

6. Электрооборудование сельскохозияйских предприятий: учеб. пособие /В.А Дайнеко, А.И.Ковалинский. — Минск: Новое знание, 2008. — 320с.:ил. — (Техническое образование).
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в бреде MATLAB fuzzyTECH. — СПб.:БХВ-Петербург, 2005ю – 736 с.
8. Тэрано Т., Прикладные нечеткие системы: пер. с япон./ К.Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др.; под редакцией Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
9. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: «Радиаматор», 2008. 972с.
10. Абрамов А.А., Леонов С.Б. Обогащение руд цветных металлов Учеб. для вузов. - М: Недра, 1991. - 407 с

Рукопис подано до редакції 18.04.16

УДК 681.51: 622.788

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., М.В. НЕСКОРОМНА, магістрант,
Криворізький національний університет

СИНТЕЗ МОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВИПАЛУ ОБКОТИШІВ У КОНВЕЄРНІЙ ПЕЧІ ФАБРИКИ ОГРУДКУВАННЯ

Обґрунтовано наукову та практичну задачу використання багатомірної системи керування технологічним процесом випалу обкотишів у конвеєрній печі. Багатомірна математична модель враховує: висоту шару обкотишів, стабілізацію тиску газу, витрат газу в зоні сушки, регулювання температури та тиску в горні зони підігріву, стабілізацію витрат повітря в зоні охолодження, регулювання температури повітря та інші технологічні параметри. Для забезпечення оптимального режиму випалу обкотишів запропоновано використати систему автоматичного керування на основі модального регулятора. Проведено моделювання процесу випалу обкотишів у конвеєрній печі фабрики огрудкування за допомогою SIMULINK програмного пакету MATLAB. Виконано синтез модального регулятора для цієї моделі. В результаті моделювання багатомірної системи автоматичного керування при використанні модального регулятора встановлено, що максимальна тривалість перехідного процесу складає 120 с витрат повітря в зоні сушки 1а мінімальна – секунду, при регулюванні висоти шару обкотишів.

Ключові слова: конвеєрна піч, випал обкотишів, багатомірна модель об'єкту, матриця, моделювання, перехідний процес

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Для випалу окатишів використовують випалювальні машини декількох типів, що розрізняються видом використовуваного палива, розташуванням пальників, способами спалювання палива і рекуперації тепла, тощо. Температурний режим випалу на стрічці легко регулюється кількістю газу в зонах сушіння і підігріву, зміною температури в зоні випалу, а також підвищенням тиску повітря в зоні охолодження. Як і для більшості технологічних процесів гірничо-збагачувальних комбінатів, так і для процесу температурної обробки обкотишів в конвеєрній випалювальній машині, достатньо складно отримати адекватну математичну модель. Зважаючи на нестационарність об'єкта системи з типовими ПД-регуляторами з постійними коефіцієнтами в цілому не задовольняють вимоги до точності та швидкодії керування температурним режимом. Це пов'язано з багатомірністю та стохастичними властивостями об'єктів керування, не стаціонарністю, наявністю великих часових запізень, неможливістю безперервного контролю окремих технологічних показників [1,2]. Тому для вирішення цієї проблеми є актуальним використання багатомірної математичної моделі з модальним регулятором.

Аналіз досліджень і публікацій. На сьогоднішній день активно проводяться дослідження в області створення ефективних методів та засобів, що дозволять вирішити дану проблему. Так в роботі [3] досліджується інверсні моделі нейроконтролера для системи інверсного управління технологічним процесом, а в іншій [4] - використовується нечіткі регулятори для керування технологічним процесом випалу обкотишів. Для моделювання розподілу температур у шарі обкотишів використано числові методи та метод кінцевих елементів, відповідно до якого виконано декомпозицію, тобто розбиття досліджуваної ділянки шару обкотишів на елементарні мінімальні блоки кубічної форми, що надає можливість змодельовати процеси теплообміну всередині шару обкотишів[5-7]. Розроблені принципи керування температурним режимом процесу випалювання обкотишів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей надані в літературі [8-13].

