

© І.В. Новицький¹, В.В. Слесарев¹, А.В. Малієнко¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОШУКОВИХ ПРОЦЕДУР ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЦЕСОМ САМОЗДРІБНЮВАННЯ В БАРАБАННИХ МЛИНАХ

© I. Novitskyi¹, V. Sliesariev¹, A. Maliienko¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

THE BASIC PRINCIPLES OF ORGANIZING PROSPECTING PROCEDURES FOR MANAGING THE PROCESS OF AUTOGENOUS GRINDING OF ORES IN DRUM MILLS.

Мета. Сформулювати основні вимоги до побудови пошукових процедур, виходячи з особливостей барабанних млинів самоздрібнювання як об'єктів управління.

Методика дослідження полягає в аналізі певного діапазону внутрімельнічних заповнень, котори інтенсифікуються коливання рудної завантаження, що супроводжується посиленням подрібненням (стиранням) матеріалу, оскільки інтенсивність коливань тісно корелює з продуктивністю млинів по готовому класу виходу фракцій руди. Таким чином актуальність представлених досліджень полягає у встановленні параметрів регулювання потоку вихідної руди млини і підтримуванні такого рівня заповнення барабана рудою φ^* , при якому інтенсивність коливань рудного навантаження A буде максимальною. Для рішення цієї задачі застосовується пошукова система екстремального регулювання, специфіка якої визначатиметься особливостями об'єкта управління.

Результати дослідження. Встановлено, що одним з найбільш ефективних є ідентифікаційний алгоритм, заснований на апріорній інформації про структуру екстремальної залежності параметрів заповнення барабану.

Наукова новизна. Сформульовано основні принципи побудови пошукових систем управління завантаженням барабанних млинів самоздрібнювання, що забезпечують найбільш інтенсивні коливання рудного навантаження всередині млина і збільшення продуктивності млинів по готовому продукту.

Практичне значення. Встановлено, що процесу пошуку оптимального рівня заповнення барабана рудою слід надати кроковий характер. Величина кроку по параметру оптимізації і інші змінні пошукової процедури повинні вибиратися з умови мінімуму сумарної помилки, викликані інерційністю об'єкта.

Ключові слова: процес подрібнення руд, млин самоздрібнювання, принципи побудови пошукових систем управління.

Вступ: У роботах [1,2,3] теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено, що при обертанні барабана млинів самоздрібнювання рудне навантаження здійснює періодичні низькочастотні коливання на певній частоті f_p . Інтенсивність цих коливань може бути виміряна в відносних одиницях A шляхом виділення з сигналу активної потужності, яка була споживана млином, спектральної складової на частоті f_p . Залежність інтенсивності коливань A від ступеня

заповнення барабана млина рудою φ має явно виражений екстремальний характер (рис.1).

