

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ  
«КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН ПРИ ВІЛЬНОМУ РУСІ  
ПОВІТРЯ БІЛЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ»  
ЗА КУРСОМ «ТЕПЛОМАСООБМІН»**

**для студентів спеціальності 7.090505  
з усіх форм навчання**

**Затверджено  
редакційно-видавничою  
радою університету  
Протокол № 1 від 27.02.2003**

**ХАРКІВ 2003**

Методичні вказівки до лабораторної роботи "Конвективний теплообмін при вільному русі повітря біля горизонтального трубопроводу" за курсом "Тепломасообмін" для студентів спеціальності 7. 090505 "Котли і реактори" з усіх форм навчання / Уклад.: Кошельник В.М., Тютюнник Л.І. та ін. – Харків: НТУ "ХПІ", 2003. – 16 с.

Укладачі: Кошельник В.М.  
Тютюнник Л.І.  
Іванова Л.А.  
Касілов В.Й.

Рецензент Усачов І.Д.

Кафедра парогенераторобудування

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

**Конвекція** - один з основних видів теплообміну, який відбувається тільки в газах і рідинах. Перенос тепла здійснюється об'ємами рідини або газу, що переміщуються в просторі.

Спільний **процес** дії **конвекції** і теплопровідності називається **конвективним теплообміном**.

Конвективний перенос теплоти завжди супроводжується теплопровідністю, що необхідно враховувати при розв'язанні задач конвективного теплообміну. Залежно від природи виникнення руху рідини виділяють змушену і природну (вільну) конвекцію.

Природна конвекція рідини (газу) широко поширена в техніці, у побуті. **Вільною конвекцією** називають рух об'ємів рідини, обумовлений різницею щільностей нагрітих і холодних об'ємів.

На відміну від змушеної конвекції, при якій швидкість переміщення обсягів рідини визначається дією зовнішніх сил, при вільній конвекції переміщення рідини (газу) виникає під дією піднімальних (архімедових) сил. Їхнє виникнення пов'язане зі змінами температури і щільності в самій рідині, що практично неможливо точно визначити. Вільне прямування рідини (газу), як і змушене, може бути ламінарним або турбулентним.

Інтенсивність конвективного теплообміну характеризується коефіцієнтом тепловіддачі, що відповідно до закону Ньютона:

$$Q = \alpha / (t_c - t_{ж})F, \quad (1)$$

можна визначити як кількість теплоти, що віддається в одиницю часу з поверхні при різниці температур між поверхнею тіла і рідиною, рівній одному градусу:

$$\alpha = Q / (t_c - t_{ж})F, \quad (2)$$

де  $t_c$  – температура поверхні тіла, °С;

$t_{ж}$  – температура середовища на відстанні від стінки, °С;

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

$Q$  – тепловий потік, Вт;

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

Рівняння (1) і (2) не відбивають усього різноманіття параметрів, що впливають на інтенсивність тепловіддачі  $\alpha$ . У загальному випадку коефіцієнт

тепловіддачі залежить від багатьох параметрів: геометричної форми тіла, розмірів поверхні теплообміну –  $l$ , теплотехнічних властивостей середовища ( $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності,  $C$  – теплоємність,  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості,  $\rho$  – щільність,  $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення),  $w$  – швидкість руху середовища і т.д.:

$$\alpha = f(l, \lambda, c, \nu, \rho, \beta, w, t_c, t_{ж}). \quad (3)$$

Таким чином, значення коефіцієнта тепловіддачі залежить від багатьох показників, і для його визначення неможливо дати загальну формулу. Інженерне рішення задач конвективного теплообміну зводиться до визначення коефіцієнта тепловіддачі (КТВ).

У більшості випадків визначення коефіцієнтів тепловіддачі засновано на застосуванні теорії подібності і за допомогою критеріїв подібності та критеріальних рівнянь. Критерії (числа) подібності - безрозмірні комплекси, що складені з параметрів, які характеризують явища. Рівнянням подібності (критеріальним рівнянням) називається функціональна залежність обумовленого критерію від інших критеріїв, що характеризують дане явище.

