

Рабочие процессы барабанных мельниц с автоколебательной внутрикамерной загрузкой

Дейнека К.Ю.

Национальный университет водного хозяйства
и природопользования, г. Ровно

Новым технологическим направлением существенного повышения низкой энергетической эффективности барабанных мельниц является активизация циркуляции загрузки в камере.

Весьма перспективным представляется использование эффекта самовозбуждения автоколебаний загрузки, при неустойчивых режимах движения, на основе традиционных конструктивных решениях мельниц с барабаном без дополнительных элементов, подвергающихся ускоренному износу.

Цель исследования – определение влияния пульсаций внутримельничной загрузки на рабочие процессы измельчения.

Для определения условий устойчивости движения, загруженный барабан мельницы рассматривался как система постоянного состава с переменными инерционными параметрами – осевым моментом инерции и положением центра масс (рис. 1).

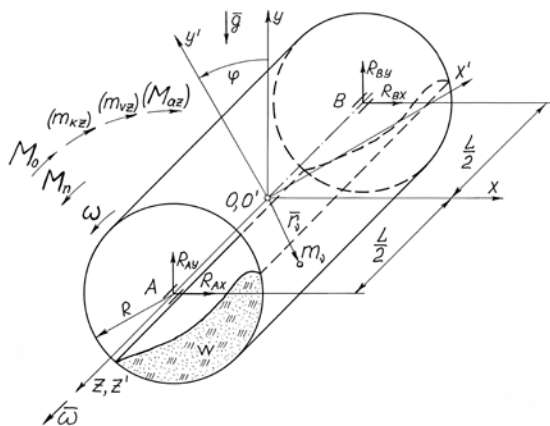


Рис. 1. Расчетная схема загруженного барабана:

ω – угловая скорость, M_n – приводной момент, M_o – момент сопротивления, включающий M_{az} – момент активных сил, m_{kz} и m_{vz} – реактивные моменты кориолисовых и вариационных сил.

Применение уравнения Лагранжа второго рода для системы с переменными инерционными параметрами и использование принципов затвердевания механической системы и иерархии переменных позволило получить уравнение переходного движения барабанной мельницы. На основе прямого метода Ляпунова было получено условие асимптотической устойчивости установившегося движения машинного агрегата мельницы:

$$\frac{\frac{dM_3(\omega)}{d\omega} \frac{1}{i\eta} - \frac{dM_\delta(\omega)}{d\omega}}{\left[\frac{\omega^2}{2} \frac{d^2 I_3(\omega)}{d\omega^2} + 2\omega_0 \frac{dI_3(\omega)}{d\omega} + I_3(\omega) + I_\delta \right] \frac{1}{i^2} + I_\delta} > 0,$$

где I_3 , I_δ и I_δ – осевые моменты инерции загрузки, барабана и вращающихся частей двигателя; M_δ – момент приводного двигателя; M_3 – момент сопротивления вращению барабана; M_δ – момент сопротивления в опорах барабана; i и η – передаточное отношение и коэффициент полезного действия привода.

Автоколебания в камере вращающегося барабана обусловлены инерционным режимом поведения зернистой загрузки, пребывающей в режиме сдвигового течения (рис. 2). Дисперсная и несущая фазы внутрикамерной загрузки рассматривались как сплошная среда с осредненными параметрами. На основе теории быстрых движений зернистых сред было использовано уравнение неньютоновской несжимаемой жидкости и, после преобразований, получено дисперсионное уравнение для зоны сдвигового течения загрузки:

$$\beta^3 + (a_1 k^2 - b_1) \beta^2 + k^2 (c_1 k^2 - d_1) \beta - k^2 (e_1 k^2 + f_1) = 0,$$

где $\beta = -i \cdot \omega_0$; ω_0 – возмущение скорости перпендикулярно плоскости сдвига; k – волновое число; $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$ – коэффициенты, определяющие характеристики среды.

Движение внутрикамерной загрузки барабанной мельницы в зоне несвободного падения является устойчивым или неустойчивым по отношению к малым возмущениям, распространяющимся перпендикулярно к плоскости сдвига, в зависимости от средней длины свободного пробега элементов или от дилатансии загрузки (рис. 3).

На основе картин движения загрузки в поперечном сечении вра-

шающей камеры, полученных методом визуализации с использованием расчетных сеток, были установлены зависимости динамических параметров загрузки.

Обобщение полученных результатов позволило получить качественные зависимости момента инерции I_z , момента сопротивления M_z и дилатансии ν загрузки от скорости вращения барабана ω и производных этих динамических параметров по ω (рис. 4). Анализ зависимостей свидетельствует о возникновении автоколебаний в режимах движения загрузки, выделенных штриховкой, преимущественно с полным, а также с частичным подбрасыванием.

Установлено, что наличие измельчаемого материала в загрузке обуславливает интенсификацию его автоколебаний путем уменьшения нижней бифуркационной относительной скорости, с $\psi\omega \rightarrow 1$ вплоть до $\psi\omega = 0,3$. При этом диапазон скоростей при максимальной амплитуде колебаний остается неизменным, независимо от содержания материала – $\psi\omega = 0,85-1,15$.

Эффективность влияния пульсаций загрузки на рабочие процессы барабанных мельниц, по сравнению с традиционными режимами без колебаний, была оценена экспериментально. Производительность помола определялась за значением просева через контрольное сито № 008, а энергетическая эффективность – за удельными затратами энергии при получении этого просева.

