

ІДЕНТИФІКАЦІЙНИЙ АЛГОРИТМ ЕКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ
БАРАБАННИМИ МЛИНАМИ САМОЗДРІБНЮВАННЯ РУД

І.В. Новицький¹, В.В. Слесарєв², А.В. Малієнко³

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна,
novytskyi.i.v@nmu.one ORCID [0000-0002-8780-6589](https://orcid.org/0000-0002-8780-6589)

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна,
sliesariiev.v.v@nmu.one ORCID [0000-0002-1058-5183](https://orcid.org/0000-0002-1058-5183)

³ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна,
andrei.malienko@gmail.com ORCID [0000-0002-3165-9233](https://orcid.org/0000-0002-3165-9233)

IDENTIFICATION ALGORITHM OF EXTREME MANAGEMENT BY THE
RATTLEJACKS OF SELF-GROWING SHALLOW OF ORES

I. Novitskyi¹, V. Sliesariiev², A. Maliienko³

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
novytskyi.i.v@nmu.one ORCID [0000-0002-8780-6589](https://orcid.org/0000-0002-8780-6589)

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
sliesariiev.v.v@nmu.one ORCID [0000-0002-1058-5183](https://orcid.org/0000-0002-1058-5183)

³ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine
andrei.malienko@gmail.com ORCID [0000-0002-3165-9233](https://orcid.org/0000-0002-3165-9233)

Анотація. Розглянуто задачу оптимізації процесу подрібнення руд в барабанних млинах з урахуванням матеріалу та його впливу на систему приводу млина. Зауважено що в реальних умовах ідеальних консервативних систем керування барабанними млинами не існує. Аналіз руху матеріалу показує коливання системи, які або затухнуть, або будуть виникати зі зростаючою амплітудою. Зменшення коливань можливо з використанням алгоритму ідентифікації та виконується в умовах квазістаціонарності об'єкту, оскільки час відбору необхідної інформації на кожному кроці управління набагато менше часу спаду автокореляційної функції основного збурюючого процесу зміни фізико-механічних властивостей руди. Таким чином в роботі запропонована модель, спосіб та система екстремального управління барабанними млинами самодрібнювання руд

Ключові слова: математична модель, процес подріблення руд, млин самодрібнювання, точки екстремуму, ідентифікаційний алгоритм.

Вступ. Відомо, що процеси подрібнення руд в барабанних млинах є найбільш ресурс еміними процесами збагачувальної технології. Тому раціональне використання підводиться до млина енергії є актуальною практичною задачею.

Постановка задачі дослідження. У роботах [1,2] показано, що при обертанні барабана млина самодрібнювання знаходиться всередині нього подрібнюється матеріал робить коливання і є джерелом змінних навантажень в системі приводу млинів. Механізм виникнення таких коливань навантаження всередині млина пояснює наступна математична модель (рис. 1):

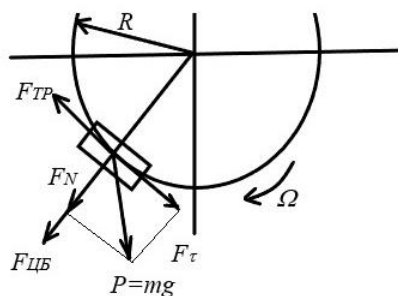


Рисунок. 1- Рух плоского тіла на внутрішній поверхні обертового барабана

На внутрішню поверхню обертового барабана радіуса R поміщено плоске тіло малих розмірів. Рівняння його руху під дією сил по поверхні барабана матиме вигляд:

$$f(F_n + F_{цб}) - F_\tau = m \ddot{\theta} R \quad (1)$$

У формулі (1) і на рис. 1 позначено:

$$F_n = mg \cos \theta \text{ - нормальна складова сили тяжіння } P;$$

$$F_\tau = mg \cdot \sin \theta \text{ - тангенціальна складова};$$

$$F_{цб} = m \dot{\theta} R \text{ - відцентрова сила};$$

$$F_{тр} = f(F_n + F_{цб}) \text{ - сила тертя};$$

f – коефіцієнт тертя між тілом і поверхнею барабана;

m – маса тіла;

θ – кутова координата.

