

УДК 658.011.56

В. О. Кондратець, к. т. н., проф.;

А. М. Мацуї, асп.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ СПІВВІДНОШЕННЯ РУДА/ВОДА В ПРОЦЕСІ ПОДРІБНЕННЯ ПІСКІВ КЛАСИФІКАТОРА

Наведено результати дослідження умов ідентифікації співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора. Показано, що даний технологічний параметр можна ідентифікувати за рівнем пульпи та її тиском у донній частині приймального пристрою завиткового живильника. Можлива зміна густини руди не приводить до похибки, яка виходить за межі допустимого значення.

Вступ

В Україні більшість добутих залізних руд збагачують, що потребує їх подрібнення. Широке розповсюдження отримала технологічна схема, яка вміщує стрижневий млин у розімкнутому циклі і кульовий млин, що працює у замкнутому з двоспіральним механічним класифікатором циклі. Цей кульовий млин виконує основну роботу з подрібнення руди, яка надходить у вигляді мокрих пісків класифікатора. Автоматизація цих процесів значно покращує їх енергетичні показники, оскільки вони поглинають майже 50 % енергетичних витрат [1]. В той же час автоматизацією таких циклів подрібнення практично ніхто не займався.

В Україні важливим є зниження собівартості основного сировинного матеріалу — залізорудного концентрату. Тому для покращення цього показника доцільно використовувати всі можливі шляхи. Одним з найефективніших є зменшення енергетичних і матеріальних витрат для подрібнення руди в цих технологічних циклах. Розв'язання такої технічної задачі спрямовано на реалізацію напрямку «Новітні технології та ресурсозбережні технології в енергетиці, промисловості та аграрному комплексі», передбаченого законом України від 11 липня 2001 року № 2623-III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки». Крім того, матеріали публікації стосуються виконання науково-дослідної роботи «Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора» (державний реєстраційний номер 0107U005470), спрямованої на розв'язання даної технічної задачі.

Задача автоматичної стабілізації співвідношення руда/вода в кульових млинах, що подрібнюють піски двоспірального механічного класифікатора, є складовою розглянутої проблеми, зважаючи на те, що від кількості води в твердому залежать умови роботи куль та транспортування матеріалу. В роботі [2] вказано, що оптимальну продуктивність кульового млина, з якою забезпечується максимальний вихід готового продукту, можна отримати лише при певному завантаженні технологічного агрегату та певному співвідношенні руда/вода в ньому. Для таких кульових млинів запропоновано лише один засіб стабілізації розрідження пульпи [3], однак в наслідок складних технологічних умов і певних вад його не можна ефективно використати на практиці. Однією з причин невикористання є можлива забивка пристрою сторонніми предметами. Внаслідок відсутності засобів автоматичного контролю цей параметр не підтримується на необхідному рівні в кожних конкретних умовах. Такий стан приводить до величезних перевитрат електричної енергії, куль і футерівки та втрат продуктивності, що значно підвищує собівартість концентрату. В зв'язку з цим тема цієї роботи є актуальною і задача потребує розв'язання.

Метою роботи є теоретичне дослідження умов реалізації розробленого алгоритму ідентифікації співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора.

Розв'язання задачі

Розроблений у [4] алгоритм дозволяє реалізувати підхід ідентифікації співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника кульового млина

$$K_{P/B} = \frac{\delta_P (P_H - \delta_B g H_C)}{\delta_B (\delta_P g H_C - P_H)}, \quad (1)$$

де δ_P, δ_B — відповідно, густини руди та води; g — прискорення земного тяжіння; H_C — рівень пульпи; P_H — наднормальний тиск у донній частині приймального пристрою.

Область можливих значень співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника при зміні технологічних параметрів в процесі роботи, знайдена в результаті комп'ютерного моделювання алгоритму (1), визначається поверхнями показаними на рис. 1. Як видно з рис. 1, поверхні практично не відрізняються між собою. Тобто, густина руди практично мало впливає на результат ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині, що подрібнює піски класифікатора.

