

УДК 621.311.16

БАШЛІЙ Сергій Вікторович ⁽¹⁾, доцент, кандидат технічних наук
ЛЮТИЙ Олександр Павлович ⁽²⁾, заступник генерального директора, кандидат технічних наук
ЧЕПРАСОВ Олександр Іванович ⁽¹⁾, професор, кандидат технічних наук
КАЮКОВ Юрій Миколайович ⁽¹⁾, доцент, кандидат технічних наук
КАРЮК Анна Юрївна ⁽¹⁾, студент

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБЧИСЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОГО ОПАЛЮВАННЯ НАГРІВАЛЬНИХ ПЕЧЕЙ

⁽¹⁾ Запорізька державна інженерна академія

⁽²⁾ ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпрспецсталь», м. Запоріжжя

Розроблено методику теоретичного визначення часових параметрів імпульсного опалювання нагрівальних печей і виконано експериментальне підтвердження її правомірності. Запропонована методика дозволяє адаптувати конструктивні особливості будь-якого нагрівального агрегату для впровадження імпульсного опалювання.

Ключові слова: нагрівальна піч, імпульсне опалювання, рівномірність нагрівання металу, температурний режим, пальниковий пристрій

Вступ. Сучасне імпульсне опалювання нагрівального обладнання має безперечні переваги перед традиційним безперервним виконанням температурних режимів у теплових агрегатах [1-4]. Це і рівномірність нагрівання за всім обсягом садки металу, відсутність критичних перепадів температури, значне підвищення конвективної складової теплообміну за рахунок виключення «застійних» зон з аеродинаміки робочого обсягу агрегату, а також автоматична організація оптимального рециркуляційного потоку гріючих газів, та, як наслідок, скорочення тривалості теплової обробки металу із збільшенням продуктивності агрегату, зниженням витрати газоподібного палива та більш раціональним завантаженням його виробничої потужності.

Проте, разом із зазначеними перевагами на шляху повсюдного впровадження імпульсного опалювання існує низка перешкод:

– існуючий парк пальникових пристроїв, що встановлено на теплових агрегатах, як правило, не пристосовано до роботи за граничними режимами, які є необхідними для реалізації зазначеного опалення;

– відсутність універсальної методики теоретичного обчислення тривалості подавання імпульсу палива, а також тривалості його відсутності, що не дозволяє ще на етапі розробки проекту підібрати необхідні пальники та систему автоматичного регулювання для будь-якого агрегату;

– неможливість використання у широких масштабах напрацьованого позитивного досвіду впровадження та позитивних результатів через відсутність зазначеної методики.

Тому для реалізації імпульсного способу опалювання розроблено пальниковий пристрій [5], який дозволяє забезпечити режим опалювання у широкому діапазоні температури, а також витрат палива й повітря, за плавного та ступінчастого подавання їх до робочого об'єму печі.

Постановка завдання. Робота присвячена розробці методики теоретичного визначення часових параметрів імпульсного опалювання.

Головна частина досліджень. Розглядають нагрівальну піч як об'єкт автоматичного регулювання, де вхідним сигналом є витрата газоподібного палива, а за вихідний сигнал прийнято температуру в її робочому об'ємі.

Обчислення параметрів імпульсного опалювання виконують шляхом дослідження динамічних характеристик зазначеного об'єкту. При цьому головними параметрами є тривалість імпульсів і пауз між ними. Тому слід одержати криві розгону за відомою методикою [6,7], а потім виконати обчислення, що наведено нижче.

Оскільки метал, що нагрівають, є об'єктом, де може накопичуватися енергія, то диференціальне рівняння динаміки нагрівання у різних точках щодо ширини печі є інерційною ланкою другого порядку:

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

де T_1 , T_2 – постійні часу; $X_{\text{вих}}$ – температура у контрольованій точці за шириною печі; $X_{\text{вх}}$ – витрата газоподібного палива; k – коефіцієнт передавання об'єкта; τ – тривалість процесу.

Передавальна функція зазначеної ланки має вигляд:

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

де p – оператор передавальної функції.

Часова характеристика такої ланки залежить від того, знаменник передавальної функції має дійсні чи спряжено-комплексні корені. Виходячи з постановки задачі, приймають, що знаменник передавальної функції має два рівні дійсні негативні корні для кожної точки вимірювання, оскільки в об'єкті, що нагрівають, може накопичуватися енергія:

$$T_2^2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1 = 0. \quad (3)$$

Звідки

$$p_{1,2} = \frac{-T_1 \pm (T_1^2 - 4 \cdot T_2^2)^{0,5}}{2 \cdot T_2^2} = -\frac{T_1}{2 \cdot T_2^2} \pm \left(\frac{T_1^2}{4 \cdot T_2^4} - \frac{1}{T_2^2} \right)^{0,5}. \quad (4)$$

Оскільки корні є однаковими, то приймають, що

$$T_1 = 2T_2. \quad (5)$$

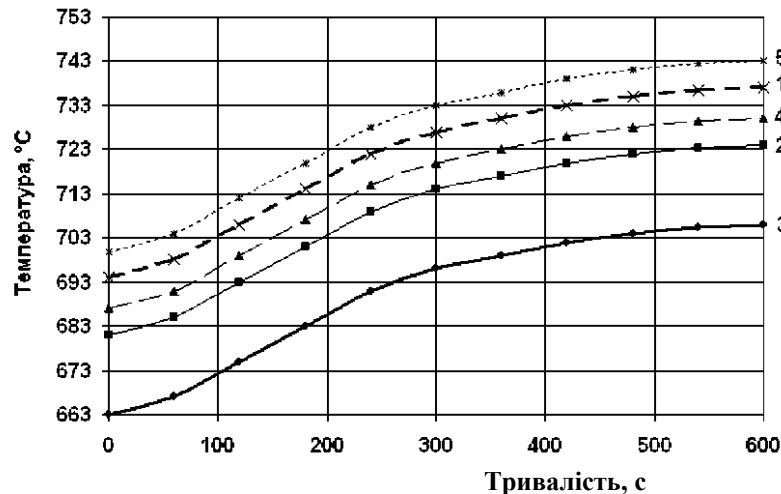


Рисунок 1 – Криві розгону за п'ятьма точками середньої зони печі

З передавальних функцій (6) одержують амплітудно-фазові частотні характеристики

$$W(i\omega) = \frac{k}{(T_i \cdot \omega + 1)^2}. \quad (7)$$

Для обчислення тривалості подавання газоподібного палива з амплітудно-фазової характеристики визначають амплітудно-частотні характеристики для всіх п'яти точок як

$$A(\omega)_j = \frac{k_j}{T_j^2 \cdot \omega^2 + 1}, \quad (8)$$

де $j = 1 \dots 5$ – номер точки експерименту.

За умови імпульсного нагрівання металу бажано одержати мінімальне відхилення температури у кожній точці її вимірювання. Тому ви-

Тоді передавальну функцію ланки другого порядку можна записати як

$$W(p) = \frac{k}{(T_2 \cdot p + 1)^2}. \quad (6)$$

Для експериментального підтвердження розробленої методики у робочому об'ємі діючої печі термічного цеху ПАТ «Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь» в одній із її зон було встановлено п'ять термоелектричних термометрів, на рівній відстані один від одного щодо ширини печі. Робочі спай датчиків температури розташовували на поверхні садки металу: точка 1 знаходилася з боку розташування пальників, а точка 5 – біля протилежної бічної стіни печі.

Під час експериментів виконували ступінчасте подавання палива та повітря на пальник у період витримки металу в печі, а на вторинному приладі реєстрували криві розгону в зазначених п'яти точках щодо ширини печі (рис. 1).

конують порівняння правої частини співвідношень (8) з мінімальним значенням перепаду температур Δt_{\min} та знаходять частоти реверсування за часом.

$$\Delta t_{\min} = \frac{k}{T^2 \cdot \omega^2 + 1}; \quad (9)$$

$$\omega = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{k}{\Delta t_{\min}} - 1 \right)^{0,5}. \quad (10)$$

Виходячи з наведених вище теоретичних положень, перепад температури щодо ширини печі можна розрахувати за формулою:

$$\Delta t(\omega) = \frac{k}{T^2 \cdot \omega^2 + 1}, \quad (11)$$

де T – час об'єкту, протягом якого сягають сталого значення температури під час подавання однократного ступінчастого збурення.

На рис. 2 наведено теоретичні значення тривалості імпульсів щодо ширини печі за п'ятьма

точками вимірювання температури. Як видно, максимальне значення їх тривалості є характерним для середньої точки (точка 3), тому приймаємо його за оптимальну величину [8].



Рисунок 2 – Теоретичне значення тривалості імпульсів за шириною печі у п'ятих точках

У виконаному досліді за максимальним тепловим навантаженням печі температура на початку процесу складала $720\text{ }^{\circ}\text{C}$, протягом наступних трьох хвилин її значення збільшилося до $760\text{ }^{\circ}\text{C}$; після відключення газу стабілізація температури у печі досягала протягом шести хвилин. Після визначення характеристик кривої розгону та обчислень тривалості імпульсу було

одержано $\tau_u = 540\text{ с}$, що є досить близьким до теоретично розрахованого значення.

Висновки. Запропоновано методику обчислення параметрів імпульсу подавання газоподібного палива, що дозволяє адаптувати конструктивні особливості будь-якого нагрівального агрегату до впровадження сучасного перспективного імпульсного опалювання.

Бібліографічний список

1. Ревун, М. П. Система імпульсного опалення камерних нагрівальних печей [Текст] / М. П. Ревун, Ф. Ф. Франк // Сталь. – 1983. – № 9. – С. 84-87.
2. Ревун, М. П. Новые схемы импульсного опалення нагрівальних і термічних печей [Текст] / М. П. Ревун, Е. Н. Баріщенко, А. І. Чепрасов і др. // Металургічна і горнорудна промисловість. – 2005. – № 3. – С. 97-100.
3. Ревун, М. П. Система імпульсного опалення рециркуляційної термічної печі [Текст] / М. П. Ревун, А. І. Чепрасов, С. В. Башлій, А. Н. Андриєнко // Научные основы конструирования металлургических печей : теплотехника и экология. – Тез. докл. междунар. семинара. – Днепропетровск, 1993. – С. 54-55.
4. Ревун, М. П. Интенсификация работы печных агрегатов путем использования импульсной системы опалення [Текст] / М. П. Ревун, А. І. Чепрасов // Матеріали між. практичної конф. «Автоматизований печний агрегат – основа енергозберігаючої технології ХХІ століття». – Москва, 15-17.11.2000. – С. 260-262.
5. Деклар. пат. 70600А. Україна, МПК F 23 D 14/20. Пальниковий пристрій [Текст] / М. П. Ревун, С. В. Башлій, О. І. Чепрасов, О. М. Андриєнко, О. А. Данішевський, К. К. Онода, О. М. Баріщенко. Заявник і патентотримач Запорізька державна інженерна академія. – № 29931211663. – Заявл. 16.12.2003, опубл. 15.10.2004.
6. Ротач, В. І. Расчет настройки промышленных систем регулирования. – М. : - Л. : Энергия, 1961. – 344 с.
7. Неймарк, Л. А. Сравнительные испытания импульсного и непрерывного опалення в термічних печах [Текст] / Л. А. Неймарк, Я. М. Гречишников, И. К. Энно и др. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 9. – С. 35-37.
8. Ревун, М. П. Методика расчета параметров импульсного опалення термічних печей [Текст] / М. П. Ревун, Е. Н. Баріщенко, С. В. Башлій // Металургічна теплотехника : сб. научн. трудов. НМетАУ. – Днепропетровск, 2007. – С. 219-224.

БАШЛІЙ Сергей Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: bsv.zgia,zp.ua@yandex.ru

ЛЮТЫЙ Александр Павлович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора, ПАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» (Запорожье, Украина). E-mail: info@dss.com.ua

ЧЕПРАСОВ Александр Иванович, кандидат технических наук, профессор кафедры теплоэнергетики и гидроэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: alex.i.chep-rasov@gmail.com

КАЮКОВ Юрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и гидроэнергетики, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: lenajura2010@gmail.com

КАРЮК Анна Юрьевна, студент, Запорожская государственная инженерная академия (Запорожье, Украина). E-mail: admin@zgia.zp.ua

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО ОТОПЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Разработана методика теоретического расчета временных параметров импульсного способа отопления и выполнено экспериментальное подтверждение ее правомочности. Предложенная методика расчета параметров импульса позволяет адаптировать конструктивные особенности любого нагревательного агрегата для внедрения импульсного способа отопления.

Ключевые слова: импульсное отопление, равномерность нагрева металла, температурный режим, горелочное устройство

BASHLIY Sergiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Metallurgy Department, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: bsv.zgia.zp.ua@yandex.ru

LYUTY Olexander, Candidate of Technical Sciences, Deputy of Director, PAJ «Electrometallurgy «Dneprospetsstal'», (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: info@dss.com.ua

CHEPRASOV Olexander, Candidate of Technical Sciences, Professor of Department of Heat Power Engineering and Hydroenergetics, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: aalex.i.chepraov@gmail.com

KAYUKOV Yuriy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Heat Power Engineering and Hydroenergetics, Zaporizhska State Engineering Academy, Zaporizhzhya State Engineering Academy (Zaporozhe, Ukraine). E-mail: lenajura2010@gmail.com

KARYUK Ann, Student, Zaporizhska State Engineering Academy (Zaporizhzhya, Ukraine). E-mail: admin@zgia.zp.ua

DEVELOPMENT OF CALCULATION METHOD FOR HEATING IMPULSIVE PARAMETERS OF HEAT FURNACES

The method of theoretical calculation of time parameters of impulsive method of heating is developed and experimental confirmation of the created method is conducted. Offered method allows to adapt the structural features of any heater aggregate for introduction of impulsive method of heating.

Keywords: impulsive heating, evenness of metal heating, temperature mode, burner device

Стаття надійшла до редакції 31.07.2017 р.

Рецензент, проф. І.Г. Яковлева

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука

<http://www.zgia.zp.ua>