

УДК 681.51:622.788

В.Й. ЛОБОВ, канд. техн. наук, доц., К.В. ЛОБОВА, студентка,
Криворізький національний університет

САК РІВНОМІРНОСТІ НАГРІВУ ШАРУ ОБКОТИШІВ НА КОНВЕЄРНІЙ ВИПАЛЮВАЛЬНІЙ МАШИНИ

Проведення досліджень в області створення ефективних методів та засобів автоматизації процесу обпалу обкотишів на конвеєрній опалювальній машині є актуальною задачею. Для вирішення цієї задачі запропонована структура САК рівномірності нагріву поверхні шару обкотишів, в якій використовується плавне керування витратами природного газу на кожному із основних пальників. Одночасно для їх запуску застосовують полум'я пилотних пальників, що функціонують за принципом бінарного керування (увімкнено, вимкнено). Дросельними заслінками, що приводяться у рух синхронними сервоприводами регулюються витрати газу на основних пальниках. Як показали дослідження, використання таких виконавчих механізмів із управлінням за зворотним від'ємним зв'язком дозволяє точно визначати положення регулюючих органів. Для керування подачею природного газу на пилотні пальники достатньо використати клапани з електромагнітними приводами, що здатні займати лише два фіксовані положення.

Принцип роботи САК полягає у підтриманні температури заданих точок поверхні шару обкотишів на заданому користувачем рівні. Контроль температури ведеться на основі даних, отриманих з чотирьох опорних точок поверхні обкотишів. В основу розглянутого проекту автоматизації АСУ ТП покладені функціональна схема керування процесом обпалювання обкотишів, оновлена матеріально-технічна база існуючої системи регулювання, в якій використовуються сучасні первинні перетворювачі, великі інтегральні схеми, спеціалізовані контролери та інша елементна база.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Внаслідок спалювання природного газу на конвеєрній опалювальній машині змінюється температура нагріву шару обкотишів, так як на цей процес впливає кількість виділеної теплоти. За рахунок потоку теплого повітря, що надходить до зони обпалювання із зон рекуперації та охолодження, теплота від згоряння газу повинно рівномірно поширюється по всьому шару обкотишів. Однак, при роботі пальників існує ймовірність нерівномірного нагріву обкотишів, адже зони, що знаходяться під безпосереднім впливом пальників, отримують більше тепла, ніж центральна частина шару обкотишів. Подібна ситуація також виникає і при нерівномірній газопроникності шару обкотишів або при зміні швидкості переміщення палет опалювальної машини, тощо [1-3]. Окрім цього, при автоматизації процесу обпалювання залізородних окислених обкотишів у печі конвеєрній опалювальній машині актуальною є також проблема економії енергоресурсів, оскільки витрати на паливо суттєво впливають на собівартість готової продукції.

Найпростіші способи економії енергоресурсів - це зменшення теплопровідності вогнетривких матеріалів, зниження їх теплової інерції, тощо. В цьому напрямі значну роль відіграло використання в тепло відгороджувальних конструкціях волокнистих матеріалів та виробів на їх основі. За останні 30 років у цьому напрямі було зроблено достатньо суттєвих відкриттів. Зменшити витрати палива дозволяє також використання сучасних пальників і систем регулювання, в яких передбачена можливість активної рециркуляції продуктів згоряння та вирівнювання температурного поля печі з відносною похибкою до 5 °С.

Особливо ефективним є комплексне вирішення питання - заміна традиційної шамотної цегли виробами на основі волокна, встановлення радіаційно-конвективних рекуператорів і використання сучасних пальників із автоматизованою системою регулювання подачі палива. Комплекс таких рішень дозволяє не лише зменшити витрати палива на 20-25 %, але й збільшити продуктивність теплового агрегату до 20 %. Проміж тим, використання високотемпературних волокон та виробів на їх основі, що здатні витримувати високі температури (до 1500°C) та мати низьку теплопровідність, дозволила створити принципово нові конструкції печей, а застосування сучасних первинних перетворювачів, великих інтегральних схем, мікропроцесорів, спеціалізованих контролерів та іншої елементної бази, дають можливість оснастити конвеєрні опалювальні машини новітніми системами автоматичного керування (САК).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасний стан автоматизації конвеєрної опалювальної машини не дає у повній мірі визначити основні термічні режимів роботи [3,4]. Складність зняття реальних показників температурного режиму обпалення у шарі обкотишів не дозволяє отримати контрольовані дані, які можуть бути використані для введення у САК процесів термічної обробки обкотишів на конвеєрній опалювальній машині. На сьогодні активно прово-

дяться дослідження в області створення ефективних методів та засобів, що дозволять вирішити дану проблему [1-10].

