

Ю.Г. Качан, зав. кафедрою, д.т.н., професор

В.Л. Коваленко, доцент, к.т.н.

А.А. Візер, аспірант

## **ЩОДО МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАГРІВАЛЬНИХ ПЕЧЕЙ ЗА РАХУНОК ФОРМУВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ПРОСТОРОВИМИ ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПОЛЯМИ**

*Запорізька державна інженерна академія*

Рассмотрены способы интенсификации теплообмена в газовых нагревательных печах. Установлена необходимость проведения экспериментального подтверждения возможности влияния электрического поля на тепловой поток. Определено, что задачу повышения энергоэффективности нагревательных газовых печей нужно решать комплексно, одновременно изменяя и их аэродинамические характеристики, и осуществляя дополнительное влияние на тепловой поток электрическими полями. Определены направления дальнейших исследований.

Розглянуті способи інтенсифікації теплообміну в газових нагрівальних печах. Встановлена необхідність проведення експериментального підтвердження можливості впливу електричного поля на тепловий потік. Визначено, що задачу підвищення енергоефективності нагрівальних газових печей потрібно вирішувати комплексно, одночасно змінюючи їх аеродинамічні характеристики та здійснюючи додатковий вплив на тепловий потік просторовими електричними полями. Визначено напрями подальших досліджень.

The methods of intensification of heat exchange in heater gas-furnace are considered. The necessity of experimental confirmation realization for possibility of electric-field influence on a thermal stream is set. It is certain that the task of increase of energy-efficiency of heater gas-furnaces needs to be decided complex, simultaneously changing their aerodynamic descriptions and carrying out additional influence on a thermal stream the electric fields. Directions of further researches are revealed.

*Вступ.* На підприємствах металургії та машинобудування України широкого поширення набули камерні нагрівальні печі, які використовують як паливо природний газ. Проте з причини нестримно зростаючої вартості енергетичних ресурсів, у країні гостро стоїть питання зниження витрат первинного енергоносія на одиницю продукції, що випускають. Як відомо, одна тонна умовного палива, що заощаджена у споживача є еквівалентною 2,5 тонн первинних паливних ресурсів [1]. У зв'язку з цим на перший план під час конструювання нагрівальних печей виставляється вимога енерго- та ресурсозбереження [2].

Маючи такі значні переваги як універсальність з точки зору якості нагрівання виробів і широкий спектр регулювання режиму роботи, камерні нагрівальні печі мають і ряд істотних недоліків, серед яких слід зазначити значні теплові втрати з продуктами згоряння, нерівномірність розподілу теплоти у межах садки металу, значний відсоток вигару металу тощо [3]. Перелічені особливості призводять до зменшення енергетичної ефективності нагрівальної печі у цілому. Доля втрат теплоти з продуктами згоряння у балансі зазначених нагрівальних печей може сягати понад 50 %. Тому основним резервом економії палива є використання теплового потенціалу димових

газів, а пріоритетним завданням є розробка та впровадження енергозберігаючих заходів для нагрівальних печей з метою зниження витрати газу.

Зазначене підтверджується жорсткими вимогами, що пред'являються до роботи нагрівальних газових печей, а саме, забезпечення [4,5]:

- заданого рівня продуктивності;
- якості нагрівання;
- вимог до механічних властивостей металу та знеуглецювання, створення окалини та перегрівання;
- ефективного використання палива, характеристикою якого служить питома витрата енергії на одиницю продукції;
- відповідності екологічним нормам за гранично допустимими викидами в атмосферу пилу та шкідливих газів. Максимально дозволені концентрації токсичних речовин на промислових підприємствах регламентуються державними стандартами та ґрунтовані на санітарно-гігієнічних нормах [6].

Основним показником роботи нагрівальних печей є їх економічність за умови дотримання вимог до технології обробки матеріалу [7]. Споживання енергії у більшості газових нагрівальних печей вітчизняних підприємств значно перевищує рівень, який досягнуто у промислово розвинених країнах. Оптимізація теплової роботи печей виявляється економічно доцільнішою, ніж введення в дію додаткових потужностей [8]. На сьогоднішній день перспективним напрямом є вдосконалення управління температурними полями у печах та оптимізація теплового режиму пічної установки. Доведено, що впливати на рух теплових потоків у печі можна за рахунок змінювання положення пальників і витяжних вікон, яке покращує її аеродинамічні характеристики [9]. В роботі [10] запропонована математична модель, на основі якої було проведено обчислювальний експеримент щодо дослідження об'ємного розподілу теплової енергії у камері печі та виділено зону, на яку припадає найбільша частина загальної теплової енергії (41 %), тобто бажане місце розташування деталей для нагрівання. Але розмістити заготовку таким чином є технічно складним завданням, а перерозподілити теплову енергію у печі шляхом змінювання її аеродинамічних характеристик, у даному разі, проблематично. Тобто таким способом управління теплотою можливо отримати максимальні енергетичні показники печі. Для подальшого підвищення енергоефективності потрібно направляти теплову енергію у місця розташування деталей, використовуючи додаткові способи.