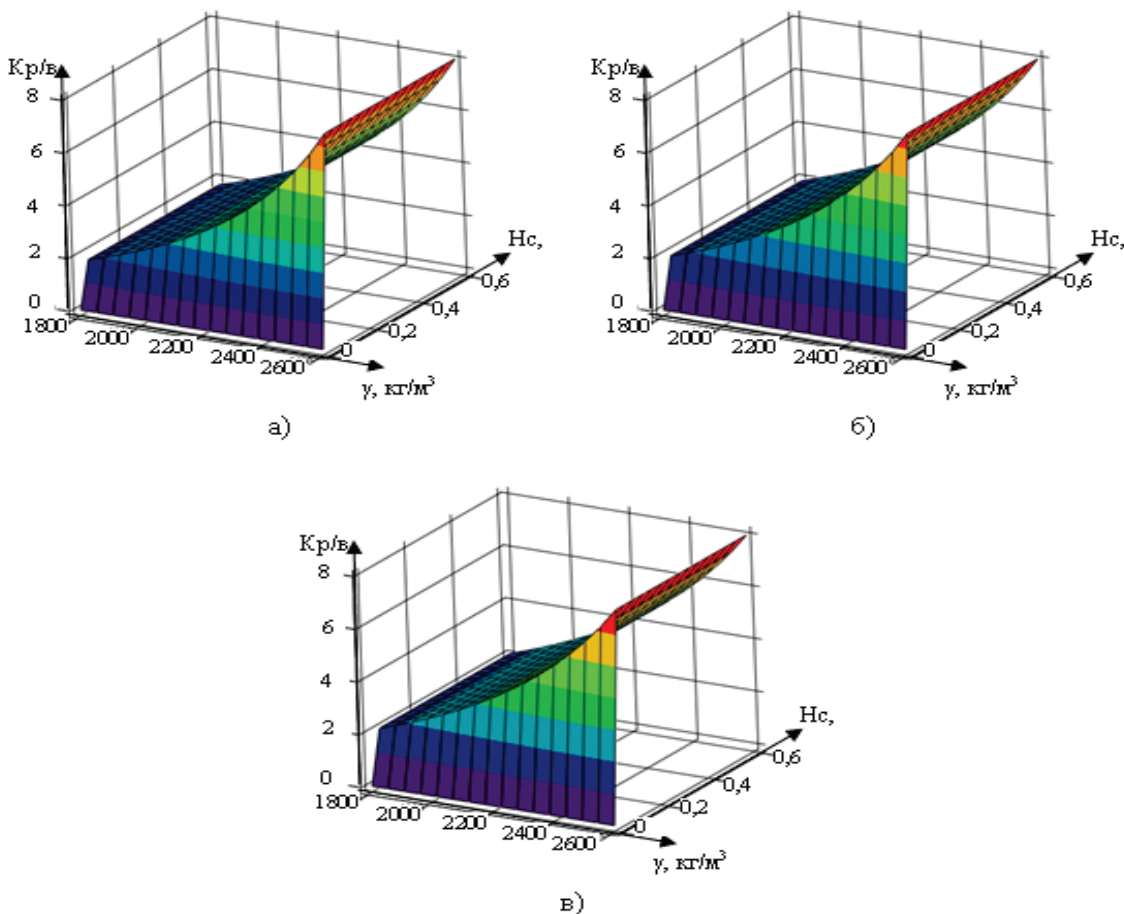


Рис. 1. Просторові діаграми зміни співвідношення руда/вода від рівня і густини пульпи з різними значеннями густини руди: а — $\delta_P = 3200 \text{ кг/м}^3$; б — $\delta_P = 3300 \text{ кг/м}^3$; в — $\delta_P = 3400 \text{ кг/м}^3$

Як впливає з (1), для ідентифікації співвідношення руда/вода необхідно у приймальному пристрої завиткового живильника виміряти рівень та наднормальний тиск пульпи і за цими значеннями обчислити цей параметр.