Постановка завдання. Метою роботи є необхідність обґрунтування і розробка САК, яка забезпечує рівномірність нагріву шару обкотишів вздовж ширини конвеєрних палет у печі.

Викладення матеріалу та результати. У запропонованій САК використовуємо плавне керування витратами природного газу на кожному із основних пальників. Для їх запуску застосовують полум'я пілотних пальників, що функціонують за принципом бінарного керування (увімкнено, вимкнено). Витрати газу на основних пальниках (надалі просто пальники) регулюються дросельними заслінками, що приводяться у рух синхронними сервоприводами [11]. Використання виконавчих механізмів із управлінням за зворотним від'ємним зв'язком дозволяє точно визначати положення регулюючих органів. Для керування подачею природного газу на пілотні пальники достатньо використати клапани з електромагнітними приводами, що здатні займати лише два фіксовані положення.

Принцип роботи САК полягає у підтриманні температури заданих точок поверхні шару обкотишів на визначеному користувачем рівні. Контроль температури ведеться на основі даних, отриманих з чотирьох опорних точок поверхні обкотишів. На практиці для зчитування температури доцільно використовувати пірометри часткового випромінювання «Термоскоп-600-1С» [12]. Опорні точки обираються рівномірно розподіленими вздовж лінії, що сполучає центри зон безпосереднього впливу обох пальників, причому крайні дві розташовуються на відстані від боків конвеєру для запобігання впливу на покази пірометрів температур бічної постелі.

На рис. 1, а наведено схематичне розташування опорних точок 1-4 на поверхні досліджуваної ділянки шару обкотишів.

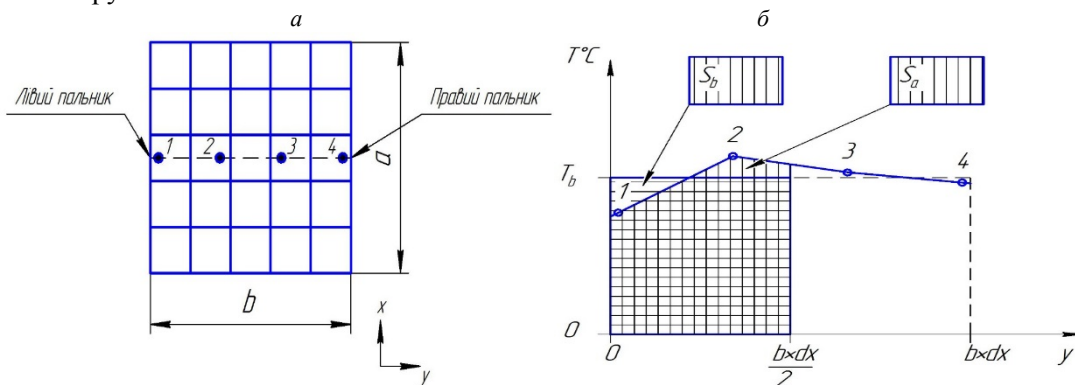


Рис. 1. Розташування опорних точок на поверхні досліджуваної ділянки шару обкотишів a і представлення бажаного та виміряних значень температур обкотишів у зоні впливу лівого пальника у вигляді площ S_a та S_b б

Вхідною величиною САК є бажане значення температури в опорних точках. Вихідними величинами виступають виміряні за допомогою пірометрів температури в опорних точках поверхні шару обкотишів.

Структурна схема досліджуваної моделі САК наведена на рис. 2а. У наведеній структурній схемі як об'єкт керування вибрано модель розподілу температур у шарі обкотишів, що описана у [13], однак на практиці дане місце займатиме реальний об'єкт керування. На вхід САК подається бажане значення температури, що задовольняє технологічним умовам обпалювання обкотишів. Керуючий елемент порівнює отримані з вимірювального елемента значення температур в опорних точках із бажаним та формує керуючі сигнали, що несуть у собі інформацію стосовно змін витрат природного газу на лівому та правому пальниках.

Відповідно до них виконавчі механізми, представлені синхронними сервоприводами, плавно змінюють положення регулюючих органів (дросельних заслонок) на кожному з пальників, що спричинює зміни витрат газу.