У статті [11] обговорюється методика синтезу регуляторів для багатовимірних оборотних лінійних динамічних об'єктів. В основі застосовуваного підходу до вирішення завдання синтезу лежить навмисне формування різнометрових процесів в замкнутій системі, де стійкість швидких процесів забезпечується вибором параметрів регулятора, а формуються повільні процеси відповідають заданим еталонному рівнянню. У відомих публікаціях не розглядаються питання пов'язані з використанням впливу температурних режимів сусідніх камер, не визначаються об'єми стислого повітря та в моделях не враховуються інші параметри, які впливають на продуктивність машини та якість обкотишів.

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування використання багатомірної системи керування технологічним процесом та розробка модального регулятора для забезпечення оптимального режиму випалу обкотишів у конвеєрній машині, що дозволить підвищити продуктивність машини, скоротити витрати енергоносіїв на виробництво та покращити якість кінцевого продукту.

Викладення матеріалу та результати. Відповідно до технологічного процесу, що наданий в [1] та використовуючи алгоритм наданий в літературі [12], динамічні характеристики випалювальної машини можна представити типовою передавальною функцією (1) з коефіцієнтами, представленими в табл. 1.

$$W(p) = \frac{K \cdot e^{-t}}{Tp + 1}. \quad (1)$$

Таблиця 1

Динамічні характеристики випалювальної машини

Позначення	Номер вакуум- камери	Назва	τ	T	K
W3p	7	Витрати газу в зоні підігріву	50	340	0,15
W4p	9-10	Витрати газу в зоні випалу	50	340	0,4
W1v	5	Витрати повітря в зоні сушки 1	40	340	0,003
W2v	7	Витрати повітря в зоні підігріву	50	350	0,15
W4v	9-10	Витрати повітря в зоні випалу 1	50	330	0,25
W5v	18	Витрати повітря в зоні випалу 2	150	250	1250
Wv	-	Висота шару	90	120	12
Ws	-	Швидкість машини	180	420	0,5
W1t	3	Температура в зоні сушки 1	50	300	0,6
W2t	5	Температура в зоні сушки 2	50	300	0,4
W3t	7	Температура в зоні підігріву	50	340	0,25
W5t	12-13	Температура в зоні випалу 2	50	300	0,15

Загальна передавальна функція об'єкта (2) складається з окремих передавальних функцій по кожному з параметрів і відповідно має вигляд діагональної матриці, завдяки цьому багатомірну систему можна представити як ту, що складається з 12 одновимірних підсистем.

Передавальну функцію об'єкта приведемо до вигляду (3).

$$W_0 = \begin{bmatrix} W_{3p} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_{4p} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_{1v} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_{2v} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & W_{4v} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{5v} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_v & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_s & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{1t} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{2t} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{3t} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & W_{5t} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (3)$$

де матриці A, B, C і D мають вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} -0.0029 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0029 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.0029 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0029 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0030 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0040 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0083 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0024 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0013 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0017 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0029 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0013 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0.0156 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0629 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0156 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0625 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0313 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.0252 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0377 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0023 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0274 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0242 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0381 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0329 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0427 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0215 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.016 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Передавальну функцію об'єкта дослідимо за допомогою SIMULINK програмного пакету MATLAB, модель якої представлена на рис. 1.

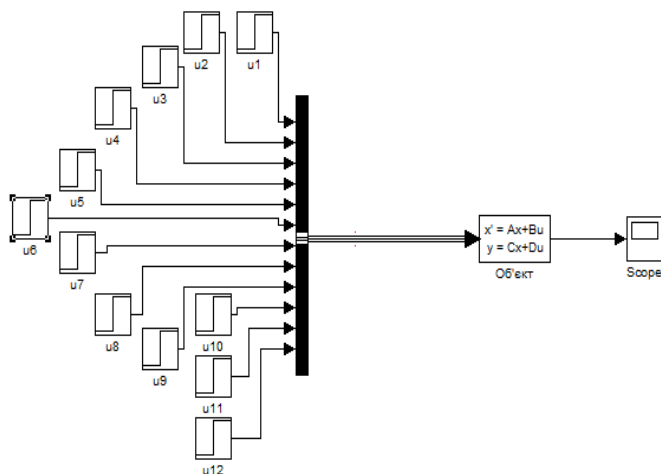


Рис. 1. Модель системи в MATLAB

Як показують результати моделювання процеси в системі керуються з сталою помилкою, тому необхідно розробити такий регулятор, щоб показники якості системи були оптимальними. Для цього досліджуємо керуваність системи:

$$\begin{aligned} >> P = \text{ctrb}(A, B) \\ >> n = \text{rank}(P) \end{aligned}$$

