

ІДЕНТИФІКАЦІЯ РОЗРІДЖЕННЯ ПУЛЬПИ У МЛІНІ, ЩО ПОДРІБНЮЄ ПІСКИ КЛАСИФІКАТОРА З ДОДАТКОВОЮ РУДОЮ

Метою роботи є розробка алгоритму і умов досягнення заданої точності ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора з додатковою рудою. Розглядається алгоритм з певним виконанням умов інваріантності для ідентифікації розрідження пульпи в млині, що подрібнює піски механічного двоспирального класифікатора з додатковою рудою. Він зменшує вплив похибок вхідних величин на вихідну і забезпечує отримання відносної похибки ідентифікації розрідження пульпи на рівні 2,85%. Результат ідентифікації покращується до 1,43%, якщо похибки вимірювання параметрів знаходяться в межах одного відсотка. Алгоритм і система управління на його основі реалізуються на промислових контролерах. Автоматичне керування процесом подрібнення мінімізує витрату електричної енергії, матеріалів і підвищує продуктивність збагачувальної секції.

Ключові слова: ідентифікація, розрідження пульпи, алгоритм, запізнення, вимірювальні засоби, похибка, оптимізація

V.A. Kondratic
Kirovograd National Technical University

IDENTIFICATION DILUTION OF THE PULP MILL IN THAT CRUSHED SAND CLASSIFIER WITH ADDITIONAL ORE

Annotation

The purpose is to develop algorithms and conditions to achieve the desired accuracy of identification ratio solid / liquid and milled sand classifier with additional ore. Considered an algorithm with a certain fulfillment of invariance to identify the dilution of the pulp in the mill that grinds sands mechanical double spiral classifier with additional ore. It reduces the effect of errors in input variables on the output and gives a relative error of identification dilution of the pulp at the level of 2.85%. The result of identification is improved to 1.43% if the measurement error parameters are within one percent. The algorithm and control system based on it being implemented in industrial controllers. Automatic grinding process control minimizes power consumption, materials and increases productivity dressing section.

Keywords: identification, dilution pulp, algorithm, delay, measuring, error, optimization

Вступ. Бідні залізні руди, які необхідно збагачувати, слугують основною сировиною для чорної металургії. Найбільш енергоємними і ресурсоємними в збагаченні є операції дроблення та подрібнення, де витрата електричної енергії складає до 70% від усього споживання. На процеси подрібнення необхідні великі капітальні витрати і витрати металу у вигляді металевих куль і футерівки. Зважаючи на це економічно розвинуті країни світу розв'язання задач підвищення ефективності подрібнення руд включають до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки. В теперішній час до основних напрямів підвищення ефективності подрібнення руд відносять оптимізацію конструкцій технологічного обладнання, технологічних схем, режимів подрібнення і засобів автоматичного управління [1]. Основною частиною систем автоматичного управління є розробка засобів автоматичного контролю режимів подрібнення [1]. Співвідношення тверде/рідке (розрідження пульпи) в млині виступає одним з найбільш важливих параметрів інформаційних систем даного технологічного процесу [2]. Особливо важливо це в циклах, де кульовий млин подрібнює піски двоспирального класифікатора, які використовують при подрібненні міцних руд.

Запропоновані або існуючі системи автоматичного управління процесом подрібнення пісків двоспиральних класифікаторів базуються на застарілих підходах і тому не забезпечують необхідної точності ідентифікації технологічних параметрів. Низька точність ідентифікації технологічних параметрів робить системи автоматичного управління малоефективними, що негативно відбивається на якості подрібненого продукту і характеристиках енергоефективності самого процесу подрібнення. Спроби виробничників підвищити ефективність роботи таких млинів шляхом подачі додаткової руди до пісків не приводить до позитивних результатів в наслідок складності ідентифікації розрідження пульпи.

Розв'язання задачі стабілізації розрідження пульпи в млинах даного типу на рівні, що відповідає конкретним технологічним умовам, дозволяє оптимізувати режим роботи технологічного агрегату і отримати найкращі показники подрібненого продукту. Це гарантує найменший час перебування матеріалу в

млині, саму високу ефективність роботи молоткових тіл і, як наслідок, отримання необхідних характеристик подрібненого матеріалу, високої продуктивності, мінімальної витрати електроенергії, молоткових тіл і футерівки, продовжених міжремонтних періодів обслуговування обладнання. Досягнути зазначених показників можливо за умови ідентифікації співвідношення тверде/рідке в млині з необхідною точністю.