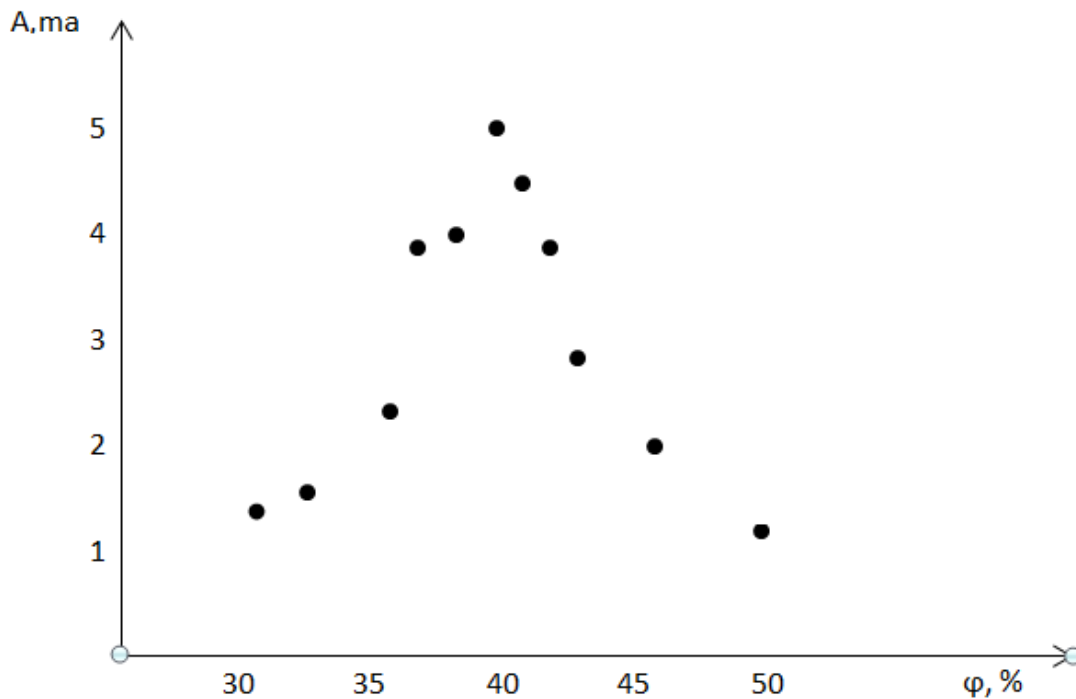


Рис. 1. Залежність інтенсивності коливань рудного навантаження A від ступеня заповнення барабана рудою φ млина МГР 40 * 75

Іншими словами, в певному діапазоні заповнень всередині млина інтенсифікуються коливання рудного завантаження, що супроводжується посиленням подрібненням (стиранням) матеріалу, оскільки інтенсивність коливань A тісно корелює з продуктивністю млинів по готовому класу (рис.2).

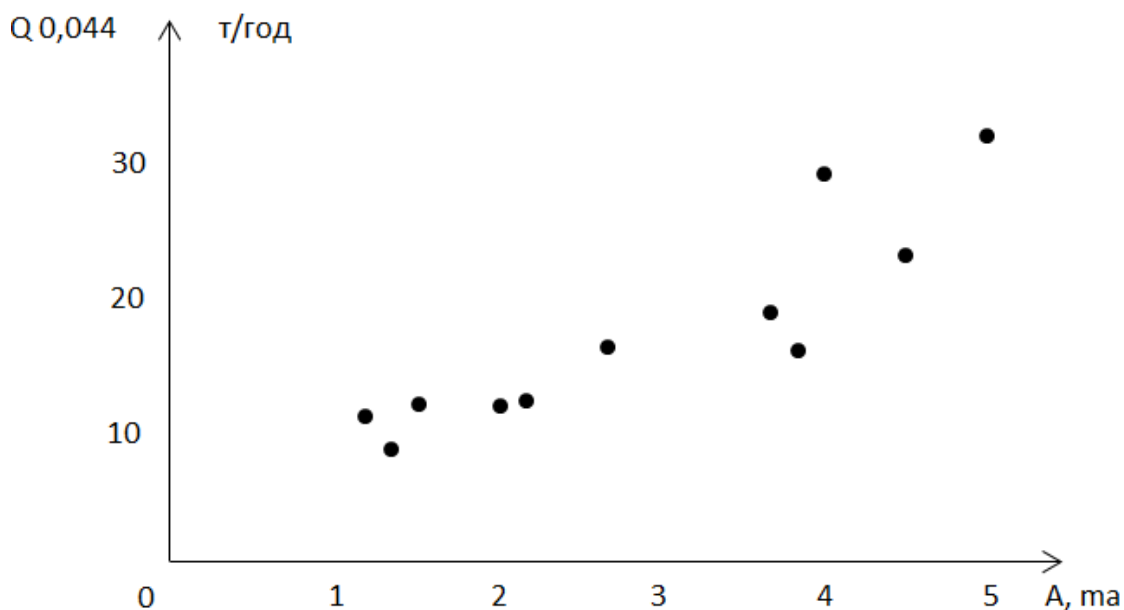


Рис. 2. Залежність продуктивності по новоутвореному готовому класу млини МГР 40 * 75 від інтенсивності коливань рудного навантаження A

Експериментально отримані залежності інтенсивності коливань від ступеня заповнення $A(\varphi)$ досить добре апроксимуються кривою Гаусса:

$$\varphi(x) = \left[\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \right] e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

де m, σ - параметри, що характеризують ймовірнісні процеси при формуванні епюри заповнення барабана млина за умови його обертання.