$n = 12$ - ранг матриці керуваності, що дорівнює порядку об'єкта, отже, система повністю керована.

Знаючи нормоване значення часу для системи і заданий час перехідного процесу, значення $\omega_0 = 20$.
Тоді матриці K і K' мають такі кінцеві значення:

$$K = \begin{bmatrix} 1.2794 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 639.905 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5.1196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.2794 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 639.903 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9.9980 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 79.9667 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 639.923 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 319.946 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 639.893 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 639.905 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 639.893 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 6.3980 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2.5602 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.3980 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 50 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1600 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3200 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Матриці, що описують роботу регулятора мають вигляд

$$A_p = \begin{bmatrix} A & \dots & B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}; B_p = \begin{bmatrix} 0 & \dots & -K \cdot B \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ K' & \dots & -K' \end{bmatrix}; C_p = [0 : E]; D_p = [0 : -K]$$

Отже, модель синтезованої системи матиме вигляд наданий на рис. 2.

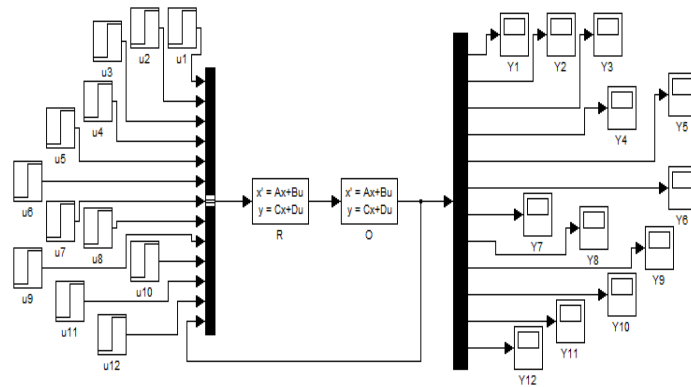


Рис. 2. Модель системи управління в MATLAB

На виході системи спостерігаємо покращення перехідних характеристик, графіки яких для кожного параметру представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати перехідних процесів синтезованої системи

Назва параметру	Тривалість перехідного процесу, t c	Графік перехідного процесу	Назва параметру	Тривалість перехідного процесу, t c	Графік перехідного процесу
Витрати газу в зоні підігріву	25		Витрати повітря в зоні випалу 2	1	
Витрати газу в зоні випалу	20		Висота шару	1	
Витрати повітря в зоні сушки 1	120		Швидкість машини	20	
Витрати повітря в зоні підігріву	23		Температура в зоні сушки 1	20	
Витрати повітря в зоні випалу 1	25		Температура в зоні сушки 2	21	

Висновки та напрямок подальших досліджень. Запропонований підхід до побудови багатомірної системи керування процесом випалу обкотишів у конвеєрній печі. Це дозволило значно покращити протікання перехідного процесу, максимальна тривалість якого не перевершує 120 с витрати повітря в зоні сушки 1, а мінімальна – секунду, при регулюванні висоти шару обкотишів. Для автоматизованої системи автоматичного керування синтезовано модальний регулятор, що дозволило забезпечити вказану тривалість перехідного процесу.

У подальших дослідженнях доцільно буде продовжити вивчати модальне регулювання процесу з уточненням передавальних функцій параметрів процесу випалу обкотишів та перевірки точності коефіцієнтів, що використовуються.