Формулювання цілей статті. Метою даного дослідження є розробка алгоритму і умов досягнення заданої точності ідентифікації співвідношення тверде/рідке в млинах, що подрібнюють піски двоспірального механічного класифікатора з додатковою рудою, включаючи шляхи оптимізації інформаційних засобів по точності і враховуючи відхилення значень технологічних параметрів.

Викладення основного матеріалу досліджень. Технологічні схеми, в яких стержневий млин першої стадії працює в розімкнутому циклі, а кульовий млин другої стадії – в замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором, як це показано на рис.1, широко використовують при подрібненні твердих руд. Ці технологічні схеми порівняно мало вивчені. На важливість їх автоматизації звернута увага в роботі [3]. Типова технологічна схема циклу подрібнення не вміщує операції додавання руди і води. Зміна властивостей вихідної руди часто приводить до того, що кульовий млин, який несе основне навантаження по подрібненню матеріалу, виявляється недовантаженим. В наслідок великого запізнення впливати на його стан з входу неможливо, тому наносяться суттєві втрати в рудопідготовці. Зважаючи на це на ряді збагачувальних фабрик здійснюють спроби організувати подачу додаткової вихідної руди в кульовий млин для його номінального завантаження, як це здійснюється в точці В на рис.1, що ще більше ускладнює задачу забезпечення необхідного співвідношення тверде рідке в технологічному агрегаті. Достатньо ефективним засобом підвищення точності ідентифікації співвідношення тверде/рідке є алгоритмічний підхід, суть якого викладається в роботі [4]. Він знаходить все більш широке застосування, оскільки принципи і техніка вимірювань при його реалізації порівняно прості, що слідує з роботи [5].

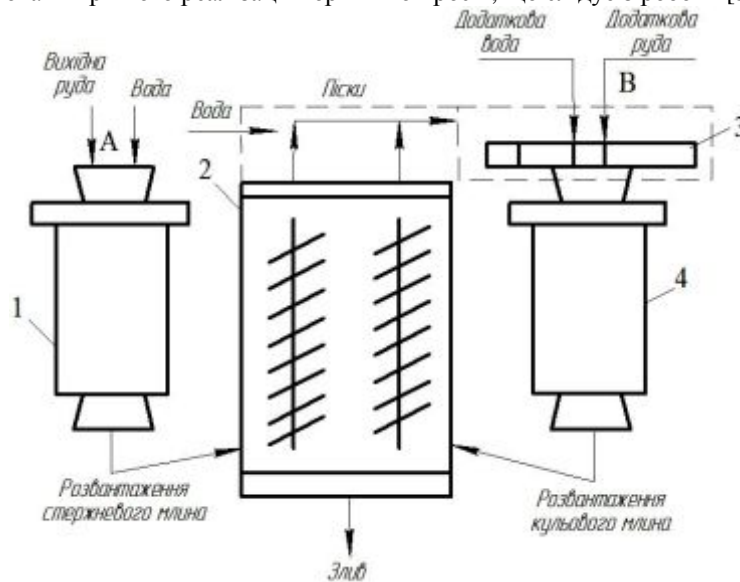


Рис.1. Схема циклу подрібнення руди з механічним двоспіральним класифікатором:

1 – стержневий млин; 2 – механічний двоспіральний класифікатор; 3 – завитковий живильник; 4 – кульовий млин; А – точка завантаження вихідної руди; В – точка завантаження додаткової руди

Кульовий млин завантажується пісками завитковим живильником. Його об'ємна продуктивність дорівнює

$$Q_{VZ} = k_Z H_P, \quad (1)$$

де k_Z – незмінний коефіцієнт, що характеризує завитковий живильник;

H_P – рівень пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника.