Постановка задачі дослідження: Для забезпечення максимальної продуктивності млина по готовому класу необхідно шляхом регулювання потоку вихідної руди в млин підтримувати такий рівень заповнення барабана рудою φ^* (рис.1), при якій інтенсивність коливань рудного навантаження A буде максимальною. З урахуванням дрейфу екстремальної залежності $A(\varphi)$ (рис.1), викликаній в основному зміною властивостей наповнення, визначено, що рішення цього завдання передбачає застосування пошукової системи екстремального регулювання, специфіка якої визначатиметься особливостями об'єкта управління.

Рішення задачі. Сформулюємо основні вимоги до побудови пошукових процедур, виходячи з особливостей барабанних млинів самоздрібнювання як об'єктів управління.

1. Спосіб управління повинен містити пошукову процедуру з елементами адаптації, засновану на періодичному отриманні і аналізі інформації про значення критерію A . При цьому обов'язковим є використання інформації про заповнення барабана; для цього може бути використаний будь-який непрямий параметр, залежність якого від φ є монотонною в діапазоні пошуку. Необхідність пошукової процедури з елементами адаптації обумовлена дією на об'єкт низько- і середньо частотних перешкод, що викликають дрейф статичної екстремальної залежності $A(\varphi)$, коефіцієнтів передачі та сталих часу ланок структури об'єкта.

Необхідність використання інформації про ступінь заповнення φ в процесі пошуку обумовлена динамічними особливостями об'єкта і може бути обґрунтована від зворотного. Для цього розглянемо альтернативну структуру пошукової системи, що не містить зворотного зв'язку по параметру φ (рис.3).

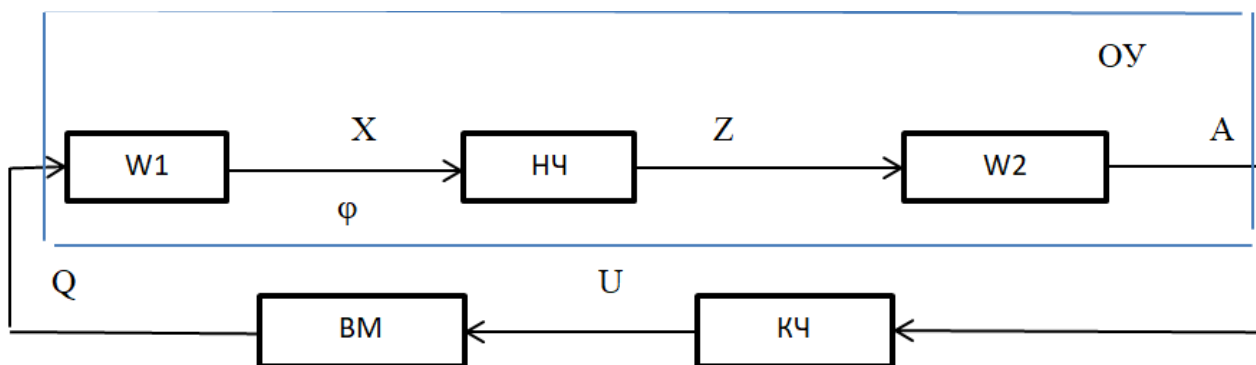


Рис 3. Структурна схема пошукової системи без зворотного зв'язку по φ

На схемі об'єкт складається з двох інерційних лінійних ланок W_1, W_2 , та нелінійної частини - НЧ. У керуючій частині системи КЧ на основі інформації про значення критерію A шляхом впливу на виконавчий механізм ВМ регулюється вхідний потік руди Q таким чином, щоб критерій A прийняв максимальне значення. Функціонування будь-якої пошукової системи засноване на оцінці реакції критерію A на зміну параметра оптимізації. В принципі в якості параметра оптимізації можна використовувати безпосередньо керуючий вплив U . Однак, в даному випадку така система виявиться непрацездатною через можливість ситуацій відсутності або недостатньої кількості вихідного матеріалу.

