

Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, професор
В.Л. Коваленко, канд. техн. наук, доцент; А.А. Візер
Запорізька державна інженерна академія

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЗОВОЇ НАГРІВАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЗА УМОВИ СТВОРЕННЯ В ЇЇ КАМЕРІ ПРОСТОРОВОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Виконано аналіз енергоефективності газової нагрівальної установки у якій просторовим електричним полем здійснюється управління тепловими потоками. Результати проведених досліджень обґрунтовують доцільність з економічної точки зору значення прикладеної напруги.

Ключові слова: аналіз енергоефективності, просторове електричне поле, тепловий потік, інтенсифікація теплообміну, нагрівальна установка, економічно доцільна напруга.

Вступ.

У зв'язку із постійним зростанням вартості енергоресурсів і природного газу зокрема, енергозбереження на промислових підприємствах України, а особливо підвищення енергоефективності теплових агрегатів, набуває першорядного значення, оскільки воно безпосередньо пов'язане з собівартістю кінцевої продукції. Це, перш за все, стосується металургійних виробництв через їх високу енергоемність. Отже, подальші дослідження у даному напрямку є актуальними.

Аналіз попередньо проведених експериментальних досліджень показав, що вплив електричного поля на процес розподілу теплоти у нагрівальних камерах є незаперечним [1,2]. Запропонований спосіб керування тепловими потоками на основі застосування зазначеного поля дає можливість більш ефективно нагрівати метал у газових печах і, як наслідок, підвищити енергоефективність установок у цілому [3].

Відомо [4], що для будь-якого газового середовища залежність перебігаючого ним струму від прикладеної до відповідних електродів напруги має три характерні послідовні ділянки. Спочатку для невеликих значень напруги ця залежність лінійна, бо кількість позитивних та негативних зарядів залишається практично постійною. Потім зростання струму сповільнюється, оскільки при збільшенні напруги іони не встигають рекомбінуватися, тому й під впливом іонізації відбувається насичення ними газу. З подальшим підвищенням напруги струм знову зростає, оскільки з'являється вторинний процес іонізації під дією зіткнення швидких носіїв заряду з нейтральними молекулами. А вже потім, при відносно великій напрузі, відбувається "пробій" проміжку між електродами, і виникає самостійний безперервний розряд. Тож у розглядуваному випадку застосування електричного поля важливо не виходити щодо напруги за межі першої ділянки вольт-амперної характеристики.

Мета та завдання.

Експериментальне підтвердження наведеного явища на теплоенергетичних установках викликало дослідницький інтерес щодо співвідношення обсягів додатково використаної теплоти і витраченої для го електроенергії. Тож у першу чергу постала необхідність проведення відповідних дослідів задля визначення доцільного значення напруги відносно поставленого завдання.

Матеріал та результати досліджень.

Основною кількісною характеристикою ефективності використання електричного поля у випадку, що розглядається, є значення питомих витрат активної електроенергії як співвідношення спожитої електрообладнанням, яке створює поле на відповідній напрузі, ΔW , Вт-год до сумарного додаткового приросту температури протилежних пластин, що нагріваються при тій же напрузі ΔT , °С. Для оцінки витрат електричної енергії, необхідної для створення і підтримки зазначеного поля у нагрівальній камері та визначення доцільної величини зазначеної напруги використана спеціальна нагрівальна установка [2] з системою пластин, що розташовані на різній відстані від пальника, які можливо переміщувати у горизонтальній площині відносно повздовжньої вісі камери. Електрична частина установки дозволяла змінювати робочу напругу заданої полярності на рухомих електродах у широкому діапазоні 0 – 1000 В [3]. Найбільший ефект при цьому спостерігався на пластинах, розташованих на відстані 0,315 м від верхньої межі камери і на 0,05 м від повздовжньої осі. Відповідні результати проведеного експерименту наведено на рис. 1.

