

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.646 (035)

Б. Д. Білоус, І. Д. Зелінський, Н. Б. Білоус, М. Ю. Гинда
Національний університет “Львівська політехніка”

ОПТИМАЛЬНИЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЮ ВЕРТИКАЛЬНИМ, БАГАТОРІВНЕВИМ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ СЕПАРАТОРОМ

© Білоус Б. Д., Зелінський І. Д., Білоус Н. Б., Гинда М. Ю., 2017

Розроблено алгоритм функціонування системи управління та контролю вертикальним, багаторівневим, електромагнітним сепаратором з імпульсними магнітними полями високої інтенсивності. Запропоновано критерій вибору оптимального алгоритму функціонування системи управління сепаратором.

Ключові слова: електромагнітний сепаратор, алгоритм, критерій вибору.

OPTIMAL ALGORITHM OPERATION OF THE CONTROL SYSTEM VERTICALLY, MULTI-LEVEL, ELECTROMAGNETIC SEPARATORS

Designed by the algorithm of the control system vertical, multi-level, electromagnetic separator with pulsed magnetic fields of high intensity. Proposed selection criterion the optimal algorithm functioning of the separator control system.

Key words: electromagnetic separator, algorithm, selection criterion .

Постановка проблеми. Розділення сумішей тонкодисперсних матеріалів за магнітними властивостями використовується у багатьох процесах гірничозбагачувальної, хімічної та будівельної індустрії. Особливої гостроти та значущості в отриманні якісного, придатного до використання продукту ця технологія набула у процесі утилізації відходів виробництва електроенергії на теплових електричних станціях. Під час спалювання кам'яного вугілля утворюється т. зв. суха зола виносу, яка використовується як сировина для подальшої переробки за умови вмісту у ній залишків органічного палива не більше ніж 4 %. Нестабільність роботи теплогенеруючих агрегатів призводить до істотного перевищення цього нормативу, що вимагає додаткової обробки золи виносу. Технологічний процес вилучення надлишкових залишків органічного палива із золи виносу побудований на розділенні тонкодисперсної суміші – золи виносу, на складові за магнітними властивостями. Процес реалізується на магнітних сепараторах барабанного типу. Основним недоліком таких сепараторів є необхідність багаторазової обробки тієї самої партії золи. Це пов'язано з тим, що частинки золи з сильнішими феромагнітними властивостями притягують до себе інші частинки і для їх розділення партія золи після магнітної сепарації повторно обробляють на магнітних сепараторах. У результаті процес магнітної сепарації стає енергозатратним, що істотно зменшує ефект використання продуктів переробки золи. Уникнути цього дають змогу вертикальні, багаторівневі магнітні сепаратори з імпульсними електромагнітними полями. Рівні таких сепараторів компонуються із окремих електромагнітних котушок із сердечниками, що розміщуються довкола вертикального каналу з рівномірним кутовим кроком. Ці котушки утворюють на

сепараційному рівні єдиний електромагніт, що характеризується високою індуктивністю. Кількість рівнів залежить від глибини магнітної сепарації. Основною проблемою експлуатації подібних сепараторів є переключення магнітних полів від рівня до рівня та створення імпульсного магнітного поля високої інтенсивності у межах одного рівня за умови високої індуктивності електромагніта одного рівня. Розробку алгоритму функціонування та принципової електричної схеми системи управління вертикальним, багаторівневим, електромагнітним сепаратором розглядає ця робота.

Аналіз останніх досліджень. Основні методи збагачення корисних копалин та обладнання для реалізації технологічних процесів, побудованих на цих методах, розглянуті в [1]. Тут наведені схеми магнітних сепараторів як на постійних магнітах, так і електромагнітних сепараторів з принциповими електричними схемами керування електромагнітами. Елементна база цих схем відрізняється простотою і реалізується на основі релейних елементів. Ця особливість унеможлиблює реалізовувати на сепараторах алгоритми керування імпульсними електромагнітними полями високої інтенсивності. У [2] доволі повно відображені принципи побудови основних алгоритмів, що використовуються для реалізації дискретних та неперервних систем управління. Використання цих принципів дає змогу будувати стрижневий скелет алгоритму системи управління, але не дає можливість деталізувати побудований алгоритм у разі реалізації його для управління імпульсними магнітними полями високої інтенсивності.

