

УДК 669.162.1:622.785

М.Ю. ПАЗЮК, завідувач кафедри, доктор технічних наук

О.В. РЕНГЕВИЧ, доцент, кандидат технічних наук

І.А. ОВЧИННІКОВА, доцент, кандидат технічних наук

АНАЛІЗ СТАНУ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ГРУДКУВАННЯ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ У БАРАБАННИХ ГРУДКУВАЧАХ

Запорізька державна інженерна академія

Виконано аналіз відомих систем автоматичного регулювання процесу грудкування шихтових матеріалів у барабанних грудкувачах, а також застосування методів статистичної оптимізації для управління зазначеним процесом. Описано методологічні особливості обчислювальних досліджень процесу грудкування з позиції управління.

Ключові слова: шихтові матеріали, процес грудкування, барабанний грудкувач, системи регулювання, методи статистичної оптимізації, управління

У зв'язку з дефіцитом багатих на залізо рудних матеріалів на підприємствах чорної металургії України все активніше знаходить використання концентрат глибокого збагачення, що містить до 90...95 % фракції 0...0,04 мм. Якість зазначеного концентрату визначається головним чином ефективністю процесу грудкування матеріалів шихти у грудкувачеві.

Відомо, що процес грудкування та якість грудкованої шихти оцінюють наступними показниками:

– мірою грудкування, що є долею дрібних класів, накатаних на поверхню більших класів, яку розраховують за формулою:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^N M_{i-1}^i}{\sum_{i=1}^N (M_{i-1}^i + M_i)} \cdot 100\% , \quad (1)$$

де M_{i-1}^i – вміст класу $(i-1)$ у i -ій фракції, %; M_i – вміст i -ої фракції у шихті, %; N – кількість фракцій;

– середньою крупністю шихтового матеріалу, яку визначають середньогармонічним діаметром:

$$d_{сеп} = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{\sum_{i=1}^N \frac{M_i}{d_i}} ; \quad (2)$$

– змінюванням газодинамічного опору стандартного шару матеріалів шихти до та після грудкування.

Перші два показники якості процесу грудкування є інтегральними характеристиками, які можуть бути розрахованими за відомим фракційним складом грудкованої шихти. В той же час газопроникність шару матеріалів шихти визначається як їх гранулометричним складом, так і вологістю. При цьому залежність газопроникності від кількості

вологи у шихті має екстремальний характер [1-3], тобто існує цілком певне значення вологості (для кожної конкретної умови), за яким газопроникність грудкованої шихти буде максимальною. Таке значення вологості шихти знаходиться у діапазоні 7,5... 9,5 %.

Як показали результати досліджень [3,4], оптимальний склад грудкованої шихти відповідає нижчепереліченим умовам: $q_{-3} \Rightarrow \min$;

$q_{3...10} \Rightarrow \max$; $q_{+10} \Rightarrow \min$ за $Q_{ср} = \text{const}$, де q_{-3} , $q_{3...10}$, q_{+10} – продуктивність барабанного грудкувача за фракціями -3 мм, 3...10 мм і +10 мм грудкованого матеріалу, т/год., відповідно; $Q_{ср}$ – продуктивність грудкувача, т/год.

Продуктивність грудкувача на фабриках з виробництва окатишів, а також агломераційних фабриках, визначається продуктивністю живильників-дозаторів, значення яких, у свою чергу, може бути прийнято постійним [4].

Окрім кількості зв'язувальної вологи у матеріалах шихти на хід процесу грудкування суттєво впливають фракційний і компонентний склад початкової шихти, а також технічні та технологічні параметри роботи барабанного грудкувача: його довжина, радіус, швидкість обертання, кут нахилу та ін. [5-9]. При цьому такими технологічними параметрами роботи грудкувача як швидкість його обертання та кут нахилу можна варіювати у деяких діапазонах значень. Отже, під час розглядання процесу грудкування з позиції управління зазначені параметри можуть бути взятими за діями (разом з витратою зволожуючої рідини, що подають до грудкувача), що управляють.

З усіх параметрів, що впливають на якість грудкування матеріалів шихти, безпосередньому контролю не піддається тільки фракційний склад шихти, яку подають до грудкувача. Виходячи з цього, процес грудкування з позиції управління може бути поданим системою, де збурюючими діями є коливання фракційного складу початкових

матеріалів шихти M_i . При цьому управління таким процесом здійснюють шляхом регулювання кількості зволожуючої рідини W , швидкості обертання n і кута нахилу α барабанного грудкувача. Варіювання значень параметрів, що управляють, є можливим у діапазонах: $W_{\min} \leq W \leq W_{\max}$; $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$; $\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$. Отже, управління процесом грудкування матеріалів шихти у барабанних грудкувачах доцільно виконувати із використанням даних щодо фракційного складу грудкованої шихти.

