

Хайсам К А Шамаллах

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ПЕРЕГРУЗКИ ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦ РУДОЙ НА ОСНОВЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЗВУКОМЕТРИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Постановка проблемы и её связь с прикладными задачами.

Шаровые барабанные мельницы применяются для измельчения полезных ископаемых на горно-обогатительных комбинатах, цементных заводах, тепловых электростанциях. При изменении свойств измельчаемого сырья мельницы перегружаются, что приводит к остановке технологического процесса, простоям оборудования и недовыпуску продукции. Обычные системы звукометрического контроля заполнения мельниц часто не срабатывают при перегрузке и требуют усовершенствования. До настоящего времени отсутствуют теоретические основы формирования звукометрического сигнала шаровой мельницы.

Анализ исследований и публикаций. Исследования в этой области носят эмпирический характер, что не позволяет получить теоретические закономерности формирования звукометрического сигнала мельницы и разработать метод и принципы построения надежных систем звукометрической диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой. Поэтому тема настоящей работы является актуальной.

Постановка задачи. Задачей исследования является теоретическое обоснование метода звукометрической диагностики перегрузки шаровых барабанных мельниц рудой на основе закономерностей формирования звукометрического сигнала.

Основной материал и результаты исследования.

Процесс измельчения руды в шаровой мельнице сопровождается излучением статистического спектра звуковой энергии. Сила звука, излучаемого мельницей, зависит от степени загрузки ее рудой.

Эпюра заполнения мельницы в нормальном режиме работы представлена на рис. 1, где R_0 – радиус барабана мельницы в свету; r – радиус эпюры заполнения мельницы шарами; ρ – радиус эпюры заполнения мельницы рудой; a – длина дуги МД, на которую ориентирован звукометрический датчик; θ – центральный угол эпюры заполнения мельницы рудой и шарами; l – звукометрический датчик; УП – усилительно преобразовательный блок; I – сигнал силы звука, издаваемого мельницей. Эпюра заполнения мельницы при ее перегрузке рудой представлена на рис. 2, его обозначение такие же, как и на рис. 1, σ – толщина слоя пульпы над шаровой загрузкой мельницы.

Звукометрический датчик ориентируется, как правило, на зону перехода шаров с параболических траекторий на круговые, т. е. на зону СД падения шаров, как это на рис. 1, 2.

Сила звука I представляет собой отношение падающей на поверхность S звуковой мощности P_3 к площади этой поверхности:

$$I = \frac{P_3}{S} . \quad (1)$$

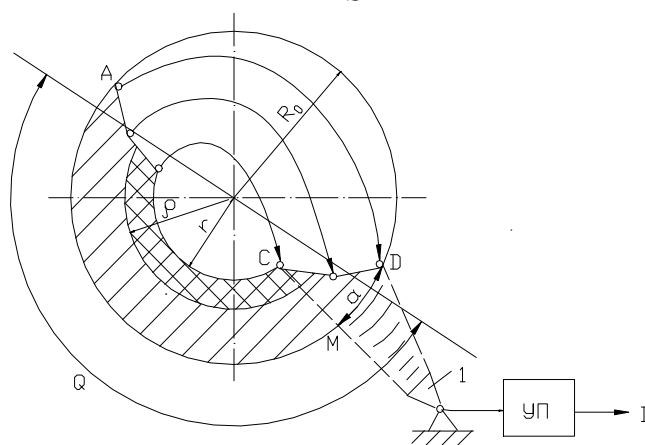


Рис. 1. Эпюра заполнения мельницы в нормальном режиме работы

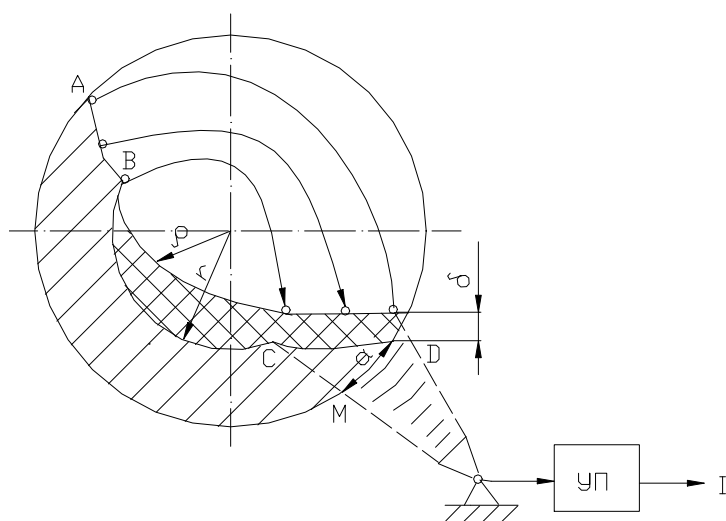


Рис. 2. Эпюра заполнения мельницы при ее перегрузке рудой

Дуга МД = a и длина мельницы L характеризуют эту поверхность:

$$S = aL .$$

С энергетической точки зрения мельницу можно представить звуковым генератором, генерирующим звуковую энергию, которая образуется путем преобразования кинетической энергии падающих шаров P_E при переходе их с параболических на круговые траектории. В теории шаровых мельниц [1] считается, что шары полностью теряют кинетическую энергию в конце параболической части траектории, представленной кривой СД (рис. 1).

В этом случае $dE = dP_E$, где dE – кинетическая энергия частиц загрузки мельницы в момент перехода с круговых траекторий на параболические:

$$dE = \frac{dm v^2}{2}.$$

Здесь dm – масса, которая протекает через элемент dl кривой АВ (рис. 2) в единицу времени; v – линейная скорость частиц:

$$v = \frac{\omega_0(1-S)}{R_0} \rho^2,$$

ω_0 – угловая частота вращения мельницы;

S – скольжение рудно-шаровой загрузки мельницы, которое определяется по номограммам из работы [2].

$$dm = \frac{(\gamma'_{uu} + \gamma_n \delta)v}{g} d\rho,$$

где δ – коэффициент, учитывающий объем пульпы в рудно-шаровом теле и который равен отношению объема пульпы V_2 к объему рудно-шарового тела V [3], т. е.

$$\delta = \frac{V_2}{V} = 1 - \frac{\gamma_{uu}}{\gamma'_{uu}},$$

где γ_{uu} – удельный вес материала шаров;

γ'_{uu} – объемный вес шаров, зависящий от диаметра дисков.

Активная мощность P_E , затрачиваемая на придание кинетической энергии рудно-шаровому телу при перегрузке мельницы рудой, т. е. при $0 < \rho_3 < r$ с учетом работы [3]:

$$\begin{aligned} P_E &= \int_r^{R\delta-\Delta} \frac{[\gamma'_{uu} + \gamma_n(1-\gamma_{uu}/\gamma'_{uu})]L}{2g} \left(\frac{\omega_0(1-S)}{R\delta-\Delta} \rho^2 \right)^3 d\rho + \\ &+ \int_{\rho_3}^r \frac{\gamma_n L}{2g} \left[\frac{\omega_0(1-S)}{R\delta-\Delta} \rho^2 \right]^3 d\rho = \\ &= \frac{L}{14} g \frac{\omega_0^3(1-S)^3}{(R\delta-\Delta)^3} \left\{ \left[\gamma'_{uu} + \gamma_n \left(1 - \frac{\gamma_{uu}}{\gamma'_{uu}} \right) \right] - \left[(R\delta-\Delta)^7 - r^7 \right] + \gamma_n (r^7 - \rho_3^7) \right\}. \end{aligned} \quad (2)$$

где Δ – толщина футеровки мельницы.

По формуле (7) выполнен расчет зависимости мощности P_E от степени загрузки мельницы МШР 3,6 x 4,0 рудой φ и шарами φ_u .

Связь между радиусами эюр заполнения мельницы рудой ρ и шарами r с параметрами φ_p и φ_u определяется выражениями из работы [3].