Існують три основні шляхи підвищення ефективності теплообміну в технологічних установках:

- за рахунок збільшення теплоконтактної поверхні;
- за рахунок збільшення коефіцієнту тепловіддачі;
- шляхом оптимізації процесу спалювання первинних енергоресурсів та перерозподілу теплоти продуктів згоряння в об'ємі камери.

Перші два зазначені шляхи включають у себе загальновідомі способи, такі як оребрення теплоконтактної поверхні, підвищення швидкості потоку теплоти, його турбулізацію або руйнування приграничного шару, наприклад, за рахунок накладення на потік або поверхню нагрівання додаткових коливань у певному діапазоні частот. В останньому ж способі дослідницький інтерес спричинює можливість застосування електричних полів [11].

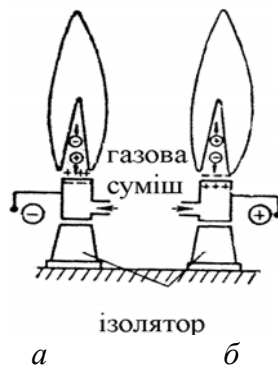
В установках, що потребують спрямованої передачі теплоти від продуктів згоряння до теплоконтактної поверхні, у разі накладення на зазначену поверхню електричного потенціалу, тепловий потік щільніше прилягатиме до неї. Це обумовлюється тим, що електризовані частки продуктів згоряння наблизатимуться до зазначеної поверхні та створюватимуть біля неї високотемпературну зону, що сприятиме підвищенню швидкості нагрівання. Таким чином, механізм впливу електричного поля на розповсюдження теплового потоку передбачає, що іони та електрони набувають достатньої енергії поступального руху і в процесі непружних зіткнень між собою та з поверхнею нагрівання створюють нові активні центри у вигляді вільних атомів, радикалів, нових заряджених або збуджених часток. Як результат такої взаємодії відбувається інтенсифікація процесу теплообміну.

Існує значна кількість публікацій, присвячених дії електричних полів на процес горіння [12-15], але з точки зору впливу електричних полів на теплові потоки питання залишається відкритим і потребує подальших досліджень в даному напрямку. Тому, виходячи із вищезазначеного, очевидно є необхідність проведення експериментального підтвердження можливості впливу електричного поля, бажано напругою до 1000 В для дотримання вимог з електробезпеки, на тепловий потік. Також необхідно дослідним шляхом перевірити носії якого основного заряду переважають у полум'ї, оскільки від цього залежатиме конструкція технічних пристроїв для реалізації зазначеного методу енергозбереження.

На рис. 1 і 2 наведено варіанти накладення повздовжнього електричного поля та заряду на пальник з можливим змінюванням їх напругу та знаку заряду.



**Рисунок 1** – Вплив електричного поля на позитивно та негативно заряджений пальник



**Рисунок 2** – Вплив електричного поля на пальник за відсутності другого електроду

У варіанті рис. 1,а поле створюється негативно зарядженим пальником і позитивним електродом, встановленим у «хвості» полум'я. Таким чином організовується рух позитивних іонів до пальника вниз та електронів угору.

У варіанті рис. 1,б полум'я поширюється від позитивно зарядженого пальника до негативного електроду. В цьому випадку до пальника спрямовується потік електронів, а позитивні іони одержують додаткову кількість руху за ходом потоку.

У варіанті рис. 2,а пальник має негативний заряд, отже, позитивні іони з об'єму полум'я будуть прямувати до пальника.

У варіанті рис. 2,б повинна спостерігатися зворотна картина – до позитивно зарядженого пальника з полум'я спрямується потік електронів [16].

Передбачається, що даний процес найбільш ефективно повинен протікати під час накладення електричного поля за варіантом, показаним на рис. 1,б, коли потік електронів розганяється у напрямку до позитивно зарядженого пальника, тобто назустріч потоку горючої суміші.

