

УДК 658.264

О. Д. Димитров¹
С. С. Титарь¹
Н. М. Драгнєва¹

ДО РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІНУ У КАНАЛАХ З ПРОМЕНЕСПРИЙМАЛЬНИМИ ВСТАВКАМИ

¹Одеський національний політехнічний університет, Одеса

Розглянуті результати досліджень щодо впливу геометрії різних вставок на коефіцієнт тепловіддачі від стінки металевого високотемпературного рекуператора. Встановлено, що променесприймальні вставки із кількістю секторів від 2 до 6 є доцільними для застосування в сучасних рекуператорах. Також визначена критеріальна залежність, яка є для цього режиму універсальною.

Ключові слова: теплообмін, рекуператор, променесприймальна вставка, турбулентний режим, коефіцієнт тепловіддачі.

Вступ

У роботі теплотехнологічних установок основним джерелом втрати теплоти горіння палива, є втрати теплоти з відхідними продуктами згорання. Ці втрати досягають іноді 50—60 % в загальному тепловому балансі. Тому ефективність використання теплоти відхідних газів завжди була на першому місці серед заходів економії енергоресурсів.

Мета роботи — дослідження режиму теплообміну в рекуператорі та температури поверхні труб рекуператора за різної кількості та форм вставок.

З існуючих напрямків використання теплоти відхідних газів теплотехнологічних установок, таких, наприклад, у яких теплота відхідних газів використовується для попереднього підігріву матеріалу, що піддається тепловій обробці, підігріву компонентів горіння, а також термохімічна регенерація палива, найбільш технічно реалізованим для будь-яких типів теплотехнологічних установок є підігрівання компонентів горіння, і перш за все, повітря, за рахунок теплоти відхідних газів. В різних теплотехнологічних установках підігрів компонентів горіння здійснюється різними засобами залежно від конструкції установки, температурного рівня відхідних газів та їх складу.

Так, для високотемпературного підігрівання компонентів горіння використовуються регенератори з нерухою та рухою насадкою, рекуператори як керамічні, так і металеві [1—5]. З усіх типів теплообмінних апаратів для підігріву компонентів горіння найпоширенішими є металеві рекуператори, які мають важливу перевагу у порівнянні з іншими типами теплообмінних апаратів. Перевага полягає в їх щільності, що дає можливість підігрівати одночасно як повітря, так і горючі гази. За наявності жаротривких марок сталі металеві рекуператори дають можливість здійснити високотемпературне нагрівання (до 700...800 °С), що цілком достатньо як для підтримки необхідного температурного рівня в робочому просторі високотемпературних нагрівальних печей, так і для економічного витрачання високоякісного палива. Це дає можливість без складних споруд здійснити термохімічну регенерацію палива.

Для збільшення терміну роботи металевих рекуператорів в умовах високих температур, слід підвищувати інтенсивність теплообміну зі сторони теплоносія, що нагрівається (повітря, газ) з метою зниження температури поверхні, що контактує з високотемпературним теплоносієм. Протягом тривалого часу інтенсифікація теплообміну зі сторони теплоносія, що нагрівається, здійснювалась за допомогою різних конструкцій турбулізуювальних елементів, які одночасно з турбулізацією потоку, який сприяє підвищенню конвективного теплообміну, беруть участь у променистому теплообміні з поверхнею рекуператора, яка нагрівається безпосередньо нагрівальним теплоносієм.

Аналіз відомих засобів інтенсифікації внутрішнього теплообміну

За даними [3] для забезпечення надійної роботи рекуператорів в умовах високих температур відхідних продуктів згорання, яка досягає в сучасних нагрівальних печах 1100...1250 °С (нагрівальні колодязі, методичні печі, камерні печі) необхідно забезпечити відношення коефіцієнтів тепловіддачі зі сторони повітря та продуктів згорання

$$\alpha_{n0}/\alpha_{n3} = 2,5...3,5.$$

Більші значення цього відношення практично мало впливають на зниження температури стінки рекуператора. З урахуванням значень коефіцієнтів тепловіддачі зі сторони продуктів згорання в наявних високотемпературних рекуператорах, можна оцінити тепловіддачу зі сторони повітря у випадку її інтенсифікації коефіцієнтом

