

УДК 65.011.56:681.5.015:681.542.35

Канд. техн. наук А. М. Мацуй, канд. техн. наук В. О. Кондратець

Національний технічний університет, м. Кіровоград

АВТОМАТИЧНА СТАБІЛІЗАЦІЯ СПІВВІДНОШЕННЯ РУДА/ВОДА В КУЛЬОВИХ МЛИНАХ, ЩО ПОДРІБНЮЮТЬ ПІСКИ КЛАСИФІКАТОРА

Викладено результати розробки та дослідження системи автоматичної стабілізації співвідношення руда/вода у кульових млинах, що подрібнюють піски класифікатора. Задача розв'язана вперше. Наведені нові критерії оцінки регульованої величини, засіб її вимірювання та принцип автоматичного керування процесом, підтверджені високі показники функціонування системи.

Ключові слова: система автоматичної стабілізації, співвідношення руда/вода, кульовий млин, піски класифікатора.

Вступ

Чорна металургія України є одним з основних стрижнів економіки, у сировині якої частка магнетитових концентратів складає більше половини, забезпечуючи нижчу собівартість металу порівняно з продуктом, отриманим з багатих руд. На вітчизняних залізрудних збагачувальних фабриках, що переробляють міцні руди, достатньо широке розповсюдження отримала технологічна схема з подрібненням пісків класифікатора у кульовому млині, показники якого в значній мірі визначаються співвідношенням руда/вода, оскільки воно впливає на ефективність роботи куль і транспортуючі можливості рідкого матеріалу. Непідтримання необхідного у конкретних технологічних умовах співвідношення руда/вода призводить до перевитрати електричної енергії, куль, футерівки і зниження продуктивності. Це наносить великі економічні збитки, підвищує собівартість продукції металургійної промисловості. Оскільки дана публікація спрямована на розв'язання цієї задачі, її тема є актуальною.

Дослідження спрямоване на реалізацію Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженої Законом України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності, за напрямком 5.3.1. «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва» та планів наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету за темою «Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора» (0107U005470).

Традиційно низка науковців розв'язував задачу автоматизації стабілізації розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням, однак знайдені рішення для згаданого циклу не підходять. Для кульових млинів, що подрібнюють піски класифікатора, запропоновано лише один пристрій [1], однак практична перевірка показала, що його канал може забиватися сторонніми включеннями, а засоби запобігання цьому відрізняються громіздкістю і значною вартістю. Щодо розв'язання даної задачі тривалий час не поступало ніяких пропозицій. Авторами даної статті запропоновано ефективний підхід автоматичного контролю розрідження пульпи у млинах, що подрібнюють піски класифікатора [2], однак засоби такого контролю, необхідні параметри та систему автоматичного управління у цих складних технологічних умовах ніхто не розробляв і не досліджував.

Метою даної роботи є розробка та дослідження засобів ідентифікації та системи автоматичної стабілізації співвідношення руда/вода у кульових млинах, що подрібнюють піски класифікатора.

Матеріали та методика досліджень

У процесі реалізації поставленої мети застосовувалося експериментально-теоретичне дослідження та матеріали, накопичені в теорії систем, теорії автоматичного управління та теорії ідентифікації. Крім того, застосовувалися теорія диференціального числення, хвилювання відкритих поверхонь, випадкових процесів, руху двофазних сумішей, методи теорії гідростатики, енергетичного балансу, газових законів, хвилюваних процесів, похибок та математичного моделювання на сучасних персональних комп'ютерах. Експериментальні дослідження проводилися на розроблених фізичних моделях і стендах, результати досліджень оброблялися з застосуванням регресійного, кореляційного та дисперсійного аналізу, теорії похибок та пакетів прикладних програм.

