

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Оцінка ефективності роботи трубчатого  
ореберного рекуперативного теплообмінника  
В системі повітряного опалення

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Київ  
«Політехніка»  
2008

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

Оцінка ефективності роботи трубчатого  
оребреного рекуперативного теплообмінника  
В системі повітряного опалення

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
з курсів «Основи теплотехніки»,  
«Теплотехнічні процеси та установки»  
для студентів спеціальностей «Енергетичний менеджмент»,  
«Електропостачання» та «Екологія»  
усіх форм навчання

Затверджено Методичною радою НТУУ «КПІ»

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2008

Оцінка ефективності роботи трубчатого оребреного рекуперативного тепломасообмінника в системі повітряного опалення: Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з курсів: «Основи теплотехніки», «Теплотехнічні процеси та установки» для студентів спеціальностей «Енергетичний менеджмент», «Електропостачання» та «Екологія» усіх форм навчання / Уклад.: І.Л. Шилович, В.І. Шкляр, Т.О. Ринкова, І.О. Крот – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2008. - .....с.

Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»

(Протокол № ... від .....2008 р.)

Навчальне видання

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРУБЧАТОГО  
ОРЕБРЕНОГО РЕКУПЕРАТИВНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННИКА  
В СИСТЕМІ ПОВІТРЯНОГО ОПАЛЕННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

з курсів «Основи теплотехніки»,

«Теплотехнічні процеси та установки»

для студентів спеціальностей «Енергетичний менеджмент»,

«Електропостачання» та «Екологія»

усіх форм навчання

Укладачі: Шилович Ігор Леонідович, к.т.н., доц.

Шкляр Віктор Іванович, к.т.н., доц.

Ринкова Тетяна Олексіївна, к.т.н., доц.

Крот Ірина Олегівна, студ., гр.ОН-41

Відповідальний  
редактор

В.І. Дешко, д.т.н., проф.

Рецензент

М.Ф. Боженко, к.т.н., доц.

## ВСТУП

На сучасних підприємствах металургійної, хімічної, харчової промисловості, у будівельно-комунальній галузі теплообмінники складають основну частину наявного обладнання. Стабільна та ефективна експлуатація теплообмінників є основою ефективності будь-якого теплотехнічного процесу.

За ..... дії теплообмінники поділяються на

- апарати поверхневого типу, до яких відносяться рекуперативні та регенеративні теплообмінники;
- змішувальні або контактні апарати та теплообмінники з внутрішніми джерелами енергії (реактори, електронагрівачами).

У лабораторній роботі досліджується ефективність експлуатації рекуперативного трубчатого ребреного тепломасообмінника, який служить для нагрівання повітря гарячою водою, в діючій установці повітряного опалення приміщення.

### 1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ РОБОТИ

**Мета роботи** - закріпити знання, отримані при вивченні курсу теплотехнічні процеси та установки, ознайомитись з методикою проведення спостережень і принципом роботи тепломасообмінника для оцінки ефективності його роботи.

#### **Основні завдання роботи:**

- експериментально дослідити роботу підігрівача повітря;
- визначити витрати гарячої води через тепломасообмінник і витрату повітря, що нагрівається;
- скласти тепловий баланс рекуперативного тепломасообмінника;
- на основі експериментальних даних розрахувати коефіцієнт теплопередачі через ребрену поверхню тепломасообмінника;
- обчислити теоретичний коефіцієнт теплопередачі ребреної стінки, та зробити висновки відносно ефективності роботи тепломасообмінника.

## 2. ОСНОВНІ ТЕОРИТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Робота рекуперативного трубчатого оребреного тепломасообмінника є яскравим прикладом втілення методів інтенсифікації процесів теплопередачі у теплообмінній апаратурі.