В усталеному режимі роботи технологічного циклу об'ємна продуктивність завиткового живильника дорівнює об'ємній продуктивності піскового жолоба класифікатора. Тому запишемо

$$Q_{VZ} = Q_{VP} + Q_{VBP} + Q_{VBG}, \quad (2)$$

де Q_{VP} , Q_{VBP} , Q_{VBG} – відповідно об'ємні витрати пісків, води в пісках, води в пісковий жолоб класифікатора.

З врахуванням залежності (1) і поданням об'ємних витрат через масові запишемо рівняння (2) у вигляді

$$k_Z H_P = \frac{Q_{MP}}{\delta_T} + \frac{k_B Q_{MP}}{\delta_B} + \frac{Q_{MBG}}{\delta_B}, \quad (3)$$

де Q_{MP} , Q_{MBG} – відповідно масові витрати пісків і води в пісковий жолоб класифікатор;

δ_T , δ_B – відповідно густини твердого і води;

k_B – стала, яка характеризує вміст води в пісках класифікатора.

З рівняння (3) визначаємо масову витрату пісків

$$Q_{MP} = \frac{\delta_T(\delta_B k_Z H_P - Q_{MBG})}{\delta_B + \delta_T k_B} \quad (4)$$

Крім пісків у кульовий млин подають додаткову ружу. З врахуванням рівняння (4) загальна масова витрата твердого складає

$$Q_{MT} = \frac{\delta_T(\delta_B k_Z H_P - Q_{MBG})}{\delta_B + \delta_T k_B} + Q_{DP}, \quad (5)$$

де Q_{DP} – масова витрата додаткової руди.

Масова витрата води в тверде визначається сумою

$$Q_{MB} = Q_{MBG} + k_B Q_{MP} + Q_{MBM}, \quad (6)$$

де Q_{MBM} – масова витрата додаткової води в кульовий млин.

Знаходимо відношення лівих і правих частин рівнянь (5) і (6) і після перетворення отримуємо співвідношення тверде/рідке в кульовому млині, яке дорівнює

$$K_{T/P} = \frac{Q_{MT}}{Q_{MB}} = \frac{\delta_T(\delta_B k_Z H_P - Q_{MBG}) + (\delta_B + \delta_T k_B) Q_{DP}}{\delta_B(\delta_T k_B k_Z H_P + Q_{MBG}) + (\delta_B + \delta_T k_B) Q_{MBM}} \quad (7)$$

Рівняння (7) – це алгоритм ідентифікації співвідношення тверде/рідке в кульовому млині. Попередніми дослідженнями, результати яких викладені в [6], встановлено, що вологість пісків класифікатора k_B в умовах конкретного родовища є величиною незмінною і звичайно знаходиться на рівні 12%, що відповідає $k_B=0,12$. Технологічною сталою є і густина води δ_B , а k_Z – конструктивна стала. Для ідентифікації співвідношення тверде/рідке по алгоритму (7) необхідно знати густину твердого, що переробляється, і вимірювати рівень пульпи H_P в приймальному пристрої завиткового живильника, а також масові витрати додаткової руди Q_{DP} і води Q_{MBM} в кульовий млин, води Q_{MBG} у пісковий жолоб класифікатора.

Необхідні для ідентифікації $K_{T/P}$ параметри вимірюються з певною похибкою. Похибки вимірювання параметрів в алгоритмі (7) визначають точність ідентифікації співвідношення тверде/рідке у кульовому млині. Чим більші похибки, тим більш низькою забезпечується точність ідентифікації $K_{T/P}$. Аналіз залежності (7) показує, що вона володіє властивістю взаємної компенсації похибок по деяким параметрам. Конкретний вплив похибок визначення перерахованих параметрів на результат ідентифікації встановлюємо в результаті математичного моделювання.

В процесі дослідження кульового млина як об'єкта управління по каналу розрідження пульпи, як це показано в роботі [7], встановлено, що його стала часу приймає значення від 89,8 с при самих великих витратах пісків до 579,9 с при їх найменших значеннях. Така особливість об'єкта управління практично не дозволяє підтримувати задане співвідношення тверде/рідке в кульовому млині подачею води в значних обсягах безпосередньо в технологічний агрегат, що показано в [7]. Зважаючи на це необхідне співвідношення тверде/рідке забезпечують на вході кульового млина, тобто у приймальному пристрої завиткового живильника. безпосередньо в млин подають невелику кількість води. При найбільш ймовірному режимі роботи циклу подрібнення технологічні параметри приймають наступні значення: $\delta_T=3300 \text{ кг/м}^3$, $H_P=0,383 \text{ м}$, $Q_{MBG} = 10,4 \text{ кг/с}$, $Q_{DP} = 11,11 \text{ кг/с}$, $Q_{MBM} = 2,33 \text{ кг/с}$.

