

УДК 681.542.35

А. М. Мацуй, доц., канд. техн. наук, В. О. Кондратець, проф., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження нелінійної системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора

Обґрунтована функціональна схема системи автоматичного управління подачею доданої води у кульовий млин, що подрібнює піски двоспірального класифікатора, та її складові елементи. Показано, що вона повинна містити обчислювальний блок, який формує змінне задаюче діяння на витрату доданої води, та ідеалізований елемент, що спрацьовує при занадто низьких рівнях вхідного сигналу і має характеристику без гістерезису.

кульовий млин, ідеалізований релейний елемент, автоматичне управління

А. Н. Мацуй, В. А. Кондратець
Кировоградский национальный технический университет

Исследование нелинейной системы автоматического управления подачей воды в шаровую мельницу, которая измельчает пески классификатора

Обоснована функціональна схема системи автоматичного управління подачею добавляемой води в шаровую мельницу, которая измельчает пески двухспирального классификатора, и ее составные элементы. Показано, что она должна содержать вычислительный блок, который формирует переменное задающее воздействие на расход добавляемой воды, и идеализированный релейный элемент, срабатывающий при достаточно низких уровнях входного сигнала и имеющий характеристику без гистерезиса.

шаровая мельница, идеализированный релейный элемент, автоматическое управление

В Україні серед сировини металургійної галузі все більше зростає частка, отримана збагаченням бідних залізних руд. Серед них значний обсяг складає видобуток з підвищеною міцністю мінералів, який переробляють на рудозбагачувальних фабриках з застосуванням технологічних схем подрібнення – стержневий млин у розімкнутому циклі, кульовий млин – у замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором. При цьому кульовий млин несе основне навантаження, подрібнюючи піски двоспірального класифікатора. Відомо, що на результати роботи кульових млинів сильно впливає співвідношення тверде/рідке, яке необхідно підтримувати на певному рівні у тих чи інших технологічних умовах. Відсутність засобів автоматичного управління розрідженням пульпи у таких кульових млинах приводить до значних перевитрат електричної енергії, молольних тіл та футерівки, що є фактором відчутних економічних збитків. Такий стан роботи подрібнювального обладнання не узгоджується з вимогами законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та, зокрема, у гірничій галузі. Оскільки дана публікація спрямована на розв'язання поставлених задач, її тема є актуальною. Матеріали даної публікації отримані у процесі виконання науково-дослідної роботи “Система комп’ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470).

Системи автоматичного регулювання розрідження пульпи, розроблені для інших технологічних схем, для даного циклу подрібнення не підходять. Для кульових млинів, що подрібнюють піски класифікатора, запропоновано лише один пристрій [1], однак можливість забивання каналу при експлуатації практично не дозволяє його використовувати. Запропонований авторами даної публікації підхід реалізації інформаційного засобу [2] та пристроїв його реалізації [3, 4] дозволяють ідентифікувати співвідношення тверде/рідке з необхідною точністю, однак питання автоматичного управління подачею води безпосередньо у кульовий млин залишились не розв'язаними.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування особливостей подачі води у технологічний процес для стабілізації співвідношення тверде/рідке та системи автоматичного управління подачею води безпосередньо у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора.