Теорія та аналіз отриманих результатів

У даному технологічному циклі використовують двоспиральний механічний класифікатор. Одна спіраль

подає пісковий продукт, сформований з розвантаження стержневого млина відділенням дрібних класів твердого, інша спіраль транспортує циркулююче навантаження кульового млина. Піски класифікатора по пісковому жолобу транспортуються у приймальний пристрій завиткового живильника, який разом з доданою водою подає їх у кульовий млин.

Отримана аналітична залежність маси матеріалу у кульовому млині від об'ємної витрати пісків і об'ємної витрати води у млин показала, що даний технологічний агрегат є об'єктом зі змінними параметрами (стала часу змінюється від 89,8 до 579,9 с), задане співвідношення руда/вода у ньому не можливо підтримувати подачею повної витрати води на вході. Отримана математична залежність рівня пульпи у приймальній пристрої завиткового живильника від масової витрати пісків і води у пісковому жолобі показала, що він є об'єктом з незмінними параметрами (стала часу дорівнює 65,2 с, передавальний коефіцієнт – 1) і в установленому режимі роботи рівень пульпи визначається її витратою у пісковому жолобі. Оскільки завитковий живильник і кульовий млин між собою з'єднані послідовно, їх результуюче рівняння має вигляд

$$(T_M \cdot p + 1)(T_{Ж} \cdot p + 1)\bar{M} = T_M \cdot \gamma_{П} \cdot \bar{Q}_{ВП}, \quad (1)$$

де T_M , $T_{Ж}$ – відповідно сталі часу кульового млина і завиткового живильника; p – оператор Лапласа; $\gamma_{П}$ – густина пульпи; \bar{M} , $\bar{Q}_{ВП}$ – відповідно зображення за Лапласом маси матеріалу в кульовому млині і об'ємна витрата пульпи у пісковому жолобі класифікатора.

Аналіз технологічного процесу і рівняння (1) показав, що в якості регульованого об'єкту доцільно використати приймальний пристрій завиткового живильника, а в якості керуючого діяння – витрату води у пісковий жолоб.

Пісковий жолоб є транспортуючим засобом, що зв'язує пісковий вихід класифікатора з приймальним пристроєм завиткового живильника. Теоретично встановлений зв'язок між об'ємною витратою і середньою швидкістю пульпи у пісковому жолобі показав, що при зміні масової витрати пісків створюється чисте запізнення 2,6... 5,6 с. Тобто, пісковий жолоб є запізнілою динамічною ланкою зі змінними параметрами.

Стан пульпи у приймальній пристрої завиткового живильника залежить як від піскового потоку, так і від дії двох захватних органів. Теоретично доведено, що довжина хвилі, період коливання та час її часткового руйнування залежать від рівня пульпи у приймальній пристрої. За допомогою фізичної моделі встановлено, що зміна рівня пульпи у приймальній пристрої завиткового живильника являє собою стаціонарний випадковий процес, який відрізняється інтенсивністю в різних точках по ширині технологічного агрегату. Інтенсивність випадкового процесу зростає зі зменшенням усталеного значення рівня пульпи. Усталене значення рівня пульпи у центральній ча-

стині приймального пристрою завиткового живильника є непрямую оцінкою витрати пісків і води двоспірального класифікатора, тому контроль найбільш доцільно здійснювати в середній точці по ширині приймального пристрою. Середнє значення рівня пульпи відповідає осередненому за хвилювим процесом. Повну інформацію про зміну рівня пульпи у приймальній пристрої несе реалізація тривалістю 1,56 с, що відповідає половині оберту завиткового живильника. Експериментально доведена наявність у будь-яких режимах роботи завиткового живильника ділянок з незмінним значенням рівня та відповідність його усталеного значення осередненому, що дало можливість встановити новий критерій оцінювання усталених значень рівня пульпи та поточних значень співвідношення руда/вода, які визначаються рівнем та тиском пульпи у приймальній пристрої завиткового живильника. Оскільки похибки вимірювання складових параметрів впливають на загальний результат ідентифікації, найкращі показники визначення співвідношення руда/вода можна отримати за умов вимірювання рівня і тиску пульпи одним перетворювачем. Таким умовам задовольняє відкритий знизу гідростатичний перетворювач [3]. Отримана аналітична залежність встановлює зв'язок між наднормальним тиском $P_{П}$ і рівнем вимірюваного середовища H_C , густиною пульпи $\gamma_{П}$, атмосферним тиском та висотою патрубку $H_{П}$