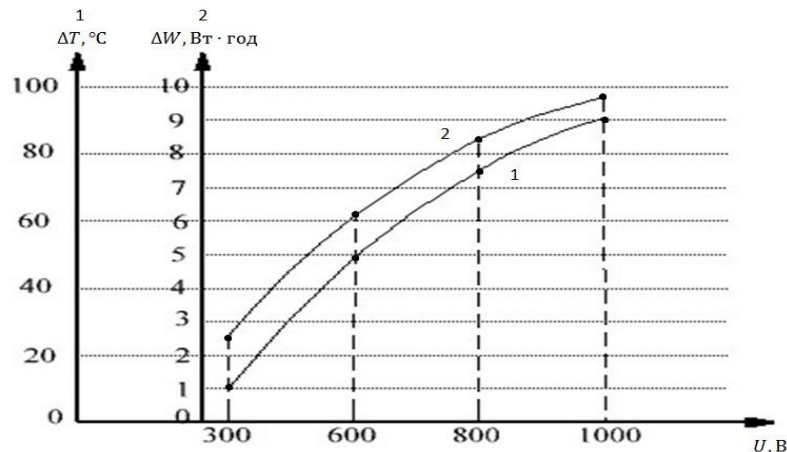


Рис. 1 Результати розрахунків відповідних величин за експериментальними вимірами

Аналіз розподілу теплоти за наведеними результатами показав, що при збільшенні рівня напруги спостерігається зростання спожитої електроенергії, яке створює поле на відповідній напрузі, електроенергії ΔW (від 2,5 до 9,6 Вт·год). На перший погляд, це свідчить про недоцільність такого заходу навіть у межах до 1000В. І це при тому, що за таких самих експериментальних умов на ідентично розташованій пластині, на яку не подавалася напруга, приріст температури практично не спостерігався [2]. Та все ж припущення, що такі витрати можуть бути значно меншими ніж сумарна теплова енергія, яку при цьому додатково сприймає пластина від теплового потоку спонукає до більш детального аналізу.

Отже рішення щодо величин напруги, яка подається на пластини (чи об'єкт, що нагрівається) необхідно приймати виходячи із співвідношення обсягів отриманого корисного ефекту та витрачених на це зусиль у грошовому еквіваленті, тобто вартостей додаткового газу чи електроенергії, необхідних для підвищення температури конкретної заготовки на 1°C . А це залежить як від ваги останньої і параметрів печі, так і діючих ціни на газ та тарифу на електроенергію.

Згідно постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) від 28.11.2014 № 426 "Про встановлення граничного рівня ціни на природний газ для промислових споживачів та інших суб'єктів господарювання" максимальний рівень ціни на природний газ, що реалізується промисловим споживачем для підприємств, наприклад, Запорізького регіону складає близько 7661,64 грн за 1000 м^3 . Згідно постанови НКРЕКП від 25.11.2014 № 380 тариф на електричну енергію для тих же споживачів складає 103,21 коп./кВт·год без ПДВ.

Що ж до наведених експериментальних умов, витрати природного газу для розглядуваних варіантів розташування дослідних пластин у нагрівальній камері склали $V_{\Gamma} = 0,04\text{ м}^3/\text{хв}$. Останні вимірювались газовим лічильником типу Gallus 2000 G4. Усереднене значення питомих витрат газу відносно температури пластин визначали за формулою:

$$V_{\Gamma}^{num} = \frac{V_{\Gamma} \cdot \tau}{T} = \frac{0,04 \cdot 39}{455} = 0,003\text{ м}^3 / 1^{\circ}\text{C}, \quad (1)$$

де V_{Γ} — середні витрати природного газу, $\text{м}^3/\text{хв}$;

τ — проміжок часу, за який нагрівали пластини, хв.;

T — температура, якої досягли пластини при зазначених витратах газу без застосування просторового електричного поля, $^{\circ}\text{C}$.

За діючою зараз ціною на природний газ це дорівнює:

$$Z_{\Gamma} = V_{\Gamma}^{num} \cdot B_{\Gamma} = 0,003 \cdot 7,661 = 0,023\text{ грн} / 1^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

де B_{Γ} - діючий тариф на природний газ для промислових підприємств України.

За результатами експериментальних дослідів на основі застосування електричного поля при напрузі у 300 В додатковий приріст температур пластин дорівнює:

$$\Delta T_{300} = T_2 - T_1 = 484 - 470 = 14^{\circ}\text{C}, \quad (3)$$

де T_1, T_2 — температура, якої досягли пластини без напруги та під напругою у 300 В відповідно.

