

УДК 669.162.1:622.785

DOI:10.26661/2071-3789-2019-1-41-02

Пазюк Михайло Юрійович, завідувач кафедри, доктор технічних наук**Овчинникова Ірина Анатоліївна**, доцент, кандидат технічних наук**Ренгевич Олег Володимирович**, доцент, кандидат технічних наук**Мних Антон Сергійович**, професор, доктор технічних наук**Міняйло Наталія Олександрівна**, доцент, кандидат технічних наук

ОЦІНКА ПРАКТИЧНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ГРУДКУВАННЯ ШИХТОВИХ МАТЕРІАЛІВ У БАРАБАНИХ ГРУДКУВАЧАХ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РОЗПІЗНАВАННЯ

Запорізька державна інженерна академія

Використання методу розпізнавальної оптимізації в алгоритмі управління верхнім рівнем систем автоматичного управління процесом грудкування шихтових матеріалів у барабанних грудкувачах дозволяє збільшувати кількість інформаційних каналів з метою вдосконалення засобів вимірювання та контролю параметрів процесу. Виконано оцінку практичного функціонування запропонованої системи управління процесом грудкування шихтових матеріалів.

Ключові слова: шихтові матеріали, процес грудкування, барабанний грудкувач, метод розпізнавальної оптимізації, система управління, оцінка її реалізованості

Вступ. Головним завданням системи автоматичного управління (САУ) процесом грудкування шихтових матеріалів є одержання максимально можливої кількості кондиційної фракції M'_{3-10} для умов поточного гранулометричного складу шихти, що поступає до грудкувача. Таке завдання може бути вирішено шляхом оперативного регулювання кількості зволожуючої рідини W , а також параметрів роботи самого грудкувача – його швидкості обертання n і кута нахилу α . Конкретні значення параметрів, якими управляють, визначаються за допомогою алгоритму розпізнавальної оптимізації.

Коливання гранулометричного складу початкової шихти було одержано за умов агломераційної фабрики ВАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» [1-3]. Очевидно, що випадкові послідовності M_{-3} , M_{3-10} і M_{+10} є нестационарними, що дозволяє прийняти гіпотезу про статистичну незалежність спостережень і відсутність дрейфу.

На барабанних грудкувачах агломераційної фабрики зазначеного підприємства діє система автоматичного регулювання зволоження шихтових матеріалів (САР) [4], яка заснована на фотометричному способі контролю міри грудкування таких матеріалів за змінюванням її вологості. При цьому технологічні параметри роботи грудкувача складають: кут нахилу – 2° ; швидкість обертання – 8 хв^{-1} ; середня продуктивність – 153 т/год . [5]. У табл. 1 подано результати змінювання фракції 3-10 мм для цієї САР і резуль-

тати розрахунків величини M'_{3-10} для САУ процесом грудкування, що реалізовано за методом розпізнавальної оптимізації [6-8].

Таблиця 1 – Результати вимірювання й обчислень значення фракції M'_{3-10}

Номер досвіду	M'_{3-10} для діючої САР	M'_{3-10} для розробленої САУ
1	32,1	42,8
2	35,6	43,6
3	35,9	43,5
4	40,2	42,3
5	36,3	43,1
6	37,8	43,7
7	36,0	42,4
8	32,1	43,1
9	29,9	42,9
10	32,0	42,9
11	38,4	43,7
12	32,0	43,4
M'_{3-10}	34,9	43,1
σ	3,04	0,46

Визначають довірчий інтервал для кожної системи – діапазон значень $|\bar{M}'_{3-10} - \varepsilon; \bar{M}'_{3-10} + \varepsilon|$, до якого потрапляє випадкова величина M'_{3-10} з ймовірністю 0,95. Результати розрахунків наведено у табл. 2.

Як впливає з одержаних результатів, діапазон розкиду значень параметра M'_{3-10} для діючої системи регулювання вологості є набагато більшим, ніж для синтезованої системи управління. Окрім того, результати вимірювання кількості фракції -3 мм у шихті, що є грудкованою, для

діючої САР показали, що середнє значення $M_{-3}^{\text{мі}}$ складає 52,8 % [5]. Результати розрахунків на імітаційній моделі процесу грудкування з використанням розробленої САУ зафіксували значення $M_{-3}^{\text{мі}} = 47,6$ %, тобто наявність різниці цих величин вказує на скорочення кількості фракції -3 мм у шихтових матеріалах.