Здійснюємо математичне моделювання ідентифікації співвідношення тверде/рідке у кульовому млині при прийнятих значеннях технологічних параметрів відповідно алгоритму (7) і визначенні однієї з величин з похибкою. Результати математичного моделювання приведемо у вигляді графіків на рис.2. За базове значення приймаємо співвідношення тверде/рідке при номінальних значеннях параметрів. Воно дорівнює 4,961. З графіків, що подаються на рис.2, видно, що відносна похибка ідентифікації $K_{T/P}$ практично лінійно змінюється при зростанні похибки визначення будь-якого параметра. Похибки визначення $K_{T/P}$, що викликаються відхиленням довільного параметра від свого номінального значення, завжди дещо менші похибок його вимірювання. Найбільший вплив на результат ідентифікації співвідношення тверде/рідке чинить похибка визначення витрати води в пісковий жолоб класифікатора. Практично такий же ефект на $K_{T/P}$ здійснює похибка вимірювання рівня пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника. Найменший і однаковий вплив на ідентифікацію $K_{T/P}$ справляють витрати руди і води в кульовий млин. Відхилення густини твердого від прийнятого значення вносить суттєву похибку в ідентифікацію $K_{T/P}$. Вона займає проміжне значення між найбільшою і найменшою похибками. Характерним є те, що при визначенні усіх параметрів з додатною похибкою в значення $K_{T/P}$ вносяться як додатні, так і від'ємні похибки, що видно на рис.2. Тобто, при використанні алгоритму (7) відбувається взаємна компенсація похибок, які вносяться, в парях " $H_P - Q_{MBG}$ " і " $Q_{DP} - Q_{MBM}$ ".

Отримані залежності, що наводяться на рис.2, розкривають механізм впливу похибок визначення параметрів на точність ідентифікації співвідношення тверде/рідке в кульовому млині, однак не дають конкретного результату. Тому визначаємо відносні зміни $K_{T/P}$ при однакових похибках вимірювання усіх параметрів, де результуючі відносні похибки знаходимо шляхом порівняння з базовим значенням 4,961 результатів, що отримуються в найбільш несприятливих умовах, коли відхилення формуються з одним знаком, що видно на рис.3. З графіків рис.3 видно, що, наприклад, додатна похибка приводить до зростання

значення K_{TP} , причому при відносній похибці вище 3% збільшення K_{TP} відбувається стрімко. Точні вимірювальні пристрої з відносною похибкою $\pm 0,25\%$ або $\pm 0,5\%$, що підтверджуються рис.3, дозволяють ідентифікувати параметр відповідно з похибкою 0,41 і 0,72%. Більш розповсюджені і дешеві пристрої з похибкою $\pm 1,0\%$ або $\pm 2,0\%$ ідентифікують співвідношення тверде/рідке відповідно з похибкою 1,43 і 2,85%. Отже, алгоритм (7) дозволяє ідентифікувати співвідношення тверде/рідке в кульовому млині з достатньою точністю оскільки володіє властивістю самокомпенсування впливу похибок вимірювальних пристроїв на кінцевий результат. Тому стверджуємо, що отриманий алгоритм (7) слугує засобом підвищення точності ідентифікації параметра K_{TP} і відповідає основним особливостям алгоритмічного методу, що, наприклад викладаються в роботі [8].