Для стаціонарних процесів конвективного теплообміну, використовуються методи теорії подібності.

Загальну структуру критеріального рівняння для природної конвекції можна записати у вигляді:

$$Nu = f(Gr, Pr), \quad (4)$$

де  $Nu = \alpha d / \lambda_{ж}$  – критерій Нуссельта, що характеризує теплообмін на межі стінка–рідина;

$Gr = \beta q \Delta t d^3 / \nu_{ж}^2$  – критерій Гразгофа характеризує відношення піднімальних сил, обумовлених різницею щільностей у потоку до сил в'язкості (молекулярного тертя);

$Pr = \nu_{ж} / a_{ж}$  – критерій Прандтля, характеризує гідродинамічну і теплову подібність прикордонного прошарку, а також вплив теплофізичних властивостей рідини на теплообмін.

У числа  $Nu$ ,  $Gr$ ,  $Pr$  входять такі параметри:

- $w$  – швидкість потоку, м/с;
- $\lambda_{ж}$  – коефіцієнт теплопровідності рідини, Вт/м °С;
- $\nu_{ж}$  – кінематична в'язкість рідини, м<sup>2</sup>/с;
- $\Delta t$  – різниця температур в системі рідина-стінка, °С;

- $\beta$  – коефіцієнт об'ємного розширення,  $1/^\circ\text{C}$ ;
- $g$  – прискорення сили ваги,  $\text{м/с}^2$ ;
- $a$  – коефіцієнт температуропровідності,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;
- $d$  – характерний геометричний розмір,  $\text{м}$ .

Введення критеріїв подібності дозволяє не тільки зменшити кількість перемінних, визначальних КТВ, але й аналізувати подібні процеси. Відповідно до теорії подібності і подібних процесів повинні бути однаковими однойменні числа подібності. Це дозволяє досліджувати теплофізичні процеси і явища на фізичних моделях.

При природній конвекції швидкість руху рідини біля поверхні теплообміну визначається розміром температурного напору, формою та розмірами тіла, що виражається рівнянням у виді:

$$Nu = C (Gr Pr)^n. \quad (5)$$

Як визначальна температура при визначенні властивостей теплоносія прийнята температура навколишнього середовища, а як характерний розміру – діаметр труби  $d$ , « $C$ » і « $n$ » – константи, які одержані в результаті узагальнення експериментальних даних.

Залежність (5) має загальний характер, вона справедлива для всіх процесів, подібних даному. Вивчення процесу теплообміну при природній конвекції проводилося в різноманітних рідинах і газах із тілами рівної геометричної форми.

У результаті узагальнення дослідних даних рядом авторів рекомендується така критеріальна залежність для горизонтально розташованого циліндра [1]:

$$Nu_{жс} = 0,5 (Gr_{жс} Pr_{жс})^{0,25} (Pr_{жс}/Pr_{см})^{0,25}, \quad (6)$$

де  $Pr_{жс}$  – критерій Прандтля при температурі рідини на відстані від стінки;

$Pr_{см}$  – критерій Прандтля при середній температурі рідини на стінці.

Залежність (6) дозволяє визначити середній КТВ при вільному прямиванні рідини біля горизонтальної труби в інтервалі зміни комплексу  $10^3 < Gr_{жс} Pr_{жс} < 10^8$ .

Як визначальна температура, тобто температура, при якій необхідно вибирати властивості рідини ( повітря), приймається температура теплоносія

на відстані від стінки. Як визначальний розмір приймають зовнішній діаметр циліндра.

## МЕТА РОБОТИ

Метою проведення лабораторної роботи є вивчення процесу тепловіддачі горизонтального циліндра при вільній конвекції повітря й одержання практичних навичок у проведенні й опрацюванні теплотехнічного експерименту.