Оскільки результати ідентифікації співвідношення руда/вода за виразом (1) будуть залежати від значень параметрів пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника, розроблений алгоритм дослідимо на чутливість до рівня та тиску вимірюваного середовища. Для цього знайдемо частинну похідну $K_{P/B}$ за рівнем пульпи H_C . Вона дорівнює

$$\frac{\partial K_{P/B}}{\partial H_C} = -\frac{\delta_P (\delta_P - \delta_B)}{\delta_B (\delta_P - \gamma)^2} \frac{\gamma}{H_C}, \frac{1}{m}, \tag{2}$$

де γ — густина пульпи.

Залежність (2) характеризує абсолютну чутливість $K_{P/B}$ до рівня пульпи.

Абсолютна чутливість співвідношення руда/вода до тиску пульпи характеризується частинною похідною, яка дорівнює

$$\frac{\partial K_{P/B}}{\partial P_H} = \frac{\delta_P}{\delta_B} \frac{(\delta_P - \delta_B)}{(\delta_P - \gamma)^2} \frac{1}{gH_C} \cdot \frac{m^2}{kg} \tag{3}$$

Порівняння виразів (2) і (3) показує, що вони відрізняються лише наявністю параметрів γ і g . Відношення абсолютних чутливостей $K_{P/B}$ до рівня пульпи і її тиску дорівнює добутку γg , що впливає зі змісту задачі. Однак така наочність виразів абсолютної чутливості $K_{P/B}$ до даних параметрів не дозволяє їх порівняти між собою в наслідок різних розмірностей. Тому визначимо відносні чутливості співвідношення руда/вода до цих параметрів. Прийmemo $K_{P/B} = 4,3$; $\delta_P = 3300 \text{ кг/м}^3$; $\delta_B = 1000 \text{ кг/м}^3$; $H_C = 0,3 \text{ м}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Густина пульпи γ є похідною від цих параметрів і дорівнює $2301,3 \text{ кг/м}^3$, а тиск $P_H = \gamma g H_C = 6772,73 \text{ Па}$. Розрахунки, виконані за залежностями (2), (3) з прийнятими значеннями параметрів, показали, що абсолютна чутливість співвідношення руда/вода до рівня пульпи складає $-58,377 \text{ м}^{-1}$, а до її тиску — $+0,2586 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{m^2}{kg}$.

Відносні чутливості відповідно до рівня пульпи і її тиску можна визначити за залежностями

$$S_H = \frac{\partial K_{P/B}}{\partial H_C} : \frac{K_{P/B}}{H_C} \tag{4}$$

$$S_P = \frac{\partial K_{P/B}}{\partial P_H} : \frac{K_{P/B}}{P_H} \tag{5}$$

З прийнятими значеннями параметрів відносні чутливості складають $S_H = -4,0728$, $S_P = 4,073$. Отже, чутливість співвідношення руда/вода до зміни рівня і тиску пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника однакова і протилежна за знаком. Оскільки відносні чутливості високі, то визначити ці параметри при ідентифікації співвідношення руда/вода необхідно достатньо точно.

Обмеження, що накладаються на похибку знаходження співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника, вимагають уточнення впливу похибок визначення рівня і тиску пульпи на результат ідентифікації. Залежність похибки визначення співвідношення $K_{P/B}$ від похибки лише рівня або тиску пульпи та обох параметрів наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність відносної похибки знаходження співвідношення руда/вода від відносної похибки вимірювання рівня, тиску та сумарної дії цих параметрів

Параметри, в яких виникали похибки вимірювання	Відносна помилка визначення рівня і тиску пульпи, %					
	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Рівень пульпи	2,00	3,95	7,65	11,10	14,40	17,50
Тиск пульпи	2,06	4,17	8,54	13,10	17,90	23,00
Рівень і тиск пульпи з різними знаками	3,96...4,19	7,72...8,63	14,65...18,37	20,91...29,38	26,61...42,00	31,81...56,60
Рівень і тиск пульпи з одним знаком	0	0	0	0	0	0