Таблиця 2 – Результати розрахунків довірчого інтервалу

Параметр	Чисельне значення:	
	для діючої САР	для розробленої САУ
Дисперсія випадкової величини	3,04	0,46
Гранична погрішність	2,96	0,45
Довірчий інтервал:		
$\bar{M}'_{3-10} - \varepsilon$	31,94	42,65
$\bar{M}'_{3-10} + \varepsilon$	37,86	43,55

Постановка завдання. Виконати оцінку практичного функціонування САУ процесом грудкування шихтових матеріалів у барабанному грудкувачеві з використанням методу розпізнавальної оптимізації.

Головна частина досліджень. Як відомо [9], точність методу розпізнавальної оптимізації визначається кроком перебору параметрів, що впливають на процес. При цьому чим меншою є його значення, тим більше адекватно відображається реальна технологічна ситуація у логіко-предикатній моделі об'єкту. У разі використання алгоритму розпізнавальної оптимізації в САУ процесом грудкування точність визначення величини оптимального управління визначатиметься похибкою приладів, що вимірюють гранулометричний склад шихтових матеріалів, оскільки регулювання інших параметрів (швидкості обертання та кута нахилу барабанного грудкувача) здійснюється дискретно, виходячи з конкретних технологічних умов виробництва та технічних характеристик грудкувача, а похибка вимірювання сучасних СВЧ-вологомірів є малою [10,11]. Отже, виникає задача пошуку похибки ΔM вимірювання гранулометричного складу шихтових матеріалів, яка, з одного боку, задовольняє вимогам точності управління процесом грудкування, а, з іншого боку, фізично реалізується у вигляді конкретного вимірювального пристрою.

Очевидно, що для вирішення такої задачі потрібним є критерій, за яким можна було б оцінювати ефективність розробленої системи управління за різних значень ΔM . Критерій, який

використовували під час розробки математичної моделі [6] K_1 має вигляд:

$$K_1 = \frac{\left(\frac{2}{\tau_p} + K_{2\Sigma} \right) \cdot \left(\frac{100K_{1\Sigma}}{K_{1\Sigma} + K_{2\Sigma}} - M_{3-10} - M_{+10} \right)}{M_{-3} - \frac{100K_{2\Sigma}}{K_{1\Sigma} + K_{2\Sigma}}}, \quad (1)$$

який характеризує кількість кондиційної фракції, що входить до складу грудкованої шихти, є малоефективним через свою неінформативність. Тому доцільно за необхідний критерій вибрати значення дисперсії, що дорівнює квадрату різниці поточного значення M'_{3-10} та максимально-го значення M_{3-10}^{max} :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^k [M'_{3-10} - M_{3-10}^{\text{max}}]^2}{k}, \quad (2)$$

де k – кількість елементів вибірки.

Значення M_{3-10}^{max} можна знайти для математичної моделі (1) за допомогою методу спуску за координатою [12]. Результати розрахунків показали, що для умов барабанного грудкувача агломераційної машини № 1 ВАР «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» значення величини M_{3-10}^{max} становить 44,36 % (за параметрів процесу $M_{-3} = 73,88$ %; $M_{3-10} = 20,28$ %; $M_{+10} = 5,84$ %; $W = 8,22$ %; $n = 9$ хв⁻¹; $\alpha = 1^\circ$).

Урахування впливу величини ΔM на вибраний критерій S^2 виконували в обчислювальному модулі, реалізованому на ЕОМ, блок-схема якого наведено у роботі [6]. Вибірання значень $M_i^{\text{доп.мі}}$ виконують за формулою:

$$M_i^{\text{доп.мі}} = \frac{\Delta M}{3} \cdot [X_{0,1-0,5}] + M_i, \quad (3)$$

де $X_{0,1-0,5}$ – нормована нормально розподілена випадкова величина.

Далі здійснюють коригування значень $M_{-3}^{\text{мі}}$, $M_{3-10}^{\text{мі}}$ і $M_{+10}^{\text{мі}}$, які направляють безпосередньо до алгоритму розпізнавальної оптимізації, що видає вектор оптимальних управлінь інтервал $M'_{3-10}^p - M'_{3-10}^{\text{max}}$, $p = 1, \dots, m$, що характеризує p -й образ, котрому відповідає комбінація значень поточних збурень $M_i^{\text{мі}}$ і обчислених оптимальних управлінь. У блоці вибірання значень збурень M'_{3-10} з інтервалу $M'_{3-10}^p - M'_{3-10}^{\text{max}}$ визначають нормально розподілене випадкове число:

$$M'_{3-10} = \frac{\Delta M}{3} \cdot [X_{0,1-0,5}] + M_i +$$

$$+ \frac{M'_{3-10 \min}^p - M'_{3-10 \max}^p}{2}. \quad (4)$$

На ЕОМ виконано серію дослідів для кожного з шести значень похибки вимірювання ΔM : 1, 2, 3, 4, 5 і 6 %. Одночасно для забезпечення необхідної точності експерименту значення фракційного складу початкової шихти поступає на всі обчислювальні модулі, що дозволяє уникнути можливих статистичних помилок під час виконання експерименту.