## ЗАВДАННЯ

В результаті виконання лабораторної роботи необхідно визначити:

- теплову потужність нагрівача;
- кількість теплоти, відведеної від нагрівача випромінюванням і природною конвекцією;
- значення середнього по периметру горизонтального циліндра КТВ, отриманого на підставі обробки експериментальних даних;
- значення критеріїв  $Gr$ ,  $Pr$  відповідно до визначених параметрів;
- середній КТВ по відомій критеріальній залежності;
- порівняти значення КТВ, отримані експериментальним і розрахунковим засобами. Визначити відносну й абсолютну похибки.

## ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Установка для дослідження процесу тепловіддачі біля горизонтального циліндра показана на рис. 1.

Робочим елементом даної установки є частина горизонтально розташованої труби з електричним нагрівачем (1). Нагрівач являє собою константанову стрічку перерізом 0,5x10 мм, що навита на текстолітову трубу (2), і має відомий електричний опір  $R$ , що не змінюється в ході експерименту. Торці робочої ділянки труби захищені тепловою ізоляцією (3).

Постачання установки електричним струмом здійснюється від електричної мережі через стабілізатор напруги (4) і понижуючий трансформатор (5). Потужність електричного нагрівача змінюється шляхом переключення шестипозиційного штекерного перемикача (6), пов'язаного з

виводами повторної обмотки трансформатора. Сила струму в ланцюзі вимірюється амперметром (10). Вимір температури поверхні нагрівача здійснюється за допомогою шести термопар типу хромель-копель (7), які установлені по периметру трубки в середині робочого участка. Електроди термопар виведені назовні до перемикача (8), а для виміру е.д.с. термопар використовується цифровий вольтметр (9). Таке розташування термопар дозволяє визначити середню по периметру температуру поверхні циліндра.

Температура навколишнього повітря на відстані від поверхні нагрівання вимірюється за допомогою ртутного термометра.

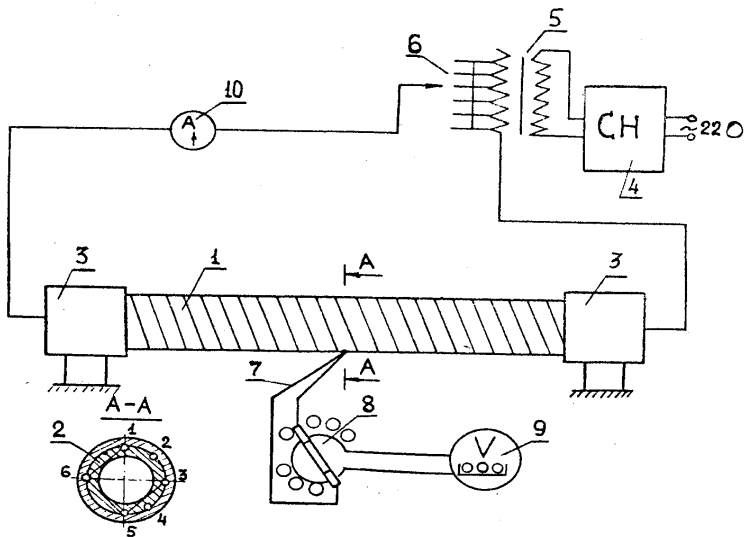


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для дослідження тепловіддачі при вільній конвекції повітря біля горизонтального трубопроводу

Електрична потужність, яка витрачена на нагрів робочої ділянки циліндричної труби довжиною  $l$  і діаметром  $d$ , визначається за відомом значенням електричного опору  $R$  і силі струму  $I$ , що проходить через нагрівач.

У табл.1 наведені характеристики лабораторної установки.

Таблиця 1 – Опір нагрівача R, довжина l і діаметр d робочого елемента лабораторних установок

Номер установки	Опір нагрівача R, Ом	Довжина труби l, м	Діаметр труби d, м
1	2,33	0,605	0,0295
2	1,55	0,423	0,027
3	1,58	0,425	0,027
4	2,53	0,610	0,029

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

***ВМИКАННЯ УСТАНОВКИ і переключення режиму здійснюється тільки в присутності викладача!***

Студенти приступають до проведення вимірів після ознайомлення з даними методичними вказівками під спостереженням викладача.