З даних табл. 1 випливає, що похибка вимірювання будь-якого параметра суттєво впливає на результат визначення співвідношення руда/вода в кульовому млині. Похибка визначення параметрів в (1) на рівні 1 % призводить до помилки ідентифікації співвідношення руда/вода 3,95...4,17 %. Тобто, вплив як рівня, так і тиску пульпи на результат ідентифікації достатньо великий. Він ставить на межу можливості застосування запропонованого підходу до ідентифікації співвідношення руда/вода в даному технологічному процесі, оскільки для високої точності вимірювання рівня і тиску пульпи (відносна похибка ± 1 %), отримуємо значення шуканого параметра з великою похибкою 3,95...4,17 % (табл. 1), що значно перевищує встановлену межу ± 3 % [5]. Це результат ідентифікації з похибкою лише за одним параметром — рівнем або тиском пульпи. У разі похибки в двох параметрах результат ідентифікації співвідношення руда/вода буде ще гіршим — 7,72...8,63 % (табл. 1).

Одночасно в алгоритмі (1) можливо використати ефект однакових і різних за знаком чутливостей співвідношення руда/вода до рівня пульпи і її тиску в приймальному пристрої завиткового живильника. В табл. 1 наведено результати визначення співвідношення руда/вода для однакових

за величиною і знаком похибок вимірювання рівня пульпи і її тиску в приймальному пристрої завиткового живильника. З даних табл. 1 випливає, що для однакової величини і знаку похибок вимірювання рівня і тиску середовища похибка ідентифікації співвідношення руда/вода відсутня і практично не залежить від точності визначення складових параметрів. Таку умову можна виконати, якщо рівень пульпи і тиск, створюваний нею, вимірювати одним перетворювачем.

В алгоритм (1) визначення співвідношення руда/вода входить густина руди δ_P , яка може змінюватись в процесі роботи. Визначимо абсолютну чутливість $K_{P/B}$ до густини руди δ_P . Для цього знайдемо частинну похідну виразу (1) по δ_P :

$$\frac{\partial K_{P/B}}{\partial \delta_P} = -\frac{\gamma}{\delta_B} \frac{(\gamma - \delta_B)}{(\delta_P - \gamma)^2}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}. \quad (6)$$

Конкретне значення абсолютної чутливості для прийнятих технологічних параметрів складає $0,0030026 \text{ м}^3/\text{кг}$, а відносне — 2,3.

Отже, чутливість співвідношення руда/вода до густини руди значно менша, ніж до рівня і тиску пульпи. Це можна пояснити неповною інваріантністю $K_{P/B}$ до δ_P , оскільки у алгоритмі (1) густина руди входить і до чисельника, і до знаменника так, що частково компенсує зміну даного технологічного параметра.

Із залежності (1) для прийнятих значень технологічних параметрів можна отримати

$$K_{P/B} = 1,3013158 \frac{\delta_P}{(\delta_P - 2301,3158)}. \quad (7)$$

Значення співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника, отримані при зміні густини руди по залежності (7), наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника і їх відносні відхилення від базового $K_{P/B}$ для різних густин руди

Густина руди δ_P , $\text{кг}/\text{м}^3$	3100	3200	3300	3400	3500
Співвідношення руда/вода $K_{P/B}$	5,051	4,634	4,300	4,027	3,800
Відносне відхилення $K_{P/B}$ від базового значення, %	+17,46	+7,76	0,00	-6,35	-11,63

З даних табл. 2 випливає, що зі зміною густини руди в широких межах виникає велика відносна помилка ідентифікації співвідношення руда/вода.

В умовах конкретного підприємства такі зміни будуть відбуватися у вузьких межах. Наприклад, на ПГЗК густина руди може бути 3200, 3300 і 3400 $\text{кг}/\text{м}^3$. Відповідно до даних табл. 2, орієнтуючись на густина руди 3300 $\text{кг}/\text{м}^3$, відносна похибка визначення співвідношення руда/вода на цьому підприємстві може скласти від -6,35 % до +7,76 %, що виходить за межі встановленої точності для технологічного процесу.