Спроба створення алгоритму та електричної схеми його реалізації для керування імпульсними електромагнітними полями частотою (режим включення–виключення) до $1\div 2$ Гц зроблена у [3]. Реалізація схеми управління здійснена за допомогою релейних елементів і не може бути застосована для управління високоінтенсивними, імпульсними електромагнітними полями з більшою частотою.

Якнайповніше сучасний стан розроблення алгоритмів та принципових електричних схем систем управління імпульсними електромагнітними полями високої частоти та інтенсивності наведений у [4–7]. Необхідно зазначити певну досконалість запропонованих алгоритмів для імпульсних електромагнітних полів частотою (режим включення – виключення) до 5 Гц. Використання цих алгоритмів для керування імпульсними електромагнітними полями з частотою пульсації, більшою за 5 Гц, є проблематичним і електричні схеми їх реалізації характеризуються нестійкою роботою на частотах пульсації електромагнітних полів, більших за 5 Гц.

Мета роботи – розроблення алгоритму функціонування системи управління вертикальним, багаторівневим, електромагнітним сепаратором на імпульсних електромагнітних полях високої інтенсивності та частоти.

Виклад основного матеріалу. Основною складовою одиницею вертикального, багаторівневого, електромагнітного сепаратора є рівень – електромагніт, який складається з трьох або більше соленоїдів, розміщених на магнітопроводах, осі яких лежать в одній горизонтальній площині, перетинаються на вертикальній осі порожнини, що формується із замикаючих ланок магнітопроводів, та утворюють між собою рівні кути. Загальна кількість рівнів одного сепаратора залежить від глибини поділу матеріалу, що сепарується на фракції за магнітними властивостями. Теоретично таких рівнів може бути нескінченна кількість. У реальності їх кількість обмежується енергетичними та якісними параметрами процесу сепарації і вигодами, які реалізуються під час використання продуктів сепарації. Введемо деякі позначення:

t – поточний час; i – номер рівня; n – кількість рівнів. Це загалом не обмежується. Величина $i = 1, 2, \dots, n$.

Алгоритм функціонування системи управління роботою складається з таких кроків.

Крок перший. Початок циклу – пуск першого рівня. Переважно перший рівень $i = 1$ – дозатор, який вводить як початкову, так і подальші дози суміші тонкодисперсного матеріалу у вертикальний

канал сепаратора. Конструктивно це виконується так, щоб ввід дози суміші здійснювався на початковий зріз першого рівня. Тобто момент включення (початок роботи) дозатора та електромагніту рівня першого після дозатора – рівень 2, однакові. Розділення частинок матеріалу за магнітними властивостями у порожнині рівня відбувається під час їх падіння до кінцевого зрізу рівня, який збігається з початковим зрізом наступного рівня. Введемо до розгляду величину t_{pi} – час польоту окремої частинки матеріалу у каналі рівня. Справжній для рівнів, починаючи з $i = 2$. Переважно величина t_{pi} визначається експериментально і підлягає уточненню за зміни середнього розміру окремих частинок матеріалу.

Крок другий. Завдання тривалості T циклу сепарування однієї дози суміші в алгоритмі визначається із співвідношення

$$T = \sum_{i=2}^n (\Delta t_1 + t_{pi}) = t_{n2} - t_{11} . \quad (1)$$

Це один цикл роботи сепаратора, який за тривалістю дорівнює різниці між моментом t_{11} – входження дози на початковий зріз першого рівня $i = 2$ та моментом t_{n2} – вихід дози за кінцевий зріз останнього рівня.

Крок третій. Включення у роботу сепаратора i -го рівня. Цей момент характеризується досягненням першої з частинок дози матеріалу початкового зрізу рівня і поєднується з моментом подачі електричного живлення на котушки електромагнітного рівня. Для i -го рівня цей момент фіксується співвідношенням

$$t_{i1} = (t_{11} + \sigma_1(i) \sum_{i=2}^{n-1} t_{pi}) + mT , \quad (2)$$

де t_{i1} – момент початку роботи рівня (момент включення електромагніта); $m = 0, 1, 2, \dots, \infty$ – кількість циклів сепарування (кількість доз). Визначає загальний час роботи сепаратора. За $m = 0$ цикл автоматично повторений бути не може. Сепаратор здійснить тільки один цикл:

$$\sigma_1(i) = \begin{cases} 0, & \text{при } i = 1, 2; \\ 1, & \text{при } i = 3, \dots, n, \end{cases} \quad \text{– функція керування моментом початку роботи рівня.}$$

Крок четвертий. Виняток з роботи сепаратора i -го рівня. Цей момент характеризується досягненням останньої з частинок матеріалу кінцевого зрізу рівня і поєднується з моментом припинення подачі електричного живлення на котушки електромагніту рівня та включення у роботу наступного за ним рівня. Для i -го рівня цей момент фіксується співвідношенням

$$t_{i2} = (t_{11} + \sigma_2(i) \sum_{i=2}^n t_{pi} + \Delta t_1) + mT , \quad (3)$$

де t_{i2} – момент кінця роботи рівня (момент виключення електромагніту); $\sigma_2(i) = \begin{cases} 0, & \text{при } i = 1; \\ 1, & \text{при } i = 2, \dots, n, \end{cases}$ – функція керування моментом кінця роботи рівня.