Расчетные зависимости кинетической мощности P_E падающих шаров мельницы МШР 3,6 x 4,0 работающей в водопадном режиме первой стадии измельчения железной руды, от степени загрузки ее рудой φ_p при различных значениях степени загрузки шарами $\varphi_{ш1} = 45\%$; $\varphi_{ш2} = 40\%$; $\varphi_{ш3} = 35\%$ представлены на рис.3.

Перейдем теперь к оценке преобразования кинетической механической мощности P_E в звуковую P_3 , издаваемую мельницей.

Будем считать, что звуковая мощность P_3 и кинетическая P_E мощности связаны между собой некоторой зависимостью или коэффициентом $\kappa(\rho)$, характеризующим продукты поглощения, демфирования и преобразования. Причем этот коэффициент должен зависеть от толщины слоя пульпы σ (рис. 3) над эпюрой заполнения мельницы, которая определяется радиусом эпюры заполнения мельницы рудой ρ .

$$P_3 = \kappa(\rho)P_E.$$

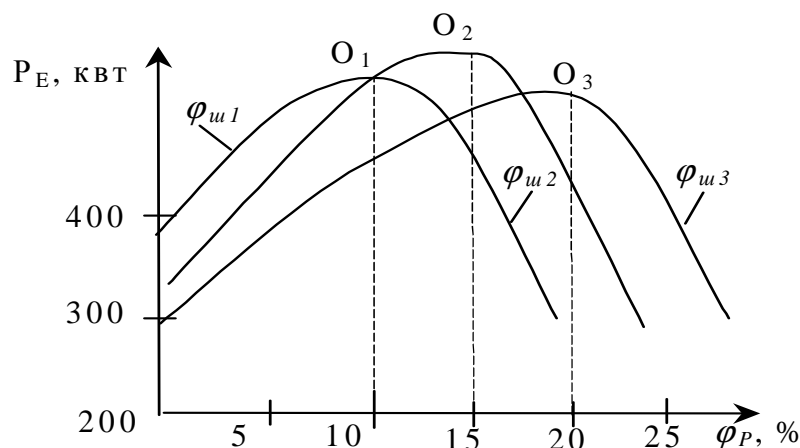


Рис. 3. Зависимости кинетической мощности P_E падающих шаров от степени загрузки мельницы МШР 3,6x4,0 рудой φ_p при различной шаровой загрузке:
 $\varphi_{ш1}=45$, $\varphi_{ш2}=40$, $\varphi_{ш3}=35\%$

Предположим, что зависимость $\kappa(\rho)$ имеет экспоненциальный характер:

$$\kappa = Ae^{-\nu(R_0 - \rho)},$$

где A и ν – эмпирические коэффициенты, оценку значений которых можно выполнить исходя из следующих рассуждений.

При пустой мельнице при ($\rho = R_0$, $\kappa = A$) считается [4], что в звуковую энергию преобразовывается 1-2% потребляемой мельницей механической мощности. Причем 2% соответствуют пустой мельнице, а 1% – мельнице, заполненной рудой до номинального значения. Следовательно, при $\rho = R_0$ $A = 0,02$.

Коэффициент ν оценим в номинальном режиме работы мельницы при $\rho = 0$ [3]:

$$\kappa = Ae^{-\epsilon R_0} = 0,01. \quad (3)$$

Прологарифмируем выражение (10), т. е.

$$\ln \kappa = \ln A - \epsilon R_0$$

и получим

$$\epsilon = \frac{\ln A - \ln \kappa}{R_0}.$$

В соответствии с выражением (1) сила звука, издаваемого мельницей в зоне установки звукометрического датчика:

$$\dot{I} = \frac{Ae^{-\epsilon(R_0 - \rho)}}{S} P_E. \quad (4)$$

Расчет будем выполнять в относительных единицах:

$$\dot{I} = \frac{Ae^{-\epsilon(R_0 - \rho)}}{S} P_E, \quad (5)$$

$$\dot{I}_{отн} = \frac{\dot{I}}{\dot{I}_{max}}. \quad (6)$$

где \dot{I}_{max} – сила звука, рассчитанная по формуле (5) при пустой мельнице, т. е. при $\rho = R_0$.

