

**К.т.н, доцент Білостоцький А.І., магістрантка Козлова А.О.**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ НАГРІВУ МЕТАЛУ В ПРОХІДНИХ ПЕЧАХ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА**

### **Abstract**

*Anatoliy Bilostoskiy, assoc. prof., PhD; Anna Kozlova, student  
Optimization of metal heating process in the metal industry*

*This paper concerns methods of optimization of metal heating process. The problem of recourses economy is very important nowadays, that is why hard industry needed new computer systems for developing technological process. In this article regards not only structure of such system, but also algorithms of calculation of basic values, that characterized the process.*

### **Вступ**

У зв'язку зі зростанням вартості енергоносіїв у наш час особлива увага приділяється енергозберігаючим технологіям. Однією з найбільш енергоємних галузей промисловості є чорна металургія, зокрема, прокатне виробництво, в якому оптимізація процесу нагріву металу перед плющенням призводить як до економії енергоносіїв (газу, електроенергії), так і до поліпшення якості прокату.

У цій статті розглядаються алгоритми оптимізації процесу нагріву металу в прохідних печах та розробка системи, яка б виконувала таку оптимізацію.

### **Постановка задачі**

Постановка задачі про оптимальне управління включає оцінку трьох аспектів роботи об'єктів автоматизації:

- точності відтворення температурного стану металу в кінці нагріву або точності відтворення графіка зміни температури в часі;
- обмежень на параметри технологічного процесу і роботи устаткування;
- витрат на здійснення процесу [1].

Постановка задачі про оптимальне керування процесом нагріву заготовок у прохідних нагрівальних печах прокатного виробництва охоплює вимоги до технічних та економічних характеристик процесу. Основною технологічною вимогою є отримання такого теплового стану сляба при видачі з печі, що забезпечує оптимальний процес прокатки, однак практично доцільною є постановка економічного завдання оптимального управління, коли критерієм оптимальності є мінімізація витрат на здійснення нагріву слябів. Тому у постановці задачі про оптимальне управління температура слябів віднесена до обмежень.

Потрібно знайти такий розподіл середньомасової температури заготовок (і температури гріючого середовища в зонах) уздовж робочого простору, при яких досягається мінімум економічної цільової функції [1]

$$\hat{O} = b_{\partial} \ddot{O}_{\partial} + b_{\dot{}} \ddot{O}_{\dot{}} \rightarrow \min,$$

за умови досягнення кожною заготовкою при видачі з робочого простору температурного стану на заданому рівні

$$t_n = t_n^{\xi},$$

$$\Delta t = \Delta t^{\xi},$$

де  $b_T, b_M$  – питомі значення відповідно витрати палива і чаду металу;

$C_T, C_M$  – вартість відповідно палива і металу;

$t_n$  – температура металу;

$t_n^{\xi}$  – заданий рівень температури металу;

$\Delta t$  – зміна температури в межах зони;

$\Delta t^{\xi}$  – зміна заданої температури.

Об'єкт дослідження – семизонна комбінована прохідна нагрівальна піч з крокуючими балками і крокуючим подом.

Предмет дослідження – теплофізичні характеристики металу при нагріві, зміна їх значень при різних станах гріючого середовища печі.

Для вирішення поставленої задачі необхідно побудувати математичну модель нагріву слябів, та за її допомогою визначити оптимальні температури у кожній зоні печі. На основі значення температури металу у поточний момент часу та значення оптимальної температури проводиться корекція температури у зоні печі.

