligned} &2Lf_1(-a_3 + a_1) - \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \\ &\frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} - \\ &-\frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] + \\ &+ \left[\begin{aligned} &\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ &-\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] \end{aligned} \right),
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y_{c3} &= \frac{L}{V_3 f_4} \left[\begin{aligned} & 2L f_1 \left(\frac{a_3^2}{2} - \frac{a_1^2}{2} \right) - \left[\begin{aligned} & \frac{1}{3a} (aa_3^2 + ba_3 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] + \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right] + \\ & + \left[\begin{aligned} & \frac{1}{3a} (aa_3^2 - ba_3 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 - ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right] \end{aligned} \right] \\
z_{c3} &= \frac{L}{2f_4^2} \left[\begin{aligned} & 4L f_1 f_2 (-a_3 + a_1) + 2b \left(\frac{a_3^2}{2} - \frac{a_1^2}{2} \right) - 2f_1 L \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \left(\arcsin \frac{-2aa_2 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right) - \\ & - \frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} \end{aligned} \right] + \\ & + 2f_2 \left[\begin{aligned} & \frac{1}{3a} (aa_3^2 - ba_3 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 + b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 - ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 - ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 + b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 - ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 + b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right] - \\ & - 2f_1 L \left[\begin{aligned} & \frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_2 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} - \\ & - \frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} - \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \end{aligned} \right] + \\ & + 2f_2 \left[\begin{aligned} & \frac{1}{3a} (aa_3^2 + ba_3 + c)^3 - \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_3 - b}{4a} \sqrt{(aa_3^2 + ba_3 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_3 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] - \\ & - \frac{1}{3a} (aa_1^2 + ba_1 + c)^3 + \frac{b}{2a} \left[\frac{-2aa_1 - b}{4a} \sqrt{(aa_1^2 + ba_1 + c)} + \frac{b^2 - 4ac}{8a\sqrt{|a|}} \arcsin \frac{-2aa_1 - b}{\sqrt{b^2 - 4ac}} \right] \end{aligned} \right] \end{aligned} \right]
\end{aligned}$$

В результате решения первого этапа задачи получены оптимальные величины конструктивных параметров R , L , α , обеспечивающие повышенную эффективность измельчения по готовому классу для конструкции рудоразмельной мельницы с углом наклона оси вращения барабана. По этим конструктивным параметрам можно оптимизировать режим электропотребления в процессе измельчения руды.

На втором этапе поставлена задача минимизации удельного расхода электроэнергии в процессе измельчения при ограничениях нагрузочного коэффициента, характеризующего эффективность использования приводного двигателя, и избыточного динамического момента системы электропривода.

Анализ расчетных результатов удельного расхода электроэнергии w , нагрузочного коэффициента и динамического момента системы электропривода для мельниц с наклоном оси вращения барабана показал, что на эти величины наибольшее влияние имеют такие управляемые параметры, как относительная скорость движения мельницы ψ , производительность подачи измельчаемого материала Q , плотность внутримельничной загрузки γ , коэффициент заполнения мельницы K . Исходя из вышесказанного, в качестве оптимизируемых параметров выбраны относительная скорость движения мельницы ψ , производительность подачи измельчаемого материала Q , уровень загрузки h , в барабане мельницы.

Математическая формулировка задачи второго этапа имеет вид

$$\begin{cases} W(\bar{x}) \rightarrow \min, \\ D: \{\bar{x} \in S^3; k = \frac{P_0(\bar{x})}{P_H} \geq 0,45; M_{дв} - M_M(\bar{x}) \leq M_{доп}, \\ x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, j = 1, \dots, 3. \end{cases} \quad (3)$$

Удельный расход электроэнергии определяется в виде

$$w = \frac{P_0 + P_{хол} + P_{доп}}{Q\eta\eta_s}.$$

Использованы следующие обозначения: x_j^-, x_j^+ - нижнее и верхнее предельные значения для j -го управляемого параметра; η - коэффициент полезного действия передач; η_s - КПД электродвигателя; $P_{хол}$ - мощность холостого хода, расходуемая на вращение барабана при отсутствии в нем мелющих тел; $P_{доп}$ - мощность, расходуемая на дополнительные потери в подшипниках цапф, появляющаяся под действием веса внутримельничной загрузки; P_0 - полезная мощность, расходуемая на приведение в движение мелющей среды.