По формулам (4), (6), (2), (3) был выполнен расчет зависимостей силы звука в относительных единицах $\dot{I}_{отн}$ от степени загрузки мельницы рудой, (рис.4).

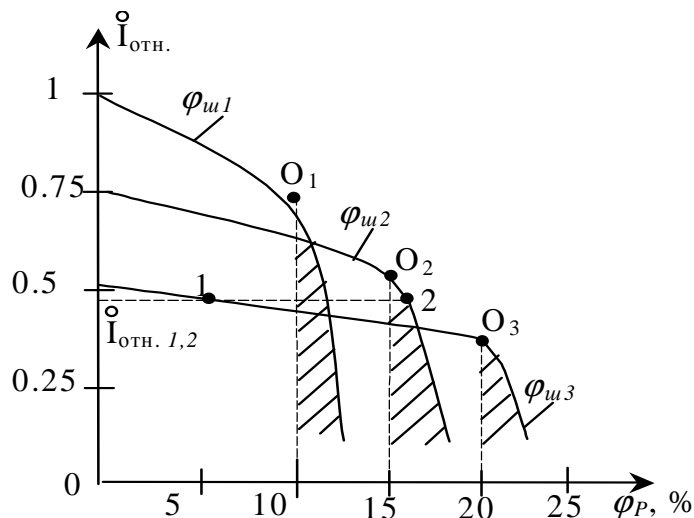


Рис. 4. Зависимости силы звука I , издаваемого мельницей, от степени загрузки ее рудой при различных шаровых загрузках ($\phi_{u1} < \phi_{u2} < \phi_{u3}$)

Анализ этих зависимостей показывает, что при перегрузке мельницы рудой резко падает сила звука в зоне перехода шаров с параболических траекторий на круговые. Причем в зависимости от величины шаровой загрузки мельницы одной и той же силе звука $I_{отн.1,2}$ может соответствовать нормальный (точка 1), аварийный (точка 2) режимы работы мельницы (см. рис. 4). Следовательно, метод звукометрической диагностики перегрузки мельницы рудой должен основываться на статистическом анализе нестационарного изменения звукометрического сигнала мельницы с определением момента изменения статистических характеристик этого сигнала при перегрузке мельницы рудой.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Сила звука, издаваемого мельницей, определяется, в основном, кинетической энергией падающих шаров, переходящих с параболических на круговые траектории движения в мельнице в зоне установки акустического датчика.

2. При перегрузке шаровых барабанных мельниц рудой резко уменьшается сила звука, издаваемого мельницей, а также частота звукометрического сигнала, что может быть использовано при технологической компьютерной диагностике и недопущении аварийных перегрузочных режимов работы мельницы.

В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть проблему формирования информативных признаков звукометрических сигналов с помощью вейвлет-преобразований сигналов.

Список литературы

1. Справочник по обогащению руд. Том 1. Подготовительные процессы/ Под ред. О. С. Богданова – М.: Недра, 1982. – Т.1. –365 с.
2. Крюков Д. К. Футеровки шаровых мельниц. –М.: Машиностроение, 1965. – С. 12 – 20.
3. Марюта Д. Н. Кочура Е. В. Теоретическое обоснование, расчет и исследование зависимости энергетических параметров приводного двигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом// Изв. Вузов. Горн. Журн. –1973. –№3. – С. 24 – 31.
4. Утеуш Э. В., Утеуш З. В. Основы автоматизации измельчения материалов в шаровых мельницах. –М.: Химия, 1968. – С. 43 – 48.
5. Алексеев М.А., Шамаллах Хайсам. Применение вейвлет-анализа при решении задач функционального контроля промышленных объектов// Наук. вісник НГУ. – 2004. – № 2. – С. 77 – 78.