### **Модель нагріву слябів**

Модель дозволяє визначати оптимальний температурний стан кожного сляба згідно економічного критерію на інтервалі часу від

завантаження його в піч до виходу з печі. Розрахунок ведеться шляхом періодичних розв'язань системи різницевих рівнянь, що апроксимують в просторі двох вимірів диференціальне рівняння теплопровідності із змінними коефіцієнтами:

$$c_m t \rho_m t \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial s} \left[ \lambda_m t \frac{\partial t}{\partial s} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda_m t \frac{\partial t}{\partial z} \right],$$

де  $c_m t$  – теплоємність;

$\rho_m t$  – питома вага;

$\lambda_m t$  – теплопровідність металу як функція температури;

$t$  – температура;

$s$  – координата по товщині заготовки;

$z$  – координата по довжині заготовки;

$\tau$  – координата за часом

з відповідними початковим і граничними умовами [2].

### Визначення заданої температури в зоні

При безперервній роботі технологічної лінії стану по заздалегідь запланованому тимчасовому графіку просування заготовок уздовж робочого простору печі, завдання середньомасової температури металу вибирається з масиву оптимальних значень для кожного сляба по даним про його температуру посадки, групі марки сталі і прогнозованому часу перебування в печі. Для кожного сляба розраховується необхідна температура гріючого середовища, при якій поточна середньомасова температура сляба досягне заданого значення

$$t_{cij}^3 = t_{ci} + h_i (t_j^3 - t_{j-}),$$

де  $h_i$  – коефіцієнт пропорційності між приростом середньомасової температури і температури гріючого середовища

$t_{ci}$  – температура гріючого середовища в  $i$ -тій зоні;

$t_j$  – поточна середньомасова температура сляба;

$t_j^3$  – задане значення середньомасової температури сляба [2].

Завдання регулятора видається як

$$t_{ci}^c = \max t_{cij}^c, \quad j = 1, 2, \dots, K,$$

де  $t_{ci}^c$  – задане значення температури в  $i$ -тій зоні,  $K$  – число слябів у зоні [3].

Таким чином, температура гріючого середовища в зоні стабілізується на рівні, необхідному для якісного нагріву найхолоднішої заготовки.

Алгоритм управління нагрівом в режимі нормальної роботи печі забезпечує розрахунок для кожного сляба такого значення температури гріючого середовища в зоні, при якому цей сляб за час, що залишився до виходу із зони, буде нагрітий до середньомасової температури, заданої на виході із зони. Задане значення середньомасової температури на межах зон вибирається з масиву оптимальних значень для кожного сляба по даним про його розміри, групі марки сталі і прогнозованому часі перебування в печі [4].

На основі запропонованої моделі розроблено програмний продукт для визначення поточного оптимального розподілу температур металу по товщині сляба та температур зон печі, які забезпечують прогрів сляба з оптимальним розподілом температур на виході з печі. Дана програма є складовою частиною програмного та технічного комплексів, які забезпечують отримання первинної інформації від датчиків температур у зонах та вироблення керуючих впливів. Програмний продукт реалізовано мовою програмування Delphi. Також була розроблена підпрограма імітації показань датчиків.

## **Висновки**

Розглянута модель дозволяє спроектувати підсистему оптимізації процесу нагріву металу системи управління прокатним станом і була реалізована програмно.

Дана система дозволяє не тільки значно скоротити витрати на прокат та збитки від бракованої продукції, але й слідкувати за зміною стану садки, станом зон печі та при необхідності корегувати їх в ручному чи програмному режимі.

Підсистему оптимізації можна розширити додаванням до існуючих задач обчислення оптимального співвідношення об'ємів повітря та газу.

## **Література**

1. *Бутковский А.Г.* Методы управления системами с распределенными параметрами. – М.: Наука, 1975. – 568 с.
2. *Антонов Г.О.* Вдосконалення управління температурним режимом прохідних печей прокатного виробництва // Дис. канд. техн. наук. – 1985. – 183 с.
3. *Бутковский А.Г., Малий С.А.* Оптимальное управление нагревом металла. – М.: Наука, 1982. – 192 с.

4. *Бойчук Б.І.* Дослідження і розробка завдань оптимізації в АСУТП прохідних нагрівальних печей // Дис. канд. техн. наук. – 1978. – 231 с.