Для забезпечення оптимального співвідношення «повітря-газ» в залежності від витрат природного газу регулюється надходження повітря до форкамер та безпосередньо до самих пальників.

На структурній схемі блок розрахунку пропорцій «повітря-газ» не зображений, адже в моделі об'єкту керування вважається, що повітря надходить в оптимальній для повного згоряння палива кількості.

У результаті згоряння палива на виході об'єкту керування формується температурне поле, окремі значення якого фіксуються вимірювальним елементом (групою з чотирьох пірметрів).

Результати вимірювання повторно надсилаються до керуючого елемента. САК має два незалежні контури керування для лівого та правого пальників, у кожному з яких окремо регулюються витрати природного газу. Для забезпечення стійкості перехідних процесів у контурах керування використовуються ПІД-регулятори.

На структурній схемі регулятори не винесені в окремі блоки, а вважаються складовими частинами загального керуючого елемента. Функціональну схему САК рівномірності нагріву шару обкотишів наведено на рис. 2б.

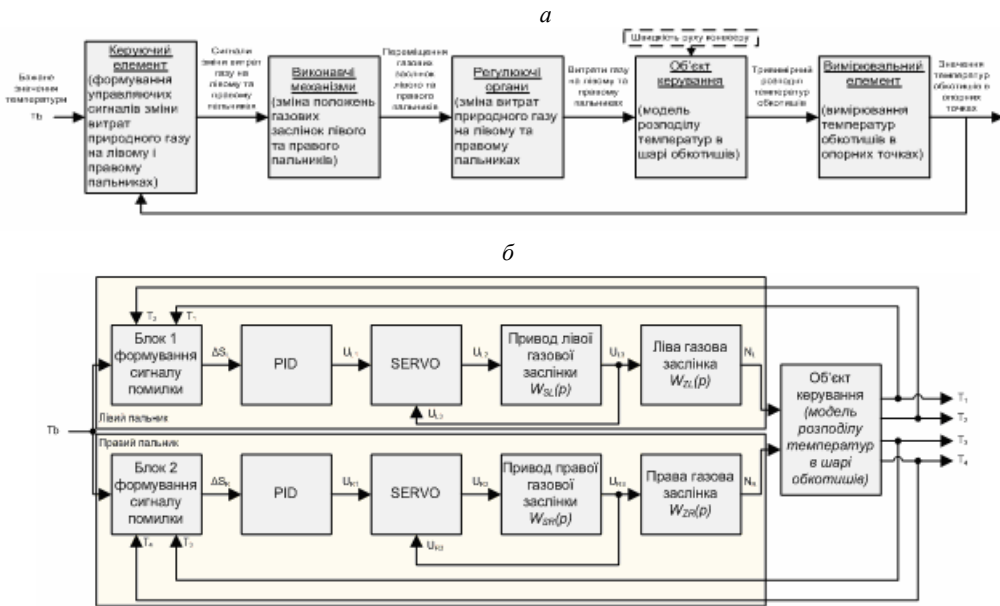


Рис. 2. Структурна *a* і функціональна *б* схеми САК рівномірності нагріву шару обкотишів

Керуючі сигнали в обох контурах керування формуються на основі значень температур опорних точок: T_1, T_2 - в контурі керування лівого пальника, T_3, T_4 - у контурі керування правого пальника. Бажане значення температури поверхні шару обкотишів задається на вході САК величиною T_b [°C]. Оскільки в розроблюваній системі контури керування кожним пальником є однаковими та незалежними один від одного, то детально розглянемо лише формування витрат природного газу на лівому пальнику.

Для визначення помилки регулювання температури обкотишів у зоні безпосереднього впливу лівого пальника необхідно обчислити різницю між бажаним та вимірним значеннями температури. З цієї причини представимо останні у вигляді площ фігур, що наведено на рис. 1б.

Фігура обмежена осями координат T та y , а також прямими $T=T_b$ та $y=b \cdot dx/2$ має площу S_b , значення якої пропорційне бажаній температурі обкотишів. Відповідно до вимірних температур в опорних точках 1 та 2, координати яких по осі y відомі наперед, обчислюється значення площі S_b . Значення помилки роботи системи ΔS_L розраховується за формулою (1)

$$\Delta S_L = S_a - S_b \quad (1)$$

Варто зазначити, що у випадку рівності ΔS_L нулеві, температури в опорних точках 1 та 2 не обов'язково відповідають бажаному значенню, оскільки при обчисленні площі S_a нестача температури в точці 1 компенсується її надлишком в точці 2 та навпаки. Однак у такому випадку витрати природного газу залишаються незмінними, адже нерівномірність температурного поля самостійно виправиться за рахунок теплообміну.

На основі значення помилки регулювання ΔS_L ПІД-регулятор формує керуючий сигнал U_{L1} , що надходить на вхід блоку SERVO, який на практиці виступає складовою частиною синхро-

ного сервоприводу, однак для наочності в схемі він винесений окремим блоком. SERVO формує кут повороту осі електроприводу U_{L2} , значення якого вимірюється в радіанах та змінюється в межах, що здатні забезпечити діапазон зміни ступеня відкритості заслонки U_{L3} від 0 до 100%.

В основі зміни кута повороту лежить принцип трьох позиційного регулювання [15]. У блоці SERVO використовується керування за зворотним від'ємним зв'язком, а тому для його коректної роботи необхідно отримувати значення ступеня відкритості заслінки U_{L3} .

Відповідно до змін кута повороту U_{L2} електропривод газової заслінки лівого пальника змінює її положення. Передаточна функція приводу $W_{SL}(p)$ описується коливальною ланкою. Оскільки при реалізації розроблюваної САК в середовищі Simulink привод задається окремим блоком із вбудованої бібліотеки, то немає необхідності наперед обчислювати параметри його передаточної функції. Вихідною величиною блоку електроприводу є ступінь відкритості заслінки, що визначається величиною U_{L3} та вимірюється у відсотках (100% - максимальна пропускна спроможність дросельної заслонки).

Передаточна функція газової заслінки лівого пальника $W_{SL}(p)$ може бути представлена у вигляді пропорційної ланки з коефіцієнтом підсилення, що відповідає її максимальній пропускній спроможності. Відповідно до значення величини U_{L3} на виході блоку заслонки формуються витрати природного газу N_L , $\text{м}^3/\text{год}$.

Подібним чином відбувається формування значення витрат газу на правому пальнику N_R . Однак в цьому випадку для обчислення помилки роботи системи використовуються температури T_3, T_4 . Сформовані витрати природного газу N_L та N_R надходять на вхід об'єкту керування, що представлений розробленою раніше моделлю розподілу температур в шарі обкотишів [13].

На виході об'єкту керування отримуємо значення температур в чотирьох опорних точках (рис. 1) T_1, T_2, T_3, T_4 . Для визначення зміни температури на кінець інтервалу часу dt кожного блоку шару обкотишів, що знаходяться в зонах безпосереднього впливу лівого або правого пальників необхідно використати формули

$$\Delta T_L = \frac{Q_{KL}}{c_o \cdot m_o \cdot n_e} = \frac{K_e \cdot KKД_{\text{п}} \cdot N_L \cdot q_2 \cdot dt}{c_o \cdot m_o \cdot n_e}$$

$$\Delta T_R = \frac{Q_{KR}}{c_o \cdot m_o \cdot n_e} = \frac{K_e \cdot KKД_{\text{п}} \cdot N_R \cdot q_2 \cdot dt}{c_o \cdot m_o \cdot n_e}$$

де c_o, m_o - питома теплоємність і маса блоку.

В залежності від швидкості руху конвеєрних палет позиції вибраних для дослідження горизонтальних рядків поступово переміщуються від початку до кінця газоповітряної камери.

Графік зміни у часі розподілу температур вздовж ширини конвеєрної стрічки на поверхні шару обкотишів у межах досліджуваної газоповітряної камери надано на рис. 3.

Висновок. Розроблена САК призначена для контролю рівномірності нагріву поверхні шару обкотишів вздовж ширини конвеєрних палет у печі в межах однієї газоповітряної камери.

Система представлена двома незалежними контурами керування для лівого та правого пальників, у кожному із яких окремо контролюються витрати природного газу.

Методика розрахунку величини помилки регулювання температури обкотишів виконана на основі її геометричної інтерпретації. Для забезпечення стійкості перехідних процесів використано ПД-регулятори.

В якості вимірювальних елементів запропоновано використовувати систему із чотирьох пірометрів часткового випромінювання «Термоскоп-600-1С».

В розроблюваній САК використано плавне керування витратами природного газу на основних пальниках та бінарне керування - на пілотних.

Регулюючі органи представлені дросельними заслінками. В якості виконавчих механізмів запропоновано використовувати синхронні сервоприводи.

В основу зміни кута повороту осі приводу покладено принцип трьох позиційного регулювання.

