

УДК 622.776

И.К. МЛАДЕЦКИЙ (д-р техн. наук)**П.И. ПИЛОВ** (д-р техн. наук)**А.А. ЛЫСЕНКО** (канд. техн. наук)**К.А. ЛЕВЧЕНКО** (канд. техн. наук)

Национальный горный университет, Днепропетровск

ОБОСНОВАНИЕ ПЕРИОДА ОПРОБОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

На основании определения дисперсии технологических показателей в обогащательной технологии и с помощью превращения спектров дисперсий и их анализа показана возможность определения максимального значения периода опробования технологической линии. Максимальное значение периода опробования технологических потоков переработки сырья, определяется инерционностью этой технологии.

Ключевые слова: технология обогащения, показатели, дисперсия, период опробования.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Опробование и контроль в обогащении полезных ископаемых в значительной степени служит для того, чтобы с помощью измерения качественных показателей определять количественные. Измерение расходов пульповых потоков затруднено и поэтому выход, например для бинарного разделения, определяют расчетным путем на основании опробования аргументов этой функции. Однако аргументы можно представить в виде осредненного ряда чисел, или мгновенных значений, или сдвинутых на периоды эквивалентных запаздываний друг относительно друга. В каждом из перечисленных способов выход будет иметь разные значения. Значение выхода также будет зависеть от периодичности опробования: чем чаще опробование, тем меньше дисперсия выхода. При всех корректных вычислительных операциях встает вопрос о выборе выхода имеющего максимальное правдоподобие. В данной работе остановимся на анализе периодичности опробования.

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время периодичность опробования подбирается эмпирически, исходя из требований минимальных затрат на контроль, но чтобы существенные изменения не были бы упущены.

В теории передачи сигналов через объекты, которые имеют некоторую инерционность, искажающую сигнал, имеется теорема Котельникова [1], которая обосновывает условия не искажения сигналов. Так как при передаче, непрерывный сигнал преобразуют в дискретный и в дискретном виде передают в канал связи. При приеме сигнала в конце канала, его снова преобразуют в непрерывный сигнал, т.е. восстанавливают. Восстановленный сигнал будет иметь минимальные искажения по сравнению с отправляемым, если период дискретности составит половину периода несущей частоты ω_H сигнала:

$$T = \frac{1}{2\omega_n}.$$

В случае анализа периодичности опробования результаты дискретных замеров показателей технологических процессов должны соответствовать непрерывному изменению этих показателей. Таким образом, теорема Котельникова применима и при выборе интервала опробования технологических процессов. Для этого требуется располагать спектрами дисперсий показателей технологических параметров в точках контроля.

Постановка задачи. Целью данной работы является объективное определение периодичности опробования в зависимости и свойств технологической линии.

Изложение материала и результаты. Обогажительные процессы имеют большую долю случайной составляющей и поэтому являются полигармоническими, в которых неслучайная составляющая в значительной степени подавлена помехами. С целью выделения такой неслучайной составляющей пользуются спектральным разложением случайного процесса. По одной, достаточно длинной реализации стационарного случайного процесса спектральная функция вычисляется с помощью соотношения [2].

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} K_{xx}(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau \quad (1)$$

где: $K_{xx}(\tau)$ – корреляционная функция случайного процесса; ω – частота.

Таким образом, задаваясь частотой ω и производя интегрирование (1) находим значение спектральной функции. Задаваясь множеством значений ω определяем всю функцию $S(\omega)$.

Любой динамический объект преобразует спектр входного процесса $S_x(\omega)$ в спектр выходного процесса $S_y(\omega)$ в соответствие со своей частотной характеристикой $\Phi(j\omega)$ ($j = \sqrt{-1}$), согласно выражения [2]

$$S_y(\omega) = |\Phi(j\omega)|^2 S_x(\omega). \quad (2)$$

Таким образом, если известна частотная характеристика технологической линии, то, находя квадрат ее модуля, определим спектр выходного процесса. А так как дисперсия процесса D_x есть

$$D_x = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega, \quad (3)$$

то будет найдена и дисперсия выходного процесса.

