

Секція: Технічні науки

Митрофанов Олександр Вячеславович

аспірант кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Криворізького національного університету

м. Кривий Ріг, Україна

КЕРУВАННЯ ТЕРМІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ОБРОБЛЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОБКОТИШІВ У ЗОНІ ВИПАЛЮВАННЯ МАШИНИ КОНВЕЄРНОГО ТИПУ

У зоні випалювання (ЗВ) машини конвеєрного типу (ВМКТ) встановлено пальники, які забезпечують регламентну температуру над поверхом шару обкотишів, що знаходиться на візках конвеєрної стрічки (КС). Регламентна температура у ЗВ повинна бути витримана 1240 ± 50 °С. У ЗВ проходить окислення магнетиту та розкладання вапняку і здійснюється зміцнення обкотишів [1; 2]. Враховуючи особливості технологічного процесу (ТП) для ЗВ визначено необхідну кількість і діапазони зміни вхідних та вихідних технологічних параметрів, що складають множин при моделюванні термічного процесу керування обробленням обкотишів у цій зоні. При моделюванні також використовуються вхідні сигнали множин, що надходять із зони попереднього нагрівання (ЗПН), і додатково враховуються: витрати природного газу і повітря, які використовуються інжекторними пальниками, і температура теплоносія газоповітряного потоку (ГПП), що подається із першої зони охолодження (ЗОІ). Експертною оцінкою по результатам промислової експлуатації ВМКТ: ОК-306, ОК-1-324/336, LURGI-278A та інших вибрано діапазони зміни вхідних і вихідних параметрів для множин. До вхідних множин відносяться: $[T_{sh3}] = [500$

1150], [Mo1] = [2.4 3], [Tp3] = [350 550], [Gv2] = [145 305] і [A2] = [15 33], а для вихідних: [Tsh4] = [900 1500], [Mo2] = [2.2 2.8] і [Tp2] = [250 550].

У множинах прийняті такі позначення параметрів: [Tsh3] — температура верхнього шару обкотишів, що виходять із ЗПН, °C; [Tp3] — температура теплоносія ГПП, що приходить із ЗОІ, °C; і витрати природного газу [Gv2] у м³/ч і повітря [A2] у м³/ч і [Tsh4] і [Mo2] — відповідно температура верхнього шару обкотишів у °C і маса обкотишів у кг, що виходять із ЗВ. Для керування термічним процесом оброблення обкотишів у ЗВ використовується контролер із нечіткою логікою (КНЛ). Для його роботи розроблені нечіткі продукційні правила, одне із таких представлено в наступному вигляді:

Rt: If (Tsh3 is PS) □ (Mo1 is Z) □ (Tp3 is Z) □ (Gv2 is NS) □ (A2 is PL)
then (Tsh4 is PL) □ (Mo2 is Z) □ (Tp2 is PS).

Для ЗВ за допомогою підпрограми «Fuzzy» у середовищі програмування Matlab/Simulink виконано синтез бази нечітких правил, функцій приналежності, загального висновку і визначені поверхні КНЛ для параметрів вихідних множин ЗВ. Функціональні залежності температури верхнього шару і маси обкотишів на візках КС на виході із ЗВ представлено на (рис.1). На графіках позначено:

$$a - [Tsh4] = f([Gv2], [Tp3]), \quad b - [Tsh4] = f([Gv2], [A2]), \\ c - [Tsh4] = f([Gv2], [Tsh3]), \quad d - [Tp2] = f([A2], [Gv2]).$$

Отримані залежності зміни параметрів вихідних множин температури верхнього шару обкотишів і маси обкотишів на візках КС (рис.1) для ЗВ вказують на можливість керування температурою теплоносія ГПП на виході із ЗВ і виконувати перерозподіл цього потоку на ЗСП і ЗПН. Температура теплоносія ГПП на виході із шару обкотишів у ЗВ залежить від параметрів вхідних множин, особливо від кількості спаленого природного газу у відповідному співвідношенні з кількістю атмосферного повітря, тобто функціонально залежить від їх витрат.