Підставляючи в (1) вирази для сил і виконавши перетворення, отримаємо:

$$\ddot{\theta} - f \dot{\theta}^2 + g \cdot R^{-1} \cdot \sqrt{1 + f^2} \cdot \sin(\theta - \arctg f) = 0 \quad (2)$$

Як випливає з (2), характер руху тіла не залежить від його маси, а визначається радіусом обертання R , коефіцієнтом тертя f і початковими умовами. Характерною особливістю рівняння (2) в порівнянні з відомими лінійними рівняннями другого порядку є сталість знаку функції першої похідної (точніше незалежність його від знаку першої похідної кута). Тому, при постійних f і R система (2) є консервативною, її фазові траєкторії мають вигляд замкнутих кривих, а точка 0 на рис. 2 є особлива точка типу центр з координатами $(\arctg f; 0)$.

Відповідно до (2) частота коливань визначається радіусом R :

$$\omega = \sqrt{g \cdot R^{-1} \sqrt{1 + f^2}} \quad (3)$$

В реальних умовах ідеальних консервативних систем не існує, а коливання в системі або затухнуть, або будуть виникати зі зростаючою амплітудою. У промислових барабанних млинах при їх обертанні завжди має місце залишковий небаланс, тобто розбіжність центра ваги з центром обертання.

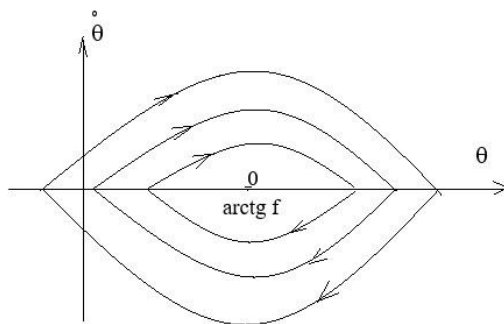


Рисунок 2 - Фазові траєкторії системи (2)

Іншими словами, радіус обертання на рис. 1 і в рівнянні (2) здійснює малі коливання з частотою обертів барабана. Коливання ж рудної маси відбуваються в її внутрішніх шарах і частота цих коливань, згідно (3) залежить від ступеня заповнення барабана φ [%]. Частота обертів барабана млина Ω і власна частота коливань внутрішньо млинового навантаження мають один і той же порядок. Тому за певних ступенів заповнення барабана (точніше, у вузькому діапазоні внутрішньо млинових заповнень) має місце параметричне збудження коливань у внутрішніх шарах рудного навантаження з частотою ω [3].

В роботі [4] експериментально обґрунтовано, що інтенсифікація коливань рудного навантаження призводить до збільшення продуктивності млинів самоздрібнювання по новоутвореному готовому класу. Отже, доцільно шляхом регулювання ступеня заповнення млина підтримувати максимальну інтенсивність

коливань рудного навантаження. Функціональна схема відповідної системи регулювання приведена на рис. 3.

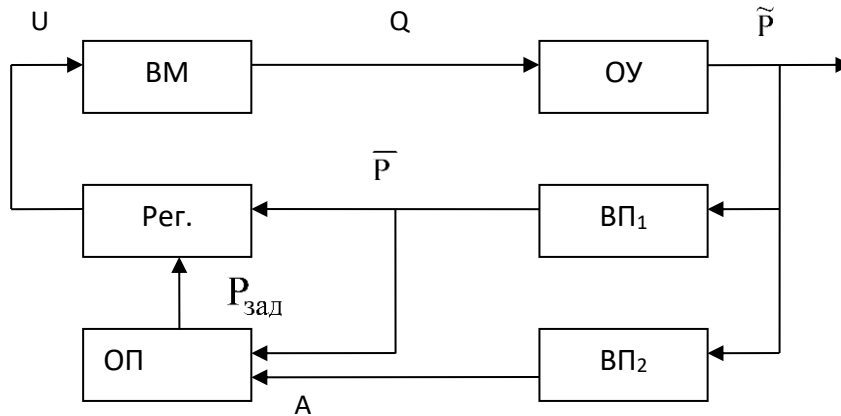


Рисунок 3 – Функціональна схема системи регулювання

Тут об'єктом управління ОУ є млин самоздрібнювання з класифікатором. Керуючим впливом U через виконавчий механізм ВМ регулюється потік руди (гальки) в млин Q і, отже, ступінь заповнення барабана. Як джерело оперативної інформації про стан ОУ в системі використовується активна потужність \tilde{P} , споживана привідним двигуном млини. Вимірювальний пристрій ВП1 згладжує процес \tilde{P} з метою отримання сигналу середньої потужності \bar{P} , який пропорційний в робочому діапазоні ступеню заповнення барабана φ . Тому основний контур регулювання системи рис. 3 реалізує стабілізацію середньої потужності двигуна на рівні завдання за допомогою регулятора Рег. Вимірювальний пристрій ВП2 виділяє з спектра сигналу гармонійну складову з частотою коливань рудного навантаження і вимірює її амплітуду (сигнал А).