Определимся с частотной характеристикой. Она является динамическим показателем объекта и находится на основании передаточных функций этих объектов $W(p)$, которые представляют собой дифференциальные уравнения объектов, записанных в символической форме [3]. Если известна передаточная функция объекта $W(p)$, то частотная характеристика находится путем формальной замены аргумента p на аргумент $j\omega$: $p \rightarrow j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$) с дальнейшими тождественными преобразованиями, направленными на выделение действительной $A(\omega)$ и мнимой $jB(\omega)$ частей.

Передаточная функция всей технологической линии обогащения складывается из передаточных функций отдельных аппаратов. Большинство аппаратов имеют одну емкость и поэтому могут быть представлены математическими выражениями в виде соотношения [4].

$$W(p) = \frac{Y}{Tp + 1}, \quad (4)$$

где Y – выход продукта, T – постоянная времени переходного процесса $T = \frac{V}{Q}$, V – объем аппарата [м^3], Q – объемная производительность аппарата [$\text{м}^3/\text{с}$].

В зависимости от схемы соединения аппаратов и в соответствии с законами этих соединений [5] получают передаточную функцию технологической линии обогащения.

Рассмотрим пример. Имеется обогатительная технология, представленная схемой на рис. 1.

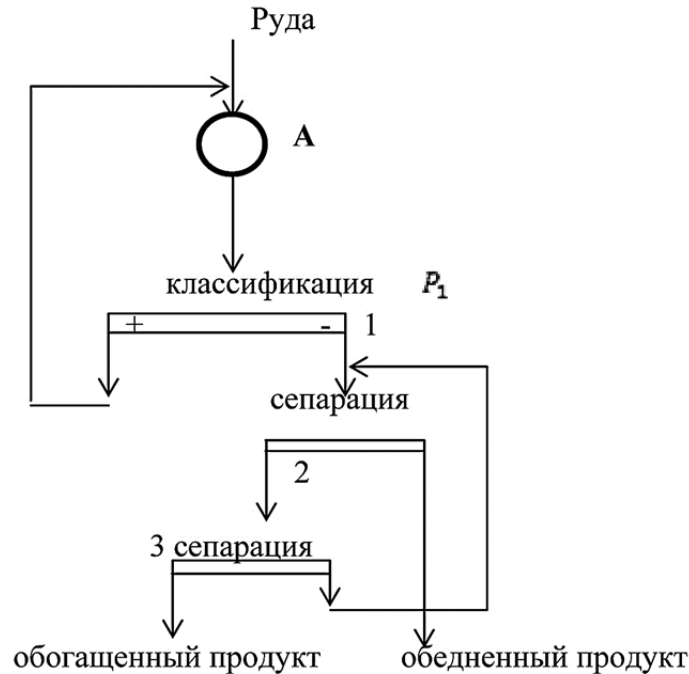


Рис. 1. Схема обогатительного технологического блока

Каждый аппарат имеет системную характеристику, в соответствии которой осуществляется преобразование показателей качества входного потока. Для измельчения это измельчительная характеристика A , а для разделительных аппаратов – это сепарационные характеристики P_i . В соответствии с законами соединения аппаратов получаем характеристику соединения:

$$P_c = \frac{APP_2P_3}{(1 - A(1 - P_1))(1 - P_2)(1 - P_3)}. \quad (5)$$

Передаточные функции аппаратов имеют вид:

$$W_A = \frac{1}{T_m p + 1}; \quad W_1 = \frac{\gamma_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2 = \frac{\gamma_2}{T_2 p + 1}; \quad W_3 = \frac{\gamma_3}{T_3 p + 1};$$

$$T_m = \frac{V_m}{Q_m}; \quad T_1 = \frac{V_1}{Q_1}; \quad T_2 = \frac{V_2}{Q_2}; \quad T_3 = \frac{V_3}{Q_3}.$$

