

Обґрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням

У статті приведені результати аналізу по обґрунтуванню підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням. Доведено, що допустиму помилку ідентифікації технологічного параметра можна забезпечити оптимізацією точнісних характеристик вимірювальних засобів.

кульовий млин, співвідношення руда/вода, ідентифікація, підвищення точності, оптимізація

Кульові млини з циркулюючим навантаженням отримали широке розповсюдження в рудопідготовці. Вони відрізняються великим споживанням електричної енергії, куль і футерівки. Їх оптимальна робота забезпечується при вмісті твердого 80...82%. Відсутність точних засобів ідентифікації цього параметра приводить до перевитрати електричної енергії, куль, футерівки і до зменшення продуктивності по готовому продукту, що не відповідає положенням законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Дана стаття спрямована на розв'язання цих задач. Крім того, вона направлена на виконання теми "Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням" (реєстраційний номер 0105U008334). Оскільки засоби з необхідною точністю ідентифікації технологічного параметра відсутні, а вручну його підтримувати не можливо, тема статті, спрямованої на розв'язання цього завдання, є актуальною.

Дослідження цих процесів і засобів проводять як зарубіжні, так і вітчизняні вчені. В Україні в різні роки цю задачу розв'язували В.О. Бунько, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура, В.І. Дмитрієв, А.А. Саганенко, А.П. Савілов, Г.Г. Кононенко, В.В. Дядюра, В.Г. Дейнега, Ю.М. Кайгородцев та ін. Розроблені засоби не отримали широкого розповсюдження на збагачувальних фабриках. Запропонована в останній час математична модель для ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині [1] чутлива до похибок вимірювальних засобів, які використовують в даному процесі. Вплив похибок на визначення технологічного параметра системно не вивчався, не відпрацьовані підходи забезпечення необхідної точності ідентифікації співвідношення руда/вода.

Метою даної роботи є обґрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням.

Співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням можливо ідентифікувати відповідно математичній моделі [1]

$$K_{p/s} = \frac{A(K_n, \delta_p) \cdot (Q_n - Q_{вжс}) + Q_p}{Q_{вм} + Q_{вжс} + K_n [A(K_n, \delta_p) \cdot (Q_n - Q_{вжс})]}, \quad (1)$$

де $A(K_n, \delta_p)$ – величина, що визначається вмістом вологи K_n в пісках класифікатора та густиною δ_p руди;

Q_n – об'ємна витрата пульпи у пісковому жолобі класифікатора;

$Q_{вж}$, $Q_{вжм}$ – відповідно об’ємна та масова витрата води у пісковий жолоб класифікатора;

Q_p – масова витрата руди в кульовий млин;

$Q_{вм}$ – масова витрата води в кульовий млин.

Залежність (1) достатньо складна, в неї входить ряд змінних, які визначаються з певними похибками. При визначенні сумарної похибки випадкових величин результат виражають залежністю [2]

$$\Delta Z = \sqrt{\sum_{j=1}^m E_j^2}, \quad (2)$$

де E_j – частинні похибки.

Якщо при цьому одна з частинних похибок дає величину $\sqrt{(\Delta Z)^2 - E_k^2}$, для якої справедливо

$$\frac{\Delta Z}{\sqrt{(\Delta Z)^2 - E_k^2}} < 1,05, \quad (3)$$

то цією похибкою можна знехтувати [2].

З (3) можна записати

$$E_k < 0,3\Delta Z. \quad (4)$$

Цю залежність називають критерієм незначних похибок. При великій кількості похибок оцінюють суми квадратів частинних похибок