Нині накопичено значний досвід створення САР процесом грудкування, більшість з яких заснована на регулюванні подавання кількості зволожуючої рідини [4,10,11-16]. При цьому ціллю такого регулювання були або стабілізація кінцевої вологості шихти [10,12], або підтримання певного співвідношення «витрата шихти - витрата води» [10,16], або стабілізація гранулометричного складу грудкованої шихти [4,16]. Системи регулювання, що засновано на двох перших принципах, працюють ефективно у разі, коли не змінюються фізичні властивості матеріалів шихти. Недолік їх полягає у необхідності коригування значення оптимальної вологості під час змінювання фізичних властивостей матеріалів шихти. Зазначеного недоліку позбавлена САР вологості шихти, яку засновано на стабілізації гранулометричного складу грудкованої шихти [4].

Для САР зволоження шихти визначено статичну та динамічну характеристики процесу формування середнього діаметра гранул грудкованої шихти [11]:

$$\Delta \gamma = -\delta \cdot \Delta Q ; \quad (3)$$

$$W_d(p) = \frac{\delta \cdot \exp^{-p\tau}}{T_d \cdot p + 1} , \quad (4)$$

де $\Delta \gamma$ – відносне змінювання середнього радіуса гранул грудкованої шихти за заданим його значенням d_0 , $\Delta \gamma = \Delta d/d_0$; ΔQ – відносне змінювання кількості зволожувальної рідини, які подають на зволоження та грудкування шихти за заданим значенням її вологості W_0 , м³/год., $\Delta Q = \Delta Q_0/W_0$; δ – постійний коефіцієнт для розглядаемого грудкувача та складу грудкованої шихти, мм/м³/год.; T_d – постійна часу, яка визначається технологічними умовами формування гранулометричного складу шихти, с; τ – транспортне запізнювання від моменту дії щодо змінювання кількості зволожуючої рідини на грудкування до завершення формування гранулометричного складу шихти та фіксації величини середнього діаметра, с.

Недоліком такої системи є відсутність у ній урахування технологічних параметрів роботи самого грудкувача: його швидкості обертання та кута нахилу, що призводить до втрати якості управління.

Очевидно, що для усунення вказаного недоліка потрібно є система управління процесом грудкування, яка дозволяла б комплексно враховувати всі параметри, що управляють – вологість матеріалів шихти, швидкість обертання та кут нахилу грудкувача. Для вирішення такого завдання найбільш доцільним представляється використання САУ процесом грудкування, яка має дворівневу структуру. У такій системі на верхньому рівні визначають оптимальні значення параметрів, що управляють: W , n і α , за відповідним значенням початкового фракційного складу шихти M_i а на нижньому рівні здійснюють реалізацію та підтримання оптимальних параметрів, що управляють, значення яких визначено на верхньому рівні. Значення параметрів, що управляють, необхідно підтримувати до тих пір, поки не станеться змінювання фракційного складу початкової шихти M_i та не будуть знайденими нові значення оптимальних параметрів.

Для реалізації верхнього рівня необхідно виконувати вибирання й обґрунтування алгоритму оптимізації процесу. Завдання оптимізації полягатиме у пошуку за відомим початковим фракційним складом M_i значень параметрів, що управляють: W , n і α , за яких були б справедливими співвідношення:

$$M'_{-3} = f_1(M_i, W, n, \alpha) = M'_{-3}^{\min} ; \quad (5)$$

$$M'_{3..10} = f_2(M_i, W, n, \alpha) = M'_{3..10}^{\max} ; \quad (6)$$

$$M'_{+10} = f_3(M_i, W, n, \alpha) = M'_{+10}^{\min} \quad (7)$$

за наступних обмежень $M'_{-3} + M'_{3..10} + M'_{+10} = 100$;

$$W_{\min} \leq W \leq W_{\max} ; n_{\min} \leq n \leq n_{\max} ; \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max} .$$

Як відомо [1], барабанний грудкувач, в якому здійснюють процес грудкування матеріалів шихти, є статичним об'єктом. Для пошуку оптимального управління такими об'єктами застосовують методи математичного програмування [17-20]. Слід зазначити, що відомі алгоритми статичної оптимізації орієнтовано головним чином на певну структуру математичної моделі та допускають тільки її параметричну адаптацію. Проте постійність структури моделі об'єкту супроводжується втратою точності під час описування реального процесу, а, отже і погіршенням якості управління. Значно більшої гнучкості у питанні уточнення структури моделі мають методи розпізнавання образів.