Подставляем в выражение (5) вместо P_i передаточные функции, получаем:

$$W_1(p) = \frac{W_A W_1 W_2 W_3}{1 - W_2(1 - W_3) - W_A(1 - W_1) + W_A W_2(1 - W_3)(1 - W_1)}. \quad (6)$$

После подстановки в (6) выражений для передаточных функций и некоторых тождественных преобразований имеем:

$$W_1(p) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3}{(T_1 p + 1 - \gamma_1)(T_2 p + 1 - \gamma_3)(T_m p + 1)(T_1 p + 1) - (T_1 p + 1 - \gamma_1)(T_1 p + 1)(T_3 p + 1) + \gamma_2(T_3 p + 1 - \gamma_3)(T_1 p + 1 - \gamma_1)}$$

Раскрывая скобки в знаменателе и приводя подобные члены, получаем выражение

$$W_1(p) = \frac{a_0}{a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5}, \quad (7)$$

где:

$$\begin{aligned} a_0 &= \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3; \quad a_1 = T_1^2 T_3 T_m; \\ a_2 &= T_1 T_3 T_m + T_1^2 T_m + T_1^2 T_m \gamma_3 + T_1 T_2 T_m - T_1 T_3 T_m + 2 T_1^2 T_3; \\ a_3 &= 2 T_1 T_3 + T_1 T_m (1 + \gamma_1 + \gamma_1 \gamma_3) + T_1^2 T_m (1 + \gamma_3) + T_3 T_m + T_1 T_m - \\ &\quad 2 T_3 T_m \gamma_1 + T_1^2 + 2 T_1 T_3 - T_1 T_3 (\gamma_2 - \gamma_1); \\ a_4 &= T_1 (4 + 2 \gamma_3 + \gamma_1 \gamma_3 + \gamma_2 - \gamma_2 \gamma_3) + T_m (1 + 2 \gamma_1 + \gamma_3) + T_3 (1 + \gamma_1); \\ a_5 &= 2 + \gamma_3 + \gamma_1 + \gamma_1 \gamma_3 + 2 \gamma_2 + \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 - \gamma_1 \gamma_2. \end{aligned}$$

Знаменатель выражения (7) представляет собой характеристическое уравнение объекта, определяющее его переходную характеристику.

Корни этого уравнения K_i являются коэффициентами экспоненциальных функций, которые входят в решение уравнения:

$$\beta(t) = \sum_{i=1}^4 A_i \exp(-K_i t)$$

Если все корни отрицательные, то решение устойчиво и переходной процесс заканчивается за конечный промежуток времени. Комплексные корни указывают на наличие колебаний в переходном процессе. Положительных значений корней не должно быть – это указывает на то, что технология не может работать.

Теперь для получения частотной характеристики вместо p подставляем $j\omega$ в (7). Имеем:

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{a_0}{a_1(j\omega)^4 + a_2(j\omega)^3 + a_3(j\omega)^2 + a_4 j\omega + a_5}. \quad (8)$$

После возведения в степень аргумента $j\omega$ получаем комплексное число в знаменателе

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{a_0}{a_1(j\omega)^4 + a_2(j\omega)^3 + a_3(j\omega)^2 + a_4 j\omega + a_5} = \frac{a_0}{a_1 \omega^4 - a_3 \omega^2 + a_5 + j(-a_2 \omega^3 + a_4 \omega)}$$

Избавляемся от комплексности в знаменателе, получаем:

$$\Phi_1(j\omega) = \frac{a_0(a_1\omega^4 - a_3\omega^2 + a_2 + j(-a_2\omega^3 + a_4\omega))}{(a_1\omega^4 - a_3\omega^2 + a_5)^2 + (-a_2\omega^3 + a_4\omega)^2} = \frac{a_0a_1\omega^4 - a_0a_3\omega^2 + a_2a_0}{(a_1\omega^4 - a_3\omega^2 + a_5)^2 + (-a_2\omega^3 + a_4\omega)^2} - j \frac{-a_2\omega^3 + a_4\omega}{(a_1\omega^4 - a_3\omega^2 + a_5)^2 + (-a_2\omega^3 + a_4\omega)^2} = A(\omega) - jB(\omega).$$