У табл. 3 подано результати розрахунків значень середньоквадратичного відхилення S^2 залежно від кроку дискретизації ΔM під час виконання серії обчислень.

Таблиця 3 – Залежність величини середньоквадратичного відхилення S^2 від похибки вимірювання гранулометричного складу ΔM

ΔM	1	2	3	4	5	6
S^2	4,24	4,54	5,40	7,56	11,64	18,85

Визначення значення точності, що характеризує достатню якість управління, здійснювали з використанням критерію Фішера [13]. За рівня значущості 0,95 для серії виконаних обчислень значення цього критерію не повинно перевищувати 1,39. Як менше значення середньоквадратичного відхилення вибрали величину S^2 за $\Delta M = 1$ %.

Встановлено, що за $\Delta M = 2$ % значення критерію Фішера становить $F = 1,07$ %, за $\Delta M = 3$ %

Таблиця 4 – Перелік і кількість команд, що реалізують алгоритм розпізнавальної оптимізації

Команда	Перший етап оптимізації			Другий етап оптимізації		
	кількість в одному циклі	максимальне число циклів	загальна кількість	кількість в одному циклі	максимальне число циклів	загальна кількість
запис	13	8	104	34	1840	62560
читання	12	8	96	38	1840	69920
порівняння	6	8	48	7	1840	12880
складання				9	1840	16560
віднімання				13	1840	23920
множення				52	1840	95680
ділення				12	1840	22080
округлення				10	1840	18400

Таблиця 5 – Час виконання команд для мікропроцесора KM1810BM86

Команда	Час виконання, мкс
запис, читання, порівняння	1
складання, віднімання	2
множення	30
ділення	40
Округлення до найближчого більшого цілого	10

складає 1,27 %, але за $\Delta M = 4$ % – досягає $F = 1,78$ %, тобто різко знижується якість управління процесом грудкування. Отже, компромісним значенням величини ΔM , яке, з одного боку, задовольняє вимогам необхідної якості управління процесом грудкування, а, з іншого, характеризує відносну похибку реального вимірювального приладу [14-16] буде величина 3 %.

Під час використання методу розпізнавальної оптимізації в системі управління процесом грудкування шихтових матеріалів весь обсяг факторного простору, де функціонує досліджуваний об'єкт (грудкувач), подають у вигляді логічної суми елементарних підобластей, кожна з яких може бути описаною предикатним рівнянням, яке характеризується дванадцятьма дійсними числами $M_{-3\min}$, $M_{-3\max}$, $M_{3\ldots 10\min}$, $M_{3\ldots 10\max}$, $M_{+10\min}$, $M_{+10\max}$, $W_{\min}$, $W_{\max}$, $n_{\min}$, $n_{\max}$, $\alpha_{\min}$, $\alpha_{\max}$. Всі технологічні ситуації можна поділити на вісім класів і вся математична модель управління після скорочення кількості підобластей і кодування може суттєво зменшитися. В табл. 4 подано перелік та орієнтовну кількість команд для ЕОМ, що необхідно для реалізації розробленого алгоритму. У табл. 5 наведено час виконання команд для обчислювальних систем, побудованих на мікропроцесорі KM1810BM86 [17,18].

Такий мікропроцесор має швидкодію до $1,66 \cdot 10^6$ операцій за секунду (за тактової частоти 5,0 МГц) і забезпечує можливість прямої адресації пам'яті місткістю до 1,0 Мбайт. Результати розрахунків показали, що для процесора зазначеного типу максимальний час пошуку оптимального управління не перевищує 4,03 с, що свідчить про високу швидкодію алгоритму розпізнавальної оптимізації та вказує на ефективність

застосування такого методу в системі автоматичного управління процесом грудкування шихтових матеріалів. Таким чином, реалізація САУ процесом грудкування, для якої у верхньому рівні використовують метод розпізнавальної оптимізації, можлива на будь-якому мікро- та мініЕОМ, об'єм пам'яті якої складає не менше 220 Кбайт з тактовою частотою не нижче ніж 5,0 МГц.

Висновки.