Дослідимо динамічні властивості системи на рис. 3 провівши оцінку параметрів сталих коливань робочої точки в районі екстремуму. Для цього використовуємо метод гармонійного балансу. Для схеми на рис. 3 з достатньою точністю справедливі співвідношення:

$$\begin{aligned} W_1(p) &= \frac{K1 e^{-\tau p}}{T1P + 1}; \\ W_2(p) &= \frac{K2}{T2P + 1}; \\ \varphi(x) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-0.5\left(\frac{x-m}{\sigma}\right)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Будемо вважати, що керуюча частина працює як пристрій із запам'ятовуванням екстремуму, тобто наступним чином:

$$U = U, \quad \text{якщо} \quad (A_{max} - A) < S, \text{ або } = -U, \quad \text{якщо} \quad (A_{max} - A) > S$$

де A_{max} остійно максимальне значення критерію, визначається так:

$$A_{max} = A(t), \quad \text{якщо} \quad A(t) > A_{max} \quad \text{або} \quad A_{max} - A(t) > S \text{ зона нечутливості.}$$

Оскільки розглядаються симетричні автоколивання поблизу екстремуму, покладемо в (1) $m = 0$. При подачі на вхід НЧ (рис. 3) сигналу $X = X_m \sin \omega t$, отримаємо сигнал Z на його виході:

$$Z(t) = \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x_m^2 \sin^2(\omega t)}{2\sigma^2}} \approx \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} \left(1 - \frac{x_m^2}{4\sigma^2} (1 - \cos 2\omega t)\right) = Z_0 + Z_m \cos(2\omega t),$$

де Z_0 – постійна складова,

$$Z_m = \frac{C \cdot x_m^2}{4\sigma^3 \sqrt{2\pi}} - \text{амплітуда гармонійної складової.}$$

Сигнал Z_t проходить через ланку W_2 і впливає на керуючу частину, в якій формується сигнал $U(t)$ прямокутної форми $+ / (-U)$ з частотою ω . Нехтуючи інерційністю виконавчого механізму, будемо вважати що $+U$ відповідає максимальному потоку руди в млин, а $-U$ - мінімальному. Умови гармонійного балансу полягають у тому, що амплітуда першої гармоніки сигналу $U(t)$, пройшовши через ланку W_1 , повинна дорівнювати x_m , а різниця фаз цього сигналу і сигналу $X(t)$ повинна дорівнювати π . Тому баланс амплітуд і фаз для схеми рис.3. має вид:

$$A_{max} = \frac{4U}{\pi} |W_1| = X_m + \frac{1}{2} \arg[W_2(j2\omega)] + \arg[W_1(j\omega)] - \frac{1}{2} \arccos \left[\frac{A_{max} - S}{A_{max}} \right] = 0,$$

де $A_{max} = Z_m |W_2(j2\omega)|$

Підставляючи в останні три рівняння вирази для W_1, W_2, Z_m , отримаємо:

$$\frac{4U}{\pi} \cdot \frac{K_1}{\sqrt{1 + T_1^2 \omega^2}} = X_m \quad (3)$$

$$\pi - \frac{1}{2} \arctg(2T_2\omega) - \arctg(T_1\omega) - \tau\omega - \frac{\frac{1}{2} \arccos(A_{max} - S)}{A_{max}}$$

$$A_{max} = \frac{cX_m^2}{\sigma^3} \cdot \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{K_2}{\sqrt{1 + 4\omega^2 T_2^2}}$$

Виключаючи з цієї системи A_{max} та X_m , отримаємо рівняння щодо частоти ω :

$$\pi - \frac{1}{2} \arctg(2T_2\omega) - \arctg(T_1\omega) - \tau\omega - \frac{1}{2} \arccos \left(1 - 4\sqrt{2\pi}\sigma^3 \pi^2 S(1 + T_1^2 \omega^2) \cdot \frac{\sqrt{1 + 4T_2^2 \omega^2}}{16CK_1^2 K_2 U^2} \right) = 0$$

яке може бути вирішено чисельним методом. Знаючи частоту ω , амплітуда автоколивань розраховується за формулою (3).

Оцінимо порядок параметрів автоколивань в системі управління млином ММС 70 · 23 для наступних реальних значень вихідних даних: $C = 19$ квт·%; $\sigma = 1,5\%$; $K_1 = 24\% \cdot \text{хв} / \text{тн}$; $U = 0,7$ тн / хв; $K_2 = 1$ мА / кВт; $T_1 = 5$ хв; $T_2 = 4$ хв; $S = 0,3$ мА; $\tau = 1$ хв. В цьому випадку амплітуда коливань розрахована за формулою (3) складе $X_m = 7\%$ заповнення. Очевидно, що такий порядок амплітуди коливань свідчить про недоцільність реалізації пошукової системи за схемою рис.3 оскільки розмах коливань 14% заповнення призводить до неприпустимих коливань якості і продуктивності подрібнювального агрегату. На основі викладеного можна зробити висновок про необхідність введення в керуючу частину системи інформації про ступінь заповнення і використання її в якості параметра оптимізації.