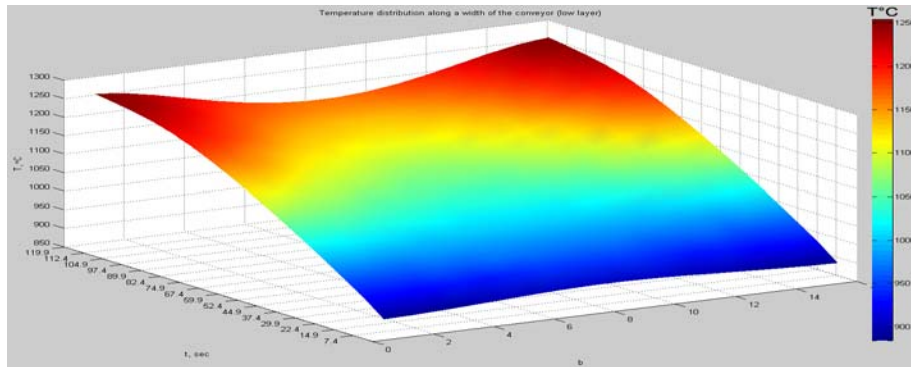


Рис. 3. Графік зміни у часі розподілу температур вздовж ширини конвеєрної стрічки на поверхні шару обкотишів у межах досліджуваної газоповітряної камери

Список літератури

1. Интеллектуализации управления: Монография / **Ю.И. Ерёмченко, Л.М. Боева, Л.А. Кузнецов, В.Б. Крахт.** – Старый Оскол: ООО «ТНТ», 2005. – 408 с.
2. Повышение эффективности АСУ горно-металлургического производства на основе **Буткарев А.П.** Математические модели для управления процессом производства окатышей на конвейерной машине / **А.П. Буткарев, А.А.**
3. **Буткарев Г.М. Майзель, Е.В. Некрасова** // Сталь. – 2000. – № 3. – С. 10-13. Интенсификация производства и улучшение качества сырых окатышей / **Ю.С. Юсфин, Н.Ф. Пашков, Л.К. Антоненко.** – М.: Metallurgiya, 1994. – 240 с.
4. **Буткарев А.А.** Методология исследования и оптимизации конструктивных и режимных параметров тепло-технических схем обжиговых конвейерных машин для термообработки железорудных окатышей с целью повышения производительности, снижения расхода топлива и электроэнергии / **А.А. Буткарев** // Печные агрегаты и энергосберегающие технологии в металлургии и машиностроении: труды IV международной научно-практической конференции (3-4 апреля 2008 г., МИСиС). – Москва, 2008. – С. 90.
5. **Цаплин А.И.** Моделирование теплофизических процессов и объектов в металлургии: учеб. пособие / **А.И. Цаплин, И.Л. Никулин.** – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. унив., 2011. – 299 с.
6. **Пирматов Д.С.** Повышение эффективности управления обжигом окатышей в конвейерной обжиговой машине [Текст] / **В.А. Кривонос, Д.С. Пирматов** // Материалы научно-технической конференции информационные технологии в металлургии и машиностроении. Днепропетровск, 26-28 марта 2013 г. - Днепропетровск: НацМетАУ, 2013. - С.50-52.
7. **Боковиков Б.А.** Математическое моделирование динамики процесса обжига окатышей на конвейерной машине / **Б.А. Боковиков, В.М. Малкин, М.И. Найдич** // Metallurgicheskaya teplotekhnika. – 2002. - № 8. – С. 25-31.
8. **Рубан С.А., Лобов В.Й.** Розробка принципів керування температурним режимом процесу випалювання котунів з використанням прогнозуючих ANFIS-моделей [Текст] // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2008. – С. 69-74.
9. **Пирматов Д.С.** Математическая модель тепловой обработки окатышей в обжиговой машине [Текст] // Сборник трудов всероссийской конференции: Новые технологии в научных исследованиях, проектировании, управлении, производстве НТ-2010. – Воронеж, 2010. – С. 88-89.
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. Електронний ресурс: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Сервопривод>.
12. Електронний ресурс: <http://www.infratest.ru/product/fixed/15.html>.
13. **Лобов В.Й., Котляр М.О.** Моделювання розподілу температур у шарі залізорудних обкотишів газоповітряної камери в конвеєрних печах фабрики огрудкування //журнал "Научный вестник Национального горного университета"– 2015. – № 2.

Рукопис подано до редакції 17.04.15