1. Застосування розробленої системи для управління процесом грудкування шихтових матеріалів у барабанному грудкувачеві дозволяє понизити кількість фракції -3 мм у шихтових матеріалах на 5,2 %.

2. Ефективність управління зазначеною системою залежить від значення похибки вимірювання гранулометричного складу ΔM . Рекомендоване значення ΔM , що задовольняє умовам необхідної точності управління процесом за наявності реально-існуючого вимірювального приладу, становить 3,0 %.

3. Для управління процесом грудкування шихтових матеріалів за умов агломераційної машини № 1 ПАО «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» можна використовувати будь-яку мікроЕОМ з об'ємом пам'яті ОЗУ не менше ніж 220 Кбайт і тактовою частотою не нижче ніж 5,0 МГц.

Бібліографічний перелік

1. Гранковский, В. И. Исследование работы барабанного окомкователя [Текст] / В. И. Гранковский, Ю. М. Зинченко, М. Ю. Пазюк, А. Н. Николаенко // Известия вузов. Черная металлургия. – 1979. – № 12. – С. 12-15.
2. 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.
3. 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 // Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке. – Днепропетровск : ДМетИ, 1980. – С. 40-41.
4. Быткин, В. Н. Повышение качества агломерата [Текст] / В. Н. Быткин, Б. А. Станишевский, Н. И. Бутенко, В. И. Болгов. – Киев : Проминь, 1973. – 52 с.
5. Пазюк, М. Ю. Совершенствование процесса подготовки агломерационной шихты к спеканию в повышенном слое: Дисс. кандидата техн. наук: 05.12.02. – М. : 1982. – 174 с.
6. Ренгевич, О. В. Розробка імітаційної моделі й оцінка практичної реалізованості САУ процесом грудкування шихтових матеріалів у барабанних грудкувачах [Текст] / О. В. Ренгевич, І. А. Овчинникова, С. О. Шумикін // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2018. – Вип. (2) 38. – С. 5-13.
7. Пазюк, М. Ю. Ідентифікація збурювальних дій процесу грудкування шихтових залізрудних матеріалів у барабанних грудкувачах і розробка їх цифрових моделей [Текст] / М. Ю. Пазюк, І. А. Овчинникова, О. В. Ренгевич, С. О. Шумикін // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2018. – Вип. (1) 39. – С. 26-33.
8. Пазюк, М. Ю. Розробка алгоритму системи управління процесом грудкування залізрудних матеріалів у барабанних грудкувачах на основі методу розпізнавання [Текст] / М. Ю. Пазюк, О. В. Ренгевич, І. А. Овчинникова, В. В. Довгаль // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2018. – Вип. (2) 40. – С. 10-17.
9. Качан, Ю. Г. Распознающие алгоритмы статистической оптимизации нелинейных объектов [Текст] / Ю. Г. Качан. – Днепропетровск, 1983. – 6 с. – Деп. в УкрНИИТИ. – № 408. – Ук 83Деп.
10. Бензарь, В. К. Техника СВЧ-влажнометрии [Текст] / В. К. Бензарь. – Минск : Высшая школа, 1974. – 352 с.
11. Сыромьяский В. А. Измеритель влажности агломерационной шихты [Текст] / В. А. Сыромьяский, В. И. Гранковский, М. Ю. Пазюк // Черная металлургия. – 1979. – Вып. 5. – С. 45-46.
12. Глишков, Г. М. АСУ ТП в агломерационных и сталеплавильных цехах [Текст] / Г. М. Глишков, В. А. Маковский. – М. : Металлургия, 1981. – 360 с.
13. Румшинский, Л. З. Математическая обработка результатов экспериментов [Текст] / Л. З. Румшинский. – М. : Наука, 1971. – 192 с.
14. Персиц, В. З. Измерение и контроль технологических параметров на обогатительных фабриках [Текст] / В. З. Персиц. – М. : Недра, 1982. – 191 с.
15. Глишков, Г. М. Проектирование систем контроля и автоматического регулирования металлургических процессов [Текст] / Г. М. Глишков, В. А. Маковский, С. Л. Лотман, М. Р. Шамировский ; под ред. Г. М. Глишкова. – М. : Металлургия, 1986. – 352 с.
16. Гончаров, Ю. Г. Автоматизация процессов окучивания железных руд [Текст] / Ю. Г. Гончаров, А. В. Дримбо, А. Д. Ищенко. – М. : Металлургия, 1983. – 190 с.