Дослідження кульового млина, що подрібнює піски класифікатора, як керованого об'єкта по каналу розрідження пульпи розглянуто у роботі [5], де показано, що технологічний агрегат, виведений з рівноваги східчастим вхідним діянням, приходять у новий усталений стан за різні проміжки часу. Перехідний процес триває найдовше у випадках найменших піскових навантажень. Відносно швидко він закінчується при найбільших граничних піскових навантаженнях. При середніх піскових навантаженнях найменша тривалість перехідного процесу складає близько 830 с, найбільша – 1330 с. Враховуючи, що наприклад, при середньому значенні піскового навантаження 450 т/год матеріал через кульовий млин проходить впродовж 154,8 с, перехідний процес триває значно довше. Це означає, що при відхиленнях на вході кульового млина, на його виході ще тривалий час буде невідповідність розрідження пульпи приписаному значенню. Такий стан керованого об'єкта практично не дозволяє підтримувати задане співвідношення тверде/рідке на вході кульового млина шляхом подачі всієї витрати необхідної води безпосередньо у технологічний агрегат. Тому задане співвідношення тверде/рідке необхідно забезпечувати на вході у кульовий млин. Тут же слід отримувати і інформацію про значення керованого параметра. Зважаючи на це, в якості регульованого об'єкта при керуванні співвідношенням тверде/рідке у кульовому млині, що подрібнює піски класифікатора, повинен виступати приймальний пристрій завиткового живильника разом з пісковим жолобом двоспирального механічного класифікатора. У роботі [6] показано, що здійснити принцип керування за відхиленням співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої від заданого значення у даному об'єкті не можливо.

Аналіз показав, що дану задачу можливо розв'язати змішаним керуванням – подачею води у пісковий жолоб та невеликої кількості безпосередньо у кульовий млин, використовуючи властивості керованого об'єкта. По-перше, витрата пісків у двоспиральному класифікаторі змінюється занадто повільно, а тиск у магістралі подачі води практично зовсім не змінюється. По-друге, рівень пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника однозначно визначається витратою пісків у пісковому жолобі при певній незмінній подачі води у нього. У таких умовах середнє значення рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника однозначно визначає продуктивність по пісках [7]. Співвідношення тверде/рідке буде певним лише при мінімальному значенні витрати пісків. Збільшення витрати пісків приведе до зростання співвідношення тверде/рідке. Можливо задатись певним прирощенням співвідношення тверде/рідке ΔK_{TP} , далі якого процес продовжуватись не буде. Припинити прирощення K_{TP} можливо ввімкненням ще одного джерела подачі води у пісковий жолоб класифікатора. Так можливо продовжувати до найбільшого значення витрати пісків, фіксуючи прирощення K_{TP} і рівня пульпи ΔH . Якщо витрата пісків буде зменшуватись, то, навпаки, додаткові джерела слід відмикати. Подача води у пісковий

жолоб на його вході дозволяє уникнути негативного впливу транспортного і ємкісного запізнювання. Однак тут повна інваріантність не досягається у межах компенсації значення $\Delta K_{T/P}$. Частку води для компенсації $\Delta K_{T/P}$ можливо подавати безпосередньо у приймальний пристрій завиткового живильника, що викличе негативний вплив ємкісного запізнювання приймального пристрою завиткового живильника. Позбавитись цього впливу можливо подачею компенсуючої витрати води безпосередньо у кульовий млин, оскільки вона незначна. При цьому буде виключене ємкісне запізнювання і буде гарантованим ефективне перемішування цієї доданої води і пульпи з завиткового живильника у завантажувальному пристрої кульового млина. Промодельюємо процес додавання води у кульовий млин, прийнявши $\Delta K_{T/P} = const$.

Практичним досвідом експлуатації даного циклу подрібнення руди встановлено, що, в залежності від технологічних умов, густину пульпи у кульовому млині можуть підтримувати в межах 1800...1900 г/л, 2000...2100 г/л, 1900...2100 г/л. Піскове навантаження в основному не виходить за межі 250...450 т/год, а густина руди знаходиться у межах 3,2...3,4 г/см³. Розглянемо роботу кульового млина при середніх показниках – густині руди 3,3 г/см³, густині пульпи 2050 г/л і пісковому навантаженні 238...450 т/год або 72...136 м³/год.

Для відомої об'ємної витрати руди Q_{vp} можливо знайти об'ємну витрату води Q_{vs} , яка буде дорівнювати

$$Q_{vs} = Q_{vp} \frac{(\delta_p - \gamma_{II})}{(\gamma_{II} - \delta_e)}, \quad (1)$$

де δ_p , γ_{II} , δ_e – відповідно густини руди, пульпи і води.

