

## Лабораторна робота № 10

### Знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від вертикальної труби до вільно омиваючого повітря

**Мета роботи:** Експериментальне знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією -  $\alpha_E$  від зовнішньої поверхні труби до омиваючого повітря. Порівняти  $\alpha_E$  з теоретичним значенням -  $\alpha_T$ .

#### Матеріальне забезпечення

1. Сталева труба з електропідігрівачем в середині.
2. Понижуючий трансформатор.
3. Прилад вимірювання температури ЕТП-М.
4. Амперметр.
5. Вольтметр.
6. Термометр.

#### Теоретичні положення

Теорія теплообміну представляє собою науку, яка вивчає закони розповсюдження і передачі теплоти між тілами.

Розрізняють наступні три види теплообміну:

- теплопровідність;
- конвекція;
- теплове випромінювання.

Теплопровідністю називають перенесення теплоти між тілами при безпосередньому їх дотику.

У рідинах (газах) поряд з теплопровідністю теплота може розповсюджуватися також шляхом переміщення і перемішування між собою більше або менше нагрітих частинок самої рідини. Такий вид розповсюдження теплоти називається конвекцією.

В цілому явище передачі теплоти при доторкуванні стінки з рідиною (газом) шляхом теплопровідності і подальше розповсюдження його в рідині за рахунок конвекції називається конвективним теплообміном або тепловіддачею.

Тепловим випромінюванням, або тепловіддачею випромінюванням називається переніс теплоти у вигляді електромагнітних хвиль між двома взаємно випромінюючими поверхнями. При цьому виникає подвійне перетворення енергії: теплової енергії в енергію випромінювання на поверхні тіла, випромінюючого теплоту і енергії випромінювання в теплову на поверхні тіла, поглинаючого випромінюючу складову теплоти.

Часткові процеси переносу теплоти: теплопровідність, конвекція і випромінювання в основному виникають одночасно. Наприклад, в пічкових пристроях різних технологічних установок конвективне перенесення теплоти супроводжується тепловим випромінюванням. В цьому випадку процес перенесення теплоти називається складним теплообміном.

Тепловіддача при вільній конвекції теплоносія має широке розповсюдження як в повсякденному житті, так і в техніці. Наприклад,

кімнатне повітря нагрівається пічками або опалювальними приладами в умовах звичайної конвекції. В техніці такий теплообмін відбувається при нагріванні води в парових котлах, при охолодженні паропроводів, обмуровування котлів, промислових пічок та інших теплових пристроїв.

Причиною виникнення вільної конвекції є нестабільний розподіл густини в рідині, обумовлений нерівномірністю її нагрівання. При цьому температурний напір ( $\Delta t = t_T - t_E$ ) визначає різницю густин і величину під'ємної сили, а розмір поверхні – зону розподілу процесу.

Кількість теплоти, що передається конвекцією при встановленому тепловому режимі від тіла до рідини при їх доторканні знаходиться за формулою Ньютона-Ріхмана:

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot \Delta t \text{ (Вт)},$$

де  $\Delta t$  - температурний напір, К;

$\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

F - поверхня теплообміну, м<sup>2</sup>.

Числове значення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією визначає потужність теплового потоку, який проходить від стінки до рідини (або навпаки) через одиницю поверхням (м<sup>2</sup>) при різниці температур між стінкою та рідиною 1/К.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією залежить від великої кількості факторів. Це приводить до того, що для однакових умов процесу тепловіддачі  $\alpha$  коливається в досить широких межах.

Із збільшенням в'язкості, яка підвищує товщину граничного шару, коефіцієнт  $\alpha$  зменшується. Збільшення швидкості потоку теплоносія приводить до зменшення товщини граничного шару і до збільшення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією.

Найбільш точним методом визначення  $\alpha$  є експеримент. В наш час експериментальне визначення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією проводиться як правило не на самих зразках теплових пристроїв, а на їх більш придатних спрощених моделях. Результати експериментів, проведених на моделях, узагальнюються за допомогою теплової теорії подібності.

Основний висновок, який дає ця теорія подібності, полягає в тому, що немає необхідності шукати залежність коефіцієнта тепловіддачі конвекцією, від кожних окремих факторів, які на нього впливають, а достатньо знайти залежність між певними безрозмірними комплексами величин, характерних для умов процесу тепловіддачі, що розглядається. Ці безрозмірні комплекси величин називають критеріями подібності. Отже, задача полягає в тому, щоб знайти вид залежності між критеріями подібності.

Для випадку вільної конвекції такими критеріями є:

1) Критерій Нуссельта (Nu) або критерій тепловіддачі конвекцією, що характеризує відношення теплового потоку, що передається в напрямку по нормалі до поверхні стінки – до теплового потоку, що передається шляхом теплопровідності через граничний шар:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda},$$

де  $l$  – визначаючий лінійний розмір, м;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності граничного шару, Вт/(м·К);

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

2) Критерій Грасгофа (Gr) або критерій підйимальної сили при вільному русі рідини:

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t,$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$l$  – визначаючий лінійний розмір, м;

$\nu$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с;

$\beta$  - об'ємний коефіцієнт термічного розширення, 1/К.

Для повітря:

$$\beta = \frac{1}{T_T} \text{ і } T_T = \frac{t_{\text{NO}} + t_{\text{IIA}}}{2} + 273,$$

де  $t_{\text{NO}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{n}$  — середня температура стінки труби, К;

$\sum_{i=1}^n t_s$  — сума температур в точках труби, К;

$i=i$

$t_{\text{пов}}$  — температура омиваючого повітря, К;

$\Delta t = t_{\text{CT}} - t_{\text{IIA}}$  — розрахунковий температурний напір, К.

3) Критерій Прандтля (Pr) — це критерій фізичних властивостей рідини (повітря). Він представляє подібність температурних і швидкісних полів у потоці:

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot c_p \cdot \rho}{\lambda},$$

де  $a$  - коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с;

$c_p$  - ізобарна питома теплоємність, Дж/(кг·К);

$\rho$  - густина, кг/м<sup>3</sup>.

Теорія подібності показує, що між вказаними критеріями для даного випадку теплообміну існує однозначна залежність:

$$Nu = f(Gr, Pr).$$

Установка для знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від вертикальної труби до вільно омиваючого повітря представляє собою сталеву трубу ( $d = 85$  мм,  $l = 90$  см,  $\delta = 3$  мм) із електронагрівачами в середині, з амперметром, вольтметром, понижуючим трансформатором, приладом для вимірювання температури ЕТП-М.

### Хід роботи

1. Знайомство з описом і пристроєм експериментальної установки.
2. Подаємо живлення з сітки 220В на електронагрівач. Перевіряємо наявність напруги на вольтметрі.
3. Встановлюємо тепловий режим шляхом подачі живлення на електронагрівач ( $U = 20 \div 120$ В).
4. При кожному тепловому режимі на відстані 3 ÷ 4 м від установки заміряємо  $t_{\text{пов}}$  (повітря).
5. Значення  $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_3$ ;  $t_4$  - для кожного перерізу;  $U$ ;  $I$ ;  $t_{\text{в}}$  записуємо в

таблицю. Визначаємо  $t_{1cp}$ ;  $t_{2cp}$ ;  $t_{3cp}$ ;  $t_{4cp}$ ;  $t_{5cp}$ .

6. Визначаємо температуру стінки труби  $t_{CT} = (t_{1cp} + t_{2cp} + t_{3cp} + t_{4cp} + t_{5cp})/5$ .

7. Визначаємо кількість теплоти, яка була віддана трубою повітряю  $Q_n = 0.86 \cdot I \cdot U$ , (Вт).

8. Визначаємо кількість теплоти, передану повітряю тепловим випромінюванням

$$Q_{ID} = C \cdot F \left[ \left( \frac{T_{CT}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{IIA}}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт}$$

де  $C = 0,93 \frac{\text{А}\delta}{\text{г}^2 \cdot \text{Е}^4}$  — коефіцієнт випромінювання труби;

$F = 2\pi \cdot r \cdot l$  - площа поверхні труби,  $\text{м}^2$ ;

$l$  - довжина труби, м.

9. Знаходимо кількість теплоти, віддану трубою повітряю конвекцією  $Q_K = Q_n - Q_{ID}$  (Вт).

10. Визначаємо експериментальне значення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від вертикальної труби до вільно омиваючого повітря:

$$\alpha_E = \frac{Q_K}{F \cdot (t_{CT} - t_{пов})}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

11 Визначаємо критерій Грасгофа  $Gr = g \cdot l^3 \cdot \nu^{-2} \cdot \beta \cdot \Delta t$ .

12. Знаходимо критерій Прандтля  $Pr = \nu \cdot c_p \cdot \rho \cdot \lambda^{-1}$ .

13. Визначаємо добуток  $Gr \cdot Pr$  і залежно від його значення вибираємо формулу для  $Nu$ :

$$10^3 < Gr \cdot Pr < 10^9 \text{ для } Nu = 0,75(Gr \cdot Pr)^{0,25},$$

$$Gr \cdot Pr > 10^6 \text{ для } Nu = 0,15(Gr \cdot Pr)^{0,33}.$$

14. Визначаючою температурою є середня температура стінки труби, а визначаючим лінійним розміром - довжина труби.

15. Визначаємо теоретичне значення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією

$$\alpha_T = Nu \cdot \lambda \cdot l^{-1}.$$

16. Знаходимо відносну похибку у визначенні коефіцієнта тепловіддачі конвекцією:

$$\Delta\alpha = (\alpha_T - \alpha_E) \cdot \alpha_T^{-1} \cdot 100\%$$

№ реж	№ точ	t в точках труби					t <sub>пов</sub>	t <sub>ст-пов</sub>	U	I	Q <sub>Г</sub>	Q <sub>G</sub>	Q	$\alpha_E$	Gr	Pr	Nu	$\alpha_T$
		t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>												
I	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	ср																	
II	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	ср																	
III	1																	
	2																	
	3																	
	4																	
	5																	
	ср																	

17 Всі дані заносимо в таблицю.

18 Підраховуємо абсолютну та відносну похибки між  $\alpha_T$  і  $\alpha_E$ .

19 Формулюємо висновок по роботі.

#### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1 .Як визначити  $\alpha_E$ , записати всі формули, величини і їх розмірності?

2.Як визначити  $\alpha_T$ , записати всі формули, величини і їх розмірності?

3. Для підрахунків яких величин і в якій формі застосовували рівняння Ньютона-Ріхмана і Стефана-Больцмана?

4.Чим відрізняється лаб.роб. №4 і №5 з точки зору фізичної моделі теплообміну?

5. Розповісти хід роботи, забезпечення її приладами і роз'яснити її висновок.