$$\alpha_{n0} = 250...350 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Найпростішим і дешевим засобом інтенсифікації теплообміну зі сторони повітря в високотемпературних рекуператорах, який задовольняє поставленій задачі, є застосування турбулізуючих та променесприймальних вставок. На основі аналізу, щодо впливу форми і геометрії різних вставок на турбулізацію та променесприймання від стінки рекуператора, пропонується форма секторної вставки, яка відрізняється простотою конструкції і технологічністю виготовлення. Слід зазначити, що в секторних вставках відсутнє самоекранування поверхні.

Аналіз досліджень [2] в галузі інтенсифікації внутрішнього теплообміну у високотемпературних трубчастих рекуператорах показує, що протягом останніх років проводились дослідження в основному секторних вставок з дуже розвинутою поверхнею, в яких кількість ребер досягало 12...16. Така кількість вставок дуже ускладнює конструкцію рекуператора, хоча й дає високу ефективність теплообміну, яка досягає за літературними даними

$$\alpha = 250 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Використання такої кількості вставок спричиняє значний гідравлічний опір. Що стає перешкодою для впровадження у промисловість. Доцільнішим для застосування в сучасних сталевих рекуператорах для промислових печей є променесприймальні вставки з числом секторів від 2 до 6. Авторами досліджена інтенсифікація теплообміну в трубах з різним внутрішнім діаметром $d_{\text{вн}} = 30, 40, 50$ мм і відношенням довжини труби до діаметра L/d від 16 до 50.

Результати традиційної обробки [1, 4] показані на рис. 1.

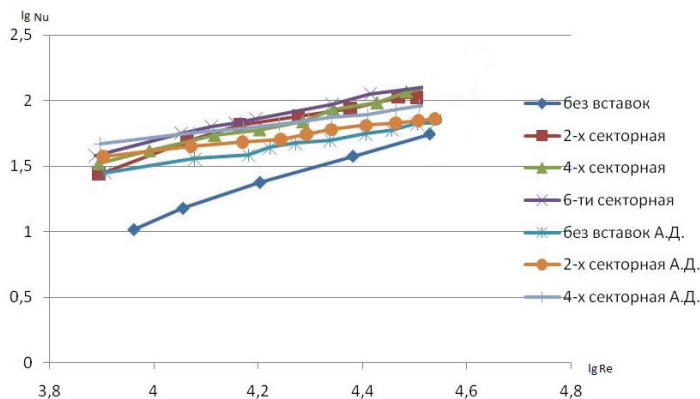


Рис. 1. Графік залежності критерію N_u від критерію Re

Як видно з критеріальних залежностей $N_u = f(Re)$, їх практичне використання має труднощі у зв'язку з тим, що невідомою є температури стінки. Для усунення впливу температурного фактора на теплообмін в трубах з променесприймальними вставками, слід використати виключно конвективну залежність теплообміну між поверхнею нагріву та повітрям. Для цього слід використовувати еквівалентний діаметр каналу, оскільки в цьому випадку форма каналу практично не впливає на критеріальну залежність теплообміну від режиму руху. Виконані розрахунки дослідних даних в критеріальній формі з використанням еквівалентного діаметра, показали, що залежність теплообміну від режиму руху підпорядковується загальновідомому виразу незалежно від режиму руху

$$N_u = c Re^n .$$

Для турбулентного режиму ($Re \geq 10^4$) авторами отримані залежності, підпорядковані критеріальному виразу

$$N_u = 0,018 Re^{0,8} .$$

Розбіжності для різних форм каналів не перевищують 10 %. Це дає можливість використовувати цю залежність для визначення теплообміну в трубах для турбулентного режиму.