Список літератури

1. Ксензовский В.Р. Автоматизация процессов производства окатышей. // Изд-во "Металлургия", 1971.
2. Боковиков Б.А. Математическое моделирование динамики процесса обжига окатышей на конвейерной машине / Б.А. Боковиков, В.М. Малкин, М.И. Найдич // *Металлургическая теплотехника*. – 2002. - № 8. – С. 25-31
3. Купин А.И., Рубан С.А. Исследование инверсных моделей нейроконтроллера для систем интеллектуального управления ТП горнорудных предприятий // *Вісник Криворізького технічного університету*. - Вип.18 - Кривий Ріг: КТУ, 2007. - С. 157-161.
4. Рубан С.А., Лобов В.И. Использование нечетких регуляторов для автоматизации технологического процесса обжига окатышей на конвейерных обжиговых машинах // *Разраб. рудн. месторожд.* - Вып. 91. - Кривой Рог: КТУ, 2007. - С. 188-193.
5. Лобов В.И. Моделирование розподілу температур у шарі залізорудних обкотишів газоповітряної камери в конвеєрних печах фабрики огрудкування / В. И. Лобов, М. О. Котляр // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. - 2015. - № 2. - С. 109-117.
6. Лобов В.И. Дослідження термічної обробки шару обкотишів у газоповітряній камері обпалювальної машини конвеєрного типу / В. И. Лобов, М. О. Котляр // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. - 2015. - № 3. - С. 131-136
7. Лобов В.И. Автоматизовані системи керування процесами термічної обробки обкотишів на конвеєрній випалювальній машині: В.И. Лобов, Л.І. Єфіменко, М.П. Тиханський, С.А. Рубан. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2015. – 236 с.
8. Рубан С.А., Лобов В.И. Розробка принципів керування температурним режимом процесу випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей [Текст] // *Радіоелектроніка. Інформатика. Управління*. – 2008. – С. 69-74.
9. Рубан С. А. Автоматизация процесу керування термічною обробкою залізорудних обкотишів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / С. А. Рубан ; Криворіз. техн. ун-т. — Кривий Ріг, 2011.
10. Рубан С.А. Комп'ютерне моделювання алгоритму оптимального керування температурним режимом випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей / С.А. Рубан, В.И. Лобов // *Вісник КТУ: зб. наук. праць*. –Кривий Ріг: КТУ, 2008. – Вип. 21. – С. 150
11. Юркевич В.Д. Синтез регуляторов для многомерных систем на основе метода разделения движений // *Труды X Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO '15 Москва 26-29 января 2015 г.*
12. Репнікова Н.Б., Писаренко А.В., Замуренко К.В., Зімарев Ф.С. Алгоритм синтезу модального регулятора багатовимірної системи управління // *Науково-теоретичний журнал "Штучний інтелект"*. - No2'2009 - Донецьк. ДонНТУ. - С. 69-75.
13. Vyacheslav Lobov, Karina Lobova, Mykhailo Koltiar. Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine. *Metallurgical and Mining Industry*, No. 4, p.p. 34-38, 2015.

Рукопис подано до редакції 18.04.16

УДК 622.733-52

А.А. ЖОСАН, канд. техн. наук, доц., Криворожский национальный университет

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ РЕГУЛЯТОР НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Значительная часть современных методов синтеза систем управления технологическими процессами базируется на линейных представлениях об объекте управления. Главной особенностью линейных процессов является допущение справедливости принципа суперпозиции. Однако, большинство существующих процессов линейными можно назвать лишь условно. Поэтому попытка получить глобальную модель нелинейного объекта практически обречена. В настоящее время целым рядом математических и физических школ развивается подход, основанный на неравновесной динамике, позволяющей все шире ставить вопрос об объекте управления как о "черном ящике". В представленной работе развивается именно такой подход. Приведенные результаты дают основания считать такой подход более рациональным, чем линейный.

Ключевые слова: мобильная модель, локальная модель, глобальная модель, расширенная матрица, аттрактор, бифуркация, бассейны, репеллеры, принцип суперпозиции, "черный ящик"

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. История построения моделей динамических систем большей частью основана на линейной концепции, согласно которой принцип суперпозиции является главным. Отсюда и математический аппарат таких моде-