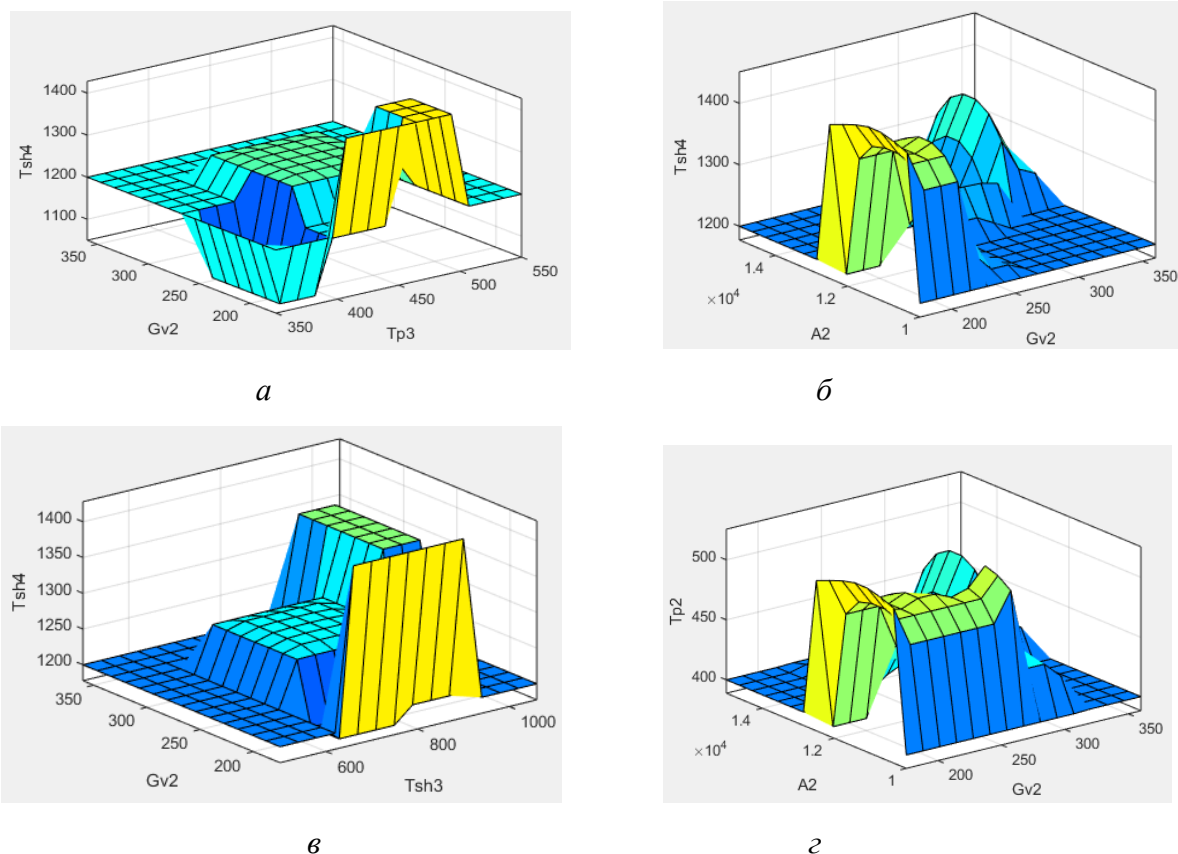


Рис.1. Функціональні залежності зміни вихідних множин від значень вхідних при керуванні процесом обпалення обкотишів у зоні випалювання

Результатами моделювання встановлено, що параметри нечітких множин температури верхнього шару обкотишів залежать від параметрів вхідних множин температури верхнього шару обкотишів і їх маси на візках КС, що поступає з попередньої зони – ЗПН. Чим більші їх значення, тим більше значення температури теплоносіїв ГПП над шаром обкотишів і на виході з ЗВ. Значення цієї температури також залежить від значення параметрів множини витрат природного газу (рис.1 б, г) і визначається від співвідношення «газ-повітря». Чим більші витрати природного газу і атмосферного повітря, тим більше температура над шаром обкотишів у високотемпературній зоні. Керування температурою теплоносія ГПП досягається шляхом відсмоктування димотягом у зони: сушіння і попереднього нагрівання обкотишів. При обробленні обкотишів високою температурою теплоносіїв ГПП найбільш інтенсивно зменшується їх маса

при виході з ЗВ за рахунок окислення магнетиту і розкладання вапняку.

Дослідження процесу керування термічного оброблення обкотишів у ЗВ проводиться на створеній імітаційній моделі. Схема моделі представлена на рис.2. Контролер Fuzzy Logic Controller формує керуючі впливи, враховуючи стан ЗСП і ЗПН. Для цього їх входи використовують параметри вихідних множин ЗСП і ЗПН. В якості вхідних множин задаються параметри температури теплоносія ГПП [Tp3], що нагнітається із ЗОІ, і враховуються витрати природного газу [Gv2] і атмосферного повітря [A2] у відповідному відношенні «газ-повітря». У моделі параметрами вихідних множин є: температура верхнього шару обкотишів [Tsh4] і маса обкотишів на візках КС [Mo2].