$$P_{П} = \frac{1}{2} \left\{ [P_{ан} - \gamma_{П} g (H_{П} - H_C)] + \sqrt{[\gamma_{П} g (H_{П} - H_C) - P_{ан}]^2 + 4P_a H_{П} \gamma_{П} g} \right\}, \quad (2)$$

де $P_{ан}$ – атмосферний тиск у момент вимірювання; P_a – атмосферний тиск у момент заповнення перетворювача; g – прискорення земного тяжіння.

У даному перетворювачі повний тиск на вході P_{ex} також може розглядатися як вхідна величина. Тоді аналітична залежність матиме вигляд

$$P_{П} = \frac{1}{2} \left[P_{ex} - \gamma_{П} g H_{П} + \sqrt{(P_{ex} - \gamma_{П} g H_{П})^2 + 4P_a H_{П} \gamma_{П} g} \right]. \quad (3)$$

У діапазоні можливих змін рівня і тиску середовища при незмінних інших параметрах залежності (2) і (3) строго лінійні. Отже, відкритий знизу гідростатичний перетворювач можливо використати для вимірювання як тиску, так і рівня пульпи.

Аналіз рівнянь (2) і (3) показує, що на показання відкритого знизу гідростатичного перетворювача впливають $P_{ан}$, P_a , $\gamma_{П}$, що у межах їх технологічних змін призводить до значної похибки, яка може сягати 39%. На певну величину її збільшує і зміна температури навколишнього середовища та об'єму повітря у перетворю-

вачі у наслідок його розчинення у пульпі та виділення з вимірюваного середовища. Повністю позбавитись від похибок, що виникають у наслідок зміни атмосферного тиску, температури навколишнього середовища та введення або видалення повітря з перетворювача скороченням часового інтервалу між його заповненням вимірюваним середовищем і визначенням рівня чи тиску пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Цього можливо досягти підніманням перетворювача на короткий проміжок часу на висоту, що перевищує довжину патрубку, та зануренням у пульпу у вихідне положення на проміжок часу до двох годин. Досягати незалежності визначення рівня пульпи від зміни її густини можливо встановленням додаткового перетворювача з ідентичними параметрами, зміщеного по висоті на $+\Delta H$, з наступним знаходженням параметра за формулою

$$H_C = \frac{P_{\text{ПН1}}}{P_{\text{ПН1}} - P_{\text{ПН2}}} \cdot \Delta H, \quad (4)$$

де $P_{\text{ПН1}}$, $P_{\text{ПН2}}$ – відповідно наднормальний тиск в основному і додатковому перетворювачі.

Наднормальний тиск у донній частині приймального пристрою завиткового живильника можливо визначити відповідно отриманій аналітичній залежності з високою точністю

$$P_H = \frac{P_{\text{ПН1}}(P_{\text{ПН1}} + P_{\text{ан}})}{P_{\text{ПН1}} + P_{\text{ан}} - \frac{H_{\text{П}}}{\Delta H}(P_{\text{ПН1}} - P_{\text{ПН2}})}. \quad (5)$$

Для цього необхідно вимірювати атмосферний тиск.

У процесі теоретичних досліджень отримано рівняння динаміки завиткового живильника по каналу розрідження пульпи

$$T_{3p} \frac{dK_{(P/B)\Pi}}{dt} + K_{(P/B)\Pi} = K_{(P/B)Ж}, \quad (6)$$

де T_{3p} – стала часу завиткового живильника по каналу розрідження пульпи, яка чисельно дорівнює $T_{Ж}$, хоч визначається іншою залежністю; $K_{(P/B)\Pi}$, $K_{(P/B)Ж}$ – відповідно співвідношення руда/вода у приймальному пристрої і пісковому жолобі.