Як відомо, теплопередача – процес переносу теплоти від гарячого теплоносія до холодного через розділяючу поверхню твердого тіла. Інтенсивність процесу характеризує коефіцієнтом теплопередачі, якій показує яку кількість теплоти можна передати за одиницю часу, через одиницю поверхні розділяючої стінки, коли різниця температур між теплоносіями дорівнює одному градусу. Рівняння теплопередачі можна записати наступним чином:

$$Q = k \cdot F(t_1 - t_2), \quad (1)$$

де  $Q$  – тепловий потік, в Вт;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі, в Вт/(м<sup>2</sup>К);

$F$  – поверхня теплообміну, в м<sup>2</sup>;

$t_1, t_2$  – відповідно, температури гарячого і холодного теплоносія, в К.

Для плоскої стінки рівняння (1) буде мати вигляд:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot F = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda \cdot F} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot F}}, \quad (2)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від гарячого теплоносія до стінки, в Вт/(м<sup>2</sup>·к);

$\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі від стінки до холодного теплоносія, в Вт/(м<sup>2</sup>·к);

$\delta$  - товщина поділяючої стінки, в м;

$\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, в Вт/(м·к).

Аналізуючи залежність (2), можна прийти до висновку, щодо шляхів інтенсифікації процесу теплообміну.

По-перше, до збільшення теплового потоку  $Q$  приведе збільшення середньої різниці температур між теплоносіями  $\bar{\Delta t} = (t_1 - t_2)$ . Збільшення температурного напору ( $\bar{\Delta t}$ ), можна досягти, використовуючи різні схеми руху теплоносіїв [1 с. ....]. Але підвищення  $\bar{\Delta t}$  обмежується технологічними вимогами до теплоносіїв по температурі та жаростійкістю носіїв розділяючої стінки.

По-друге, інтенсивність теплообміну зростає при збільшенні коефіцієнта теплопровідності стінки ( $\lambda$ ) та зменшенні її товщини ( $\delta$ ), тобто зменшенні ..... термічного опору теплопровідності плоскої стінки ( $r_\lambda$ ):

$$r_\lambda = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3)$$

Цій шлях інтенсифікації процесу теплообміну себе вичерпав, тому що поверхню теплообміну завжди роблять теплопровідних матеріалів (сталі, латуні, міді), а зменшення товщини стінки обмежується розрахунками на .....

По-третьє, треба збільшувати коефіцієнта тепловіддачі ( $k$ ), який характеризує швидкість теплообмінних процесів: плоскої стінки коефіцієнт теплопередачі дорівнює:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_1}{1 + \frac{\alpha_1}{\alpha_2}} = \frac{\alpha_2}{1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1}} \quad (5)$$

З формули (5) видно, що коефіцієнт теплопередачі завжди менше меншого коефіцієнта тепловіддачі. Тому в першу чергу треба

збільшувати інтенсивність теплообміну з боку меншого коефіцієнта тепловіддачі, практично, не призведе до збільшення  $k$ . Коли збільшення меншого  $\alpha$  неможливе переходять до нового шляху інтенсифікації теплопередачі. Таким шляхом є оребрення поверхні.

Четвертим шляхом інтенсифікації теплопередачі є оребрення поверхні, розділяючої стінки з одного або другого боку. Фізична сутність оребрення пов'язана з поняттям повного і питомого опору теплопередачі. Використаємо аналогію між процесами електропровідності та теплопровідності. Згідно закону Ома для замкненої електричної мережі маємо, що перепад напруження дорівнює добутку сили струму ( $I$ ) на омичний опір ( $R$ ):

$$\Delta U = I \cdot R_E \quad (6)$$

По аналогії

$$\Delta t = Q \cdot R \quad (7)$$

Тоді повний термічний опір теплопередачі складає:

$$R = \frac{\Delta t}{Q} \quad (8)$$

і має одиницю вимірювання [к/Вт].

Питомий термічний опір знайдеться за формулою аналогічної залежності (8), але замість теплового потоку ( $Q$ ) будемо використовувати густину теплового потоку ( $q$ ):

$$r = \frac{\Delta t}{q} \quad (9)$$

Питомий термічний опір виражається у наступних одиницях вимірювання [(к·м<sup>2</sup>)/Вт].