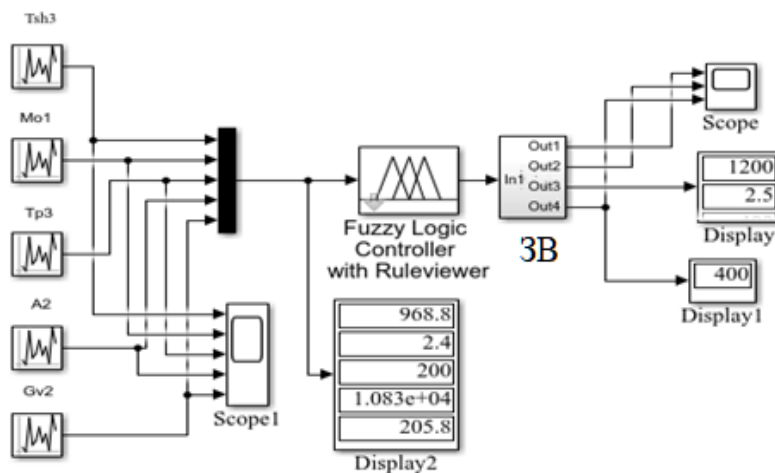


Рис. 2. Імітаційна модель системи керування процесом термічного оброблення обкотишів у зоні випалювання на основі нечіткої логіки

Використовуючи імітаційну модель проведені дослідження при подачі на вхід моделі параметри множин, що відповідають значенням, представленим на рис.3 а. Отримано результати змін параметрів вихідних множин для температури шару обкотишів на виході із ЗВ. На рис.3 б представлено функціональну залежність $Tsh4=f(t)$ (перший графік) для різних постійних часу аперіодичної ланки передавальної функції. Маса шару обкотишів на візках КС представлена другим графіком $Mo2=f(t)$ (). Залежність $Tsh4=f(t)$ представлена трьома графіками при представлені ЗВ

ланками: 1 – аперіодичною $W(s) = \frac{0.3}{s+1}$ і 2 і 3 – відповідно коливальними

$$W(s) = \frac{0.3}{s^2+0.5s+1} \text{ і } W(s) = \frac{0.3}{s^2+2s+1}.$$

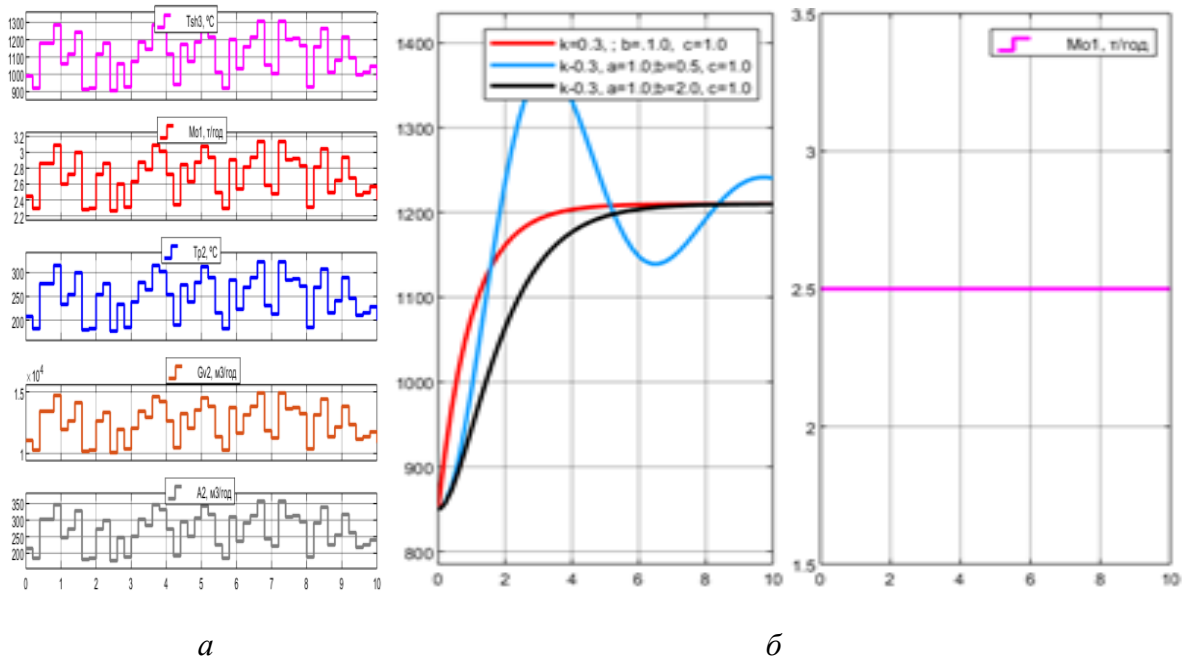


Рис. 3. Результати моделювання: а – параметри вхідних завдань і б – результат моделювання