Залежність (6) дає можливість оцінити показник при зміні керуючого діяння – витрати води у пісковий жолоб і здійснити принцип автоматичного керування за відхиленням.

Випадковий характер зміни параметрів пульпи у приймальному пристрої потребує осереднення дискретно визначених сигналів впродовж певного часу, що рівноцінно введенню додаткового запізнювання. Отже, чисте запізнювання в об'єкті очікується значним. Математична залежність середньої квадратичної похибки запізнілої інформації від кореляційної функції її випадкового процесу показує, що у наслідок запізнювання

інформації виникає достатньо велика додаткова помилка, що робить практично неможливим реалізацію принципу керування за відхиленням співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника.

Аналіз показав, що висока точність стабілізації співвідношення руда/вода у кульовому млині за умов великої похибки запізнілої інформації може бути забезпеченою новим принципом автоматичного керування, який полягає у східчастих попередніх подачах води у пісковий жолоб у функції витрати пісків, дискретній ідентифікації співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника з наступним осередненням інформації, виробленні задаючого діяння та подачі недостаючої витрати води безпосередньо у кульовий млин.

Великі відхилення розрідження пульпи у перехідних процесах за умов східчастого зростання або зменшення подачі води у пісковий жолоб у процесі автоматичного керування та наявність і величина мінімаксного критерію при дискретних вимірюваннях швидкості зміни розрідження дозволили обґрунтувати новий критерій зміни тривалості осереднення значень співвідношення руда/вода у процесі ідентифікації.

З урахуванням цього була розроблена система автоматичної стабілізації співвідношення руда/вода у кульових млинах, що подрібнюють піски класифікатора, функціональна схема якої зображена на рис. 1. У ній засіб ідентифікації співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника включає блок перетворювачів тиску пульпи та інформаційний блок. Базовим елементом блока перетворювачів тиску пульпи виступають два первинних перетворювача з внутрішніми діаметрами патрубків 98 мм і висотою 600 мм та перепадом висоти 50 мм, жорстко з'єднані між собою, які автоматично управляються, виконуючи функції піднімання (10 с у верхньому стані) і опускання (2 години у нижньому положенні). В інформаційний блок сигнали поступають через 0,04 с впродовж кожних 1,56 с. У відповідності з прийнятим критерієм відшукується ділянка з незмінними значеннями тиску основного перетворювача, за цими значеннями знаходяться співвідношення руда/вода, які осереднюються за встановлене число циклів. Рівень пульпи визначається за всіма інформаційними даними з наступним знаходженням середнього значення. Крім того, в інформаційному блоці за значеннями мінімаксного критерію $T_b = 6,24$ с послідовно дискретно знаходиться швидкість зміни співвідношення руда/вода, у відповідності з якою автоматично змінюється інтервал осереднення параметра. Висока точність ідентифікації забезпечується 16-розрядною мікропроцесорною системою та 12-розрядним АЦП. Крім того, система включає контур розімкнутого дискретного керування КРДК подачею води у пісковий жолоб за значенням рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника, блок формування змінного задаючого діяння БФЗЗД витрати води у кульовий млин та слідкуючу систему подачі води

ССПВ у кульовий млин. Слідуюча система містить ідеалізований цифровий релейний елемент, який спрацьовує при занадто низьких рівнях сигналу, спрацьовує і відпускає практично при однаковому значенні напруги на вході. Така система при будь-яких параметрах елементів стійка і повинна забезпечувати достатньо велику швидкість переміщення штока регульовального органа.

