

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, проф., канд. техн. наук,
 А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук
 Кіровоградський національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВИТКОВОГО ЖИВИЛЬНИКА ЯК КЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТА

На базі отриманої математичної моделі завиткового живильника як керованого об'єкта показано, що в ньому виникають значні запізнювання, які вносять суттєві додаткові помилки у результати інформаційного забезпечення.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для подрібнення міцних залізних руд в Україні отримали розповсюдження технологічні схеми, де кульовий млин працює в замкнутому циклі з двоспиральним класифікатором, з першої спіралі якого надходить мокре вихідне живлення. За таких умов кульовий млин, який несе основне навантаження, працює без підтримання необхідного для конкретного типу руди розрідження пульпи, що не забезпечує найбільш ефективного використання молотильних тіл і транспортування рідкого матеріалу. При цьому наносяться значні збитки в наслідок перевитрати електричної енергії, куль, футерівки та зниження продуктивності технологічного агрегату по готовому продукту. Такий стан розв'язання даної технічної задачі не узгоджується з вимогами законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та, зокрема, в гірничій галузі. Оскільки дана стаття спрямована на розв'язання вказаної задачі, її тема є актуальною. Матеріали, які публікуються, отримані в процесі виконання науково-дослідної роботи “Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470).

Аналіз досліджень та публікацій. Традиційно розв'язували задачу автоматизації стабілізації розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням, які працюють в першій стадії подрібнення, однак знайдені рішення для згаданого циклу не підходять. Для кульових млинів, які подрібнюють піски класифікатора, запропоновано лише один пристрій [1], однак його практична перевірка показала, що його канал може забиватися сторонніми включеннями, а засоби запобігання цьому відрізняються громіздкістю і значною вартістю. Тривалий час не поступало пропозицій щодо розв'язання даної задачі. Авторами даної публікації запропоновано ефективний підхід розв'язання задачі [2], однак особливості інформаційного забезпечення завиткового живильника як керованого об'єкта ніхто не досліджував.

Постановка завдання. Метою даної роботи є отримання математичної моделі завиткового живильника по каналу розрідження пульпи та дослідження особливостей його інформаційного забезпечення.

Викладення матеріалу та результати. Завитковий живильник (рис. 1) є керованим об'єктом, в приймальному пристрої якого необхідно підтримувати в конкретних умовах певне співвідношення руда/вода. Допустимо, що в завитковому живильнику витрата пульпи не змінюється. Тоді в пісковому жолобі класифікатора об'ємні витрати будуть дорівнювати

$$Q_{ВП1} = Q_{VT1} + Q_{VB1}, \quad (1)$$

де Q_{VT1} – об'ємна витрата твердого (руди), Q_{VB1} – об'ємна витрата води.

При роботі завиткового живильника пульпа акумулюється у його приймальному пристрої, який в повздовжньому перерізі являє собою прямокутник з сторонами a і b . При певних витратах пульпи в пісковому жолобі в приймальному пристрої встановлюється рівень рідини H_C (рис. 1).

При обертанні завитків захватні елементи в залежності від форми профілю та рівня пульпи захоплюють певну дозу суміші. Оскільки швидкість обертання завитків і ширина захватних елементів є незмінними, то при роботі живильника виконується залежність

$$Q_{ВП2} = k_2 H_C, \quad (2)$$

де k_2 – сталий коефіцієнт пропорційності, $\text{м}^2/\text{с}$.