Таким образом, имеем частотную характеристику для точки 1 технологической схемы. Для других точек необходимо составить соответствующие передаточные функции и перейти к частотным характеристикам. Так для точки 3 передаточная функция будет:

$$W_3(p) = \frac{W_A W_1}{1 - W_A(1 - W_1)};$$

Для точки 2:

$$W_2(p) = \frac{W_A W_1 W_2}{(1 - W_A(1 - W_1))(1 - W_2(1 - W_3))}$$

Модуль частотной характеристики представляет собой :

$$|\Phi(j\omega)| = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)};$$

следовательно:

$$|\Phi(j\omega)|^2 = A^2(\omega) + B^2(\omega).$$

Вычислив выходной спектр дисперсии процесса измельчения $S_y(\omega)$ определим дисперсию.

Спектр показателей исходного рудопотока имеет типичный вид с одним экстремумом (рис. 2.). Экстремум соответствует частоте неслучайной составляющей, т.е. несущей частоте, которая отражает закономерные изменения в процессе. Эту частоту и следует контролировать.

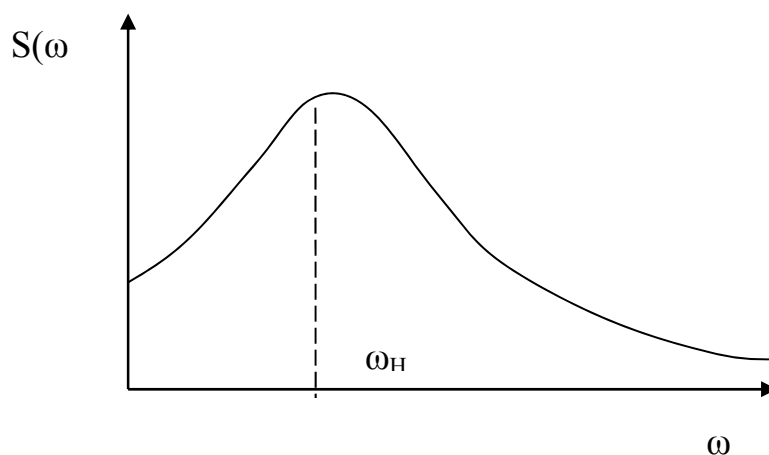


Рис. 2. Спектр дисперсии показателя исходного рудопотока.

Уже после применения первых приемов разделения исходный спектр изменяет свой вид и кривая для всех точек технологической линии становится близкой к гиперболе (рис. 2).

По мере прохождения процесса через технологию высокие частоты отфильтровываются, и спектр дисперсии принимает вид кривой экспоненциального вида, когда отсутствуют в ней характерные точки. Поэтому выбор несущей частоты затруднен. С целью объективного выбора такой частоты необходимо в кривой найти такие параметры, которые раскрыли бы требуемую информацию. В данной кривой существенно изменяется радиус кривизны, который при значениях аргумента близких к нулю имеет большое значение, затем уменьшается при увеличении частоты и в дальнейшем снова возрастает. Величина обратная радиусу кривизны называется кривизной и изменяется в соответствии с кривой, приведенной на рис. 4. Точку минимума на рис.3 (максимума на рис. 4) можно принять в качестве критерия выбора несущей частоты ω_H .