З використанням (1) встановлюємо, що для певної витрати руди і прийнятої густини пульпи співвідношення тверде/рідке складає 2,77. Це буде заданим співвідношенням $K_{(T/P)з} = 2,77$, яке необхідно підтримувати у кульовому млині.

Об'ємну витрату води можливо також визначити через співвідношення тверде/рідке у пульпі

$$Q_{vs} = \frac{\delta_p}{\delta_e} \cdot \frac{Q_{vp}}{K_{P/B}}, \quad (2)$$

звідки

$$Q_{vp} = \frac{\delta_e}{\delta_p} \cdot K_{P/B} \cdot Q_{vs}. \quad (3)$$

У процесі автоматичного керування співвідношенням тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника не повинно бути нижчим певного мінімального значення $K_{(T/P)min}$, яке більше $K_{(T/P)з}$. Однак, воно не повинно бути більшим певного найбільшого значення $K_{(T/P)max}$, при якому пульпа ще легко транспортується через завитковий живильник. Прийmemo $K_{(T/P)min} = 2,9$, а $K_{(T/P)max} = 3,3$. Тоді $\Delta K_{T/P} = const = 0,4$.

Прийmemo найменшу продуктивність по піскам 238 т/год. Тоді для забезпечення $K_{(T/P)} = 2,9$ необхідно подавати у пісковий жолоб класифікатора витрату води $Q_{vs} = 82,1$ м³/год. Це буде вихідний стан роботи технологічного агрегату. При зростанні витрати пісків буде збільшуватися співвідношення тверде/рідке в приймальному пристрої завиткового живильника, оскільки зазначена витрата води не змінюється. Таке

зростання можливо допустити до $K_{(T/P)max}=3,3$ і після цього включити магістраль подачі додаткової води. Відповідно залежності (3) встановлюємо, що при прийнятих значеннях δ_p і $K_{(T/P)max}$ об'ємні витрати руди і води співпадають, тобто $Q_{vr} = Q_{vp}$. Це означає, що без подачі додаткової води об'ємну витрату пісків можливо збільшувати з $72,2 \text{ м}^3/\text{год}$ до $82,1 \text{ м}^3/\text{год}$. Після досягнення $Q_{vp} = 82,1 \text{ м}^3/\text{год}$ необхідно подати додаткову воду з першого додаткового каналу, що забезпечує розрідження пульпи до $K_{(T/P)min}=2,9$. Витрата води відповідно залежності (2) складе $93,44 \text{ м}^3/\text{год}$, з яких додаткова витрата води з першого додаткового каналу буде дорівнювати $11,327 \text{ м}^3/\text{год}$. По цій же залежності повна витрата води до досягнення $K_{(T/P)z} = 2,77$ буде $97,81 \text{ м}^3/\text{год}$, а безпосередньо у кульовий млин буде направлено $3,85 \text{ м}^3/\text{год}$. В момент найбільшого значення $K_{(T/P)max}$ витрата води у кульовий млин буде $13,8 \text{ м}^3/\text{год}$. Моделюючи даний процес до найбільшого значення витрати пісків – $450 \text{ т}/\text{год}$, отримаємо відповідні технологічні параметри, які зведені у табл.1. З даних табл.1 видно, що при $\Delta K_{T/P}=0,4$ необхідно організувати вихідний канал подачі води у пісковий жолоб класифікатора з незмінною продуктивністю $82,1 \text{ м}^3/\text{год}$ і п'ять додаткових каналів відповідно з витратами $11,3; 12,9; 14,7; 16,7$ і $19,0 \text{ м}^3/\text{год}$. Витрата води у кульовий млин при різних витратах пісків може приймати значення $3,85 \dots 13,8; 4,37 \dots 15,7; 5,0 \dots 17,9; 5,7 \dots 20,4; 6,4 \dots 23,2$ та $7,4 \dots 26,4 \text{ м}^3/\text{год}$. Це незначна кількість води порівняно з загальною витратою у пісковий жолоб класифікатора. Вона складає лише $4,7 \dots 16,8 \%$ від води у пісковому жолобі або $4,0 \dots 14,4 \%$ загальної витрати води. Невелика кількість доданої води у горловину кульового млина і ефективно її перемішування з осередненою пульпою приймального пристрою завиткового живильника не виключають збурень на вході технологічного агрегату, що гарантує високу якість автоматичного керування. Однак при такому керуванні можливо отримати високу якість за умов допустимої похибки вимірювання параметрів. Засіб ідентифікації повинен забезпечувати отримання співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника та середнього значення рівня пульпи у ньому з похибками, що не перевищують допустимі для даних процесів значення. Як встановлено [2, 3, 4], похибки запропонованих засобів задовольняють даним вимогам. Ще однією умовою забезпечення високої якості стабілізації необхідного співвідношення тверде/рідке у кульовому млині є надання певних характеристик системі автоматичного управління подачею води у технологічний агрегат, що подрібнює піски двоспірального класифікатора.