2. Необхідно обмежити діапазон пошуку по мірі заповнення ϕ . Ця умова впливає з виду статичної залежності $A(\phi)$ на рис.1, що спостерігається. Вона досить швидко стає більш пологою з віддаленням від точки оптимуму. Діапазон дрейфу самої характеристики $A(\phi)$ становить не більше 10% заповнення [4]. У реальних умовах для оцінки ступеня заповнення зазвичай використовується середня потужність приводного двигуна P , яка і виступає в якості параметра оптимізації. Тому слід ввести нижню і верхню межі пошукового діапазону $P_{min} \div P_{max}$, і при виході системи за його межі через брак живлення, після відновлення робочого режиму робочу точку необхідно спочатку безумовно повернути в середину діапазону $P_{min} \div P_{max}$.

3. Процесу пошуку слід надати кроковий характер. Величина кроку по параметру оптимізації P і інші змінні пошукової процедури повинні вибиратися з умови мінімуму сумарної помилки, викликані інерційністю об'єкта і дрейфом характеристики $A(\varphi)$.

Необхідність крокового пошуку визначається інерційними властивостями об'єкта, видом статичної характеристики $A(\varphi)$ і досить високим рівнем перешкод в корисних сигналах. При стабілізації ж параметра оптимізації P на черговому кроці пошуку є можливість усереднення збурень і отримання достовірних оцінок значень критерію A . Структурна схема системи управління, що відповідає сформульованим принципам, приведена на рис.4. Тут на черговому кроці в керуючій частині аналізується інформація про поточні значення критерію A і параметра оптимізації P , і виробляється завдання по параметру оптимізації $P_{зад}$. На наступному кроці параметр оптимізації P стабілізується на рівні завдання $P_{зад}$ за допомогою ПІ - регулятора.