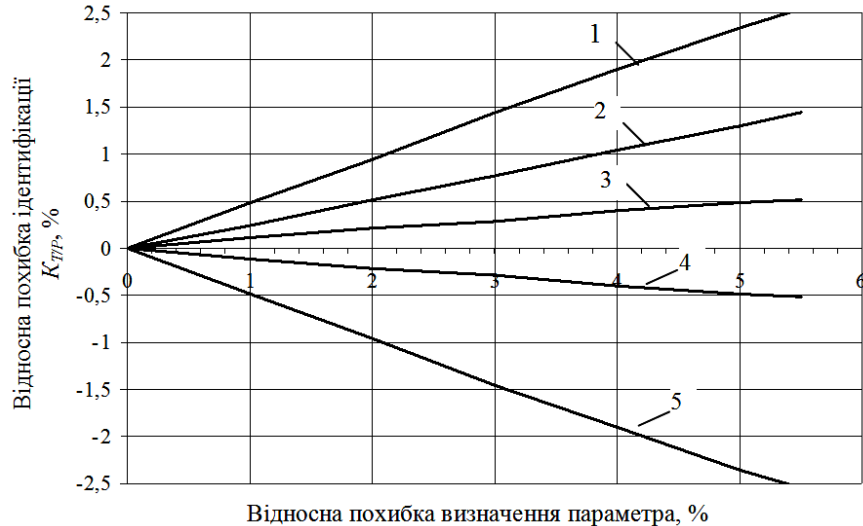


Рис. 2. Залежність відносної похибки ідентифікації співвідношення тверде/рідке в кульовому млині від похибки визначення одного з параметрів:

1 – H_p ; 2 – δ_T ; 3 – Q_{DP} ; 4 – Q_{MBM} ; 5 – Q_{MBG}

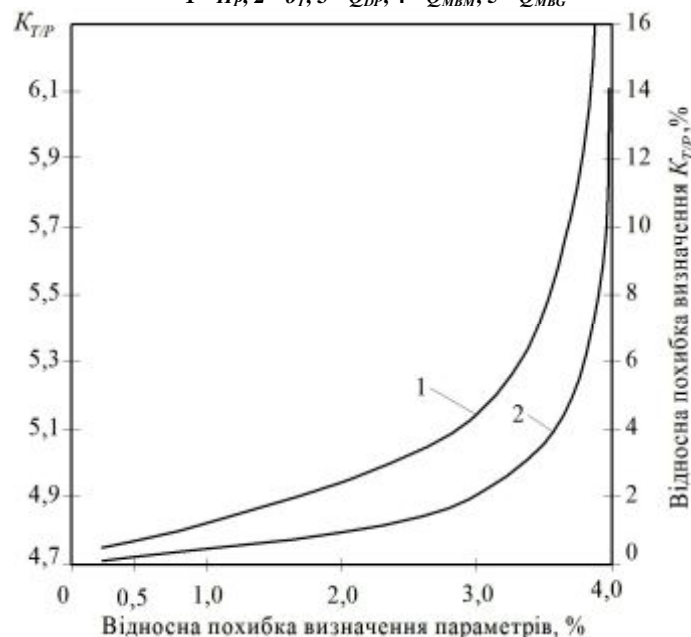


Рис. 3. Результати ідентифікації співвідношення тверде/рідке в умовах отримання найбільшої похибки величини, що відшукується:

1 – значення похибки; значення співвідношення

Фактичне значення співвідношення тверде/рідке у кульовому млині у відповідності з алгоритмом (7) досягається лише у випадку, коли усі вимірювані і ті, що визначаються, параметри знаходяться в одній технологічній точці, тобто не мають часу інформаційного запізнення або мають однаковий час інформаційного запізнення. В даному циклі подрібнення чотири технологічних параметра – рівень пульпи, витрата додаткової руди, витрата додаткової води в млин, густина твердого знаходяться в одній технологічній точці. Вони не мають часу запізнення, що не відноситься до витрати води в пісковий жолоб класифікатора, яка вводиться на його похибку і проходить всю довжину транспортуючого пристрою і додатково запізнюється в наслідок наявності сталої часу в завитковому живильнику. Це вводить неоднозначність в алгоритм (7), приводить до неможливості ідентифікації співвідношення тверде/рідке в

кульовому млині. Позбавляємося такої неоднозначності стабілізацією витрати води в пісковий жолоб класифікатора, приймаючи $Q_{MBG}=const$. У випадку зміни пісового навантаження необхідне співвідношення тверде/рідке підтримуємо регулюванням витрати Q_{MBM} , яка виступає в якості керуючого впливу.