Обчислювальний пристрій ОП реалізує покроковий пошук екстремуму А, встановлюючи таке значення $P_{зад}$, щоб інтенсивність коливань рудного навантаження була б максимальною. При цьому сигнал \bar{P} виступає в якості параметра оптимізації, а сигнал А - в якості критерію. На рис. 4 представлена експериментально отримана в умовах РЗФ-2 Північного ГЗК на млині МРГ 55 x 75 залежність А від \bar{P} .

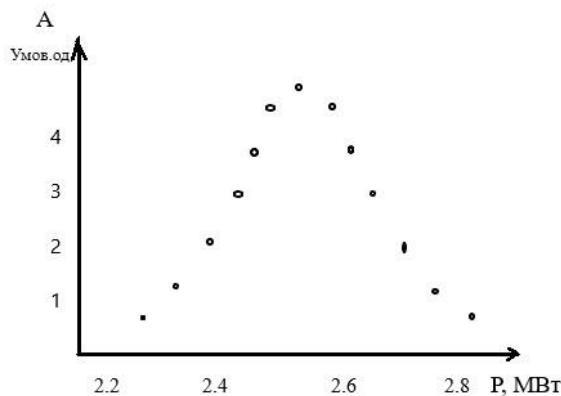


Рисунок 4 –Залежність інтенсивності коливань рудного навантаження А від середньої потужності двигуна млина \bar{P}

Ця залежність якнайкраще апроксимується кривій Гауса виду :

$$A = -\frac{C_1}{C_2 \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\bar{P}-C_3)^2}{2C_2^2}}$$

де C_1, C_2, C_3 – параметри.

Цей факт пояснюється дією більшої кількості чинників, що впливають на процес виникнення коливань, зокрема випадковим характером формування епюри заповнення працюючого млина у поєднанні з вузьким діапазоном заповнень, в якому виникають коливання.

Рішення задачі. З урахуванням викладеного, в обчислювальному облаштуванні ВМ крокової пошукової системи мал.3 доцільно реалізувати ідентифікаційний алгоритм, що забезпечує швидке обчислення точки екстремуму залежності $A = f(\bar{P})$ для формування завдання на регулятор.

Нехай в процесі крокового пошуку екстремуму залежності отримані три пари відповідних значень: $(A; \bar{P})_{i = 1,3}$, на основі яких може бути складена система:

$$A_i = \frac{C_1}{C_2 \sqrt{2\pi}} \cdot 1 - \frac{(\bar{P}_i - C_3)^2}{2C_2^2} \quad i = 1,3 \quad (4)$$

Розділивши перше рівняння системи (4) на друге і друге на третє, отримаємо:

$$\frac{A_1}{A_2} = 1 - \frac{(\bar{P}_2 - C_3)^2 - (\bar{P}_1 - C_3)^2}{2C_2^2}$$

$$\frac{A_2}{A_3} = 1 - \frac{(\bar{P}_3 - C_3)^2 - (\bar{P}_2 - C_3)^2}{2C_2^2}$$

або після логарифмування:

$$\frac{\ln(A_1/A_2)}{2C_2^2} = (\bar{P}_2 - C_3)^2 - (\bar{P}_1 - C_3)^2$$

$$\frac{\ln(A_2/A_3)}{2C_2^2} = (\bar{P}_3 - C_3)^2 - (\bar{P}_2 - C_3)^2 \quad (5)$$

Розділимо перше рівняння системи (5) на друге:

$$\frac{\ln(A_1/A_2)}{\ln(A_2/A_3)} = \frac{\bar{P}_2^2 - 2\bar{P}_2C_3 - \bar{P}_1^2 + 2\bar{P}_1C_3}{\bar{P}_3^2 - 2\bar{P}_3C_3 - \bar{P}_2^2 + 2\bar{P}_2C_3}$$