Таблиця 1 - Параметри моделювання процесу подачі додаткової води в пісковий жолоб класифікатора при зміні витрати пісків

Витрата води через окремі додаткові канали, $\text{м}^3/\text{год}$	Сумарна витрата води у пісковий жолоб, $\text{м}^3/\text{год}$	Витрата води у кульовий млин, $\text{м}^3/\text{год}$	
		Min	Max
82,1	82,1	3,85	13,8
11,3	93,4	4,37	15,7
12,9	106,3	5,0	17,9
14,7	121,0	5,7	20,4
16,7	137,7	6,4	23,2
19,0	156,7	7,4	26,4

Відповідно з розглянутим, задаюче діяння системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин буде змінною у часі величиною. Його значення буде дорівнювати

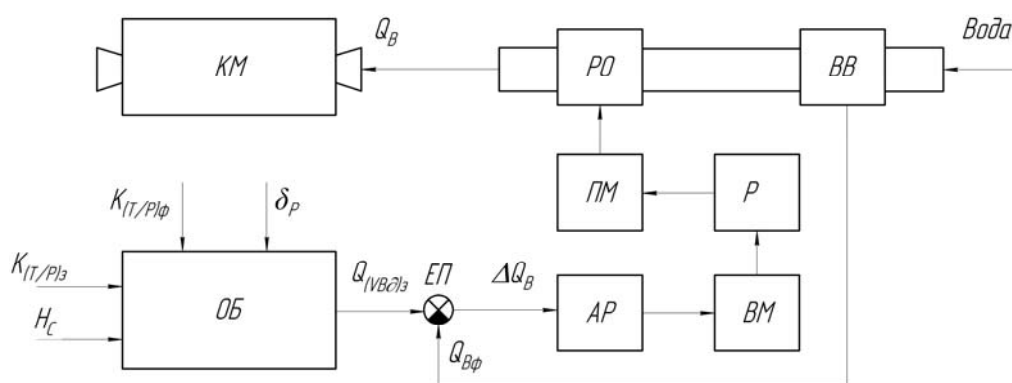
$$Q_{(в\delta)з} = \frac{\frac{\delta_P}{\delta_B} k H_C}{\left(K_{(T/P)з} - \frac{\delta_P}{\delta_B} \right)} \cdot \frac{\left(K_{(T/P)з} - K_{(T/P)\phi} \right)}{\left(2K_{(T/P)з} - K_{(T/P)\phi} - \frac{\delta_P}{\delta_B} \right)}, \quad (4)$$

де $K_{(T/P)\phi}$ – фактичне значення співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника, яке є змінною величиною;

H_C – осереднене значення рівня середовища у приймальному пристрої завиткового живильника;

k – константа, що характеризує завитковий живильник, м²/год.