Найкращі результати ідентифікації співвідношення тверде/рідке у кульовому млині забезпечуємо в процесі оптимізації при врахуванні впливу на K_{TP} (7) усіх факторів. Оптимізація переслідує вибір з множини технологічних рішень, які реально реалізуються, оптимального, тобто найкращого в певному розумінні рішення. В розробленому алгоритмічному методі допустиму похибку ідентифікації K_{TP} отримуємо за рахунок забезпечення високої точності вимірювання одних параметрів і більш низької – інших.

Постановка будь-якої задачі оптимізації передбачає отримання математичної моделі об'єкта, що оптимізується, формулювання критерію оптимальності і вибір методу розв'язання задачі. Тут математичною моделлю об'єкта оптимізації є вираз (7). В якості критерію оптимальності приймаємо допустиму результуючу відносну похибку ідентифікації співвідношення тверде/рідке, тобто $J_{відн} \leq \left| \left(K_{(T/P)D} \cdot \% \right) \right|$. З врахуванням того, що в процесах збагачення відносна похибка інформаційних засобів не повинна перевищувати $\pm 3,0\%$, критерій оптимальності конкретизуємо, позначаємо його у вигляді $J_{відн} \leq |3,0\%|$. Для розв'язання цієї задачі найкраще підходить метод динамічного програмування. При цьому вплив окремих факторів на K_{TP} , що відповідає залежності (7), визначаємо у вигляді окремих послідовних операцій. Тут розглядаємо чотири незалежних стадії, в кожній з яких отримуємо частковий критерій оптимальності. Якщо δ_T змінюється, то розглядаємо і п'яту стадію. Результуючий критерій оптимальності визначаємо як суму часткових критеріїв в окремих стадіях. В критерії оптимальності не враховуємо вартісну складову апаратури, а технологічні вимірювання параметрів при оптимізації здійснюємо загальнопромисловими засобами з їх точнісними можливостями. При цьому не удаємося до використання більш точних, але достатньо вартісних пристроїв. Дану умову враховуємо введенням обмежень, наприклад, похибка окремих вимірювальних засобів не повинна бути меншою $1,0\%$, тобто $\delta \geq |1,0\%|$. Абсолютні значення відхилень співвідношення тверде/рідке під впливом похибки вимірювання окремих параметрів визначаємо відносно базового значення $K_{TP}=4,691$. Вони ж представляють собою часткові критерії оптимальності в окремих стадіях оптимізації, значення яких приводяться в табл.1.

Таблиця 1

Значення часткових критеріїв оптимальності в окремих стадіях оптимізації за технологічними параметрами, абс. од. K_{TP}

Стадії оптимізації похибки вимірювальних засобів або відхилень параметра	Відносна похибка вимірювання або відносне значення відхилення технологічного параметра, %				
	1,0	20	3,0	4,0	5,0
Масовий витратомір води в пісковий жолоб Q_{MBG}	0,023	0,045	0,068	0,090	0,112
Рівнемір пульпи в завитковому живильнику H_p	0,023	0,045	0,067	0,089	0,110
Витратомір додаткової руди Q_{DP}	0,004	0,009	0,013	0,017	0,021
Витратомір додаткової води в млин Q_{MBM}	0,004	0,009	0,013	0,017	0,021
Густина твердого δ_T	0,013	0,026	0,039	0,052	0,065

Вимірюванню в даному процесі підлягають рівень пульпи H_p в приймальному пристрої завиткового живильника, масові витрати руди Q_{DP} і води Q_{MBM} в млин. Похибка витрати води Q_{MBG} в пісковий жолоб класифікатора і відхилення густини твердого δ_T враховуються. З даних табл.1 видно, що при похибці вимірювання параметрів або їх відносного відхилення в 2% похибка ідентифікації K_{TP} складає $2,85\%$.