Між виходом першої та останньої частинок матеріалу з сепаратора проходить час $\Delta t_1 = t_{12} - t_{11}$ – час роботи першого рівня (дозатора). Момент початку циклу сепарування визначається з умови

$$t_{11} = t_{21} . \quad (4)$$

За однократного виконання циклу сепарування це реалізується кнопкою “пуск”.

Описаний алгоритм – ланцюговий. Тобто наступний цикл T роботи сепаратора повториться тільки після закінчення попереднього циклу за примусового призначення моменту t_{11} . Цю операцію можна виконувати примусово разовим пуском циклу, або в автоматичному режимі у

момент t_{n2} . Ефективне використання сепаратора можливе за суміщення циклів. Початок кожного наступного циклу сепарування необхідно автоматично сумістити з моментом виключення першого рівня після дозатора. Настання цього моменту є сигналом того, що порожнина першого після дозатора рівня (електромагніту) – вільна і у неї можна вводити наступну дозу матеріалу для сепарування. Тобто для кожного наступного циклу момент його початку, момент t_{11} включення дозатора та виключення цього рівня t_{22} однакові:

$$t_{11} = \sigma(m) t_{22}, \quad (5)$$

де $\sigma(m) = \begin{cases} 0, \text{ при } m = 1; \\ 1, \text{ при } \sigma = 2, \dots, \infty, \end{cases}$ – функція керування моментом включення дозатора за неперервної

роботи сепаратора в автоматичному режимі. Частота повторення циклів сепарування повинна бути не більшою від величини

$$k = \frac{1}{t_{22} - t_{21}}. \quad (6)$$

Невиконання цієї умови істотно знижує якість сепарування та коефіцієнт корисної дії сепаратора. Співвідношення (5) та (6) є необхідною і достатньою умовою, тобто критерієм того, що алгоритм системи управління є оптимальним з погляду енергетичної ефективності та якості роботи сепаратора.

Перевірка роботоздатності запропонованого алгоритму здійснена на програмованому симуляторі MPLAB 8.92 фірми Microchip. Робота алгоритму перевірялась у режимі симуляції імпульсного (включення–виключення) індуктивного навантаження у діапазоні частот події від 0÷15 Гц.

Висновок. Перевірка запропонованого алгоритму підтвердила його роботоздатність, що дає змогу рекомендувати його для розробки принципової електричної схеми системи управління вертикальним, багаторівневим, електромагнітним сепаратором з імпульсними електромагнітними полями високої інтенсивності.

1. *Справочник по обогащению руд. Основные процессы. – 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. О. С. Богданова. – М.: Недра, 1983. – 381 с.* 2. *Дискретные и непрерывные системы управления ЭП. – М.: МЭИ, 1983.* 3. Якубалик Э. К., Д. В. Гришаев, М. В. Верхотуров, Г. П. Ермак. *Сепарация высокосернистых железорудных промпродуктов у импульсных магнитных полях // Горн. жур. – 2000. – № 6.* 4. Елфимов С. А. *Программное обеспечение лабораторного сепаратора-анализатора // Межвузовский фестиваль студентов и молодых ученых, КГТЭИ "Молодежь и наука третье тысячелетие". – Красноярск, 1999.* 5. Елфимов С. А. *Самонастраивающийся импульсный электромагнитный сепаратор // IV конгресс обогатителей стран СНГ. – 2003. – Т. 2. – С. 165.* 6. Елфимов С. А. *Разработка новых методов магнитной сепарации сыпучих материалов : дис. ... канд. техн. наук : 01.04.01. – Красноярск, 2004. – 108 с.* 7. Елфимов С. А. *Электромагнитный сепаратор-анализатор с пульсирующим магнитным полем // XXV Гагаринские чтения // Тезисы докладов Международной молодежной науч. конф. – М., 1999. – Т. 2.*