$$\sqrt{E_k^2 + E_{k+1}^2 + \dots} < 0,3\Delta Z. \quad (5)$$

Використання критерію незначних похибок при аналізі частинних похибок вимірювань дозволяє виокремити ті величини, які суттєво впливають на похибку результату. Підвищення точності вимірювання цих величин дозволяє зменшити сумарну похибку. Однак оцінити похибки на початковому етапі досліджень немає можливості. Тому скористаємося іншим шляхом – визначенням і оцінюванням частинних чутливостей $K_{p/v}$ (1) до окремих параметрів, оскільки чутливість є непрямою оцінкою впливу неточності вимірювання окремого параметра на кінцевий результат. Рівень чутливості співвідношення руда/вода до певного технологічного параметра передбачає конкретизацію вимог до точності вимірювання тієї чи іншої величини. Встановлено, що відносна чутливість співвідношення руда/вода до технологічних параметрів має значні рівні, які відрізняються як за знаком, так і за величиною [1]. Тому додатково вивчався вплив зміни похибки вимірювання параметрів технологічного процесу на значення співвідношення руда/вода. Характерним є те, що похибка співвідношення руда/вода менша похибки визначення будь-якого технологічного параметра. При малих циркулюючих навантаженнях відбуваються більш суттєві зміни в характері впливу точності визначення технологічних параметрів на співвідношення руда/вода. Ці похибки можуть досягати суттєвих значень при неточності вимірювання технологічних параметрів [1]. Особливість даного дослідження полягає в тому, що воно визначає вплив кожного окремого параметра на кінцевий результат, а не їх усієї сукупності.

В процесі реалізації засобу ідентифікації співвідношення руда/вода похибки визначення технологічних параметрів будуть одночасно впливати на значення $K_{p/v}$. Зрозуміло, що в кожний окремий момент часу похибка вимірювання або відхилення того чи іншого технологічного параметра від приписаного значення може приймати знак “плюс” або “мінус”. Це буде випадковий процес. Оскільки знак похибки визначення параметра по різному впливає на результуючу похибку співвідношення руда/вода, $\delta_{K_{p/v}}$ також буде являти собою випадковий процес. Однак можна встановити межі зміни відносної похибки співвідношення руда/вода в даному процесі.

Граничне значення результуючої похибки співвідношення руда/вода буде при малоїмовірній ситуації – коли всі похибки вимірювання технологічних параметрів приймуть однаковий знак. Друга малоїмовірна ситуація відповідає іншій граничній умові. Вона буде мати місце тоді, коли похибки вимірювання будуть мати різні знаки і найбільш несприятливе їх поєднання.

Якщо всі технологічні параметри вимірюються з однаковими похибками, які мають однаковий знак, то навіть при відносній похибці параметрів у 5 % відносна похибка визначення співвідношення руда/вода не перевищує 1,1 %. Це буде нижня межа помилки ідентифікації параметра. Дана помилка може бути практично зменшеною в двічі, якщо в технологічному процесі вологість пісків класифікатора, густина руди та витрата води в пісковий жолоб будуть незмінними і точно заданими.

Якщо всі технологічні параметри вимірюються з однаковими похибками, а їх знаки приймають саме несприятливе поєднання, то результуюча похибка ідентифікації співвідношення руда/вода значно зростає. При вимірюванні технологічних параметрів, наприклад, з тією ж похибкою 5 %, результуюча похибка ідентифікації співвідношення руда/вода складе дещо більше 10 %. Її значно (до 6 %) можна зменшити при умові незмінності і високій точності задання значень вологості пісків класифікатора, густини руди та витрати води в пісковий жолоб класифікатора. Це буде верхня (теоретична) межа помилки ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині, оскільки реально вона існувати не може навіть у малоїмовірних ситуаціях в наслідок значно вищої точності більшості існуючих вимірювальних засобів.

Фактична похибка ідентифікації параметра $K_{p/v}$ буде знаходитись десь між визначеними границями, оскільки наближення реальної ситуації вимірювання технологічних параметрів до граничних умов малоїмовірне. Така фактична похибка задовольняє вимогам технологічного процесу.

Зміни контрольованих параметрів приводять до відхилень значень співвідношення руда/вода на вході у кульовий млин. Зважаючи на це, можливо розглядати не самі зміни контрольованих параметрів, а похибку їх визначення при певних значеннях, оскільки вона характеризує сам параметр відхилений в бік збільшення або зменшення на певну відносну величину. Такий підхід дозволяє розглядати задачу оптимізації точнісних характеристик блока ідентифікації співвідношення руда/вода. Дана задача відноситься до статичної оптимізації. Ця задача є актуальною тому, що існують проблеми з точністю визначення об'ємної витрати пульпи. Метою оптимізації в даній задачі є забезпечення необхідної точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині при обмежених ресурсах точності засобів вимірювання технологічних параметрів.

Об'єктом оптимізації виступає блок ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині. Об'єкт оптимізації підрозуміває виокремлення чотирьох груп параметрів – вхідних, управляючих, збурюючих та вихідних. До вхідних параметрів в даному процесі необхідно віднести витрату руди та води в кульовий млин, витрату пульпи у пісковому жолобі. Управляючі параметри – це ті, на які можливо здійснювати прямий вплив у відповідності з тими чи іншими вимогами, що дозволяє керувати процесом. За змістом даної задачі до управляючих параметрів слід віднести похибки вимірювання витрати руди та води в кульовий млин, витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора. Збурюючі параметри змінюють свої значення в часі випадковим чином. Вони звичайно не доступні для вимірювання. Збурюючими параметрами в даній задачі виступають густина руди, вміст вологи в пісках класифікатора та витрата води в пісковий жолоб.

В даному випадку замість вихідних параметрів доцільніше використовувати термін “параметр стану”, оскільки ця величина саме характеризує стан матеріалу в

кульовому млині. Таким параметром є співвідношення руда/вода в кульовому млині. Як видно, даний об'єкт оптимізації містить три змінних – ΔQ_p , ΔQ_v , ΔQ_n .

Математичною моделлю даного об'єкта оптимізації є вираз (1).

Обмеження на вхідні величини тут задаються у вигляді нерівностей:

$$Q_{p \min} \leq Q_p \leq Q_{p \max}; Q_{v \min} \leq Q_v \leq Q_{v \max}; Q_{n \min} \leq Q_n \leq Q_{n \max}.$$

Для розв'язання задачі необхідно визначитись з критерієм оптимальності. В якості критерію оптимальності може бути висунута вимога забезпечення відносної похибки ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині, що дорівнює деякому максимально допустимому значенню. В процесах збагачення таку величину приймають на рівні $\pm 3,0\%$ [3]. Тому критерій оптимальності в даній задачі встановимо $J = \delta_{K_{p/v}}$, $\% < 3,0\%$ [4].

Виходячи з розглянутого та враховуючи число змінних, вид математичної моделі та вид обмежень, приходимо до висновку, що для розв'язання даної задачі оптимізації підходить метод динамічного програмування [5].

Метод динамічного програмування є ефективним засобом розв'язання задач оптимізації дискретних багатостадійних процесів, для яких загальний критерій оптимальності описується адитивною функцією критеріїв оптимальності окремих стадій [6]. Зокрема, даний метод являє собою алгоритм визначення оптимальної стратегії управління на всіх стадіях процесу [7]. Закон управління на кожній стадії звичайно знаходять шляхом розв'язання частинних задач оптимізації послідовно для всіх стадій процесу за допомогою методів дослідження функцій класичного аналізу або методів нелінійного програмування. Результати розв'язання звичайно отримують у вигляді таблиць.

Раніше, ніж перейти до питань практичної реалізації оптимального режиму, звичайно оцінюють чутливість оптимального розв'язку до зміни управляючих діянь – похибки витрати води в кульовий млин $\pm \Delta Q_v$, руди $\pm \Delta Q_p$, пульпи $\pm \Delta Q_n$. Однак, в даному випадку чутливість до зміни управляючих діянь визначати немає необхідності, оскільки вимірювальні прилади завжди забезпечують свій клас точності.

Під чутливістю оптимуму звичайно розуміють величину відносної зміни критерію оптимальності при відхиленні управляючих діянь від оптимальних значень. Однак в дане поняття чутливості оптимуму звичайно відносять не лише залежність критерію оптимальності від управляючих діянь, але також і від останніх параметрів математичної моделі, для яких в процесі моделювання необхідно задавати числові значення. До таких параметрів відносять вхідні та збурюючі впливи об'єкта оптимізації.