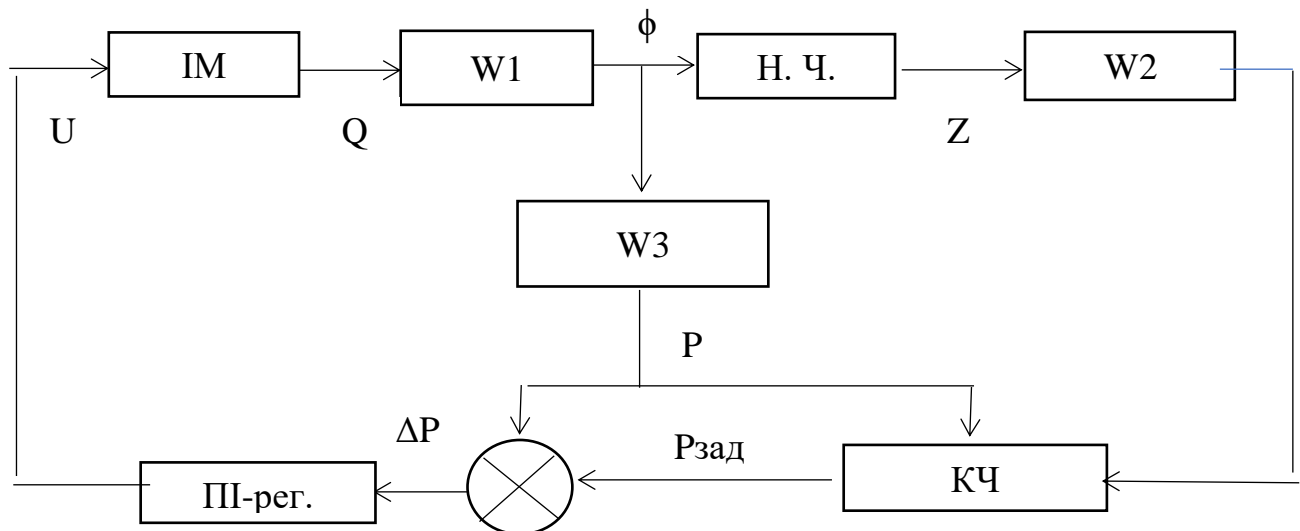


Рис 4. Структурна схема крокового пошуку з контролем рівня заповнення

При визначенні величини тимчасового кроку управління Δt розрахунковим шляхом будемо виходити з умови мінімуму сумарної похибки Δ по параметру пошуку P , яка складається з динамічної похибки Δ_1 , зумовленої інерційністю об'єкта, і похибки Δ_2 , викликані дрейфом екстремальної характеристики $Z(P)$, тобто $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$. Для розрахунку часу кроку Δt необхідно визначити структуру та параметри ланки системи на рис.4 та, крім того, задаються P_{min}, P_{max} - нижня і верхня межі пошукового діапазону; ΔP - величина кроку по параметру оптимізації; V середня швидкість дрейфу екстремальної характеристики $Z(P)$.

Якщо кроки за часом Δt і по параметру ΔP постійні, то середня швидкість зміни параметра оптимізації в процесі пошуку складе:

$$J = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

При довільному виборі моменту початку відліку часу закон зміни параметра

оптимізації має вигляд:

$$P = Jt$$

Нехтуючи інерційністю вимірювальної ланки W_3 , отримаємо закон зміни Z :

$$Z = f(p) = f(Jt) \quad (4)$$

Однак, сигнал A , що надходить на керуючу частину (рис.4), матиме динамічний зсув за рахунок інерційності ланки W_2 :

$$A = f(Jt)W_2[t] = f(p)W_2\left[\frac{p}{J}\right] \quad (5)$$

де $W_2[t]$ - оператор ланки W_2 . Вираз (5) описує спотворену за рахунок динамічного ефекту екстремальну характеристику. Динамічна похибка Δ_1 є величиною зміщення точки оптимуму P_1^* характеристики (5) щодо точки оптимуму P_2^* характеристики (4), тобто $\Delta_1 = |P_2^* - P_1^*|$, де P_1^* - є рішенням рівняння:

$$\frac{\partial A}{\partial P} = 0$$

Відповідно P_2^* - рішення рівняння

$$\frac{\partial Z}{\partial P} = 0$$

Неважко бачити, що значення P_1^* буде залежати від J , а значить і від Δt , тобто $P_1^*(\Delta t)$.

Похибка, викликана дрейфом характеристики $Z(p)$, за час пошуку може бути визначена так:

$$\Delta_2 = \frac{(P_{max} - P_{min})}{(2\Delta P)\Delta t V}$$

Тоді сумарна похибка:

$$\Delta = |P_2^* - P_1^*(\Delta t)| + (P_{max} - P_{min}) \cdot \Delta t \cdot V / (2 \cdot \Delta P),$$

А оптимальний розмір кроку Δt визначається, як вирішення задачі :

$$\Delta t \rightarrow (min)\Delta t \quad (6)$$

В загальному випадку задача (6) вирішується чисельними методами.

Сформульовані вимоги є основою для вибору конкретного алгоритму пошуку екстремуму і визначення значень його параметрів. На практиці було встановлено [4], що одним з найбільш ефективних є ідентифікаційний алгоритм, заснований на апріорній інформації про структуру екстремальної залежності (1). Припустимо, що в результаті трьох послідовних пошукових кроків отримані три пари значень (P_i, A_i) $i = 1, 2, 3$, на основі яких складається система:

$$A_i = \frac{C}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(P_i - M)^2}{2\sigma^2}}, \quad i = 1, 2, 3 \quad (7)$$

Розділивши перше рівняння системи (7) на друге, і друге на третє, отримаємо:

$$\frac{A1}{A2} = e^{(P2-M)^2 - (P1-M)^2 / 2 \sigma^2}$$

$$\frac{A2}{A3} = e^{(P3-M)^2 - (P2-M)^2 / 2 \sigma^2}$$

де М - параметр кривої Гаусса (7), який відповідає математичному очікуванню нормального закону розподілу і визначає значення аргументу (в даному випадку Р), при якому функція А(Р) має екстремум максимум.