1. Включити подачу електроенергії для живлення установки. За допомогою штекерного перемикача (5) установити максимальну силу струму (крайне праве положення). Виміри проводити в стаціонарному стані, що встановлюється приблизно через 15-20 хв. після вмикання того або іншого режиму роботи нагрівача. При цьому режимі значення термо-Е.Д.С., що вимірюється мілівольтметром, практично не змінюється.

2. Після виходу на стаціонарний режим кожна підгрупа вимірює амперметром силу струму, який проходить через нагрівач, мілівольтметром – значення термо-Е.Д.С., всіх шести термопар, термометром об'ємного розширення – температуру навколишнього середовища.

Дані вимірів заносять у табл. 1. Проведення 1 досліду на цьому завершується.

3. Викладачем встановлюється інший режим, що відрізняється меншою потужністю електричного нагрівача. Після виходу робочого елемента на стаціонарний режим проводять виміри другого досліду. Результати вимірів заносять у табл. 2.

Час виходу установки на стаціонарний режим студенти використовують для обробки результатів виконаних раніше замірів.



Таблиця 2 – Дослідні дані, що характеризують стаціонарний температурний режим горизонтального трубопроводу

Параметри	Позначення	Одиниця виміру	Номера дослідів (1–N)		
			1	2	N
Сила струму	I	A			
Величина термо-Е.Д.С. термопар	E <sub>1</sub>	МВ			
	E <sub>2</sub>	МВ			
	E <sub>3</sub>	МВ			
	E <sub>4</sub>	МВ			
	E <sub>5</sub>	МВ			
	E <sub>6</sub>	МВ			
Середнє значення Е.Д.С. $\bar{E}(t, t_{xc}) = \sum E_i / 6$	$\bar{E}(t, t_{xc})$	МВ			
Поправка на температури холодного спаю	E(t <sub>xc</sub> , 0)	МВ			
Електричний опір	R	Ом			
Довжина циліндру	L	м			
Діаметр циліндру	D	м			

### ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДУ

1. Визначити середнє значення Е.Д.С. термопар з урахуванням поправки на температуру холодного спаю:

$$\bar{E}(t, 0) = \bar{E}(t, t_{xc}) + E(t_{xc}, 0). \quad (7)$$

Поправка на холодний спай E(t<sub>xc</sub>, 0) визначається по градусованій табл. 3, при температурі повітря в приміщенні на відстані від поверхні нагрівача t<sub>ж</sub>.

Таблиця 3 – Градуїрована таблиця для термопар типу ХК (хромель-копель)