На вказаному підприємстві густини 3200, 3300 і 3400 $\text{кг}/\text{м}^3$ відповідають різним типам руд. Звичай відомо яка руда переробляється, і її густину можливо точно врахувати, не викликаючи похибки ідентифікації $K_{P/B}$. Якщо переробляється осереднена руда, то її густина є випадковим процесом. Він буде характеризуватися математичним співвідношенням $m_P = 3300 \text{ кг}/\text{м}^3$ і середнім квадратичним відхиленням σ_δ , яке буде значно меншим $\pm 100 \text{ кг}/\text{м}^3$. Тому похибка ідентифікації співвідношення руда/вода буде значно меншою визначеної в табл. 2, оскільки вона отримана як закономірне відхилення на монаруді з $\delta_P = 3200$ і $\delta_P = 3400 \text{ кг}/\text{м}^3$. Враховуючи те, що, визначаючи $K_{P/B}$ за (1) за рівнем пульпи, тиску і густини руди, похибки можна подати як незалежні за кожним параметром, підсумкову помилку визначення співвідношення руда/вода запишемо у вигляді залежності

$$\delta_{K_{P/B}} = \sqrt{\delta_H^2 + \delta_P^2 + \delta_\delta^2}, \quad (8)$$

де δ_H , δ_P , δ_δ — відповідно, відносні похибки визначення рівня, тиску пульпи і густини руди.

Якщо знехтувати помилками визначення рівня і тиску пульпи, оскільки вони повинні знаходитися достатньо точно і практично не впливати на результат, то відносну помилку визначення спів-

відношення руда/вода можна подати у виді $\delta_{Kr/V} = \delta_\delta$. Тобто, відносна помилка відхилення густини руди від середнього значення практично відповідає допустимій похибці визначення співвідношення руда/вода, яка може досягати $\pm 3,0\%$ [5]. Це відповідає відхиленням густини руди $3300 \pm 99 \text{ кг/м}^3$. Отже, зміна густини руди не є перепоною в реалізації запропонованого алгоритму знаходження співвідношення руда/вода.

Висновки

Таким чином, співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника можна ідентифікувати за рівнем пульпи і її тиском у донній частині. При цьому тиск необхідно визначати через рівень пульпи. Можлива зміна густини руди не приводить до похибки ідентифікації параметра, яка виходить за межі допустимого значення $\pm 3,0\%$. Даний підхід ідентифікації співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника захищено деклараційним патентом України на корисну модель [6].

Знання умов ідентифікації співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника дозволить реалізувати відповідні технічні засоби та систему автоматичного керування даним технологічним параметром в кульових млинах, що подрібнюють піски класифікатора. Це значно підвищить ресурсозбереження при переробці руд чорних металів і зменшить собівартість кінцевого продукту — концентрату.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Троп А. Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / А. Е. Троп, В. З. Козин, Е. В. Прокофьев. — М. : Недра, 1986. — 303 с.
2. Бонч-Бруевич А. М. Бесконтактные элементы самонастраивающихся систем / А. М. Бонч-Бруевич, В. Л. Быков, П. И. Чинаев. — М. : Машиностроение, 1967. — 292 с.
3. 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 и Т. И. Гуленко (СССР); Научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт автоматизации черной металлургии. — № 1420849/29-33; Заявл. 30. 03. 70; Опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
4. Кондратец В. О. Идентификация розрідження пульпы в млинах комп'ютерним інтегруванням інформаційних засобів / В. О. Кондратец, А. М. Мацуй // Академический вестник. — 2006. — № 17—18. — С. 42—44.
5. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках. [Гончаров Ю. Г., Давидкович А. С., Гейзенблазен Б. Е, Гуленко Г. В.] — М. : Недра, 1968. — 227 с.
6. Пат. на корисну модель 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / В. О. Кондратец, А. М. Мацуй (Україна); Кіровоградський національний технічний університет. — № 20041007979; Заявл. 01. 10. 2004; Опубл. 15. 07. 2005, Бюл. № 7.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Надійшла до редакції 21.10.08
Рекомендована до друку 20.11.08

Кондратець Василь Олександрович — професор, **Мацуй Анатолій Миколайович** — аспірант.

Кафедра автоматизації виробничих процесів, Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград