

УДК 622

**Д-р техн. наук М. П. Ревун, канд. техн. наук С. В. Башлій,
С. Є. Чижов, Н. С. Курило**

Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОГО ОПАЛЕННЯ

Розроблено методику теоретичного розрахунку тимчасових параметрів імпульсного способу опалювання. Нагрівальний агрегат розглянуто з точки зору теорії автоматичного управління — як об'єкт регулювання. Проведено експериментальне підтвердження створеної методики. Запропонована методика розрахунку параметрів імпульсу дозволяє адаптувати конструктивні особливості будь-якого нагрівального агрегату для впровадження імпульсного способу опалювання.

Ключові слова: імпульсний спосіб опалювання, рівномірність нагріву, температурний режим, термообробка, пальниковий пристрій.

Одне з безумовних досягнень пічної тепло-техніки — сучасний перспективний імпульсний спосіб опалювання нагрівального устаткування. Він має безперечні переваги перед традиційним безперервним аналоговим регулюванням температурного і теплового режимів. За допомогою такого способу опалювання можна досягти і покращувати якість нагріву (рівномірність за всім обсягом садіння металу, відсутність критичних температурних перепадів, значне підвищення конвективної складової теплообміну за рахунок виключення «застійних» зон в аеродинаміці робочого простору, автоматична організація оптимального рециркуляційного потоку димових газів), і, як наслідок, скорочення тривалості термообробки зі всіма витікаючими позитивними наслідками (збільшення продуктивності, зниження витрати палива, раціональніше завантаження виробничих потужностей і т.д.).

Однак, разом з цими перевагами на шляху повсюдного впровадження імпульсного способу опалювання встають наступні бар'єри: 1) існуючий парк пальникових пристроїв агрегату, як правило, не пристосований для роботи в граничних режимах, необхідних для реалізації даного способу; 2) відсутня універсальна методика теоретичного розрахунку тривалості імпульсу подачі палива і тривалості його відсутності, що дозволяє ще на передпроектному етапі підібрати необхідні пальникові пристрої і систему автоматичного регулювання для будь-якого агрегату; 3) напрацьований позитивний досвід впровадження і позитивні результати неможливо тиражувати в широких масштабах через відсутність тієї ж методики.

Цьому актуальному питанню, а саме розробці методики теоретичного розрахунку тимчасових

параметрів імпульсного способу опалювання, і присвячено цю роботу.

Якщо нагрівальний агрегат розглянути з точки зору теорії автоматичного управління — як об'єкт регулювання, то в ньому вхідним сигналом є витрата палива, а вихідним сигналом — прийнята температура.

Розрахунок параметрів імпульсного опалювання здійснюємо шляхом дослідження динамічних характеристик об'єкту. При цьому основними параметрами є тривалість імпульсів і пауз між ними. Для цього необхідно отримати криві розгону за відомою методикою [1, 2], а потім виконати розрахунки, приведені нижче.

Оскільки метал, що нагрівається, є об'єктом, в якому може накопичуватися енергія, то диференціальне рівняння динаміки нагріву в різних точках по ширині печі є інерційною ланкою 2-го порядку:

$$T_2^2 \frac{d^2 X_{\text{вх}}}{dt^2} + T_1 \frac{dX_{\text{вх}}}{dt} + X_{\text{вх}} = k \cdot X_{\text{вх}}, \quad (1)$$

де T — температура в точці по ширині печі.

Передавальна функція ланки 2-го порядку має вигляд:

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1}. \quad (2)$$

Тимчасова характеристика цієї ланки залежить від того, чи має знаменник передавальної функції речове або зв'язано-комплексне коріння. Виходячи з постановки задачі, приймається, що знаменник передавальної функції має два рівних речових негативних кореня для кожної точки

виміру, оскільки в об'єкті, що нагрівається, може накопичуватися енергія, звідки:

$$T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1 = 0;$$

$$p_{1,2} = \frac{-T_1 \pm \sqrt{T_1^2 - 4 \cdot T_2^2}}{2 \cdot T_2^2} =$$

$$= -\frac{T_1}{2 \cdot T_2^2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{4 \cdot T_2^4} - \frac{1}{T_2^2}}.$$

Оскільки коріння однакове, то, тоді приймається, що:

$$T_1 = 2 \cdot T_2.$$

$$W(p) = \frac{k}{(T_2 \cdot p + 1)^2}. \quad (3)$$

Для експериментального підтвердження розробленої методики в робочому просторі діючої печі встановили 5 термопар, на рівній відстані одна від одної по ширині печі в одній із зон. Робочі спай термопар розміщували на поверхні череня. Експерименти проводили на печі № 19 термічного цеху [3, 4].

Виходячи з експериментальних даних, визначаємо передавальні функції для кожної точки по ширині печі:

$$W_j(p) = \frac{k_j}{(T_j \cdot p + 1)^2}. \quad (4)$$

З передавальних функцій отримуємо амплітудно-фазові частотні характеристики:

$$W(i\omega) = \frac{k}{(T_i \cdot \omega + 1)^2}. \quad (5)$$

Для розрахунку тривалості подачі палива з амплітудно-фазової характеристики визначаємо амплітудно-частотну характеристику:

$$A(\omega) = \frac{k}{T^2 \cdot \omega^2 + 1}. \quad (6)$$

Звідси можна отримати амплітудно-частотні характеристики для всіх 5 точок зміни:

$$A(\omega)_j = \frac{k_j}{T_j^2 \cdot \omega^2 + 1}. \quad (7)$$

За умовами імпульсного нагріву бажано отримати мінімальне відхилення температури в

кожній точці виміру. Тому порівнюємо праву частину виразів (7) з мінімальним значенням перепаду температур, після чого з цих виразів знаходимо час інтервалу частоти реверсування в часі:

$$t_{\min} = \frac{k}{T^2 \cdot \omega^2 + 1}, \quad (8)$$

$$\omega = \frac{\sqrt{k/t_{\min} - 1}}{T}. \quad (9)$$

Виходячи з приведених вище теоретичних обчислень отримано, що перепад температури по ширині печі розраховується за формулою:

$$\Delta t(\omega) = \frac{k}{T^2 \cdot \omega^2 + 1}, \quad (10)$$

де k – коефіцієнт передачі об'єкту;

T – час об'єкту, за який досягається стале значення температури при подачі однократного ступінчастого обурення, с.

Проведені експериментальні дослідження були засновані на періодичному відключенні подачі палива до пристроїв пальників при різній тепловій потужності.

Виконання експерименту здійснювалося шляхом ступінчастої подачі палива і повітря. В цьому випадку на вторинному приладі отримуємо криві розгону в 5 точках по ширині печі, які показані на рисунку 1.

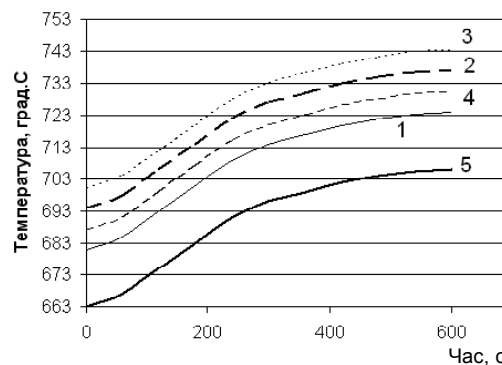


Рис. 1. Криві розгону по 5-ти точках однієї зони

За формулою (6) розраховуємо амплітудно-частотну характеристику, представлену на рис. 2.

За експериментальними даними по 5 точках середньої зони печі отримано ділянку амплітудно-частотних характеристик, представлених в часі (рис. 3).

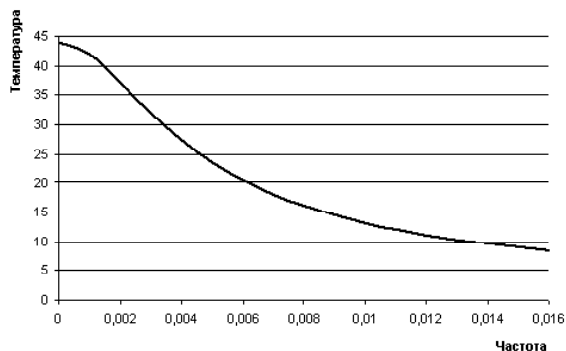


Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики

Теоретичне значення тривалості імпульсів по ширині печі по 5 точках показує, що максимальне значення тривалості імпульсів характерне для середньої точки, тому приймаємо його за оптимальне [5, 6].

На рисунку 4 представлений розподіл температури по ширині зони печі при трьох значеннях теплового навантаження.

Згідно з вище приведеною методикою отримуюмо амплітудно-частотну характеристику. При 100% тепловому навантаженні проведений дослід: температура при подачі максимальної витрати газу складала 720 °С, в перебігу 3 хвилин температура піднялася до 760 °С, стабілізувалася температура після відключення газу протягом 6 хвилин. При визначенні характеристик кривою розгону і розрахунку тривалості імпульсу було отримано:

$$A(\omega)_3 = \frac{40}{160^2 \cdot \omega^2 + 1}, \omega = \frac{\sqrt{40/10 - 1}}{160} = 0,0108,$$

$t_u = 580$ с, тобто 9,6 хвилин, що досить близько до теоретично розрахованого значення.

Враховуючи вищевикладене, таким чином запропоновано методику розрахунку параметрів імпульсу, яка дозволяє адаптувати конструктивні особливості будь-якого нагрівального агрегату для опровадження сучасного перспективного імпульсного способу опалювання.

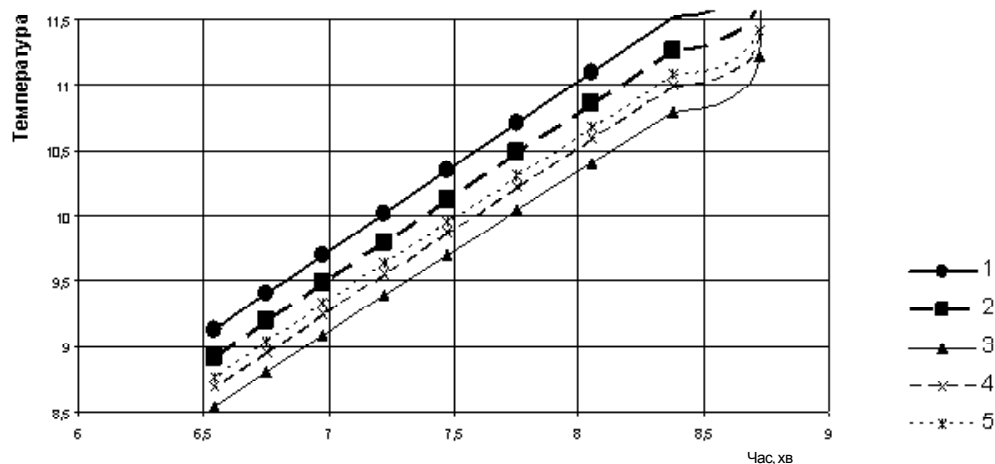


Рис. 3. Ділянка амплітудно-частотних характеристик по 5 точках в часі

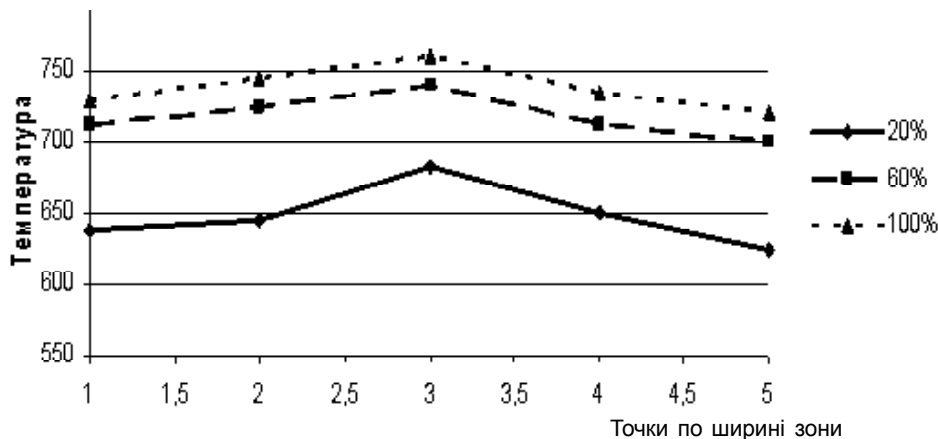


Рис. 4. Розподіл температури по ширині зони печі при різному тепловому навантаженні

Список літератури

1. Сравнительные испытания импульсного и непрерывного отопления в термических печах / [Л. А. Неймарк, Я. М. Гречишников, И. К. Энно и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. — 1987. — №9. — С. 35–37.
2. Разработка и освоение горелок частичного предварительного смещения и импульсного способа отопления на печах термического цеха : Отчет о НИР / Запорож. индустр. ин-т: Руководитель М. П. Ревун. Тема 6-3/91: №ГР 01910015346. Запорожье, 1992. — 40 с.
3. Система импульсного отопления рециркуляционной термической печи / [Ревун М. П., Чепрасов А. И., Башлий С. В., Андриенко А. Н.] // Научные основы конструирования металлургических печей : теплотехника и экология : Тез. докл. междунар. сем. — Днепропетровск, 1993. — С. 54–55.
4. Патент України № 19735 М.кл. 5F23D 14/00 Пальний пристрій / Ревун М. П., Чепрасов А. И., Башлий С. В. и др. Бюл. № 6, 1997 р.
5. Усовершенствование рециркуляционной термической печи с подподовыми топками / [Ревун М. П., Чепрасов А. И., Башлий С. В. и др.] // Сталь, 1996. — № 2. — С. 53–55.
6. Ревун М. П. Интенсификация работы печных агрегатов путем использования импульсной системы отопления / Ревун М. П., Чепрасов А. И. // Материалы международной практической конференции «Автоматизированный печной агрегат — основа энергосберегающей технологии XXI века», г. Москва, 15–17 ноября 2000 г. — С. 260–262.

Статья поступила 22.11.2016

Ревун М.П., Башлий С.В., Чижов С.Е., Курило Н.С. Методика расчета параметров импульсного отопления

Разработана методика теоретического расчета временных параметров импульсного способа отопления. Нагревательный агрегат рассмотрен с точки зрения теории автоматического управления — как объект регулирования. Проведено экспериментальное подтверждение созданной методики. Предложенная методика расчета параметров импульса позволяет адаптировать конструктивные особенности любого нагревательного агрегата для внедрения импульсного способа отопления.

Ключевые слова: импульсный способ отопления, равномерность нагрева, температурный режим, термообработка, горелочное устройство.

Revun M., Bashlii S., Chizhov S., Kurilo N. Method for calculating the parameters of impulse heating

The method of theoretical calculation of temporal parameters of impulsive method of heating is developed. A heater asm is considered from point of theory of automatic control — as an adjusting object. Experimental confirmation of the created method is conducted the Offered method of calculation of parameters of impulse allows to adapt the structural features of any heater asm for introduction of impulsive method of heating.

Key words: impulsive method of heating, evenness of heating, temperature condition, heat treatment, пальниковий device.