Аналіз показує, що відбувається компенсація впливу зміни вмісту вологи в пісках класифікатора. Розрахунки, проведені на персональному комп'ютері, показують, що при зміні вмісту вологи в пісках класифікатора від 10 до 14 % похибка визначення $K_{p/v}$ не виникає.

Ефект стабілізації забезпечується і відносно густини твердого δ_r . Розрахунки, виконані на персональному комп'ютері для різних режимів роботи, показують, що в межах максимально можливих змін густини твердого від 3,1 до 3,5 т/м³ співвідношення руда/вода не змінюється.

Витрата води в пісковий жолоб класифікатора, яка стабілізується і виступає збурюючим фактором, буде вносити певну похибку у визначення співвідношення руда/вода.

Отже, результуюча похибка визначення співвідношення руда/вода буде дорівнювати

$$\delta_{K_{(p/v)\Sigma}} = \frac{100}{K_{(p/v)\delta}} \sqrt{\left[K_{(p/v)\delta} - K_{(p/v)p} \right]^2 + \left[K_{(p/v)\delta} - K_{(p/v)\delta} \right]^2 + \left[K_{(p/v)\delta} - K_{(p/v)n} \right]^2 + \left[K_{(p/v)\delta} - K_{(p/v)\delta\text{жж}} \right]^2}, \quad (6)$$

де $K_{(p/v)\delta\text{жж}}$ – співвідношення руда/вода, отримане при максимальному відхиленні витрати води у пісковий жолоб в наслідок неточності системи дозування;

$K_{(p/v)\delta}$ – базове співвідношення руда/вода при вимірюванні всіх технологічних параметрів без похибки.

Залежність (6) дозволяє визначити результуючу помилку ідентифікації співвідношення руда/вода на вході кульового млина в залежності від похибок визначення масової витрати руди, води в технологічний агрегат, об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі та води, що подається в нього.

Таким чином, найкращі результати при ідентифікації співвідношення руда/вода можна отримати шляхом оптимізації точнісних характеристик математичної моделі. Даний підхід забезпечує отримання необхідної точності визначення співвідношення руда/вода в умовах порівняно великих похибок вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора. Точність отримання $K_{p/v}$ можна значно підвищити, зменшивши похибку вимірювання витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора до $\pm 3,0\%$.

Проведені дослідження дозволяють оптимізувати точнісні характеристики блока ідентифікації співвідношення руда/вода к кульовому млині. При цьому, враховуючи самий складний параметр – об'ємну витрату пульпи в пісковому жолобі класифікатора, можливо так підібрати інші вимірювальні засоби, щоб забезпечити допустиму точність визначення співвідношення руда/вода $K_{p/v}$.

Список літератури

1. Кондратець В.О. Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина /В. Кондратець, О. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2006. – № 17. – С. 265-272.
2. Рудзит Я.А. Основы метрологии, точность и надежность в приборостроении /Я. Рудзит, В. Плуталов. – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.
3. 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.
4. Кондратець В.О. Комп'ютерно інтегрована система автоматичного управління співвідношенням руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням /В. Кондратець, О. Сербул //Академический вестник. – 2006. – № 17-18. – С. 37-41.
5. Исследование операций /[Майзер Х., Эйджин Н., Тролл Р. и др.]: пер. с англ. под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. – М.: Мир, 1981. – [1] – 712 с. – (в 2т., т.1 “Методологические основы и математические методы”).
6. Дегтярев Ю.И. Исследование операций /Дегтярев Ю.И.– М.: Высшая шк., 1986. – 320 с.
7. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология /Вентцель Е.С. – М.: Высшая шк., 2001. – 208 с.

В статье приведены результаты анализа по обоснованию подхода повышения точности идентификации соотношения руда/вода в шаровой мельнице с циркулирующей нагрузкой. Доказано, что допустимую ошибку идентификации технологического параметра можно обеспечить оптимизацией точностных характеристик измерительных средств.

In article are brought results of the analysis on motivation of approach increasing of accuracy to identifications of the correlation ore/water in ball mill with circulating load. It is proved that possible mistake to identifications of the technological parameter possible to provide at optimization an accuracy features of the measuring facilities.