Алгоритм (4) визначення доданої води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора, дозволяє розробити функціональну схему системи автоматичного управління цим процесом (рис.1).



КМ – кульовий млин; РО – регульовальний орган; ВВ – витратомір води; ПМ – перетворювальний механізм; Р – редуктор; ОБ – обчислювальний блок; ЕП – елемент порівняння; АР – автоматичний регулятор; ВМ – виконавчий механізм; ΔQ_B – керуюче діяння по витраті води; $Q_{B\phi}$ – фактична витрата води; Q_B – витрата доданої води у кульовий млин

Рисунок 1 – Функціональна схема системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски двоспірального класифікатора

Для подачі води у кульовий млин (рис.1) застосована магістраль, що включає відрізок трубопроводу, регульовальний клапан з таким же стандартним умовним діаметром та магніто-індуктивним витратоміром 8045. Компонівка вузлів кульового млина дозволяє здійснити подачі різниці води у завантажувальну горловину за схемою: вихідний патрубок – регульовальний орган – проміжний патрубок – витратомір води – магістраль. Тоді довжина проміжного патрубку буде самою короткою – сім діаметрів трубопроводу. Розрахунки показують, що для забезпечення нормального функціонування системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин умовний діаметр регульовального органу повинен дорівнювати 50 мм. Такий же умовний діаметр повинні мати вихідний і проміжний патрубки та витратомір води і магістраль.

Аналіз показав, що найбільш ефективною для даних умов управління подачею води у кульовий млин буде релейна система з ідеалізованим релейним елементом. Такий релейний елемент можливо реалізувати на контролері. Він спрацьовує і відпускає практично при однаковому сигналі на вході. Іншою його перевагою є те, що релейний елемент може спрацьовувати при занадто низьких рівнях сигналу $\pm \Delta Q_B$ на вході, що також створює передумови підвищення якості процесу керування. Такий підхід автоматичного управління буде ефективним ще й тому, що керуюче діяння практично буде мати схильність зміни до певних меж в одному напрямі, що видно з

даних табл.1, де витрата води у кульовий млин у кожному процесі змінюється від *min* до *max* або навпаки.

Ідеальний релейний елемент не спотворить своїх характеристик якщо до його складу ввести безконтактний реверсивний пускач, узгоджувальні ланцюги контролера. В цілому релейний елемент передбачає цифрову операцію формування порогового рівня по сигналу неузгодженості витрати води $\pm \Delta Q_{ВП}$ з наступним цифровим формуванням вихідного сигналу контролера. Ці операції, спрацювання узгоджувальних ланцюгів і безконтактного реверсивного пускача відбуваються практично миттєво. Досягнення рівня $\pm \Delta Q_{ВП}$ приводить до спрацювання релейного елемента і формування на виході сигналу змінного струму, наприклад при використанні безконтактного реверсивного пускача ПБР-2, $U_{П} = 220$ В прямої або оберненої фази. Ідеалізований релейний елемент є єдиною нелінійною ланкою системи, оскільки всі інші можуть бути лінійними.

Якість регулювання в значній мірі визначається зоною нечутливості ідеалізованого релейного елемента $\pm \Delta Q_{ВП}$, оскільки процеси змінюються в основному повільно, а ввімкнення виконавчого механізму буде здійснюватися при досягненні $+\Delta Q_{ВП}$ або $-\Delta Q_{ВП}$. Відключення буде здійснюватися при досягненні дещо меншого значення. Якість регулювання буде тим вищою, чим вужча зона нечутливості, однак поріг спрацювання нульовим бути не може. Аналіз показує, що поріг спрацювання можна прийняти на рівні 1% від найбільшого значення першого діапазону подачі води $3,85 \dots 13,8$ м³/год, тобто $\Delta Q_{ВП} = \pm 0,138$ м³/год. За таких умов найбільша помилка буде при дозуванні витрати $3,85$ м³/год, що складе у відхиленнях співвідношення руда/вода $\pm 0,16$ %. В інших діапазонах подачі води в кульовий млин похибка буде меншою.