Момент сопротивления M_M , создаваемый мельницей, и электромагнитный момент $M_{дв}$, развиваемый двигателем [4], определяются в виде

$$M_M(x) = \frac{1000V\gamma g \left(\sqrt{\ell_x^2 + \ell_z^2} + \ell_y \right) \omega_M}{0,105\omega_{ДВ}\eta\eta_s}, \quad M_{ДВ} = \frac{3U_c E_f}{\omega_{ДВ} X_d} \sin \theta,$$

где $\omega_M, \omega_{ДВ}$ - соответственно угловая скорость вращения барабана мельниц и двигателя; U_c - фазное напряжение, приложенное к обмотке статора двигателя; E_f - ЭДС возбуждения, индуцируемая потоком возбуждения ротора; X_d - синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси; θ - внутренний угол двигателя между основной ЭДС и напряжением U_c .

Учитывая, что угол поворота барабана физически изменяется при изменении скорости движения мельницы, а ψ является оптимизируемым параметром при минимизации удельного расхода электроэнергии при измельчении руды, для определения угла поворота барабана использована полученная нами эмпирическая формула

$$\varphi = 0,35 + 0,4\psi.$$

Для решения задачи, изложенной в двух этапах, на основе вышеприведенной математической модели с использованием алгоритма случайного метода составлена компьютерная программа, позволяющая для вводимых исходных данных определить сначала оптимальные параметры усовершенствованной конструкции мельницы, а затем управляемые параметры, обеспечивающие ее оптимальный электропривод. Диалоговый сервис данной программы рассчитан на пользователей, не имеющих специальной подготовки программиста.

Сравнительный анализ предложенного и известных способов оптимизации режимов электропотребления процесса измельчения показал несомненное преимущество предложенного способа, так как он позволяет одновременно повысить производительность измельчения и снизить удельный расход электроэнергии. Кроме того, на основе предложенного способа при заданных исходных данных можно разработать электромеханическую систему мельница-двигатель, которая обеспечит повышенную эффективность расхода электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуляков А.Д., Спиридонов П.А. В новый век – с новым оборудованием/ Федеральный строительный рынок. <http://www.stroy-press.ru/print.php?id=6525>. 2006.
2. Kheifets A.S., Lin I.J. Energetic approach to kinetics of batch ball milling // Int. J. Miner. Process.- 1998.-54, N2. – P. 81-97.
3. Багдасарян М.К., Мурадян С.М. Модель исследования полезной мощности, потребляемой усовершенствованной рудоразмольной мельницей // Вестник ГИУА. Серия “Моделирование, оптимизация, управление”. – 2008. -Вып 11, т. 2. - С. 35-40.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. - М.: Мелго, 2004.- 532 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 04.02.2009.

Մ.Ք. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, Ս.Մ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ

**ԷԼԵԿՏՐԱՍՊԱՌՄԱՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ
ՄԱՆՐԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ**

Աղացի արտադրողականության մեծացման և կառավարվող պարամետրերի օպտիմալացման նպատակով վերջինիս կատարելագործված կոնստրուկցիայի համալիր դիտարկման միջոցով առաջարկվել է հանքաքարի մանրացման գործընթացի օպտիմալ էլեկտրասպառման միջոց, որը հնարավորություն է ընձեռում ապահովել արդյունավետ էլեկտրաբանեցում: Առաջարկվող միջոցը թույլ է տալիս հանձնարարված էլակետային տվյալների համար մշակել էլեկտրաէներգիայի արդյունավետ ծախս արահովող աղաց-շարժիչ էլեկտրամեխանիկական համակարգ:

Առանցքային բառեր. էլեկտրասպառում, անկյան շեղում, օպտիմալացում, տեսակարար ծախս, կառավարվող պարամետրեր, կատարելագործված կոնստրուկցիա:

M.K. BAGHDASARYAN, S.M. MURADYAN

**ELECTROCONSUMPTION REGIME OPTIMIZATION OF
ORE REDUCTION PROCESS**

An electroconsumption optimization method of the ore reduction process based on complex consideration of updated mill construction to increase its productivity and optimization of controlling parameters providing an effective electrodrive is proposed. The suggested method allows to develop with the given initial data an electromechanical system "mill-energy" providing increased effectiveness of electric energy.

Keywords: electroconsumption, axis slope, optimization, specific consumption, parameter control, updated construction.