Такі методи застосовують, в основному, для прогнозування ходу технологічного процесу, тобто пророкування параметрів, що характеризують процес, а також для віднесення очікуваного режиму до одного із задалегідь заданих класів – типових режимів [21]. Очевидно, що спільне використання методів оптимізації і методів розпізнавання дозволяє підвищити ефективність управління технологі-

де L_1, L_2 – кількість одержаних результатів розпізнавання суперечності першого та другого роду відповідно (суперечність першого роду – ситуації \bar{X}_j , які належать образу, але не розпізнаються за допомогою вже існуючої моделі, а суперечність другого роду – ситуації, які не належать образу, а розпізнаються як такі, що належать йому).

Таким чином, алгоритм статичної розпізнавальної оптимізації дозволяє вирішувати завдання оптимального управління технологічними процесами без залучення традиційної математичної постановки таких задач у вигляді цільової функції та обмежень. Предикатні логічні рівняння є всією математичною постановкою таких задач. Окрім того, є можливість перейти до описування об'єкту у факторному просторі більшої розмірності, необхідність чого може виникнути з появою технічних засобів контролю інших параметрів, які впливають на хід технологічного процесу.

Алгоритм статичної розпізнавальної оптимізації, що запропоновано у роботі [24], може бути покладеним до основи алгоритму управління, за реалізації верхнього рівня САУ процесом грудкування матеріалів шихти у барабанних грудкувачах.

Управління процесом грудкування залізрудних матеріалів у барабанних грудкувачах полягає у вибиранні та реалізації на технологічному об'єкті оптимальних значень параметрів, що управляють, до яких відносять міру зволоження шихти, швидкість обертання та кут нахилу барабанного грудкувача. Для вирішення цього завдання необхідно реалізувати ефективний алгоритм управління. Розробка САУ процесу грудкування матеріалів шихти повинна включати синтез та аналіз декількох варіантів алгоритмів, що управляють, з яких необхідно вибрати найкращий за відповідним критерієм ефективності [27]. При цьому дослідження систем управління, що розробляються, здійснюються за допомогою аналітичних, експериментальних та обчислювальних методів [28].

Очевидно, що дослідження системи управління процесом грудкування, заснованої на використанні методів навчання та розпізнавання, є практично неможливим аналітичними методами. Використання експериментальних методів для даних задач також не може бути ефективним через значні часові та матеріальні витрати, що виникають під час досліджень.

Найбільш прийнятним для дворівневої системи управління процесом грудкування матеріалів шихти є обчислювальні методи, засновані на

побудові моделі системи управління та вивченні її на ЕОМ методом статистичних випробувань [28]. Цей метод є своєрідним обчислювальним експериментом. Суть роботи моделі системи управління полягає у наступному. Генератор збурень формує значення відсоткового вмісту фракцій початкових матеріалів шихти M_i . У блоці пошуку оптимальних управлінь за наявними значеннями збурюючих дій з використанням алгоритму управління визначають оптимальні значення параметрів, що управляють діями W, n і α . Значення зазначених параметрів поступають до моделі технологічного процесу, де з використанням залежностей $M'_i = f(M_i, W, n, \alpha)$ визначають фракційний склад грудкованої шихти M'_i .

Застосування такої імітації системи управління пов'язано з вирішенням низки методологічних проблем:

- проблеми аналізу технологічного процесу та складання його формального описування, тобто виявлення структури системи, ідентифікації її компонентів, розробки моделі процесу, адаптованої до використання в обчислювальних експериментах;

- проблеми статистичного моделювання на ЕОМ, тобто аналізу статистичних закономірностей випадкових функцій, одержання псевдовипадкових чисел, розробки числових моделей випадкових функцій, що імітують на ЕОМ реальні випадкові процеси, а також статистичної обробки результатів;

- виконання власне імітаційного експерименту для дослідження ефективності системи управління та визначення вимог, які пред'являють до обчислювальних засобів для успішного функціонування синтезованого алгоритму управління на реальному об'єкті.

Під час досліджень дворівневої системи управління процесом грудкування матеріалів шихти у барабанних грудкувачах конкретним вирішенням зазначених проблем є розробка пакету моделюючих програм, які дозволяють виконувати розрахунок стаціонарних режимів, що виникають у процесі грудкування початкової шихти за змінюванням параметрів роботи барабанного грудкувача, а також міри зволоження матеріалів шихти та початкового фракційного складу.