Або після логарифмування отримуємо:

$$\frac{\text{Ln}(A1 / A2)}{2 \sigma^2} = (P_2 - M)^2 - (P_1 - M)^2$$

$$\frac{\text{Ln}(A2 / A3)}{2 \sigma^2} = (P_3 - M)^2 - (P_2 - M)^2$$

Виключимо з цієї системи σ , розділивши перше рівняння на друге.

$$\frac{\text{Ln}(A1 / A2)}{\text{Ln}(A2 / A3)} = \frac{(P_2 - M)^2 - (P_1 - M)^2}{(P_3 - M)^2 - (P_2 - M)^2}$$

Останнє рівняння легко вирішується щодо М, яке і визначає точку оптимуму по параметру Р.

Висновки. Сформульовано основні принципи побудови пошукових систем управління завантаженням барабаних млинів самоздрібнювання, що забезпечують найбільш інтенсивні коливання рудного навантаження всередині млина і збільшення продуктивності млинів по готовому продукту.

Перелік посилань

1. Марюта, А.Н. (1991). *Теория моделирования колебаний рабочих органов механизмов и ее приложения*. Изд-во ДГУ.
2. Новицкий, И.В. (2000). Механизм возникновения колебаний рудной нагрузки барабанных мельниц. *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*, 3(11), 12-15.
3. Новицкий, И.В., & Шевченко, Ю.А. (2005). Моделирование процесса возникновения колебаний рудной нагрузки барабанных мельниц. *Збірник наукових праць НГУ*, 22, 108-113.
4. Новицкий, И.В., Григорьев, В.Б., Бульба, В.И., & Горшков, И.А. (1990). Система автоматического управления рудногалечными мельницами. *Горный журнал*, 5, 50-51.

АННОТАЦИЯ

Цель. Сформулировать основные требования к построению поисковых процедур, исходя из особенностей барабанных мельниц самоизмельчения как объектов управления.

Методика исследования заключается в анализе определенного диапазона внутримельничных заполнений, которых интенсифицируются колебания рудной загрузки, что сопровождается усиленным измельчением (истиранием) материала, поскольку интенсивность колебаний тесно коррелирует с производительностью мельниц по готовому классу выхода фракций руды. Таким образом актуальность представленных исследований заключается в установлении па-

раметров регулирования потока исходной руды мельницы и поддержании такого уровня заполнения барабана рудой φ^* , при котором интенсивность колебаний рудной нагрузки A будет максимальной. Для решение этой задачи применяется поисковая система экстремального регулирования, специфика которой будет определяться особенностями объекта управления

Результаты исследования. Установлено, что одним из наиболее эффективных является идентификационный алгоритм, основанный на априорной информации о структуре экстремальной зависимости.

Научная новизна. Сформулированы основные принципы построения поисковых систем управления загрузкой барабанных мельниц самоизмельчения, обеспечивающих наиболее интенсивные колебания рудной нагрузки внутри мельницы и увеличение производительности мельниц по готовому продукту.

Практическое значение. Установлено, что процесс поиска следует предоставить шаговый характер. Величина шага по параметру оптимизации и другие переменные поисковой процедуры должны выбираться из условия минимума суммарной ошибки, вызванной инерционностью объекта.

Ключевые слова: *процесс дробления руд, мельница самоизмельчения, принципы построения поисковых систем управления.*

ABSTRACT

Goal. To formulate the basic requirements to construction of search procedures, proceeding from features of drum mills of self-grinding as objects of management.

The research methodology consists in the analysis of a certain range of intramill fillings, which intensify the fluctuations of the ore load, which is accompanied by increased grinding (abrasion) of the material, since the intensity of the fluctuations closely correlates with the productivity of the mills for the finished class of the output of ore fractions. Thus, the relevance of the presented studies consists in establishing the parameters for regulating the flow of the initial ore of the mill and maintaining such a level of filling the drum with ore φ^* , at which the intensity of fluctuations in the ore load A will be maximum. To solve this problem, an extreme regulation search system is used, the specificity of which will be determined by the features of the control object

Results of the research. It is established that one of the most effective is the identification algorithm based on a priori information about the structure of extreme dependence.

Scientific novelty. The basic principles of construction of search systems of control of loading of drum mills of self-grinding are formulated, providing the most intensive fluctuations of ore loading in a mill and increase in productivity of mills on a finished product.

Practical meaning. It is established that the search process should be given a step-by-step nature. The magnitude of the step on the optimization parameter and other variables of the search procedure should be selected from the condition of the minimum total error caused by the inertia of the object.

Keywords: *ore crushing process, self - crushing mill, principles of construction of search control systems.*