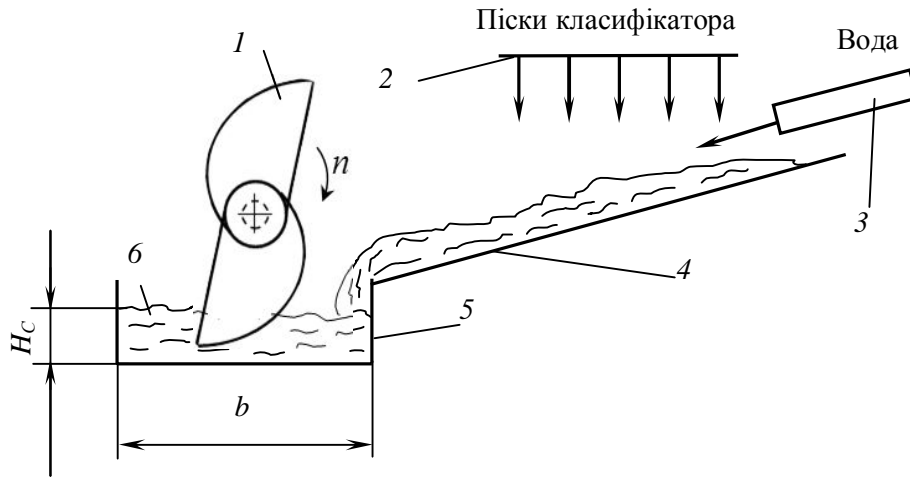


Рис. 1. Схематичне зображення кульового млина як керованого об'єкта:
 1-хоботи; 2-поріг класифікатора; 3-труба подачі додаткової води; 4-пісковий жолоб; 5-приймальний пристрій завиткового живильника; 6-пульпа

В усталеному режимі $Q_{VT1} = Q_{VT2}$, підтримується певне значення рівня H_C , задане значення співвідношення руда/ вода в приймальному пристрої $K_{(P/B)\Pi}$ та в пісковому жолобі $K_{(P/B)Ж}$. В процесі роботи задане значення $K_{(P/B)\Pi}$ необхідно підтримувати як оптимальне та технологічно визначене для конкретної ситуації. Тобто, в завитковому живильнику $K_{(P/B)\Pi}$ є регульованою величиною. В усталеному режимі роботи співвідношення руда/вода формується в пісковому жолобі та автоматично зберігається в приймальному пристрої завиткового живильника, захватних елементах та кульовому млині, в який пульпу подає завитковий живильник. Тут $K_{(P/B)\Pi} = K_{(P/B)Ж}$.

Нехай під впливом певних причин співвідношення руда/вода в пісковому жолобі стрибком збільшилося. Тоді попереднє задане значення співвідношення руда/вода в пісковому жолобі позначимо через $K_{(P/B)Ж1}$, а нове, збільшене значення – через $K_{(P/B)Ж2}$, співвідношення зміниться на $\Delta K_{(P/B)Ж}$. При цьому в регульованому об'єкті буде здійснюватися перехідний процес. В приймальному пристрої співвідношення руда/вода буде поступово збільшуватися з $K_{(P/B)\Pi1}$ до значення $K_{(P/B)\Pi2}$. За нескінченно малий проміжок часу Δt співвідношення руда/вода в приймальному пристрої збільшиться на величину $\Delta K_{(P/B)\Pi}$. В пісковому жолобі в даній ситуації будуть зберігатись співвідношення

$$K_{(P/B)Ж1} = \frac{Q_{VT1} \cdot \delta_T}{Q_{VB1} \cdot \delta_B}, \quad (3)$$

$$K_{(P/B)Ж2} = \frac{Q_{VT2} \cdot \delta_T}{Q_{VB2} \cdot \delta_B}, \quad (4)$$

де Q_{VT1}, Q_{VT2} – відповідно об'ємні витрати твердого до та після зміни співвідношення руда вода, Q_{VB1}, Q_{VB2} – відповідно об'ємні витрати води до та після зміни співвідношення руда/вода.