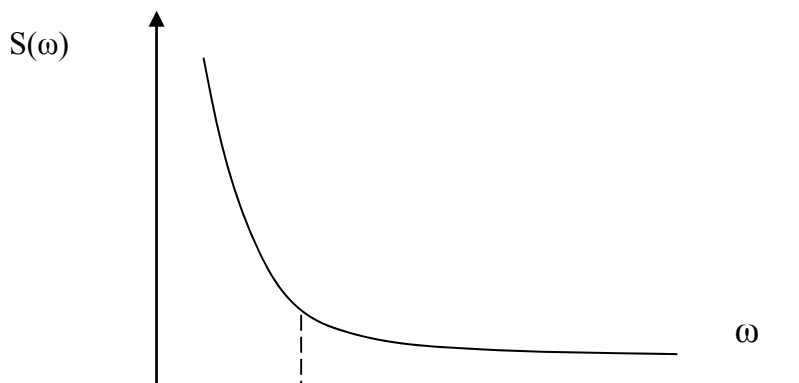


Рис. 3. Кривая спектра дисперсии для инерционных объектов

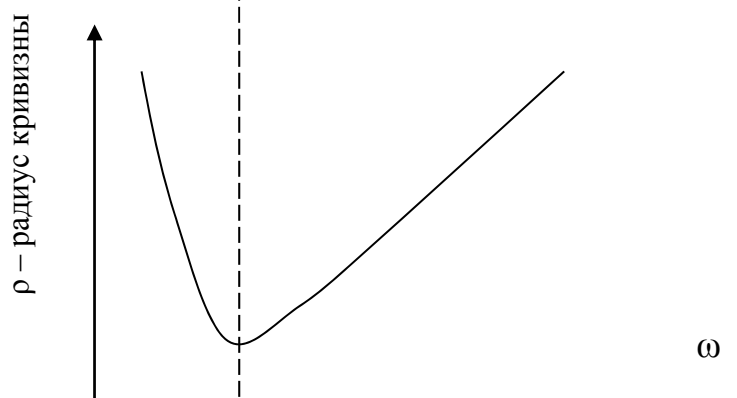


Рис. 4. Зависимость изменения радиуса кривизны спектра

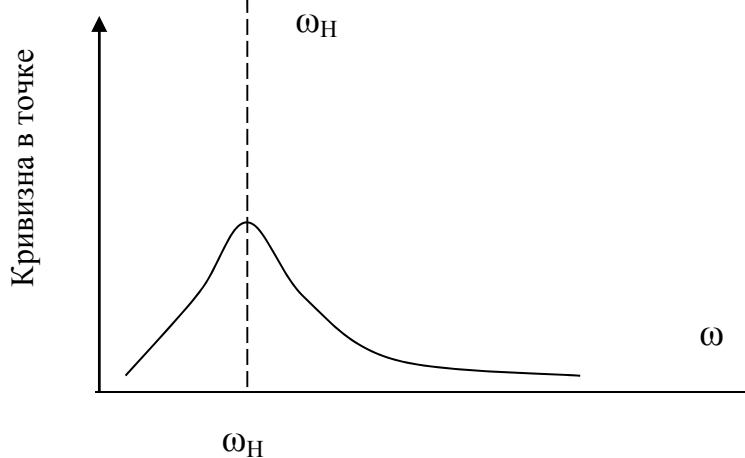


Рис. 5. Зависимость изменения кривизны кривой графика спектра

По мере приближения к выходу технологической линии значение несущей частоты приближается к нулевому значению. Следовательно, период опробования увеличивается в соответствии с изменением ω_H .

В соответствии с рассмотренной методикой нами были определены спектральные функции для технологии обогащения россыпных руд на Вольногорском ГМК для различных точек технологии. Одна из типичных кривых приведена на рис. 5.

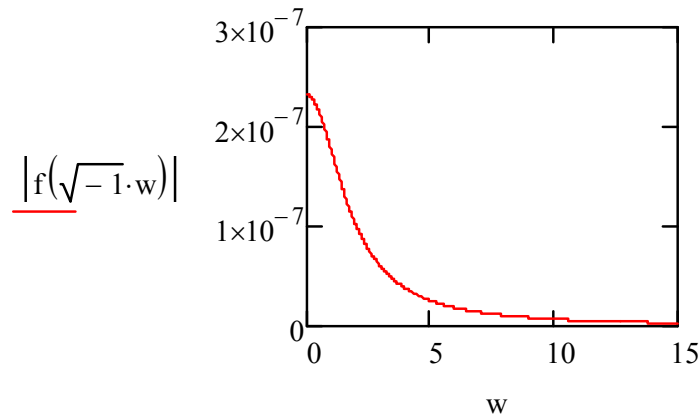


Рис. 6. Спектральная функция точки технологической схемы

№4 ставролитового продукта. Частоты имеют размерность час^{-1} .