Численное значение изменения производительности оценивалось соотношениями P_m/P_t , где P_m и P_t – производительность помола для модернизированного и традиционного режимов, а изменения удельных затрат энергии – соотношениями $E_m/E_t = (N_m/P_m)/(N_t/P_t)$, где E_m и E_t – удельные затраты энергии, N_m и N_t – мощности привода для этих режимов. Поскольку считалось, что $N_m \approx N_t$, было принято $E_m / E_t \approx P_t / P_m$.

Степень заполнения камеры загрузкой составляла $k=0,25$. Степени заполнения частицами измельчаемого материала промежутков между мелющими телами кмп составляли 0,125, 0,25, 0,375, 0,5, 0,75 и 1. Для традиционного режима принималось $\psi\omega=0,75$. Для предложенных режимов принималось $\psi\omega = 0,85-1,15$, что соответствовало самовозбуждению автоколебаний загрузки с максимальной амплитудой [10,11].

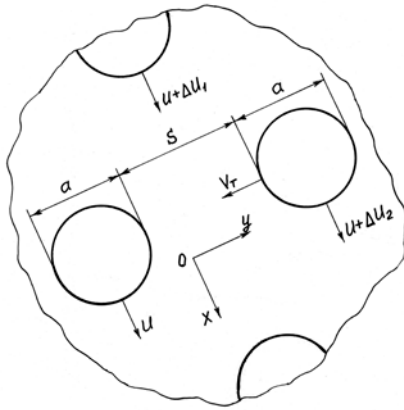


Рис. 2. Схема сдвигового гравитационного потока загрузки.

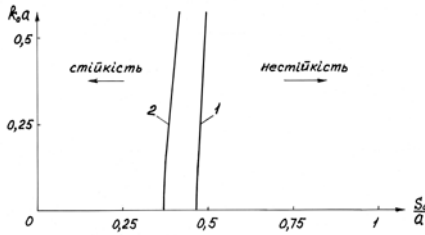


Рис. 3. Дисперсионные кривые и схемы областей устойчивого и неустойчивого движения зернистой загрузки: 1 – дисперсионная кривая для абсолютно жестких элементов загрузки, 2 – дисперсионная кривая для деформируемых элементов.

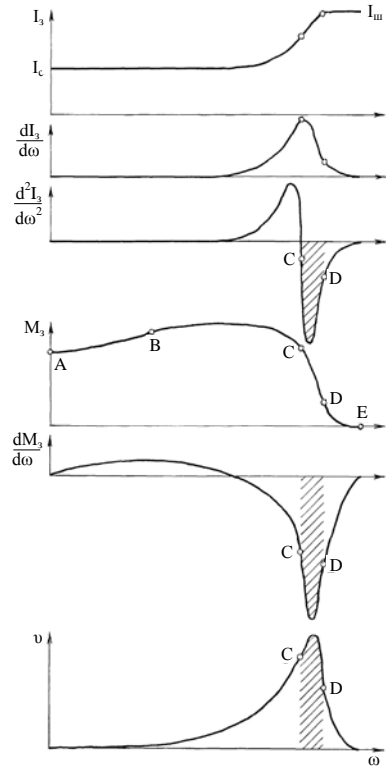


Рис. 4. Зависимости I_3 , $dI_3/d\omega$, $d^2I_3/d\omega^2$, M_3 , $dM_3/d\omega$, v от ω : AB – режим без подбрасывания, BC – с частичным подбрасыванием, CD – с полным подбрасыванием, DE – неполного центрифугирования.

Длительность измельчения составляла 30 минут. Результаты приведены на рис. 5.

Оказалось, что применение автоколебательного режима движения внутрикамерной загрузки, по сравнению с традиционным процессом измельчения в барабанных мельницах, позволяет в среднем повысить производительность приблизительно на 28-152% и сни-

зять удельные затраты энергии на 22-60%. При этом с уменьшением содержания измельчаемого материала в загрузке эффективность процесса помола возрастает.

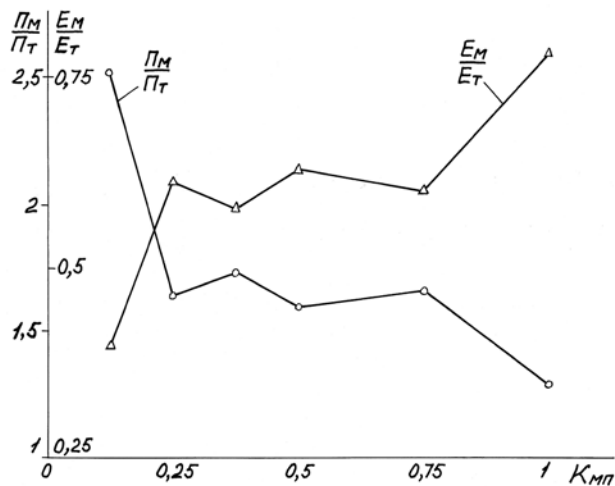


Рис. 5. Зависимости P_M/P_T и E_M/E_T от $K_{МП}$

Литература

1. Науменко К.Ю. Автоколебания внутрикамерной загрузки барабанной мельницы / К.Ю.Науменко // Научные исслед., наносистемы и ресурсосберегающ. технологии в стройиндустрии: Сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2007. – Ч. 7.
2. Энергосберегающ. Технол. комплексы и оборуд. для пр-ва строит. материалов. – С. 81-83. 2. Дейнека К.Ю. Интенсификация рабочих режимов барабанных мельниц с автоколебательной внутрикамерной загрузкой / К.Ю.Дейнека // Научные исслед., наносистемы и ресурсосберегающ. технологии в пром-сти строит. материалов: Сб. докл. Междунар. НПК. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010. – Ч. 3. Эффективные материалы, технологии и машины в стр-ве. – С. 92-96.