Висновки. Встановлено, що одним із шляхів підвищення ефективності управління процесом грудкування шихтових матеріалів, є використання систем з дворівневою структурою, які забезпечують визначення значень оптимальних

управління за відомими збуреннями та їх стабілізацію з комплексним урахуванням впливу на хід процесу головних управляючих параметрів: вологи шихти, швидкості обертання та кута нахилу барабанного грудкувача. Виявлено, що для дослідження систем управління процесом грудкування шихтових матеріалів, яких розробля-

ють, найбільше підходять обчислювальні методи, котрі засновано на побудові моделі системи управління та вивченні її на ЕОМ методом статистичних випробувань. При цьому для обчислювального експеримента необхідна наявність імітаційної моделі самого технологічного процесу.

Бібліографічний список

1. **Ищенко, А. Д.** Статические и динамические свойства агломерационного процесса [Текст] / А. Д. Ищенко. – М. : Metallurgiya, 1972. – 320 с.
2. **Базилевич, С. В.** Агломерация [Текст] / С. В. Базилевич, Е. Ф. Вегман. – М. : Metallurgiya, 1967. – 368 с.
3. **Пазюк, М. Ю.** Влияние качества подготовки шихты на прочность агломерата [Текст] / М. Ю. Пазюк, В. Н. Погорелов, В. И. Гранковский // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1985 – № 4. – С. 21-24.
4. **Гранковский, В. И.** Управление агломерационным процессом [Текст] / В. И. Гранковский, М. Ю. Пазюк, В. А. Сыромьяский. – Киев : Техника, 1988. – 145 с. – ISBN 5-335-00082-1.
5. **Гранковский, В. И.** Исследование влияния физических свойств шихты на начальный период окомкования [Текст] / В. И. Гранковский, М. Ю. Пазюк, А. Н. Николаенко, П. А. Половой // Материалы научно-техн. конф. «Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке. – Днепропетровск : ДМетИ, 1980. – С. 40-41.
6. **Гранковский, В. И.** Исследование работы барабанного грудкувача [Текст] / В. И. Гранковский, Ю. М. Зинченко, М. Ю. Пазюк, А. Н. Николаенко // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1979. – № 12. – С. 12-15.
7. **Коротич, В. И.** Теоретические основы окомкования железорудных материалов [Текст] / В. И. Коротич. – М. : Metallurgiya, 1986. – 150 с.
8. **Гранковский В. И.** Выбор рациональных параметров цилиндрического грудкувача [Текст] / В. И. Гранковский, М. Ю. Пазюк // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 10. – С. 30-33.
9. **Базилевич, С. В.** Производство агломерата и окатышей [Текст] / С. В. Базилевич, А. Г. Астахов, Г. М. Майзель; справочник. – М. : Metallurgiya, 1984. – 216 с.
10. **Глишков, Г. М.** Контроль и автоматизация металлургических процессов [Текст] / Г. М. Глишков, А. И. Косарев, Е. К. Шевцов; учебник. – М. : Metallurgiya, 1989. – 352 с.
11. **Зинченко, Ю. М.** САУ окомкованием агломерационной шихты [Текст] / Ю. М. Зинченко, М. Ю. Пазюк // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1986. – № 4. – С. 119-121.
12. **Глишков, Г. М.** АСУ ТП в агломерационных и сталеплавильных цехах [Текст] / Г. М. Глишков, В. А. Маковский. – М. : Metallurgiya, 1981. – 360 с.
13. **Глишков, Г. М.** Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов [Текст] / Г. М. Глишков, В. А. Маковский, С. Л. Лотман; учеб. пособие. – М. : Metallurgiya, 1970. – 412 с.
14. **Гончаров, Ю. Г.** Автоматизация процессов окускования железных руд [Текст] / Ю. Г. Гончаров, А. В. Дримбо, А. Д. Ищенко. – М. : Metallurgiya, 1983. – 189 с.
15. **Федоровский, Н. В.** Автоматизация фабрик окускования железных руд и концентратов [Текст] / Н. В. Федоровский, В. В. Деньшин, В. И. Губанов, Р. И. Сигуа ; под ред Н. В. Федоровского. – М. : Metallurgiya, 1986. – 206 с.
16. **Федоровский, Н. В.** Агломерация железных руд [Текст] / Н. В. Федоровский, Д. И. Шанидзе; справочник. – Киев : Техника, 1991. – 142 с.
17. **Бахвалов, Н. С.** Численные методы [Текст] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, К. М. Кобельков; учеб. пособие. – М. : Наука, 1987. – 598 с.
18. **Зингвилл, У. И.** Нелинейное программирование [Текст] / У. И. Зингвилл. – М. : Советское радио, 1973. – 314 с.
19. **Моисеев, Н. Н.** Методы оптимизации [Текст] / Н. Н. Моисеев, Ю. П. Иванилов, Е. Н. Столярова; учеб. пособие. – М. : Наука, 1978. – 351 с.
20. **Поллак, Э.** Численные методы оптимизации [Текст] / Э. Поллак. – М. : Мир, 1984. – 315 с.
21. **Горелик, А. Л.** Методы распознавания [Текст] / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин; учеб. пособие. – 2-е изд. перераб. – М. : Высшая школа, 1984. – 208 с.
22. **Момот, В. Е.** Комбинированная статистическая модель технологического цикла обогатительной фабрики [Текст] / В. Е. Момот, И. Б. Сироджа, В. П. Хорольский // Известия Вузов. Горный журнал. – 1977. – № 7. – С. 161-167.
23. **Сироджа, И. Б.** Идентификация динамических объектов с использованием R-функций [Текст] / И. Б. Сироджа, В. И. Салыга // Известия Вузов КазССР. – 1972. – № 3. – С. 51-62.

