

УДК: 622.364(470.21):622.752.4.004.5:621.3.016.3-783

В.С. БІЛЕЦЬКИЙ, д-р техн. наук

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет),

Л.В. ШПИЛЬОВИЙ

(Україна, Маріуполь, Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча)

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ СИГНАЛУ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ФЕРМИ ЗГУЩУВАЧА

Ритмічна робота радіального згущувача з периферійним приводом та забезпечення стабільної густини згущеного продукту, що вивантажується з нього, залежать від висоти шару ущільненого осаду на дні згущувача або об'єму осаду, що транспортується гребками ферми до розвантажувальної лійки. Тому таке важливе для практики здійснення автоматичного контролю за навантаженням на гребки ферми і своєчасне запобігання надмірному накопиченню ущільненого осаду на дні згущувача, що нерідко призводить до аварійного виходу з ладу ферми та зупинки згущувача. Вибір і обґрунтування методу контролю навантаження на ферму, та регулюючого впливу в системі автоматичної стабілізації запасу осаду на дні згущувача – актуальне наукове завдання.

Відома лише одна робота [1], в якій автори досліджують залежність між навантаженням на ферму і густиною згущеного продукту, та обґрунтовують можливість використання цього параметра в системі автоматичної стабілізації густини останнього.

Як інформативні сигнали величини навантаження на ферму пропонувалися різні параметри: величина струму [2] та потужності електродвигуна приводу ферми, крутильний момент на валу приводу [3], період часу і швидкість обертання ферми або кут повороту підпружиненої пластини, прикріпленої до ферми та вміщеної в ущільнений осад [4]. Але експериментальні дослідження в промислових умовах показали, що більшість з пропонованих параметрів не може бути використана для практичного застосування через малу інформативність. Найбільш прийнятним з них, як вважають автори [5], – активна потужність.

Аналітичні або експериментальні дослідження залежності активної потужності приводу радіального згущувача від технологічних параметрів процесу згущення до цього часу не здійснювалися.

Оскільки сигнал активної потужності, що споживається електродвигуном приводу ферми, легко та досить точно вимірюється, необхідно обґрунтувати його інформативність і доцільність використання в системі автоматичної стабілізації висоти шару осаду на дні згущувача та вивчити вплив

Автоматизація та управління процесами збагачення

технологічних параметрів процесу згущення (товщини шару ущільненого осаду, густини осаду та швидкості обертання ферми) на характеристики інформативного сигналу. Це і є метою даної роботи.

Розглянемо процеси, які відбуваються у згущувачі при контакті гребків ферми з ущільненим осадом.

Розвантажувальний механізм згущувача з периферійним приводом має вигляд рами з гребками, яка спирається за допомогою гідростатичного підшипника на центральну колону та монорейку, викладену по периметру чана. Біля периферії рама завершується кареткою, на якій розміщено електродвигун, редуктор, привідний ролик та баласт для збільшення сили зціплення ролика з рейкою. Радіальні згущувачі з центральним чи периферійним приводом комплектуються асинхронними електродвигунами потужністю від 0,8 до 18,0 кВт·А.

Повну потужність, яку споживає електродвигун із мережі, можна визначити за формулою:

$$N_m = N_o / \eta \cdot \eta_e,$$

де N_m – потужність, що споживається від мережі, кВт; N_o – потужність, що витрачається на обертання ферми у згущувачі, заповненому суспензією (включаючи і витрати на тертя в підшипнику, та тертя привідного ролика по рейці), кВт; η – коефіцієнт корисної дії механічного приводу, що враховує втрати в редукторі, привідному ролику з валом-шестірнею та на тертя ролика по рейці і в гідростатичному підшипнику, частки од.; η_e – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, частки од.

Потужність N_o , що витрачається на обертання ферми згущувача, складається з корисної потужності N , необхідної для переміщення ущільненого осаду до розвантажувальної лійки, та потужності N_{xx} необхідної для подолання тертя в гідростатичному підшипнику, тертя привідного ролика по рейці, на вал-шестірні, інших підшипниках, шестірнях, спротиву рідини, – тобто на обертання ферми у згущувачі з водою (без ущільненого осаду). Отже, $N_o = N + N_{xx}$.