Результати досліджень показали, що найменший час у 4 с, при якому закінчується перехідний процес, для температури верхнього шару обкотишів у 1200 °С, представлено на першому графіку. Вихідні множини для маси обкотишів [Mo2] залишається незмінною в часі. Нагрів верхнього шару обкотишів у ЗВ суттєво залежить від вхідних множин [Tsh3], [Tr3], витрат природного газу [Gv2] і повітря [A2], що спалюються у цій зоні. При збільшенні постійної часу об'єкту ЗВ збільшується час перехідного процесу. Так при зміні постійної часу об'єкту ЗВ у два рази, як видно з отриманих результатів дослідження, представлених на рис.3 б, час перехідного процесу змінюється у три рази.

Для визначення впливу температури теплоносія ГПП із ЗОІ на вихідні функціональні залежності ЗВ виконано моделювання при наступних змінах значень температури теплоносія із ЗОІ: мінімальному від

700 до 800 °С, середньому 900 – 950 °С та максимальному 950 – 1000 °С. Для цього, проведено моделювання з використанням підпрограми «Fuzzy» у середовищі програмування Matlab/Simuln (рис.2) при параметрах, встановлених за замовчуванням. Результат моделювання представлено на рис.4 а. На цьому графіку і інших на рис. 4 годинний Інтервал (T_{RoZ}) дорівнює 290 с.