Відповідно виразам (3) і (4) можна записати значення масових витрат твердого в пісковому жолобі

$$Q_{VT1} \cdot \delta_T = Q_{VB1} \cdot \delta_B \cdot K_{(P/B)Ж1}, \quad (5)$$

$$Q_{VT2} \cdot \delta_T = Q_{VB2} \cdot \delta_B \cdot K_{(P/B)Ж2}. \quad (6)$$

Збільшення частки витрати твердого в пісковому жолобі в нових умовах відповідно виразам (5) і (6) буде становити

$$\Delta Q_{ТЖ} = Q_{VT2} \cdot \delta_T - Q_{VT1} \cdot \delta_T = \delta_B (K_{(P/B)Ж2} \cdot Q_{VB2} - K_{(P/B)Ж1} \cdot Q_{VB1}). \quad (7)$$

В рівнянні (7) витрату Q_{VB1} подамо як

$$Q_{VB1} = Q_{VB2} - \Delta Q_{ТЖ}, \quad (8)$$

де

$$\Delta Q_{TЖ} = \frac{\Delta Q_{TЖ}}{\delta_T}. \quad (9)$$

Підставимо в (7) співвідношення (8) і (9) і після перетворення отримаємо

$$\Delta Q_{TЖ} = \frac{Q_{VB2} \cdot \delta_B \cdot \delta_T}{[\delta_T + \delta_B \cdot K_{(P/B)Ж1}]} [K_{(P/B)Ж2} - K_{(P/B)Ж1}]. \quad (10)$$

де $K_{(P/B)Ж1}$ – задане співвідношення руда/вода.

Помножимо ліву і праву частини рівняння (10) на Δt і отримаємо збільшення частки твердого за цей нескінченно малий проміжок часу, яка направляється в приймальний пристрій завиткового живильника

$$\Delta P_{TЖ} = \frac{Q_{VB2} \cdot \delta_B \cdot \delta_T}{[\delta_T + \delta_B \cdot K_{(P/B)Ж1}]} [K_{(P/B)Ж2} - K_{(P/B)Ж1}] \cdot \Delta t. \quad (11)$$

Співвідношення руда/вода в приймальному пристрої до початку перехідного процесу дорівнює

$$K_{(P/B)П1} = \frac{V_{T1} \cdot \delta_T}{(V - V_{T1}) \cdot \delta_B}, \quad (12)$$

де V , V_{T1} – відповідно об'єм пульпи та твердого в приймальному пристрої завиткового живильника до початку перехідного процесу.

Співвідношення руда/вода, яке встановиться за нескінченно малий проміжок часу Δt в перехідному процесі, буде дорівнювати

$$K_{(P/B)П2} = \frac{V_{T2} \cdot \delta_T}{(V - V_{T2}) \cdot \delta_B}, \quad (13)$$

де V_{T2} – об'єм твердого в приймальному пристрої завиткового живильника, що буде мати місце через час Δt .

Збільшення частки твердого в приймальному пристрої завиткового живильника

$$\Delta K_{(P/B)П} = K_{(P/B)П2} - K_{(P/B)П1} = \frac{\delta_T}{\delta_B} \left[\frac{V_{T2} - V_{T1}}{(V - V_{T2}) \cdot (V - V_{T1})} \right] \cdot V. \quad (14)$$

Враховуючи, що $\Delta V_T \delta_T = (V_{T2} - V_{T1}) \delta_T = \Delta P_T$, а $V - V_{T2} = V_{B2}$, $V - V_{T1} = V_{B1}$, вираз (14) можна записати у вигляді

$$\Delta K_{(P/B)П} = \frac{V \cdot \Delta P_{ТПП}}{\delta_B \cdot V_{B1} \cdot V_{B2}}, \quad (15)$$

звідки

$$\Delta P_{ТПП} = \frac{\delta_B \cdot V_{B1} \cdot V_{B2}}{V} \Delta K_{(P/B)П}, \quad (16)$$

де $\Delta P_{ТПП}$ – збільшення частки твердого в приймальному пристрої завиткового живильника за час Δt , $\Delta K_{(P/B)П}$ – збільшення співвідношення руда/вода в приймальному пристрої за час Δt , V_{B1} , V_{B2} – відповідно об'єми води в приймальному пристрої до і після перехідного процесу.