Втрати потужності на тертя залежать від загальної маси ферми згущувача з гребками та каретки з електродвигуном, редуктором і привідним роликом. Зміна швидкості обертання ферми згущувача призводить до зміни втрат потужності на тертя.

При переміщенні гребків ферми в ущільненому осаді виникає спротив, для подолання якого та забезпечення рівномірності руху тіла має бути витрачена відповідна енергія. Цей спротив, що виникає, залежить від форми тіла та режиму руху. При ламінарному русі, що спостерігається за невеликої швидкості обертання ферми та високої в'язкості середовища – ущільненого осаду, – втрати

Автоматизація та управління процесами збагачення

енергії пов'язані в основному лише із подоланням спротиву тертя.

Розглянемо елементарну ділянку гребка ферми (рис. 1).

Спротив ущільненого осаду тілу, що в ньому переміщується, характеризується формулою Ньютона [6]

$$P = \xi \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot w^2 \cdot S/2, \quad (1)$$

де P – сила спротиву середовища, Н; ξ – коефіцієнт спротиву; $\rho_{\text{уц}}$ – питома маса середовища, кг/м³; w – швидкість руху тіла, м/с; S – проекція гребка на площину, перпендикулярну напрямку руху ферми, м².

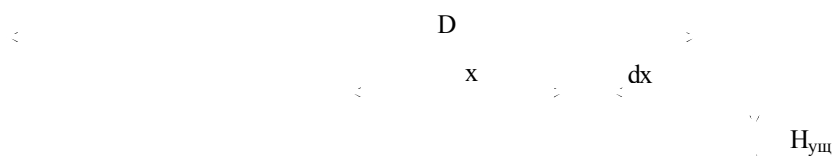


Рис. 1. До визначення потужності приводу

Коефіцієнт спротиву залежить від критерія Рейнольдса. Для ламінарного режиму руху, коли $Re < 2$ та кулеподібного тіла – $\xi = 24/Re$ [7].

Під час руху тіл, форма яких відмінна від кулі, значення коефіцієнта ξ більші та залежать також і від фактора форми Φ , тобто $\xi = f(Re, \Phi)$.

Сила спротиву, що діє на елементарну ділянку гребка ферми:

$$dP = \xi \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot H_{\text{уц}} \cdot dx, \quad (2)$$

де P – сила спротиву, що діє на елементарну ділянку, Н; x – відстань від центру згущувача до елементарної ділянки, м; $H_{\text{уц}}$ – висота шару ущільненого осаду, м.

Потужність, необхідна для переміщення цієї ділянки $dN = dP \cdot w$, де dN – витрати потужності на переміщення елементарної ділянки.

З врахуванням (2) останнє рівняння можна записати у вигляді

$$dN = \xi \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot w^3 / 2 H_{\text{уц}} \cdot dx. \quad (3)$$

Підставляючи в (3) значення колової швидкості $w = 2\pi \cdot n \cdot x$ (n – число обертів ферми в одиницю часу) та інтегруючи отримане рівняння в межах від $x = -D/2$ до $x = D/2$ (D – діаметр згущувача), знайдемо

Автоматизація та управління процесами збагачення

$$N = (\pi^3/8) \cdot \xi \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot n^3 \cdot H_{\text{уц}} \cdot D^4, \quad (4)$$

де N – потужність, необхідна для переміщення осаду.

Дослідження спротиву, який здійснює ущільнений осад гребкам ферми, показало, що коефіцієнт спротиву ξ залежить від числа Рейнольдса. Цю залежність можна виразити формулою [7]

$$\xi = A/Re_a^m, \quad (5)$$

де Re_a – видозмінене число Рейнольдса $Re_a = (n \cdot D^2 \rho_{\text{уц}}) / \mu$; A , m – константи; A – безрозмірний параметр, значення якого визначається із співвідношення: $A = Re_a^m \cdot \xi = \pi d^3 g \Delta / 6 \nu^2$. μ – в'язкість середовища; $\nu = \mu / \rho_{\text{уц}}$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості; Δ – густина дисперсної фази.