До інших елементів системи автоматичного керування витратою води в кульовий млин вимоги менш жорсткі. Тому приймемо ці засоби з стандартного їх ряду – двосідловий клапан з ходом штока 25 мм, виконавчий механізм типу ПР1-М з реверсивним асинхронним електричним двигуном змінного струму та редуктором, перетворювальний механізм обертових рухів у поступальні. Кут повороту вихідного вала складає 180°, а час півоберту – 10; 30; 60; 90; 120 с. Виходячи з того, що при ввімкненні подачі додаткової води та її вимкненні перехідний процес в об'єкті вимагає швидкого реагування контуру подачі води в кульовий млин, виконавчий механізм повинен переміщувати шток клапана з якомога більшою швидкістю. Це вимагає встановлення мінімального часу півоберту, тобто 10 с, що відповідає передавальному відношенню редуктора 0,02.

Лінійна частина системи включає ряд послідовно з'єднаних елементів – електродвигун виконавчого механізму, редуктор, перетворювальний механізм, регулювальний орган з патрубком, витратоміром і вимірювальний пристрій. Всі елементи, крім електродвигуна, є підсилювальними динамічними ланками. Передаточне відношення конструктивно можливо змінювати лише в редукторі, однак в даній ситуації воно повинно бути конкретним – 0,02. Тому передавальну функцію лінійної частини системи можна подати у вигляді залежності

$$W_L(p) = \frac{k_L}{p(T_M p + 1)}, \quad (5)$$

де k_L – передавальний коефіцієнт лінійної частини;

T_M – електромеханічна стала часу двигуна.

Для даного виконавчого механізму з обмоткою типу білячого колеса і частотою струму в ланцюзі обмотки збудження 50 Гц стала часу T_M складає $0,1 \dots 0,2$ с.

Дана нелінійна система автоматичного регулювання досліджувалася методом

гармонічного балансу. Умови, яким повинна задовольняти нелінійна система у випадку застосування методу гармонічного балансу, виконуються. На рис.2 наведені частотні характеристики лінійної частини системи і нелінійного елемента. Вони отримані при сталих часу $T_M = 0,1$ с і $T_M = 0,2$ с, а також при значенні передавального коефіцієнта $k_{Л} = 27,5$, що відповідає параметрам елементів системи. Амплітудно-фазові частотні характеристики лінійної частини системи будувалися за виразом

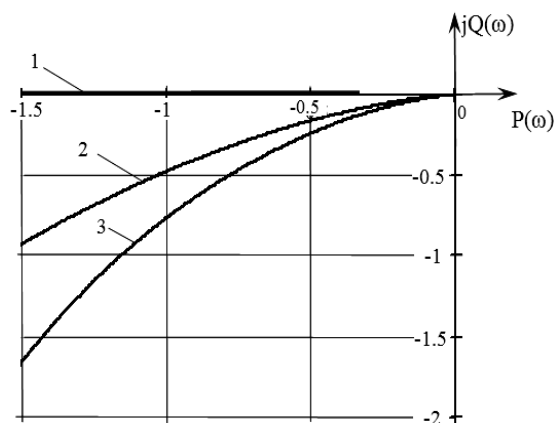
$$W_{Л}(j\omega) = \frac{27,5}{j\omega(T_M j\omega + 1)}, \quad (6)$$

де T_M приймала значення 0,1 с і 0,2 с.