24. **Качан, Ю. Г.** Распознающие алгоритмы статической оптимизации нелинейных объектов [Текст] / Ю. Г. Качан. – Днепропетровский горный институт. – Днепропетровск, 1983. – 6 с. – Деп. в УкрНИИТИ. – № 408. – Ук-83 Деп.
25. **Персиц, В. З.** Измерение и контроль технологических параметров на обогатительных фабриках [Текст] / В. З. Персиц. – М. : Недра, 1982. – 191 с.
26. **Качан, Ю. Г.** Адаптация образа в алгоритме распознавания производственных ситуаций [Текст] / Ю. Г. Качан // Механизация и автоматизация. – 1984. – № 1. – С. 15-17.
27. **Скурихин, В. И.** АСУ ТП. Предпроектная разработка алгоритмов управления [Текст] / В. И. Скурихин, В. В. Дубровский, В. Б. Шифрин. ; под ред. В. И. Скурихина. – Киев : Наукова думка, 1981. – 283 с.
28. **Скурихин, В. И.** Имитационное испытание алгоритмов управления как этап автоматизированного проектирования АСУ ТП [Текст] / В. И. Скурихин, В. В. Дубровский, В. Б. Шифрин // Имитационное моделирование производственных процессов. – Новосибирск : ИЭ и ОПП СО АН СССР, 1979. – С. 6-11.

ПАЗЮК МИХАИЛ ЮРЬЕВИЧ, доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: yuriy.m.pazyuk@gmail.com

РЕНГЕВИЧ ОЛЕГ ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: oren72@mail.ru

ОВЧИННИКОВА ИРИНА АНАТОЛЬЕВНА, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации производственных процессов, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: iaov@rambler.ru

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОКОМКОВАНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННЫХ ОКОМКОВАТЕЛЯХ

Выполнен анализ известных систем автоматического регулирования процесса окомкования шихтовых материалов в барабанных окомкователях, а также применимости методов статистической оптимизации для управления указанным процессом. Описаны методологические особенности вычислительных исследований процесса окомкования с позиции управления.

Ключевые слова: шихтовые материалы, процесс окомкования, барабанный окомкователь, системы регулирования, методы статистической оптимизации, управление

PAZYUK MICHAEL, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Automation of Flow Processes, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). yuriy.m.pazyuk@gmail.com

RENGEVICH OLEG, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Automation of Flow Processes, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: oren72@mail.ru

OVCHINNIKONA IRINA, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Automation of Flow Processes, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhia, Ukraine). E-mail: iaov@rambler.ru

ANALYSIS OF THE STATE CONTROL BY BALLING PROCESS FOR SURDENING MATERIALS IN DRUM PELLETIZERS

The analysis of the known systems of automatic regulation by balling process for surdening in drum pelletizers, and also applicability of methods statistical optimization for control of mentioned process. The methodological features of calculable researches of balling process from position control are described.

Keywords: burdening materials, balling process, drum pelletizer, adjusting systems, methods of statistical optimization, control

Стаття надійшла до редакції 19.01.2017 р.
Рецензент, проф. А.М. Ніколаєнко

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>