Результати досліджень [8] свідчать про те, що для малих значень чисел Re , що має місце при ламінарному русі, показник $m = 1$.

Механіка руху дволопатної мішалки та гребкових рам ферми радіального згущувача аналогічні. Тому можна прийняти, що в обох випадках має місце однакова залежність коефіцієнта спротиву від числа Рейнольдса [9]. На цій підставі замість ξ у формулу (2) можна підставити його значення, наведене вище (5):

$$N = \frac{\pi^3 \cdot A \cdot \mu \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot H_{\text{уц}} \cdot n^3 \cdot D^4}{8 \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot D^2 \cdot n} = \frac{1}{8} \cdot \pi^3 \cdot A \cdot D^2 \cdot \mu \cdot H_{\text{уц}} \cdot n^2. \quad (6)$$

Поєднуючи під одним символом усі константи і коефіцієнти та враховуючи, що $\mu = \nu \rho_{\text{уц}}$, отримаємо: $N = C \cdot n^2 \cdot \nu \cdot \rho_{\text{уц}} \cdot H_{\text{уц}}$, де $C = (\pi^3 \cdot A \cdot D^2) / 8$.

Визначення коефіцієнта C вимагало б кропітких досліджень [10].

В'язкість суспензії μ залежить від концентрації дисперсної фази і визначається (при об'ємній концентрації дисперсної фази понад 10%) за формулою

$$\mu = \mu_p (1 + 4,5\varphi),$$

де φ – об'ємна концентрація, %; μ_p – в'язкість дисперсного середовища, Н·с/м².

Тоді рівняння (6) запишемо

$$N = k \cdot n^2 \cdot H_{\text{уц}} \cdot \rho_{\text{уц}}, \quad (7)$$

Автоматизація та управління процесами збагачення

де $k = i \cdot (\pi^3 \cdot A \cdot D^2 \cdot \mu) / g$.

Аналітично визначити коефіцієнт k нелегко, тому доцільно знайти його експериментально [10].

Рівняння (7) характеризує необхідну потужність на переміщення шару ущільненого осаду висотою $H_{уц}$ до розвантажувальної лійки.

Аналітичне визначення потужності N_{xx} , що витрачається на обертання ферми у згущувачі з водою, тобто без суспензії та ущільненого осаду на дні, – досить складне завдання. Тому доцільніше експериментальне визначення N_{xx} . Для чого згущувач П-25 після усунення аварійної ситуації, спричиненої "посадкою" ферми, та повного розмивання і вивантажування осаду з нього, заповнювався водою до переливу в жолоб. Далі змінювали послідовно швидкість обертання ферми згущувача та при стабільному значенню напруги в мережі фіксували величину потужності, що споживається електродвигуном приводу. Значення потужності N_{xx} , визначені при різній швидкості обертання ферми, наведені нижче. (похибка вимірювання потужності $\pm 0,1\%$).

Потужність, кВт	1,03	1,27	1,76	2,70
Швидкість обертання ферми, об./год	3,33	4,00	5,00	6,666

Для більшої зручності при подальшому використанні в розрахунках дані оброблено за допомогою пакета Майстер діаграм. Отримали рівняння залежності у вигляді

$$N_{xx} = 0,479 + 0,05 \cdot n^2. \quad (8)$$

Коефіцієнт детермінації R – квадрат = 0,999.

Для визначення коефіцієнту k рівняння (7) у промислових умовах на згущувачі П-25 проведено наступний експеримент.

