

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОБМІНУ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО НАГРІВАЧА В ОПАЛЮВАЛЬНОМУ КОНВЕКТОРІ З ТЕРМОГРАВІТАЦІЙНОЮ КОНВЕКЦІЄЮ

Метою експериментальних досліджень є вивчення конвективної тепловіддачі від горизонтального циліндричного нагрівача в опалювальному конвекторі з уточненням механізму конвективних потоків в плоскому каналі.

Експериментальні дослідження виконувались на установці, схема якої приведена на рис 1.

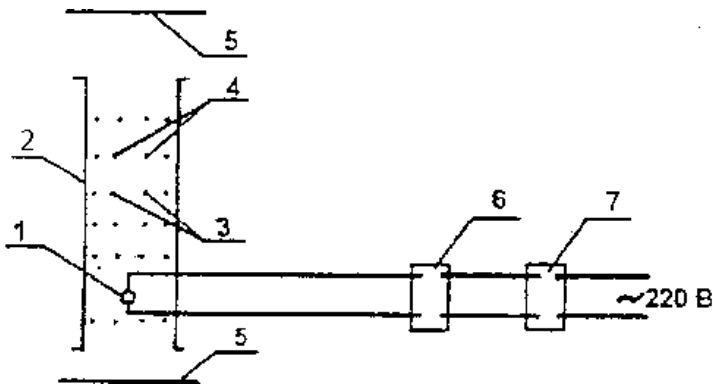


Рис 1. Принципова схема експериментальної установки:

- 1 – тепловіддаючий циліндр; 2 – стінки каналу конвектора;
- 3 – термопари ХК; 4 – датчики термоанемометра; 5 – екрани;
- 6 – регулюючий автотрансформатор; 7 – стабілізатор напруги.

В якості тепловіддаючого елемента використовувався ТЕН діаметром 13 мм, та довжиною 1970 мм. Нагрівач підключався через стабілізатор напруги і автотрансформатор. Потужність ТЕН змінювалася від

2,5 до 0,1 кВт. Конструкція металевого каналу конвектора дозволяла змінювати його ширину в межах 30–150 мм і висоту від 200 до 600 мм. Температура поверхні ТЕН визначалась за допомогою 36 ХК термопар (9 за довжиною; 4 за периметром) зачеканих в поверхню. Аналітичним чином вимірювались температури стінок конвектора за допомогою ХК термопар. В районі нагріву для уникнення впливу променевого потоку термопари захищалися екранами. Показники термопар визначалися цифровим вольтметром Ф283. Вимірювання поля швидкостей здійснювалося термоанемометром СА-5.

Дослідження поточкорозподілення та теплообміну в умовах термогравітаційної конвекції між вертикальними паралельними тепловіддавальними поверхнями конвектора приводить до виділення у потоці двох характерних ділянок – формування і стабілізації.

Особливість конвекції на ділянці формування (рис. 2) полягає в тому, що відбувається стала деформація профілів швидкості і температури по висоті каналу. Це пояснюється інтенсивністю теплообмінного процесу між високотемпературним циліндричним нагрівачем і стінками каналу, а також відомою специфікацією обтікання циліндра.

Ділянка, по висоті якої швидкість потоку має сформований профіль швидкості без деформації вважається закінченою для формування потоку і початком ділянки стабілізації течії.

Ця ділянка характеризується сталістю профілів швидкості. Температурний профіль змінюється по висоті каналу і має більш вирівняний характер, ніж на першій ділянці формування потоку.

Як показують візуальні і проведені експериментальні дослідження поділ плоского вертикального каналу на ділянки є умовний і притаманний для опалювальних конвекторів середньої висоти 400 мм, 600 мм і зовсім не характерний для низьких конвекторів висотою 200 мм, де зона формування потоку практично відбувається по всій висоті каналу.

Подальше експериментальне вивчення інтенсивності теплообміну виконувалось по висоті каналу, приймаючи за основу симетричне розташування нагрівача в нижній зоні, симетричній нагрів стінок каналу при відповідних співвідношеннях його висоти і ширини.