Перехідні процеси у даній системі показані на рис. 2. Як видно з рис. 2, фактична крива 1 і ламана 2, сформована засобом ідентифікації, практично не відрізняються між собою, що дозволяє точно сформулювати витрату води у кульовий млин і, як наслідок, отримати задане співвідношення руда / вода на вході технологічного агрегата (графік 3).

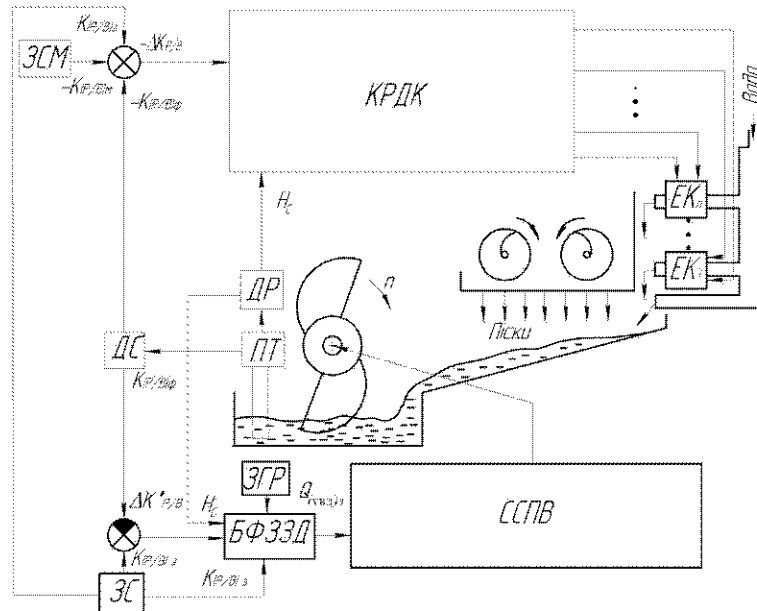


Рис. 1. Функціональна схема системи автоматизації процесів керування подрібненням пісків кульовим млином з урахуванням ідентифікації співвідношення руда/вода: ЗСМ – задавач співвідношення руда/вода, що забезпечується на вході кульового млина; КРДК – контур розімкнутого дискретного керування; ЕК₁... ЕК_n – електромагнітні клапани; ДР – датчик рівня пульпи; ДС – датчик співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника; ПТ – перетворювачі тиску; ЗГР – задавач густини руди; БФ33Д – блок формування змінного задаючого діяння витрати води у кульовий млин; ЗС – задавач співвідношення; ССПВ – слідуюча система подачі води; $K_{(P/B)З}$, $K_{(P/B)Ф}$, $K_{(P/B)М}$ – відповідно задане, фактичне співвідношення руда/вода та це ж завдання у кульовий млин; $\Delta Q_{(VB)ДЗ}$ – змінне керує діяння за додатковою об’ємною витратою води у кульовий млин