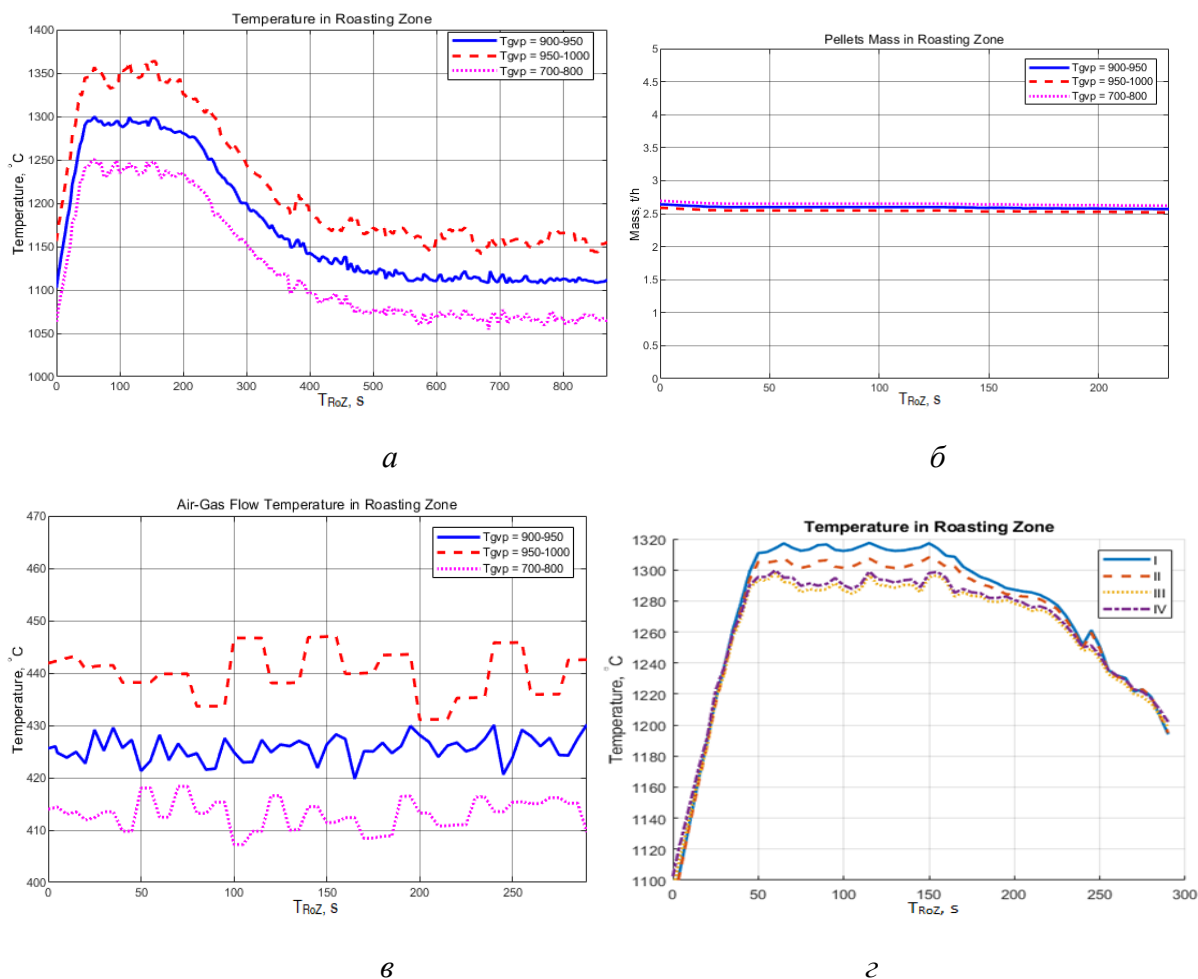


Рис. 4. Результати моделювання перехідних процесів у ЗВ

За результатами перехідних процесів у ЗВ встановлено, що графік функціональної залежності при усередненому температурному зміні (рис.4 а), на початку зростає від 1100 °С до 1300 °С, а потім підтримує необхідну регламентну температуру та при наближенні до усталеного процесу температура в зоні спадає до + 1120 °С. При максимальному та мінімальному температурному зміні теплоносія ГПШ бачимо відповідне

пропорційне збільшення та зменшення, а також збільшення коливань, відповідно.

Зміна маси обкотишів на візках КС у ЗВ, як показує графік (рис. 4 б), зменшується в міру проходження ТЗ, тому що вигоряють різні домішки, що входять до складу обкотишів. Графік перехідного процесу температури теплоносія ГПП (рис. 4 в) показує, що його температура коливається в межах від 420 °С до 430 °С. При максимізації та мінімізації температурного змінення, відбувається відповідно збільшення та зменшення температури теплоносія ГПП на ± 15 °С. Визначено вплив на температуру теплоносіїв ГПП вхідних параметрів множин: маси обкотишів на візках КС, що поступає із ЗПН, температури теплоносія ГПП із ЗОІ і витрата газу в ЗВ. Результати моделювання представлені на рис. 4 г, де: I — урахування тільки зміна температури верхнього шару з ЗПН, II — маси обкотишів, що надходять із ЗПН, III — температури теплоносія ГПП із ЗОІ та IV — урахування усіх вхідних параметрів. Графік I температури верхнього шару, у порівнянні з результуючою характеристикою графіка V має відхилення, а саме — температурний режим перевищує встановлені регламентовані норми та досягає 1320 °С, має коливальність та більш виражену стохастичність при спаданні характеристики. Однак, форма характеристики збігається та носить той же характер. Характеристика II має ті ж ознаки, що й перший графік, але температурний режим досягає лише відмітки в 1305 °С, що може бути допустимим за регламентом ТП. Передостання характеристика III більш схожа на результуючий графік, але має просадку за температурним режимом.

За результатами досліджень можна зробити висновок, що температура теплоносія ГПП із ЗОІ, температура верхнього шару обкотишів із ЗПН, витрати природного газу та атмосферного повітря мають найбільший вплив на вихідні характеристики ЗВ. При збільшенні кількості згорання природного газу і повітря зростає по

експоненціальному закону температура верхнього шару обкотишів у ЗВ. При оптимізації регламентного розподілу температури верхнього шару обкотишів у ЗВ дозволило зменшити витрати природного газу на 0.5 % при витратах атмосферного повітря у відношенні 1:10 порівняно з відомими системами керування [1-3].

Література

1. Математическая модель процесса обжига окатышей по зонам обжиговой машины для оптимизации режима / В. А. Кривоносов, Д. С. Пирматов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. № 5. С. 128-132.
2. Lobov V. I., Kotliar M. O. Temperature distribution model of the iron ore pellets layer inside the combustion chamber of the belt kiln burning zone // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2015. No 2. PP. 109-117.
3. Лобов В. Й. Нечітке управління режимом термічної обробки залізорудних котунів на конвеєрній машині / В. Й. Лобов, К. В. Лобова // Вісник приазовського державного технічного університету. 2017. № 34. С. 182-191.