Для того, чтобы аналитически определить несущую частоту, следует найти подходящее описание такой кривой в виде формулы. Это может быть

$$S = A \exp(-b\omega),$$

где A и b – эмпирические коэффициенты.

Радиус кривизны R находят по соотношению:

$$R = \frac{(1 + (S^1)^2)^{3/2}}{|S^{11}|}.$$

При этом:

$$S^1 = A(-b\omega) \exp(-b\omega);$$

$$S^{11} = Ab \exp(-b\omega)(-1 + b\omega^2).$$

И в результате получаем:

$$R = \frac{(1 + (-Ab\omega \exp(-b\omega))^2)^{3/2}}{|Ab \exp(-b\omega)(b\omega^2 - 1)|}.$$

Подобрав подходящие коэффициенты, получаем минимальное значение радиуса кривизны при частоте $\omega_n = 3 \text{час}^{-1}$.

Для технологических процессов переработки сырья существенным состоянием является установившийся режим. Поэтому полезная информация о показателях разделения появляется в таком режиме. Для идентификации переходной характеристики используется передаточная функция технологической линии, которая нами получена. В результате, период опробования должен соответствовать периоду переходного процесса и проводиться в установившемся режиме.

Выводы

Максимальное значение периода опробования технологических потоков переработки сырья, определяется инерционностью этой технологии, поскольку информативная частота входного потока сырья может подавляться, и спектральные функции становятся монотонными. Объективный выбор несущей частоты изменения показателей качества промежуточных продуктов, связан с математическими методами преобразования таких функций с целью получения характерных точек: максимумов, минимумов, точек перегиба; дающих возможность разграничивать диапазон спектра на высокие и низкие частоты.

Список использованной литературы

1. Теория автоматического управления. Ч. 1 / [Л.С. Гольдфарб, А.В. Балтрушевич, Г.К. Круг и др.]; под общ. ред. А.В. Негушила. – М.: Высшая школа, 1968. – 424 с.
2. Иванов В.А. Математические основы теории автоматического регулирования / В.А. Иванов, Б.К. Чемоданов, В.С. Медведев. – М.: Высшая Школа, 1971. – 808 с.
3. Росин М.Ф. Статистическая динамика и теория эффективности систем управления / М.Ф. Росин. – М.: Машиностроение, 1981. – 312 с.
4. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 767 с.
5. Пилов П.И. Научные основы сепарации и водопотребления при обогащении руд: Дис.... д-ра техн. наук / П.И. Пилов. – Днепропетровск, 1993. – 419 с.

Надійшла до редакції 30.12.2013

І.К. Младецький, П.І. Пілов, А.А. Лисенко, К.А. Левченко

ОБГРУНТУВАННЯ ПЕРІОДУ ВИПРОБУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

На підставі визначення дисперсії технологічних показників у збагачувальній технології і за допомогою перетворення спектрів дисперсій і їх аналізу показана можливість визначення максимального значення періоду випробування технологічної лінії. Максимальне значення періоду випробування технологічних потоків переробки сировини визначається інерційністю цієї технології.

Ключові слова: технологія збагачення, показники, дисперсія, період випробування.

I.K. Mladetskiy, P.I. Pilov, A.A. Lysenko, K.A. Levchenko

VERIFICATION OF TESTING PERIOD FOR ENRICHMENT INDICATORS PROBATION

On the basis of determination of dispersion of technological parameters in enrichment technology and by converting the spectra of dispersions and their analysis we show the possibility of determining the maximum period of testing, the production line. The maximum value of the testing period for the process streams of raw material processing is determined by the inertance of the technology.

Keywords: enrichment technology, performance, dispersion, sampling period.