Оскільки $\Delta P_{ТПП}$ (16) дорівнює $\Delta P_{TЖ}$ (11) і $K_{(P/B)Ж1} = K_{(P/B)П}$, після перетворення отримаємо

$$\frac{V_{B1} \cdot V_{B2} (\delta_T + \delta_B K_{(P/B)П1})}{V \cdot Q_{VB2} \cdot \delta_T} \cdot \frac{\Delta K_{(P/B)П}}{\Delta t} + K_{(P/B)П} = K_{(P/B)Ж2}. \quad (17)$$

Якщо Δt спрямувати до нуля, то $K_{(P/B)П}$ буде відповідати заданому значенню співвідношення руда/вода $K_{(P/B)П3}$, $\frac{\Delta K_{(P/B)П}}{\Delta t} \rightarrow \frac{dK_{(P/B)П}}{dt}$, і рівняння (17) перетвориться в диференціальне, в якому $K_{(P/B)Ж2}$ буде відповідати новому значенню параметра і його можна позначити в загальному вигляді через $K_{(P/B)Ж}$. Диференціальне рівняння руху завиткового живильника при цьому прийме наступний вигляд

$$\frac{V_{B1} \cdot V_{B2} (\delta_T + \delta_B K_{(P/B)П3})}{V \cdot Q_{VB2} \cdot \delta_T} \cdot \frac{dK_{(P/B)П}}{dt} + K_{(P/B)П} = K_{(P/B)Ж}. \quad (18)$$

У рівнянні (18) нове співвідношення руда/вода дорівнює

$$K_{(P/B)Ж} = \frac{Q_{VT2} \delta_T}{Q_{VB2} \delta_B}. \quad (19)$$

Аналіз показує, що коефіцієнт при першій похідній в рівнянні (18) має розмір часу, тому стала часу завиткового живильника по каналу розрідження пульпи дорівнює

$$T_{3P} = \frac{V_{B1} \cdot V_{B2} (\delta_T + \delta_B K_{(P/B)З})}{V \cdot Q_{VB2} \cdot \delta_T}. \quad (20)$$

З (20) видно, що стала часу T_{3P} залежить від чотирьох змінних величин V_{B1} , V_{B2} , V , Q_{VB2} , які визначаються технологічним процесом. Крім того, T_{3P} залежить від густини руди, яка може змінюватись, і заданого значення співвідношення руда/вода $K_{(P/B)З}$, яке враховує особливості технологічного процесу. На перший погляд можна рахувати, що T_{3P} є змінною величиною, а сам живильник по даному каналу – об'єктом зі змінними параметрами. Однак комп'ютерне моделювання технологічного процесу і об'єкта в усьому діапазоні можливих змін витрати пісків класифікатора показало, що стала часу завиткового живильника, не дивлячись на зміну параметрів, залишається незмінною і дорівнює $T_{3P} = 65,2$ с для даного агрегату. Тому рівняння динаміки завиткового живильника прийме вигляд

$$T_{3P} \frac{dK_{(P/B)П}}{dt} + K_{(P/B)П} = K_{(P/B)Ж}. \quad (21)$$

Оскільки приймальний пристрій завиткового живильника послідовно з'єднаний з пісковим жолобом класифікатора, то передавальна функція регульованого об'єкта буде дорівнювати

$$W_o(p) = \frac{1}{65,2p + 1} \cdot e^{-p\tau}, \quad (22)$$

де τ – час запізнювання, який дорівнює 2,6...5,6 с.

Отже, регульований об'єкт володіє транспортним і значним ємкісним запізнюванням, що ускладнює автоматичне керування за принципом зворотного зв'язку.