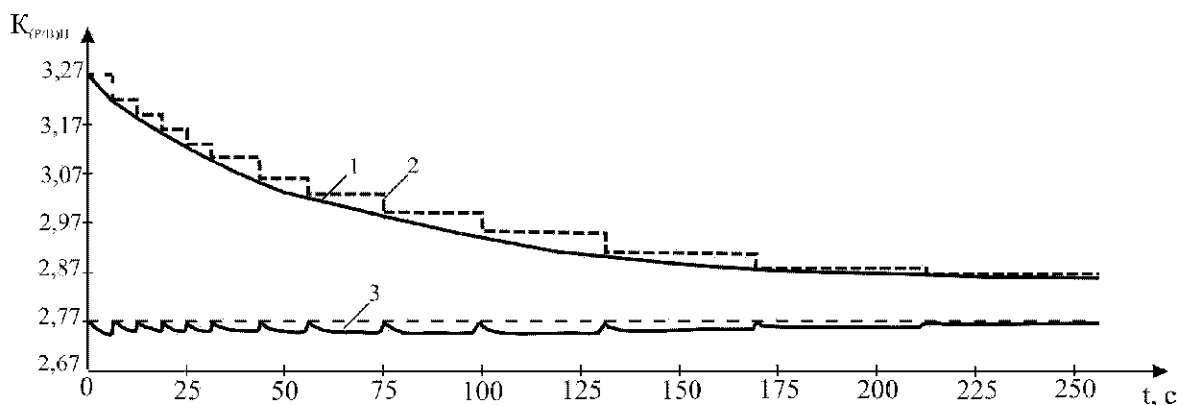


Рис. 2. Фактичний (1) і вимірний зі змінним інтервалом осереднення значень (2) перехідні процеси у приймальному пристрої та перехідний процес співвідношення руда/вода на вході у кульовий млин (3) системи автоматичної стабілізації співвідношення руда/вода у кульовому млині, що подрібнюють піски класификатора

Висновки

Отже, експериментально підтверджена висока точність ідентифікації як рівня, так і тиску пульпи у донній частині приймального пристрою завиткового живильника. Засіб ідентифікації співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника у статичних умовах забезпечує визначення параметра з похибкою, що не перевищує $\pm 2,54\%$. У динамічних умовах відносна похибка ідентифікації співвідношення руда/вода склала $\pm 2,71\%$. Похибка дозування додаткової води у кульовий млин склала $\pm 3,23\%$. Якість керування у перехідних процесах є високою. Тривала експлуатаційна перевірка системи підтвердила її високу надійність у різних умовах роботи. Система забезпечує високу економічну ефективність. Очікуваний економічний ефект для споживача складає 68400 грн. на рік на одну збагачувальну секцію, а термін окупності – наближено 1,5 роки.

Дані дослідження відкривають перспективу створення промислового варіанта системи автоматичної стабілізації співвідношення руда/вода у кульових млинах при подрібненні пісків двоспірального класификатора.

Список літератури

1. А. с. 388790 СССР, МКИ В 03 в 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф. Н. Дегтярев, А. А. Мерзляков, В. А. Кондратец, В. И. Новохатько, Н. И. Кучма, Т. И. Гуленко (СССР). – 1420849/29-33 ; заявл. 30.03.70 ; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Деклараційний пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класификаторів / Кондратець В. О., Мацуй А. М. ; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. – № 20041007979 ; заявл. 01.10.2004 ; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7.
3. Кондратець В. О. Теоретичне дослідження відкритого гідростатичного перетворювача тиску і рівня пульпи / В. О. Кондратець, А. М. Мацуй // Научно-техническая конференция молодых ученых и специалистов: материалы первой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов [«Титан-2008: производство и применение»], (Запорожье, 1–2 октября 2008 г.) / Казенное предприятие «Запорожский титано-магний-ый комбинат» ; ЗНТУ, ЗГИА. – Запорожье, 2008. – С. 99–101.

Одержано 30.10.2012

Мацуй А.Н., Кондратец В.А. Автоматическая стабилизация соотношения руда/вода в шаровых мельницах, измельчающих пески классификатора

Изложены результаты разработки и исследования системы автоматической стабилизации соотношения руда/вода в шаровых мельницах, измельчающих пески классификатора. Задача решена впервые. Приведены новые критерии оценки регулируемой величины, средство её измерения и принцип автоматического управления процессом, подтверждены высокие показатели функционирования системы.

Ключевые слова: система автоматической стабилизации, соотношение руда/вода, шаровая мельница, пески классификатора.

Matcuyi A., Kondratets V. Automatic stabilization of relations ore/water in ball mills, grinding sand classifier

The results of the research and development of ratio ore/water automatic stabilization system, in a ball mill, grinding sand classifier are given. The problem is solved for the first time. We present new evaluation criteria for actual value, a means of measuring it and the principle of automatic process control, the high levels of the system are confirmed.

Key words: automatic stabilization system, the ratio of ore/water, ball mill, sand classifier.