При обробці результатів експерименту виходили з того, що тепловіддача горизонтального циліндра в каналі в умовах термогравітаційної конвекції може розглядатися як тепловіддача в умовах вимушеного руху, спонуканням якого є канал, а рухома сила процесу залежить від тепловіддачі циліндра.

Результати експериментів оброблялись в такій послідовності:

1. За відомими температурами і швидкостями для конвективного теплового потоку визначався модифікований критерій  $Re_*$  [1] для кожної фіксованої потужності ТЕНу в залежності від  $(t_{ц} - t_{вх})$ , висоти і ширини каналу.

2. Конвективний тепловий потік визначався по формулі:

$$Q_k = UI - Q_{пр}$$

де:  $U$  і  $I$  відповідно напруга на нагрівачі і сила струму;  $Q_{пр}$  – тепловіддача випромінюванням.

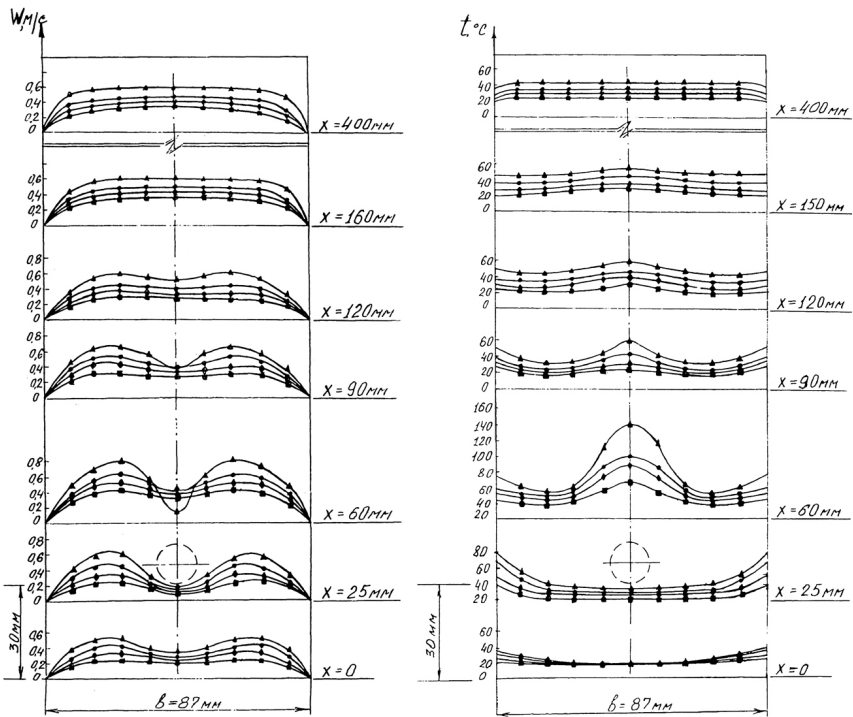


Рис. 2 Зміна профілів швидкостей і температур по висоті каналу  $h=400$ мм,  $b_{\text{онт}}=87$ мм в залежності від різниці температур на поверхні циліндричного нагрівача  $T_n$  та вхідного повітря  $T_{вх}$

- ▲ -  $T_n=502$  °C;  $T_{вх}=25,5$  °C (2,0 кВт); ● -  $T_n=347$  °C;  $T_{вх}=25,5$  °C (1,0 кВт);
- ◆ -  $T_n=241$  °C;  $T_{вх}=21,5$  °C (0,5 кВт); ■ -  $T_n=85$  °C;  $T_{вх}=20,0$  °C (0,1 кВт);

Середній коефіцієнт конвективної тепловіддачі для циліндра, розташованого в каналі, дорівнює:

$$\alpha_k = \frac{Q_k}{F_{\text{ц}}(t_{\text{ц}} - t_{\text{ср}})},$$

де  $F_{\text{ц}}$  – поверхня циліндра, що дорівнює:

$$F_{\text{ц}} = \pi dL + \pi d^2 / 4,$$

де  $\pi d^2 / 4$  – торцеві поверхні циліндра;  $d$  і  $L$  – відповідно діаметр циліндра з врахуванням довжини;  $t_{\text{ц}}$  – температура поверхні циліндра;  $t_{\text{ср}}$  – середня температура потоку повітря, що набігає на циліндр.

Розраховуємо значення критерію  $Nu$  по формулі:

$$Nu = \frac{\alpha_k d_{\text{ц}}}{\lambda},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності повітря.

3. Для визначення тепловіддачі випромінюванням приймаємо, що циліндр (нержавіюча сталь) – сіре тіло з випромінювальною спроможністю  $\varepsilon$ , температурою циліндра  $T_{\text{ц}}$  і стінки  $T_{\text{п}}$  каналу.

Результуючий потік випромінюванням ТЕНУ розраховано по формулі:

$$Q_{\text{пр}} = 5,68\varepsilon_{\text{зв}} \left[ \left( \frac{T_{\text{ц}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{п}}}{100} \right)^4 \right] H_{12},$$

де:  $T_{\text{ц}}$  – абсолютна температура поверхні ТЕНУ;  $T_{\text{п}}$  – абсолютна температура поверхонь, на які падає випромінювання ТЕНУ;  $\varepsilon_{\text{зв}}$  – зведена ступінь чорноти;  $H_{12}$  – взаємна поверхня випромінювання ТЕНУ і поверхонь каналу.

4. Визначились оптимальні розміри ширини каналу  $(b - d_{\text{ц}})_{\text{опт}}$ , при яких тепловіддача конвекцією при відповідних  $Q$  і  $h$  була б найбільшою.

5. В інтервалі ширини каналу від 50 до 200 мм, при кожній його висоті 200; 400; 600 мм і при потужностях нагрівача від 0,1 до 2,0 кВт будувались графіки (рис. 3, 4, 5) залежності  $Nu$  від модифікованого  $Re^*$ :

$$Nu = f_1(b - d_{\text{ц}}) \cdot Re_*^n, \text{ при } b - d_{\text{ц}} \leq (b - d_{\text{ц}})_{\text{опт}}$$

$$Nu = f_2(b - d_{\text{ц}}) \cdot Re_*^n, \text{ при } b - d_{\text{ц}} \geq (b - d_{\text{ц}})_{\text{опт}}.$$

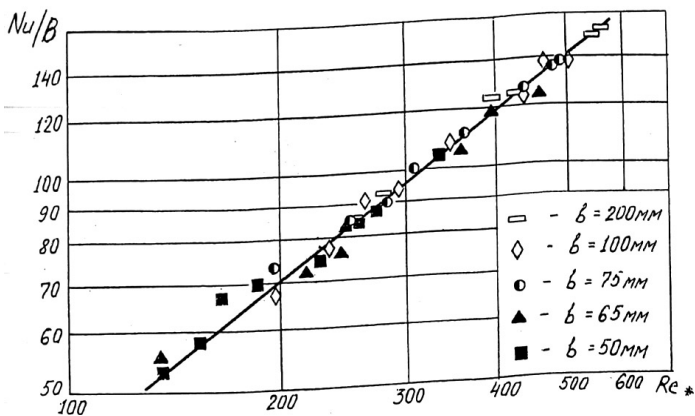


Рис. 3. Тепловіддача горизонтального циліндра у вертикальному каналі конвектора висотою 600 мм

