

Лабораторна робота № 9

Знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією від горизонтальної труби до вільно омиваючого повітря.

Мета роботи: Експериментальне знаходження коефіцієнта тепловіддачі конвекцією - α_E від зовнішньої поверхні труби до омиваючого повітря. Порівняти α_E з теоретичним значенням - α_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 являється нестабільний розподіл густини в рідинах, обумовлений нерівномірністю її нагрівання. При цьому температурний напір ($\Delta t = t_{\text{Н0}} - t_{\text{D}}$) 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 Δt - температурний напір, К;

α - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²·К);

F - поверхня теплообміну, м².

Числове значення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією визначає потужність теплового потоку, який проходить від стінки до рідини (або навпаки) через одиницю поверхням (м²) 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 α коливається в досить широких межах.

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

Найбільш точним методом визначення α 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, заключається 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;

λ – коефіцієнт теплопровідності граничного шару, Вт/(м·К);

α – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м²·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, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

l – визначаючий лінійний розмір, м;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, $\text{м}^2/\text{с}$;

β - об'ємний коефіцієнт термічного розширення, $1/\text{К}$.

Для повітря:

$$\beta = \frac{1}{T_r} \text{ і } T_r = \frac{t_{\text{Н}0} + t_{\text{Г}i\text{А}}}{2} + 273,$$

де $t_{\text{Н}0} = \frac{\sum_{i=1}^n t_s}{n}$ — 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;

$\Delta t = t_{\text{СТ}} - t_{\text{Г}i\text{А}}$ — розрахунковий температурний напір, К.

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

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

де a - коефіцієнт теплопровідності, $\text{м}^2/\text{с}$;

c_p - ізобарна питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

ρ - густина, $\text{кг}/\text{м}^3$.

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 ($d = 85 \text{ мм}$, $l = 90 \text{ см}$, $\delta = 3 \text{ мм}$) 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 ($U 20 \div 120\text{В}$).
4. При кожному тепловому режимі на відстані $3 \div 4 \text{ м}$ 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 $t_{1\text{ср}}$; $t_{2\text{ср}}$; $t_{3\text{ср}}$; $t_{4\text{ср}}$; $t_{5\text{ср}}$.
6. Визначаємо температуру стінки труби $t_{\text{СТ}} = (t_{1\text{ср}} + t_{2\text{ср}} + t_{3\text{ср}} + t_{4\text{ср}} + t_{5\text{ср}})/5$.
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

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

де $C = 0,93 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ — коефіцієнт випромінювання труби;

$F = 2\pi \cdot r \cdot l$ - площа поверхні труби, м²;

l - довжина труби, м.

9. Знаходимо кількість теплоти, віддану трубою повітрю конвекцією $Q_{\text{к}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{пр}}$ (Вт).

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

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

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

12. Визначаємо критерій Нуссельта: $Nu = 0,5Gr^n$

$n = 0,125$ при $Gr = 1 \cdot 10^2 \div 6 \cdot 10^2$

$n = 0,250$ при $Gr = 6 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^7$

$n = 0,334$ при $Gr = 2 \cdot 10^7 \div 1 \cdot 10^{13}$

13. Визначаючою температурою є середня температура стінки труби, а визначаючим лінійним розміром - діаметр труби.

14. Визначаємо теоретичне значення коефіцієнта тепловіддачі конвекцією

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

15. Знаходимо відносну похибку у визначенні коефіцієнта тепловіддачі конвекцією:

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

16 Всі дані заносимо в таблицю.

17 Підраховуємо абсолютну та відносну похибки між α_T і α_E .

18 Формулюємо висновок по роботі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ.

1 .Як визначити α_E , записати всі формули, величини і їх розмірності?

2.Як визначити α_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.

U(B)	I(A)	U(B)	I(A)
40	0,360	85	0,765
45	0,405	90	0,810
50	0,450	95	0,855
55	0,495	100	0,900
60	0,540	105	0,945
65	0,585	110	0,990
70	0,630	115	1,035
75	0,675	120	1,080
80	0,720		

t, °C	C, кДж/(кг·К)	λ , Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	ν , м ² /с
40	1,005	0,0265	1,128	$17,6 \cdot 10^{-6}$
50	1,005	0,0272	1,093	$18,5 \cdot 10^{-6}$
60	1,005	0,0280	1,060	$19,6 \cdot 10^{-6}$
70	1,009	0,0286	1,029	$20,45 \cdot 10^{-6}$
80	1,009	0,0293	1,000	$21,70 \cdot 10^{-6}$
90	1,009	0,0307	0,972	$23,73 \cdot 10^{-6}$
120	1,009	0,0320	0,898	$26,20 \cdot 10^{-6}$
140	1,013	0,0332	0,854	$28,45 \cdot 10^{-6}$
160	1,017	0,0344	0,815	$30,30 \cdot 10^{-6}$

№ реж	№ точ	t в точках трубы					t _{ПОВ}	t _{СТ- ПОВ}	U, В	I, А	Q _Т , Вт	Q _Г , Вт	Q, Вт	$\alpha_E, \frac{Bm}{M^2 \cdot K}$	Gr	Nu	$\alpha_T, \frac{Bm}{M^2 \cdot K}$
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅											
I	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	ср																
II	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	ср																
III	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	ср																