Графічна залежність критерію N_u від числа Re для турбулентного режиму показана на рис. 2:

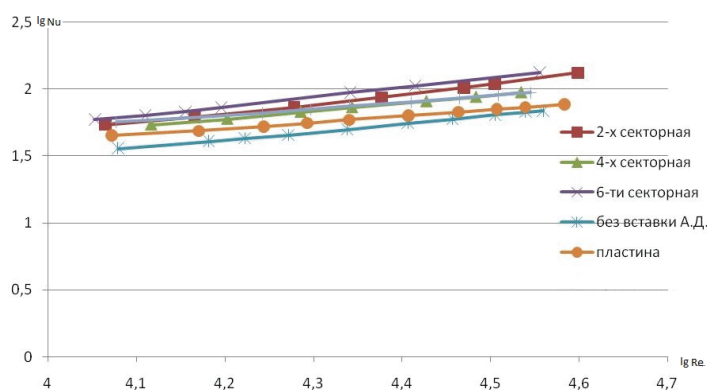


Рис. 2. Графік залежності критерію N_u від числа Re для турбулентного режиму

В цьому випадку для обробки дослідних даних використана уся поверхня, якої торкається повітря. Тому для визначення коефіцієнта тепловіддачі необхідно знати середню температуру поверхні тепловіддачі, яка визначається, як середньоарифметичну величину, тобто

$$\bar{t}_{\text{пов}} = \frac{\sum t_i \cdot F_i}{\sum F_i} ,$$

де F_i — поверхня i -го елемента теплообміну, m^2 ; t_i — відповідна температура i -го елемента теплообміну, $^{\circ}C$.

Для попередніх розрахунків температуру вставки можна вважати як півсуму температури труби і температури повітря. Таким чином, для визначення середньої температури поверхні теплообміну необхідно знати температуру поверхні вставок, яка в свою чергу залежить від радіаційного теплообміну між поверхнею труби та поверхнею вставки та конвективного теплообміну між вставкою та повітрям, що рухається усередині каналу. Використання променесприймальних вставок зі слабоборозвинутою поверхнею нагріву (2—4 секторні) сприяє вирівнюванню температури уздовж каналу та її абсолютному зниженню.

На рис. 3 показані експериментальні дані, отримані авторами, щодо зміни температури стінки по довжині труби за швидкості повітря $W_{nd} = 15$ м/с та різній конфігурації вставок.

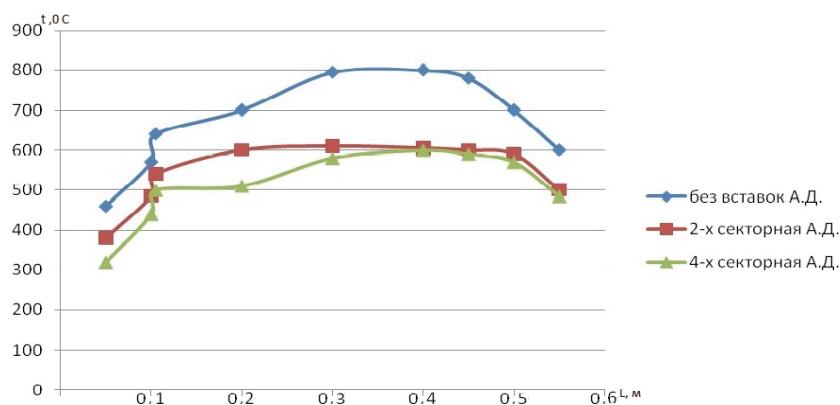


Рис. 3. Графік залежності температури стінки рекуператора від кількості секторів вставки

З графіка, видно, що використання вставок в трубах сприяє значному зниженню температури поверхні труб, яка нагрівається теплоносієм. За однакових умов в каналах без вставок температура стінки труби досягає 800 °С, в каналах з пластиною — 610 °С, з хрестовиною — 600 °С. Швидкість повітря у каналі під час експерименту склала $\omega_{\text{пов}} = 15 \text{ м/с}$.

Висновки

В результаті досліджень щодо впливу використання промінесприймальних вставок з різною кількістю секцій в сталевих рекуператорах, встановлено, що використання таких вставок в сталевих рекуператорах дозволяє захистити поверхню труб від перегріву. Також за помірних температур нагріву повітря (до 400 °С) для виготовлення рекуператорів можна використовувати конструкційні вуглецеві сталі замість вартісних жаротривких сталей.