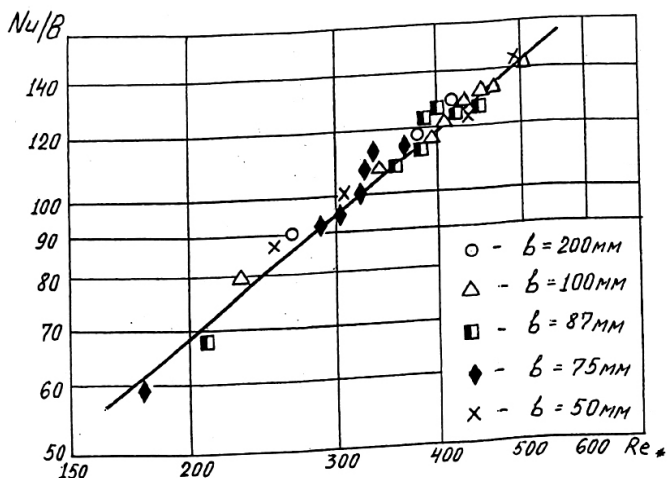


Рис. 4. Тепловіддача горизонтального циліндра у вертикальному каналі конвектора висотою 400 мм

В якості узагальнюючих параметрів при вивченні інтенсивності теплообміну від горизонтального циліндричного нагрівача розташованого в каналі у дослідженому інтервалі прийняти: висота каналу  $h = 600; 400; 200$  мм; відповідно ширина каналу  $75; 87; 100$  мм; нагрівач діаметром  $d = 13$  мм розташований на відстані  $2,3d$  від нижньої кромки каналу; різ-

ниця температури нагрівача і потоку що набігає, складає  $(t_{ц} - t_{вх}) = 59 - 487^{\circ}\text{C}$  при потужності нагрівача 0,1–2,0 кВт.

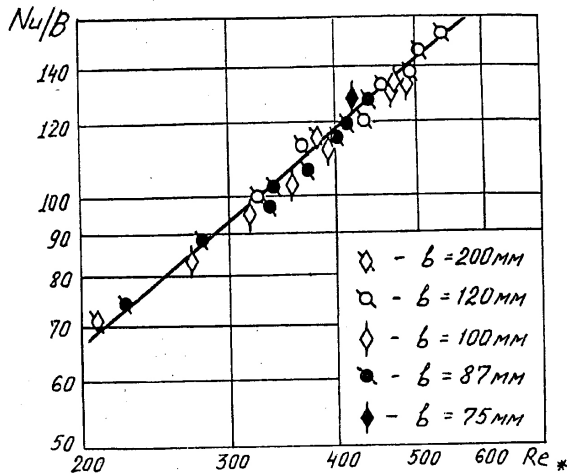


Рис. 5. Тепловіддача горизонтального циліндра у вертикальному каналі конвектора висотою 200 мм.

Значення  $B$  висловлює залежність, що враховує вплив висоти і ширини каналу на тепловіддачу, оскільки при виведенні модифікованого Рейнольдса  $Re^*$  не враховано характер швидкостей потоку повітря до циліндра і після нього по висоті каналу. Результати розрахунків коефіцієнта  $B$  представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Значення коефіцієнтів пропорційності  $B$  для різних геометричних розмірів каналу**

$h = 600 \text{ мм}$			$h = 400 \text{ мм}$			$h = 200 \text{ мм}$		
$b, \text{ мм}$	$n$	$B$	$b, \text{ мм}$	$n$	$B$	$b, \text{ мм}$	$n$	$B$
200	0,8	0,167	200	0,8	0,134	200	0,8	0,12
100	0,8	0,19	100	0,8	0,147	120	0,8	0,15
75	0,8	0,2	87	0,8	0,177	100	0,8	0,18
65	0,8	0,17	75	0,8	0,126	87	0,8	0,12
50	0,8	0,13	50	0,8	0,1	75	0,8	0,12

$b$  – ширина каналу;  $n$  – показник ступеню;  $B$  – коефіцієнт пропорційності в критеріальному рівнянні.

Отримане експериментально значення показника ступеню  $n = 0,8$  збігається за величиною з аналогічним показником для вимушеного обтікання циліндра в каналі [2,3].

### Література

1. Малкин Э.С., Вышегородская Е.О., Фуртат И.Э. Промышленная теплотехника. – К. 1999, т. 21, № 4–5.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975, – 485 с.
3. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. – М.: Наука, 1982, – 472 с.