17. **Горбунов, В. Л.** Справочное пособие по микропроцессорам и микроЭВМ [Текст] / В. Л. Горбунов, Д. И. Панфилов, Д. И. Преснухин. – М. : Высшая школа, 1988. – 273 с.
18. **Микропроцессорный комплект К1810** : Структура, программирование, применение [Текст] / сост. Ю. М. Филиппов ; под ред. Ю. М. Казаринова. – М. : Высшая школа, 1990. – 269 с.

Пазюк Михаил Юрьевич, доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизированного управления технологическими процессами, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail : kafedra_autp@ukr.net

Овчинникова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированного управления технологическими процессами, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: iaov@rambler.ru

Ренгевич Олег Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированного управления технологическими процессами, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: oren@mail.ru

Мных Антон Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированного управления технологическими процессами, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: mnikh.anton@gmail.com

Миняйло Наталья Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированного управления технологическими процессами, Запорожская государственная инженерная академия (Украина, Запорожье). E-mail: minaylo_n_o@ukr.net

ОЦЕНКА ПРАКТИЧЕСКОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОКОМКОВАНИЯ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В БАРАБАННЫХ ОКОМКОВАТЕЛЯХ НА ОСНОВЕ МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ

Использование метода распознающей оптимизации в алгоритме управления верхним уровнем системы управления процессом окомкования шихтовых материалов позволяет увеличить количество информационных каналов по мере совершенствования средств измерения и контроля параметров процесса. Выполнена оценка практического функционирования предложенной системы управления процессом окомкования шихтовых материалов.

Ключевые слова: шихтовые материалы, процесс окомкования, барабанный окомкователь, метод распознающей оптимизации, система управления, оценка ее реализации

Pazyuk Mikhail, doctor of technical sciences, Head of the Department of the Automated Control by Technological Processes, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: kafedra_autp@ukr.net

Ovchinnikova Irene, candidate of technical sciences, Associate Professor of Department of the Automated Control by Technological Processes, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: iaov@rambler.ru

Rengevich Oleg, candidate of technical sciences, Associate Professor of Department of the Automated Control by Technological Processes, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: oren@mail.ru

Mnykh Anton, doctor of technical sciences, Professor of Department of the Automated Control by Technological Processes, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: mnikh.anton@gmail.com

Minyailo Natalia, candidate of technical sciences, Associate Professor of Department of the Automated Control by Technological Processes, Zaporizhzhia State Engineering Academy (Ukraine, Zaporizhzhia). E-mail: minaylo_n_o@ukr.net

AN ESTIMATION OF PRACTICAL FUNCTIONING FOR CONTROL SYSTEM IN PELLETIZING PROCESS OF CHARGE MATERIALS IN DRUM PELLETIZERS ON BASE OF RECOGNITION METHOD

The use of method of recognizing optimization in the algorithm of control the top level of control system allows to increase the quantity of informative channels as far as perfection of facilities of measuring and control of parameters of process. The estimation of the practical functioning of offered control system by the pelletizing process of charge materials in drum pelletizers is carried out. The main task of the system of automatic control (CAC) the process of pillet sinter of charge is a receipt of maximally possible quantity of standard faction for the terms of current grain-size distribution of charge which enters pelletizer. Such task can be decided by the operative adjusting of quantity of moistening liquid, and also parameters of work of pelletizer - his rate of rotation and angle of slope. Exactness of method of recognizable optimization is determined by the step of surplus of parameters which influence on a process. Thus than less is its value, the more so the real technological situation is adequately represented in the logical-predicative model of object. In the case of the use of algorithm of identification optimization in CAC by the process of sintering exactness of determination of size of optimal control will be determined by the error of devices which measure grain-size distribu-

tion of materials of charge., there is a task of search of error of measuring of grain-size distribution of materials of charge, which, from one side, suits exactness of process of pellet sinter control, and, on the other hand, physically realized as a concrete measuring device. During the use of method of identification optimization in control system by the process of sintering of charge materials all volume of factor space, where the investigated object (pelletizer) functions, give as a logical sum of elementary subareas. Application of the worked out system for process of sintering of materials of charge control in a drum pelletizer allows to reduce the quantity of faction - 3 mm in materials of charge on 5,2 %. For process of sintering of materials of charge control on conditions of sintering machine № 1 the "Metallurgical combine of "Zaporozhstal" can be used any microcomputer with the volume of memory not less than 220 Kb and by a clock rate not below, than 5.0 MHz.

Keywords: charge materials, pelletizing process, drum pelletizer, method of recognizing optimization, control system, estimation of its realization

Стаття надійшла до редакції 09.01.2019 р.
Рецензент, проф. А.М. Ніколаєнко