Знаходження необхідної для здійснення процесів керування інформації передбачає дискретність вимірювання. Випадковий характер зміни рівня пульпи в приймальному пристрої потребує осереднення дискретно визначених сигналів впродовж певного часу, що рівноцінно введенню додаткового запізнювання. Отже, чисте запізнювання в об'єкті очікується значним. Якщо результат вимірювання $x^*(t)$ на час τ запізнюється відносно $x(t)$, то $x^*(t) = x(t-\tau)$. Оператор запізнювання має вигляд $W(j\omega) = e^{-j\omega\tau}$, бажаний оператор $W_o(j\omega) = 1$. Середньоквадратична похибка запізненої інформації дорівнює [3]

$$\varepsilon_x^2 = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} |e^{-j\omega\tau} - 1|^2 \cdot S_x(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} (2 - 2\cos \omega\tau) \cdot S_x(\omega) d\omega. \quad (23)$$

Оскільки спектральна щільність $S_x(\omega)$ сигналу $x(t)$ зв'язана з його кореляційною функцією, то отриманий результат можливо записати ще у вигляді

$$\varepsilon_x^2 = 2K_x(0) - 2K_x(\tau). \quad (24)$$

З рівняння (24) видно, що додаткова середня квадратична помилка інформації в наслідок її запізнювання складається з двох частин. Перша – це два значення кореляційної функції випадкового процесу, що вимірюється, при $\tau = 0$. Відомо, що це значення кореляційної функції дорівнює дисперсії випадкового процесу. Тобто, якщо знехтувати впливом другої складової, то додаткова помилка буде $\varepsilon_x = \sigma_x \sqrt{2}$. Це достатньо велика середньоквадратична помилка, що виникає додатково в наслідок запізнювання інформації. Дану помилку в певній мірі може зменшити друга складова $2K_x(\tau)$ (24).

Відомо, що коливальність випадкового процесу можливо охарактеризувати його кореляційною функцією. Звичайно кореляційні функції випадкових процесів, що виникають в технічних додатках, добре апроксимуються виразами, які затухають при зростанні τ . Зрозуміло, що складова $2K_x(\tau)$ при значному τ буде прагнути до нуля і додаткова похибка компенсуватись не буде. У випадку коливального затухання кореляційної функції, навпаки, при певному τ може бути отриманий знак “мінус” і тоді на складову $2K_x(\tau)$ додаткова похибка зросте. Якщо до

основного випадкового процесу $x(t)$ буде додана перешкода $n(t)$ з кореляційною функцією $K_n(\tau)$, то додаткова похибка ще зросте на $\varepsilon_n^2 = K_n(0)$ - на середнє квадратичне відхилення перешкоди [3].

Враховуючи, що середня квадратична похибка засобу ідентифікації очікується в межах допустимої похибки $\pm 3\%$ для даного процесу, а дисперсія випадкового процесу зміни рівня пульпи в завитковому живильнику – значна, таку інформацію в умовах запізнювання використати для процесів керування не можливо. Отже, здійснити принцип керування за відхиленням $K_{(P/B)П}$ від заданого значення $K_{(P/B)З}$ не можливо.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, отримана математична модель завиткового живильника як керованого об'єкта та випадковість зміни параметрів показали, що в ньому виникає ємкісне запізнювання, викликане сталою часу 65,2 с, змінне транспортне запізнювання 2,6...5,6 с та значне чисте запізнювання в наслідок необхідності осереднення випадкових значень рівня пульпи. Це приводить до значних додаткових похибок як в результатах отримуваної інформації, так і в процесі самого регулювання, що робить неможливою реалізацію принципу керування за відхиленням.

Виконані дослідження відкривають перспективу розробки системи автоматичного керування розрідженням пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника.

Список літератури

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В03В 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. Декларацийний пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / **Кондратець В.О., Мацуї А.М.**; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
3. **Тихонов О.Н.** Решение задач по автоматизации процессов обогащения и металлургии / **Тихонов О.Н.**- Л.: Недра, 1969.- 432 с.