Останнє рівняння вирішується відносно C_3 , яке і визначає точку оптимуму по параметру \bar{P} :

$$\bar{P}_{\text{опт}} = C_3 = \frac{\ln(A_1/A_2) \cdot (\bar{P}_3^2 - \bar{P}_2^2) - \ln(A_2/A_3) \cdot (\bar{P}_2^2 - \bar{P}_1^2)}{\ln(A_2/A_3) \cdot (2\bar{P}_1 - 2\bar{P}_2) - \ln(A_1/A_2) \cdot (2\bar{P}_2 - 2\bar{P}_3)} \quad (6)$$

Таким чином в обчислювальному пристрої ОП пошукової екстремальної системи (рис.3) на основі поточних вимірювань $(A; \bar{P})$ виконується перерахунок оптимального значення аргументу залежності $A = f(\bar{P})$ по виразу (6) і відповідна корекція завдання $P_{\text{зад}}$ на регулятор.

Висновки. Застосування вказаного способу управління млинами самоподрібнення забезпечує виконання умови квазістаціонарної об'єкту, оскільки час відбору необхідної інформації на кожному кроці управління набагато менше часу спаду автокореляційної функції основного збурюючого процесу зміни фізико-механічних властивостей руди.

На основі описаного ідентифікаційного алгоритму екстремального управління були розроблені і впроваджені системи управління млинами МРГ 55 x 75 збагачувальної фабрики-2 Північного ГЗКа [5].

Перелік посилань.

1. Марюта А.Н., Новицкий И.В. О сигнале активной мощности приводных двигателей барабанных мельниц в узкой полосе инфранизкого диапазона частот. / Горная электромеханика и автоматика: Респ. межвед. научн.-техн. Сб., 1982, вып. 40, с. 81-83.
2. Марюта А.Н., Новицкий И.В. Разработка и испытание в промышленных условиях устройства диагностики состояния внутримельничной нагрузки. / Системы управления технологическими процессами: Межвузовский сборник. Новочеркасск, изд. НПИ, 1981, с. 128-131.
3. Марюта А.Н. О повышении технико-экономической эффективности энергосберегающей технологии управления измельчением руд в промышленных барабанных мельницах. // Изв. Вузов – Цветная металлургия. – 1987. – №3. – с. 18-19.
4. Марюта А.Н., Новицкий И.В., Мамонов С.Г. и др. Промышленные испытания устройств технологической диагностики барабанных мельниц / Горный журнал. – 1982. – №8. – с. 48-49.
5. Новицкий И.В., Григорьев В.Б., Бульба В.И., Горшков Н.А. Система автоматического управления рудногалечными мельницами / Горный журнал. – 1990. – №5. – с. 50-51.

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена задача оптимизации процесса измельчения руд в барабанных мельницах с учетом материала и его влияния на систему привода мельницы. Замечено что в реальных условиях идеальных консервативных систем управления барабанными мельницами не существует. Анализ движения материала показывает колебания системы, или затухнут, или будут возникать с растущей амплитудой. Уменьшение колебаний возможно с использованием алгоритма идентификации и выполняется в условиях квазистационарности объекта, поскольку время отбора необходимой информации на каждом шагу управления гораздо меньше времени спада автокорреляционной функции основного возмущающего процесса изменения физико-механических свойств руды. Таким образом в работе предложена модель, способ и система экстремального управления барабанными мельницами самоизмельчения руд

Ключевые слова: математическая модель, процесс дробления руд, мельница самоизмельчения, точки экстремума, идентификационный алгоритм.

ABSTRACT

The problem of optimization of ore grinding process in drum mills taking into account the material and its influence on the mill drive system is considered. It is noted that in real conditions there are no ideal conservative control systems for drum mills. Analysis of the movement of the material shows the oscillations of the system, which will either attenuate or will occur with increasing amplitude. Reduction of oscillations is possible using the identification algorithm and is performed in the quasi-stationary conditions of the object, because the time of selection of the necessary information at each control step is much less than the time of decline of the autocorrelation function of the main perturbing process of physical and mechanical properties of ore. Thus, the model, method and system of extreme control of drum mills of self-grinding of ores are offered in the work.

Keywords: mathematical model, ore grinding process, self-grinding mill, extremum points, identification algorithm.