Згущувач заповнювали суспензією, масові витрати дисперсної фази в якій контролювали. Загальна похибка визначення масових витрат – 3,0...4,0% [1]. Періодично, за допомогою спеціальної штанги із закріпленою на ній мірною лінійкою (ціна поділки – 1,0 мм) та зануреним поплавком, контролювали товщину шару ущільненого осаду на дні згущувача. Для цього з фіксованих точок на фермі, що оберталася, робили кілька замірів відстані від зливного порогу до зони ущільнення. Дані усереднювалися. Одночасно одбиралися проби ущільненого осаду за методикою [11], та визначалася його густина. Далі на кілька секунд змінювали по черзі швидкість обертання ферми в межах від 3,33 до 6,666 об/год та фіксували при цьому величину потужності, що споживалася електроприводом ферми.

Автоматизація та управління процесами збагачення

Щоб визначити корисну потужність N , необхідну для переміщення осаду польовошпатового концентрату на дні згущувача, від виміряного в кожному досліді значення потужності віднімали розраховану за формулою (8) величину потужності холостого ходу N_{xx} . Отримані таким чином вихідні дані оброблялися за допомогою пакета Аналіз даних програми Microsoft Excel. Залежність потужності, що споживається електродвигуном приводу ферми, від висоти шару осаду, його густини та швидкості обертання ферми шукали у вигляді рівняння регресії: $Y = a_0 + a_1(\rho_{yuc} \cdot H_{yuc} \cdot n^2)$.

Залежність потужності, що споживається із мережі, від основних технологічних факторів виражається наступним рівнянням регресії

$$N = 0,445 + 0,041(\rho_{yuc} \cdot H_{yuc} \cdot n^2). \quad (9)$$

Стандартна похибка дорівнює 0,141. Коефіцієнт детермінованості R – квадрат $= 0,767$.

Перевірка адекватності прийнятої моделі експериментальним даним за допомогою критерію Фішера показала, що з ймовірністю $P = 0,95$ можна вважати математичну модель адекватною експериментальним даним, так як розрахункове значення критерію $F_p = 226,8 > F_{крит} = 3,14$.

Виходячи з того, що $N_m = N + N_{xx}$ та з урахуванням рівнянь (8) і (9) можемо записати

$$N_m = 0,05 n^2 + 0,041 n^2 \cdot \rho_{yuc} \cdot H_{yuc} + 0,924. \quad (10)$$

Рівняння (10) використовувалося для прогнозування значень N_m . Кореляція розрахованих та експериментальних даних наведена на рис. 2, побудованому за допомогою інструменту Регресія пакета Аналіз даних.

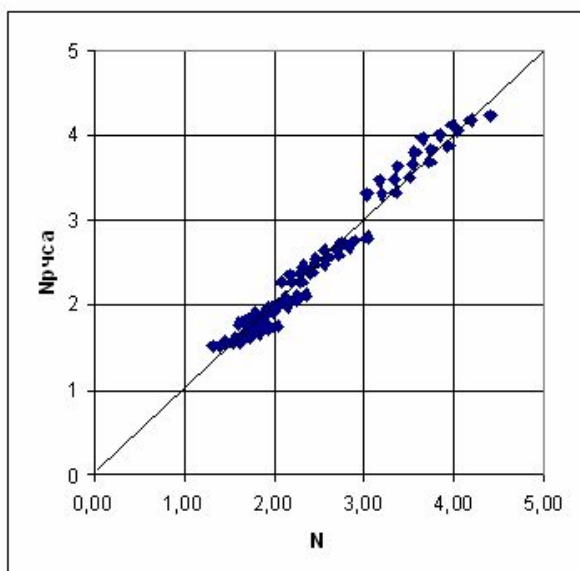


Рис. 2. Кореляція розрахункових та експериментальних значень активної потужності електропривода ферми

Середньоквадратичне відхилення становить 0,137 кВт, або 5,1% від діапазону зміни параметра.

Рівняння (10) застосувалося для розрахунку статичних характеристик процесу (рис. 3). Аналіз характеристик показує, що зміна швидкості обертання ферми є ефективним регулюючим впливом для системи автоматичної стабілізації висоти шару ущільненого осаду на дні згущувача.