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,39	0,45	0,52	0,59
10	0,65	0,72	0,78	0,85	0,91	0,98	1,05	1,11	1,18	1,24
20	1,31	1,38	1,44	1,51	1,57	1,64	1,71	1,77	1,84	1,90
30	1,97	2,04	2,11	2,17	2,24	2,31	2,38	2,45	2,51	2,58
40	2,65	2,72	2,79	2,86	2,93	3,00	3,06	3,13	3,20	3,27
50	3,34	3,41	3,48	3,55	3,62	3,69	3,75	3,82	3,89	3,96
60	4,03	4,10	4,17	4,24	4,31	4,38	4,45	4,52	4,50	4,66
70	4,73	4,80	4,87	4,95	5,02	5,09	5,16	5,32	5,31	5,38
80	5,45	5,52	5,59	5,67	5,74	5,81	5,88	5,95	6,03	6,10
90	6,17	6,24	6,32	6,38	6,46	6,54	6,61	6,68	6,75	6,83
100	6,90	6,97	7,05	7,12	7,20	7,27	7,34	7,42	7,49	7,57
110	7,64	7,72	7,79	7,87	7,94	8,02	8,09	8,17	8,24	8,32
120	8,39	8,47	8,54	8,62	8,69	8,87	8,84	8,92	8,99	9,07
130	9,14	9,22	9,29	9,37	9,45	9,53	9,60	9,68	9,76	9,83
140	9,91	9,99	10,06	10,22	10,30	10,37	10,45	10,45	10,53	10,60
150	10,68	10,76	10,84	10,91	10,99	11,07	11,15	11,23	11,30	11,38
160	11,46	11,54	11,62	11,7	11,78	11,86	11,93	12,01	12,09	12,17
170	12,25	12,33	12,41	12,49	12,57	12,65	12,72	12,8	12,88	12,96
180	13,04	13,12	13,2	13,28	13,36	13,44	13,51	13,59	13,67	13,7
190	13,83	13,91	13,99	14,08	14,16	14,24	14,32	14,4	14,49	14,57
200	14,65	14,73	14,82	14,9	14,99	15,07	15,16	15,24	15,34	15,41
210	15,5	15,58	15,66	15,75	15,83	15,92	16,0	16,09	16,17	16,2
220	16,34	16,42	16,51	16,59	16,68	16,76	16,85	16,93	17,02	17,1
230	17,19	17,27	17,35	17,44	17,52	17,61	17,69	17,78	17,86	17,95
240	18,03	18,11	18,2	18,28	18,37	18,45	18,54	18,62	18,71	18,79
250	18,86	18,96	19,04	19,13	19,21	19,3	19,38	19,47	19,55	19,64

2. По знайденому значенню  $\bar{E}(t,0)$  за допомогою градуїрованої табл. 3 знайти середню по периметру циліндра температуру поверхні в кожному конкретному проведеному досліді.

3. Визначити розмір теплового потоку від поверхні електричного нагрівача в навколишнє середовище (Вт):

$$Q = I^2 R. \quad (8)$$

4. Визначити різницю температур  $\Delta t$  між середньою температурою поверхні труби і температурою навколишнього повітря ( $^{\circ}\text{C}$ ):

$$\Delta t = t_c - t_{\text{жс}}, \quad (9)$$

5. З поверхні нагрівача тепло визначається природною конвекцією і випромінюванням у навколишнє середовище. Визначити кількість тепла, що віддається випромінюванням  $Q_{\text{л}}$  від поверхні труби в навколишнє середовище (Вт):

$$Q_{\text{л}} = \varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{T_c}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{жс}}}{100} \right)^4 \right] F, \quad (10)$$

де  $\varepsilon = 0,25$  – ступінь чорнотатості поверхні труби;

$C_0 = 5,67 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К}^4)$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла;  $T_c = t_c + 273$ ;

$T_{\text{жс}} = t_{\text{жс}} + 273$  – значення абсолютних температури поверхні нагрівача і повітря;

$F = \pi dl$  – площа бокової поверхні труби, м<sup>2</sup>.

6. Визначити конвективну складову теплообміну з загальної теплової потужності нагрівача яка передана повітрю (Вт) як:

$$Q_{\text{до}} = Q - Q_{\text{л}}. \quad (11)$$

7. Розрахувати середній по поверхні конвективний коефіцієнт тепловіддачі від поверхні горизонтального циліндра до повітря (Вт/м<sup>2</sup> К):

$$\alpha_{\text{к}}^3 \equiv \frac{Q_{\text{к}}}{F(t_c - t_{\text{жс}})}. \quad (12)$$

Розрахункові значення вимірів, які отримані при обробці дослідних даних (відповідно до пунктів 1–7) необхідно представити у вигляді табл.4.