Запишемо зв'язок між  $Q$  і  $q$  і отримане значення  $Q$  підставимо у вираз (8).

$$Q = q \cdot F, \quad (10)$$

$$R = \frac{\Delta t}{q \cdot F} = \frac{r}{F} \quad (11)$$

Для плоскої стінки ..... опір теплопередачі складає:

$$r = \frac{1}{\alpha}$$

а повний опір теплопередачі дорівнює відповідно формулі (11)

$$R = \frac{1}{\alpha_1 F} + \frac{\delta}{\lambda F} + \frac{1}{\alpha_2 F}, \quad (12)$$

де  $R_{\alpha_1} = \frac{1}{\alpha_1 F}$  - повний термічний опір теплопередачі від гарячого теплоносія до плоскої стінки,

$R = \frac{\delta}{\lambda \cdot F}$  - повний термічний опір теплопровідності плоскої стінки,

$R = \frac{1}{\alpha_2 F}$  - повний термічний опір тепловіддачі від плоскої стінки

до холодного теплоносія.

Для збільшення кількості теплоти, що передається від гарячого теплоносія до холодного треба змінити повний термічний опір теплопередачі. Якщо  $R_{\lambda}$  не брати до уваги, то зменшення величини  $R$  буде залежати від зменшення  $R_{\alpha_1}$ , та  $R_{\alpha_2}$ . У тих випадках

$R_{\alpha_1} \gg R_{\alpha_2}$  то, щоб зменшити  $R$  навмисно збільшують поверхню розділяючої стінки з боку низької інтенсивності тепловіддачі (з боку меншого  $\alpha$ ). Тоді зменшується тут термічний опір і тим самим зменшується загальний термічний опір ( $R$ ) та збільшується тепловий потік, який передається.

На рис. 1 зображено плоску стінку завтовлеку  $\delta$  з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$ , яку покрито ребрами, що збільшують поверхню стінки з боку, де  $\lambda_2 \ll \lambda_1$ . Задані температури теплоносіїв

$t_1$  і  $t_2$ , та  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ ; відомі також поверхні стінки без ребер  $F$  і з ребрами  $F_{p.c.}$ .

Визначимо тепловий потік через стінку, вважаючи, що температурне поле рівномірне і що температура поверхні збоку ребер стала, не змінюється вздовж ребра  $t_{c_2}$ ; на протилежній поверхні стінки температура  $t_{c_1}$ .

Рис. Теплопередача через оребрену плоску стінку

У цих умовах розглянемо три розрахункові рівняння для визначення теплового потоку:

$$Q = \alpha_1(t_1 - t_{c_1})F$$

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_{c_1} - t_{c_2})F$$

$$Q = \alpha_2(t_{c_2} - t_2)F_{p.c.}$$

Розкривши їх відповідно до температурних напорів і почленно добавленні, дістанемо загальну формулу для визначення теплового потоку через оребрену стінку

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1 F} + \frac{1}{\lambda F} + \frac{1}{\alpha_2 F_{p.c.}}} \quad (14)$$

Введемо величину  $\varphi = F_{p.c.} / F$ , яку будемо називати коефіцієнт оребрення. Очевидно, що  $\varphi > 1$  і величина поверхні реберної стінки дорівнює  $F_{p.c.} = F \cdot \varphi$ .

Розглядаючи знаменник формули (14) як сумарний повний термічний опір менше теплопередачі, зауважимо, що він буде тим менше чим менше повний термічний опір тепловіддачі від ребреної стінки до **хим** теплоносія  $R_{\alpha_2} = \frac{1}{\alpha_2 F_{p.c.}}$ . А значено останнього зменшується із збільшенням коефіцієнта ребрення  $\varphi$ . Очевидно що, при цьому тепловий потік через ребрену стінку зростатиме.

Щоб порівняти кількість тепла, яка передається через плоску стінку без ребер і ребрену плоску стінку, знайдемо густину теплового потоку, віднесену до гладкої поверхні  $F$ .

$$q = \frac{Q}{F} = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2 \varphi}} \quad (15)$$

Оскільки  $\varphi > 0$ , то питомий термічний опір ребреної стінки зменшується, що зумовлює зростання теплового потоку. Очевидно, що такий ефект.....