*Висновок.* Аналіз методів підвищення енергоефективності нагрівальних газових печей свідчить про те, що для одержання максимальних енергетичних показників необхідно використовувати додаткові способи, серед яких має інтерес застосування електричних полів. Тому необхідно дослідити можливість використання електричних полів для інтенсифікації процесів теплообміну на фізичній моделі, систематизувати теоретичні та експериментальні дані щодо механізмів впливу на процес теплообміну. Необхідно також розробити відповідні методики визначення ефективності такого способу управління тепловими потоками у поєднанні з алгоритмами оптимізації цього процесу, використовуючи у подальших дослідженнях попередні напрацювання та математичні моделі печей [10,17]. Все це дасть можливість комплексно вирішити головне завдання – підвищити енергоефективність нагрівальних газових печей, одночасно змінюючи не тільки їх аеродинамічні характеристики, але й здійснюючи додатковий вплив на тепловий потік просторовими електричними полями.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Иссерлин, А. С.* Основы сжигания газового топлива [Текст] : справочное пособие / А. С. Иссерлин. – Л. : Недра, 1987. – 336 с. – Библиогр. : с. 332-334. – ISBN 5-1238319.
2. *Губинский, В. И.* Нагревательные печи металлургии – сегодня и завтра [Текст] / В. И. Губинский // Теория и практика металлургии. – 2004. – № 6 (20). – С. 56-60.
3. *Пилипенко, Р. А.* Интенсификация тепловой работы камерных печей, отапливаемых природным газом [Текст] / Р. А. Пилипенко // Металлургическая теплотехника : сб. науч. трудов НМетАУ. – Днепропетровск : НМетАУ, 2002. – Т. 8. – С. 99-105.
4. *Губинский, В. И.* Теория пламенных печей [Текст] / В. И. Губинский, Лу-Чжун-У. – М. : – Машиностроение, 1995. – 256 с. – Библиогр. : с. 252. – ISBN 5-217-02647-2.
5. Расчеты нагревательных печей [Текст] / С. И. Аверин, Э. М. Гольдфарб, А. Ф. Кравцов и др. – Киев : Техника, 1969. – 540 с. – Библиогр. : с. 535-536.
6. *Губинский, В.И.* Металлургические печи [Текст] : учеб. пособие / В. И. Губинский. – Днепропетровск: НМетАУ, 2006. – 85 с. – Библиогр. : с. 75. – ISBN 966-95088-3-5.
7. *Ерёмин, А. О.* Современные способы отопления нагревательных печей [Текст] / А. О. Ерёмин // Металлургическая теплотехника : сб научн. трудов НМетАУ. – Днепропетровск : Новая идеология. – 2008. – С. 139-151.

8. *Ольшанский, В. М.* Проблема энергосбережения при производстве проката на металлургических предприятиях Украины [Текст] / В. М. Ольшанский // Металлургическая теплотехника : сб. научн. трудов ГМетАУ. – Днепропетровск : ГМетАУ, 1999. – Т. 2. – С. 63-66.
9. *Качан, Ю. Г.* О проблеме энергоэффективности нагревательных газовых печей [Текст] / Ю. Г. Качан, В. В. Степкин, Ю. Б. Спекторова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2011. – № 11. – С. 31-37.
10. *Качан, Ю. Г.* Количественная оценка энергоэффективности камерных печей с выкатным подом [Текст] / Ю. Г. Качан, В. Л. Коваленко, Ю. Б. Спекторова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 3. – С. 66-68.
11. *Черепнин, С. Н.* К вопросу о влиянии ионизирующих добавок и внешнего электрического поля на горение и окисление [Текст] / С. Н. Черепнин // Физика горения и взрыва. – 1991. – Т. 27, № 1. – С. 75-77.
12. *Лавров, Ф. А.* Влияние продольного электрического поля на процесс горения газовых смесей [Текст] / Ф. А. Лавров, А. Э. Малиновский // Журнал физической химии. – 1933. – Т. 4, Вып. 1. – С. 104-108.
13. *Кавера, А. Л.* Исследование состояния вопроса о процессах горения в электрическом поле [Текст] / А. Л. Кавера // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2005. – № 1. – С. 182-187.
14. *Ягодников, Д. А.* Влияние внешнего электрического поля на особенности процессов воспламенения и горения [Текст] / Д. А. Ягодников, А. В. Воронцов // Физика горения и взрыва. – 1994. – № 3. – С. 3-12.
15. *Афанасьев, В. В.* Диагностика и управление устойчивостью горения в камерах сгорания энергетических установок [Текст] / В. В. Афанасьев, Н. И. Кидин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 176 с. – ISBN 978-5-9221-0964-2.
16. *Степанов, Е. М.* Ионизация в пламени и электрическое поле [Текст] / Е. М. Степанов, Б. Г. Дьячков. – М. : Металлургия, 1968. – 312 с. – Библиогр. : с. 266.
17. *Качан, Ю. Г.* Математическая модель камерной нагревательной печи [Текст] / Ю. Г. Качан, В. В. Степкин, Ю. Б. Спекторова // Енергетика: економія, технології, екологія. – 2011. – № 2. – С. 24-28.