Зворотна амплітудна характеристика нелінійного елемента була побудована відповідно рівнянню

$$-\frac{1}{y(A)} = -\frac{\pi \cdot A^2}{4U_y \sqrt{A^2 - \Delta Q_{ВП}^2}}, \quad (7)$$

де A – амплітуда автоколивань, виражена в одиницях витрати води, яка змінювалася від 0,3 до ∞ , м³/год;



1 – зворотна амплітудна характеристика;
2, 3 – амплітудно – фазові частотні характеристики лінійної частини відповідно при $T_M = 0,2$ с і $T_M = 0,1$ с

Рисунок 2 – Частотні характеристики лінійної частини і нелінійного елемента

$$\Delta Q_{ВП} = 0,138 \text{ м}^3/\text{год}, U_y = 220 \text{ В.}$$

З рис.2 видно, що частотні характеристики $-1/y(A)$ і $W_{Л}(j\omega)$ не перетинаються при можливих і бажаних параметрах елементів, підтверджуючи відсутність автоколивань і стійкість системи. Отже, система при невеликих рівнях порогу спрацювання стійка і володіє високою швидкістю переміщення штока регульовального органа, що гарантує високу якість керування.

Таким чином, проведені дослідження показали, що найкращі результати автоматичного управління розрідженням пульпи у кульовому млині, що подрібнює піски двоспірального класифікатора, можливо отримувати регулюванням порівняно невеликої витрати води безпосередньо у технологічний агрегат

системою релейного типу з ідеалізованим релейним елементом та обчислювальним блоком, що за рівнем пульпи та фактичним співвідношенням тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника, заданим співвідношенням тверде/рідке та густиною руди формує змінне задаюче діяння на витрату доданої рідини. Ідеалізований релейний елемент і обчислювальний блок реалізований на контролері. Ідеалізований релейний елемент спрацьовує при занадто низьких рівнях вхідного сигналу і має характеристику без гістерезису, що підвищує якість автоматичного управління.

Дані дослідження відкривають перспективу створення високоякісних систем автоматичного управління розрідженням пульпи у кульових млинах, що подрібнюють піски двоспірального класифікатора.

Список літератури

1. А.с. 388790 (СССР), МКИ В 03 б 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 7В 03В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / 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. Пат. 87374 Україна, МПК G 01 F 23/00. Спосіб вимірювання рівня рідких середовищ з хвилювими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №u200712196; заявл. 05.11.07; опубл. 10.07.09, Бюл.№13.
4. Пат. 62133 Україна, МПК G 01 L 7/00. Спосіб вимірювання тиску рідких середовищ з хвилювими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №u201101692; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл.№15.
5. Кондратець В.О. Дослідження кульового млина, що подрібнює піски класифікатора, по каналу розрідження пульпи / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2008.- №20.- С. 86-93.
6. Кондратець В.О. Особливості інформаційного забезпечення завиткового живильника як керованого об'єкта / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць.- 2011.- Вип.28.- С. 200-204.
7. В.О. Кондратець Дослідження умов ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Академический вестник.- 2007.- №19.- С. 44-49.

A. Matsui, V. Kondratets

Kirovograd National Technical University

Study of nonlinear systems of automatic control the supply of water in a ball mill that grinds the sand classifier

The aim is to study the automatic control system of water supply in a ball mill that grinds the sand classifier.

It is shown that the stabilization of dilution of the pulp in a ball mill, which grinds sands double-qualifier is necessary to organize an incomplete invariant ratio control solid / liquid in the receiver cochlear feeder and final input to the ball mill feed into the neck of a small amount of water. Proposed a non-linear system of automatic control supply of water added to the ball mill containing idealized relay element and a computer unit, which in terms of the pulp and the actual ratio of solid / liquid in the receiver cochlear feeder, set ratio solid / liquid and the density of the ore forming variable sets the effect on water consumption . Idealized relay element and computing unit implemented in the controller. Idealized relay element operates at extremely low levels of the input signal and has the feature without hysteresis.

The proposed automatic control system is stable and has high quality.

ball mill, idealized relay element, automatic control

Одержано 25.03.13