З урахуванням того, що густина ущільненого осаду змінюється в досить вузьких межах для конкретного типу суспензій і тому не може внести значної похибки в результати вимірювання висоти осаду, можна вважати прийнятним використання такого параметра, як активна потужність приводу ферми для контролю накопичення осаду на дні згущувача.

Рівняння (10) придатне для контролю величини навантаження на ферму згущувача; дає змогу визначити висоту шару ущільненого осаду на дні згущувача за відомими контрольованими величинами активної потужності приводу ферми, швидкості обертання ферми і густини осаду, а також розробити принципи і способи управління режимом накопичення осаду на дні згущувача [12].

Рис. 3. Залежність активної потужності електропривода ферми згущувача від висоти шару ущільненого осаду та швидкості обертання ферми (n , об/год) для середнього значення густини ($\rho_{\text{ущ}} = 1,9 \text{ г/см}^3$)

Таким чином, виконані теоретичні та експериментальні дослідження залежності активної потужності, споживаної електроприводом ферми згущувача, від основних параметрів процесу згущення – висоти шару ущільненого осаду та його густини, швидкості обертання ферми, – дозволили зробити висновок про інформативність цього параметра і доцільність його використання в системах автоматичного регулювання запасу ущільненого осаду на дні згущувача або стабілізації густини згущеного продукту.

Швидкість обертання ферми може бути ефективним регулюючим впливом в системі автоматичної стабілізації висоти шару осаду на дні радіального згущувача з периферійним приводом.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на аналітичне визначення коефіцієнтів C , k у залежностях (6) та (7).

Список літератури

Автоматизація та управління процесами збагачення

1. Clausing G. Automatisierter Schlamabzug aus einen Eindicker // Bergakademie. – 1970. – 22. – № 10. – С. 588–591.
2. Шпилевой Л.В. Особенности автоматического регулирования разгрузки сгустителя // Автоматизация металлургических процессов: Сб. науч. тр. / ВНИКИ "Цветметавтоматика". – М., 1981. – С. 59–62.
3. Головков Б.Ю., Колпиков Г.Г., Рейбман Л.А. Автоматизация калийных обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1983. – 200 с.
4. Назаров В.П., Лыгач В.Н., Макаров А.М., Петров И.П. Контроль нагрузки на ферму сгустителя // Промышленность горно-химического сырья: Сб. науч. работ. – М., 1973. – Вып. 4. – С. 64–65.
5. Андреев Е.Е., Кузнецов П.В. О замере нагрузки машины по мощности, потребляемой ее электродвигателем // Обогащение руд. – 1999. – № 4. – С. 41–43.
6. Лещенко Л.В. Гравитационные методы обогащения металлов. – Л.: Гостоптехиздат, 1940. – 342 с.
7. Кизевальтер Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения. – М.: Недра, 1979. – 295 с.
8. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической промышленности. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
9. Штербачек З., Тауск П. Перемешивание в химической промышленности. – Л.: Ленинградское отделение Госхимиздата, 1963. – 416 с.
10. Баттаглия А. Обезвоживание продуктов обогащения и циркуляция моечных вод. – М.: Недра, 1967. – 100 с.
11. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные процессы. Под ред. О.С. Богданова, Ю.Ф. Ненарокова, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 358 с.
12. Пат. 65883 А Україна, МКІ В01D21/00. Спосіб автоматичного керування роботою радіального згущувача / Л. В. Шпильовий (Україна). – № 2003065709; Заяв. 20.06.03; Опубл. 15.04.04; Бюл. № 4. – 2 с.

© Білецький В.С., Шпильовий Л.В., 2005

*Надійшла до редколегії 02.11.2005 р.
Рекомендовано до публікації*

УДК 681.5:622.765

Д.А. ЗУБОВ, канд. техн. наук
(Украина, Луганск, Восточноукраинский национальный университет им.В.Даля)

ПАССИФИКАЦИЯ И СИНТЕЗ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОДНИМ КЛАССОМ SISO-ОБЪЕКТОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРЫ ЛИ

Введение

Тензорно-групповой подход к анализу и разработке систем

107

Збагачення корисних копалин, 2005. – Вип. 24(65)