Висновки. Розроблений алгоритм, що включає густину твердого, рівень пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника, масові витрати води в пісковий жолоб класифікатора, води і руди в млин, реалізує прийоми забезпечення стійкості значення співвідношення тверде/рідке до похибок вимірювання та зміни параметрів і враховує умови його здійснення, є новим і дозволяє отримувати необхідну точність ідентифікації розрідження пульпи в технологічному агрегаті, який подрібнює піски механічного двоспірального класифікатора з додатковою рудою. Практична значущість запропонованого алгоритму полягає в тому, що він дозволяє оптимізувати завантаження млина з одночасним управлінням розрідженням пульпи з допустимою похибкою. Наслідком цього є збільшення продуктивності технологічної лінії, мінімізація витрати електроенергії, футерівки, молольних тіл, продовження періодів міжремонтного обслуговування обладнання, що зрештою гарантує отримання значного економічного ефекту.

Перспективою подальших досліджень є розробка системи ідентифікації та автоматичного управління розрідженням пульпи в кульовому млині, що подрібнює піски механічного класифікатора з додатковою рудою.

Література

1. Измельчение. Энергетика и технология: учебное пособие для вузов / [Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. – М.: Изд. дом “Руда и металлы”, 2007. – 296 с.
2. Маляров П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки: [монография] / Маляров П.В. – Ростов-на-Дону: ООО “Ростиздат”, 2004. – 320 с.
3. Автоматизированные системы управления подготовкой металлургического сырья и доменным переделом / [Астахов А.Г., Алисимчук А.И., Архипцев Б.М. и др.]. под ред. К.А. Шумилова. – М.: Металлургия, 1979. – 184с.
4. Боднер В.А. Приборы первичной информации / Боднер В.А. – М.: Машиностроение, 1981. – 344с.
5. Шурков В.Н. Основы автоматизации производства и промышленные роботы / Шурков В.Н. – М.: Машиностроение, 1989. – 240с.
6. Кондратец В.А. Исследование влагосодержание песков двухспиральных механических классификаторов в промышленных условиях / В.А. Кондратец // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2014.- Вип.36.- С.206-210.
7. Кондратец В.О. Дослідження кульового млина, що подрібнює піски класифікатора, по каналу розрідження пульпи / В.О. Кондратец, А.М. Мацуй // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоградського національного техн. ун-ту.- 2008.- Вип. 20.- С.86-93.
8. Таланчук П.М. Основы теории и проектирования измерительных приборов: учебное пособие для вузов / П.М. Таланчук, В.Т. Рущенко. – К.: Вища школа, 1989. – 454с.

Отримано

References

1. Pivnyak G.G., Vajsberg L.A., Kirichenko V.I., Pilov P.I., Kirichenko V.V. Izmel'chenie. E'nergetika i tehnologiya: uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow, Izd. dom “Ruda i metally”, 2007, 296p.
2. Malyarov P.V. Osnovy' intensifikatsii processov rudopodgotovki: monografiya. Rostov-na-Donu, ООО “Rostizdat”, 2004, 320p.
3. Astakhov A.G., Alisimchuk A.I., Arkhiptsev B.M. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya podgotovkoi metallurgicheskogo syr'ya i domennym peredelom / Ed. by K.A. Shumilova. Moscow, Metallurgiya, 1979, 184 p.
4. Bodner V.A. Pribory pervichnoi informatsii. Moscow, Mashinostroenie, 1981, 344 p.
5. Shurkov V.N. Osnovy avtomatizatsii proizvodstva i promyshlennye roboty. Moscow, Mashinostroenie, 1989, 240 p.
6. Kondratets V.A. Issledovanie vlagosoderzhanie peskov dvukhsiral'nykh mekhanicheskikh klassifikatorov v promyshlennykh usloviyakh, *Visnyk Kryvoriz'kogo nacional'nogo universytetu*, 2014, № 36, pp. 206-210.
7. Kondratec' V.O., Macuj A.M. Doslidzhennja kul'ovogo mlyna, shho podribnjuje pisky klasyfikatora, po kanalu rozridzhennja pul'py, *Tehnika v sil's'kogospodars'komu vyrobnyctvi, galuzeve mashynobuduvannja, avtomatyzacija: zb. nauk. prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo tehn. un-tu*, 2008, №20, pp. 86-93.
8. Talanchuk P.M., Rushchenko V.T. Osnovy teorii i proektirovaniya izmeritel'nykh priborov. Kiev, Vyshha shkola, 1989, 454 p.