Установка вставок в канали (труби) збільшує величину L/d_e , що сприяє вирівнюванню температури вздовж труби.

З іншого боку, це зменшує еквівалентний діаметр і за однакових умов зменшує число Рейнольдса, теплообмін може перейти з турбулентного в перехідний режим, в якому існують свої залежності. Тому при критеріальній обробці спостерігається розкид робочих точок.

Для турбулентного режиму отримана залежність $N_u = 0,018 \cdot \text{Re}^{0,8}$, яка є універсальною для каналів без вставок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. с. Устройство для интенсификации теплообмена / А. Д. Димитров, В. М. Мальченко, Б. В. Барышев ; опубл. 1981, Бюл. № 37.
2. Димитров А. Д. Анализ тепловой работы радиационно-конвективных рекуператоров / А. Д. Димитров, С. С. Титарь, В. А. Пядухов // Труды Одесского политехнического университета. — 2007. — Вып. 1 (27)
3. Интенсификация теплообмена в высокотемпературных рекуператорах / [А. Д. Димитров, С. С. Титарь, В. А. Пядухов, С. А. Лисинецкий] // Тезисы докладов конференции. — Алушта. — 2007 г.
4. Димитров А. Д. К расчету температуры стенки щелевого радиационного рекуператора одностороннего облучения / А. Д. Димитров, Л. К. Вукович, Б. В. Барышев // Известия вузов. Энергетика. — 1981. — № 8.
5. Конструкції та пристрої для інтенсифікації для теплообміну в петле подібних високотемпературних рекуператорах / [О. Д. Димитров та ін.] // Вісник. — 2009. — № 34.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 18.10.2012 р.

Димитров Олександр Дмитрович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій;

Титарь Сергій Семенович — канд. техн. наук, професор кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій;

Драгнєва Неля Михайлівна — аспірантка кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, e-mail: nelya0228@gmail.ru.

Одеський національний політехнічний університет, Одеса

O. D. Dymyrov¹
S. S. Tytar¹
N. M. Dragnieva¹

The calculation of heat exchange in ductings with ray accepting insertions

¹Odessa National Polytechnic University

There has been conducted the research in relation to the influence of geometry of different insertions on the coefficient of heat emission from the wall of metallic high temperature recuperator. The conclusion is that ray accepting insertions with the number of sectors from 2 to 6 are real for application in modern recuperators. There also has been developed the criterion dependence that is universal for this mode.

Keywords: heat exchange, recuperator, ray accepting insertion, turbulent mode, coefficient of heat emission.

Dymytriv Oleksandr D. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of the Thermal Electric Stations and Energy keeping Technologies;

Tytar Serhii S. — Cand. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of the Thermal Electric Stations and Energy keeping Technologies;

Dragnieva Nelia M. — Post-Graduate Student of the Chair of the Thermal Electric Stations and Energy keeping Technologies, e-mail: nelya0228@gmail.ru

О. Д. Димитров¹
С. С. Титарь¹
Н. М. Драгнева¹

К расчету теплообмена в каналах с лучевоспринимающими вставками

¹Одеський національний політехнічний університет, Одесса

Проведены исследования относительно влияния геометрии разных вставок на коэффициент теплоотдачи от стенки металлического высокотемпературного рекуператора. Установлено, что лучевоспринимающие вставки с числом секторов от 2 до 6 целесообразны для применения в современных рекуператорах. Также определена критериальная зависимость, которая является для этого режима универсальной.

Ключевые слова: теплообмен, рекуператор, лучевоспринимающая вставка, турбулентный режим, коэффициент теплоотдачи.

Димитров Александр Дмитриевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий;

Титарь Сергей Семенович — канд. техн. наук, профессор кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий;

Драгнева Неля Михайловна — аспирант кафедры тепловых электрических станций и энергосберегающих технологий, e-mail: nelya0228@gmail.ru