Таблиця 4 – Результати обробки дослідних даних

Номер досліджу	$Q$ , Вт	$t_c$ , °C	$t_{\text{жс}}$ , °C	$\Delta t$ , °C	$Q_{\text{л}}$ , Вт	$Q_{\text{к}}$ , Вт	$\alpha$ , (Вт/м <sup>2</sup> К)

8. При виконанні розрахунків в інженерній практиці коефіцієнт тепловіддачі при природній конвекції визначають за допомогою відповідних критеріальних залежностей. Тому треба розрахувати критерії, що визначають теплообмін при природній конвекції:

## Критерій Гразгофа

$$Gr \equiv \frac{\beta g \Delta t d^3}{\nu_{ж}^2}, \quad (13)$$

де  $\beta \equiv \frac{1}{T_{ж}}$  – коефіцієнт об'ємного розширення повітря;  $g = 9.81 \text{ м/с}^2$  –

прискорення вільного падіння;  $\Delta t \equiv t_c - t_{жс}$ ;

Критерій Прандтля  $Pr \equiv \nu/d$ ;  $\nu_{жс}$ ,  $\lambda_{жс}$  – коефіцієнт в'язкості і коефіцієнт теплопровідності повітря є параметрами, що залежать від температури. По табл.5 визначимо відповідні значення  $\nu_{жс}$  та  $\lambda_{жс}$ .

Таблиця 5 – Залежність теплофізичних властивостей повітря від температури

Величина	Температура, °C							
	16	18	20	22	24	26	28	30
$\nu \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{із}$	14,7	14,88	15,06	15,25	15,44	15,62	15,81	16,0
$\lambda \cdot 10^2 \text{ Вт/(мК)}$	2,56	2,57	2,59	2,61	2,62	2,64	2,65	2,67
Pr	0,7038	0,7034	0,73	0,7028	0,7022	0,702	0,7014	0,701

9. Для горизонтально розташованого циліндра конвективний коефіцієнт тепловіддачі при природній конвекції повітря можна визначити за допомогою такої критеріальної залежності:

$$Nu = 0,5(Gr Pr)^{0,25}, \quad (14)$$

де  $Nu = \frac{\alpha_k^p d}{\lambda_{жс}}$  – критерій Нусельта;

$\alpha_k^p$  – конвективний коефіцієнт тепловіддачі, який визначено розрахунковим шляхом;

$Pr_{жс}$  – критерій Прандтля при середній температурі повітря в віддаленні від стінки;

$Pr_c$  – критерій Прандтля при середній температурі повітря.

10. Визначити середній коефіцієнт тепловіддачі біля горизонтального циліндра:

$$\alpha_k^p = \frac{Nu \lambda_{жс}}{d} . \quad (15)$$

11. Порівняти результати визначення коефіцієнта тепловіддачі двома засобами (розрахунковим і експериментальним):

$$\Delta \alpha = \alpha_k^p - \alpha_k^0 . \quad (16)$$

12. Визначити відносну похибку у визначенні коефіцієнта тепловіддачі:

$$\delta \alpha = \frac{\Delta \alpha}{\alpha_k^p} * 100, \% . \quad (17)$$

13. Використати одержані експериментальні дані та значення критеріїв  $Nu$ ,  $Gr$ ,  $Pr$  для кожного досліджу, а також значення  $\ln Nu$ ,  $\ln(Gr, Pr)$ , для визначення постійних  $C$  і  $n$  у критеріальному рівнянні (5), по формі поданій в табл.6.

Таблиця 6 – Значення критеріїв подібності, що характеризують теплообмін при природній конвекції

Номера дослідів	$Nu$	$Gr$	$Pr$	$(GrPr)$	$\ln(Nu)$	$\ln(GrPr)$

Логарифмуючи рівняння (5), одержимо:

$$\ln Nu = \ln C + n \ln(Gr Pr) . \quad (18)$$

З рівняння (18) випливає, що в логарифмічних координатах дослідні дані описуються прямолінійною залежністю.

14. Для визначення постійних  $C$  і  $n$  у рівнянні (5) будують графік (рис.2), на який по осі ординат відкладають значення  $\ln Nu$ , а по осі абсцис –  $\ln(GrPr)$ . Далі на графік наносять експериментальні дані, що об'єднуються апроксимуючою прямою. При цьому допустиме відхилення прямої від дослідних значень може складати до  $\pm 20 - 30\%$ .

Тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис дорівнює значенню константи  $n$  у рівнянні (5)

$$n = tg \varphi . \quad (19)$$

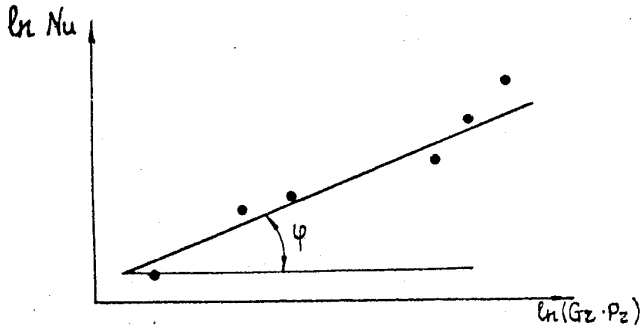


Рисунок 2 – До визначення коефіцієнтів для залежності виду  $Nu = C(GrPr)^n$

Визначивши значення  $n$  із рівняння (5), можна розрахувати значення постійної  $C$  із рівняння:

$$C = Nu / (Gr Pr)^n. \quad (20)$$

15. Таким чином, на підставі узагальнення експериментальних даних отримане критеріальне рівняння:

$$Nu = C (Gr Pr)^n,$$

яке характеризує тепловіддачу при вільному прямуванні повітря біля горизонтальної труби.

## ЗВІТ ПО РОБОТІ

Звіт про виконану роботу містить:

- стислий опис роботи, мету роботи, схему лабораторної установки;
- протокол вихідних даних і показання приладів (див.табл.2);
- результати обробки результатів виконаних дослідів згідно приведеної методики;
- графік залежності  $Nu = f(GrPr)$  у логарифмічних координатах;
- критеріальне рівняння зі знайденими експериментальним шляхом значеннями  $C$  и  $n$ .

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні види теплообміну.
2. Дайте визначення природної і змушеної конвекції.
3. Запишіть основні критерії, що визначають конвективний теплообмін при природній конвекції.
4. Поясніть порядок виконання вимірів. Перерахуйте, які прилади і датчики при цьому використовуються.
5. Дайте визначення і поясніть фізичний зміст основних критеріїв подібності.
6. Дайте визначення понять визначальний розмір і визначальна температура.
7. Дайте необхідні пояснення щодо порядку визначення коефіцієнтів  $C$  і  $n$  графічним способом.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Михеев М.А., Михеев И.М. Основы теплопередачи. - М.: Энергия, 1977. - 343 с.
2. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. - М.: Энергия, 1978. - 703 с.
3. Кошельник В.М. Методичні вказівки до лабораторної роботи.

## ЗМІСТ

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ .....	3
МЕТА РОБОТИ.....	6
ЗАВДАННЯ .....	6
ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ .....	6
ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ.....	8
ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДУ .....	9
ЗВІТ ПО РОБОТІ.....	14
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ .....	15
ЛІТЕРАТУРА .....	15

## Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторної роботи: «Конвективний теплообмін при вільному русі повітря біля горизонтального трубопроводу» за курсом «Тепломасообмін» для студентів спеціальності 7.090505 «Котли та реактори», з усіх форм навчання.

Укладачі: КОШЕЛЬНИК Вадим Михайлович  
ТЮТЮНИК Лариса Іванівна  
ІВАНОВА Лідія Анатоліївна  
КАСІЛОВ Віктор Йосипович

Відповідальний за випуск                      Єфімов О.В.  
Роботу до друку рекомендував              Зайченко Є.Т.

В авторській редакції.  
Зав. редакційно-видавничим відділом  
Єфремова М.П.

План 2003р., поз. 120/

Підп. до друку ХХ.ХХ.ХХ. 2003 р. Формат 60х84 1/16. Папір офсетний.  
Друк - ризографія. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 0,8.  
Облік. - вид. арк. 1,0. Тираж 50 прим. Зам. № ХХ/ХХ. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП»  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.

---

Друкарня НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.