Якщо використовувати для забезпечення такого приросту температур тільки газ, то додаткові витрати складуть:

$$Z_{Г300} = V_{Г}^{num} \cdot \Delta T_{300} \cdot B_{Г} = 0,003 \cdot 14 \cdot 7,661 = 0,32 \text{ грн} \quad (4)$$

В результаті ж експерименту при незмінних питомих витратах газу й застосуванні електричного поля, витрати спожитої електроенергії при тій же напрузі склали $\Delta W = 2,5 \cdot 10^{-3}$ кВт·год. Враховуючи діючий тариф на електроенергію $B_{ел} = 1,236$ грн/кВт·год з ПДВ це дорівнює:

$$Z_{ел300} = \Delta W \cdot B_{ел} = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,236 = 3,09 \cdot 10^{-3} \text{ грн} \quad (5)$$

Коефіцієнт відношення вартості витрачених газу та електричної енергії для розглядуваного варіанту поданої на пластину напруги у 300 В, складає:

$$K = \frac{Z_{Г300}}{Z_{ел300}} = \frac{0,32}{3,09 \cdot 10^{-3}} = 103,6 \text{ разів} \quad (6)$$

Аналогічні розрахунки для напруг на пластині 600,800,1000В представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Кількісна оцінка витрат енергоресурсів за результатами експериментальних дослідів

Напруга, В	$\Delta T, ^\circ\text{C}$	$V_{Г}, \text{м}^3$	$Z_{Г}, \text{грн}$	$Z_{ел}, \text{грн} \cdot 10^{-3}$	К, разів
300	14	0,042	0,32	3,09	103,6
600	49	0,147	1,13	7,54	149,9
800	74	0,222	1,70	9,89	171,9
1000	90	0,27	2,07	1187	174

Виходячи з наведеного, управління тепловими потоками просторовим електричним полем сприяє більш ефективному використанню природного газу у нагрівальних установках та дає значну грошову економію.

Таким чином, за діючими на цей час тарифами на зазначені енергоресурси для розглянутої установки економічно доцільно використовувати максимально допустиму з вимог електробезпеки напругу 1000В.

Висновки.

Аналіз результатів проведених експериментів показав, що для розглянутої експериментальної установки з економічної точки зору доцільна напруга сягає 1000 В. Очевидно, що остання може бути іншою для реальних нагрівальних печей в залежності від їх геометричних розмірів, різновиду палива, складу продуктів згорання та цін і тарифів на енергоресурси. Послідовність проведених досліджень є підґрунтям для складання алгоритму і програми визначення гранично доцільного значення зазначеної напруги у кожному конкретному випадку.

Список літератури.

1. Качан Ю. Г. Щодо можливості підвищення енергоефективності нагрівальних печей за рахунок формування теплових потоків просторовими електричними полями / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // *Металургія : наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя: РВВ ЗДІА, 2013. № 29. – С. 121–125.*
2. Качан Ю. Г. Щодо можливості керування тепловими потоками просторовим електричним полем. / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, А. А. Візер // *Металлургическая теплотехника : сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск : Новая идеология, 2013. № 13.*
3. Качан Ю.Г. Моделирование температурного режима газовой нагривальной печи за наявності просторового електричного поля / Качан Ю.Г., Коваленко В.Л., Візер А.А. // *Енергетика: економіка, технології, екологія. – Вип. 2 (36). – Київ: НТУУ «КПІ» ВПІ ВПК «Політехніка», 2014. – С. 28-32.*
4. Туричин А. М. Электрические измерения / М. А. Туричин. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1961. – 338с.

U. Kachan, V. Kovalenko, A. Vizer

Zaporozhye State Engineering Academy

THE QUANTITATIVE ANALYSIS OF GAS HEATING INSTALATION PROVIDED WITH CREATION OF ITS SPACE ELECTRIC FIELD

The analysis of energy efficiency gas heating furnace in which the spatial electric field manages the heat flow. The sequence of the research can be used to determine the maximum desirable things from the economic the voltage, various heating devices points of view.

Keywords: analysis of energy efficiency, spatial electric field, heat flow, intensification of heat exchange, heating installation, economically expedient voltage.