

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДНОСНОЇ ЕФЕКТИВНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ В ЦИЛІНДРИЧНОМУ ОБ'ЄМІ РІДИННОГО СЕРЕДОВИЩА

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Досліджено залежність  $\varepsilon_k = \lambda_{ek}/\lambda$  в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – органічне середовище в циліндричному об'ємі» в умовах нестационарних теплових процесів. Експериментальні значення коефіцієнта конвекції  $\varepsilon_k$  за умови, коли  $Bi_e \rightarrow \infty$ , розташувалися вище кривої  $\varepsilon_k = f(Ra_2)$  розрахованої по наближеним залежностям [1], це очікувано, що в дійсності в наших експериментах, критерій  $Bio$  знаходиться в межах  $0 < Bi_e < \infty$ .

**Ключові слова:** ефективна теплопровідність, коефіцієнт конвекції, інтенсивність теплообміну, темп нагрівання, нестационарний теплообмін.

## Abstract

The dependence  $\varepsilon_k = \lambda_{ek}/\lambda$  was investigated in the system "water in a circular volume - a thin cylindrical metal wall - an organic medium in a cylindrical volume" under conditions of non-stationary thermal processes. That experimental values of the convection coefficient  $\varepsilon_k$ , provided that  $Bi_e \rightarrow \infty$ , are located above the curve  $\varepsilon_k = f(Ra_2)$  calculated on approximate dependences [2], it is expected, due to the fact that the  $Bio$  criterion is in the limit  $0 < Bi_e < \infty$ , in our experimental.

**Key words:** effective thermal conductivity, convection coefficient, heat exchange intensity, heating rate, non-stationary heat exchange.

## Вступ

В [1] розглядається циркуляція рідин при різних товщинах  $\delta$  вертикального каналу, в якому тепло передається від стінки до стінки. Якщо товщина досить велика, то вхідний та вихідний потоки рухаються без перешкод, а мають такий же характер, як і вздовж вертикальної поверхні в необмеженому просторі. Якщо товщина  $\delta$  мала, то внаслідок взаємних перешкод всередині виникають циркуляційні контури.

Для простішого вивчення складної системи теплообміну вводиться термін еквівалентного коефіцієнта теплопровідності  $\lambda_e = Q\delta/F\Delta t$  [1]. В наших дослідженнях тепло підводиться до циліндричного об'єму рідини, де воно акумулюється.

Мета роботи: визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності і коефіцієнта конвекції в циліндричному об'ємі заповненому рідинним середовищем.

## Результати дослідження

Вирішення задачі нестационарної теплопровідності ставить за мету знаходження залежності зміни температури і кількості переданої теплоти в часі для будь-якої точки тіла. Такі залежності можуть бути отримані рішенням диференціального рівняння теплопровідності. Аналітична теорія ставить собі за мету отримання спільного рішення задачі. Такі рішення виходять досить складними навіть для тіл простої форми: пластини, циліндра і кулі [2, 3].

Теплообмін в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – органічне середовище в циліндричному об'ємі» описаний в [4]. Експериментальна установка представляє інтерес для оцінки інтенсивності теплообміну в складних рідинних середовищах з обмеженою інформацією по теплофізичним властивостям.

Під час експерименту використовується термін – серія досліду, під його визначенням розуміється наступне: в циліндричну металеву ємність наливається дослідне середовище з певною температурою; в експериментальну установку в кільцевий об'єм – гаряча вода з температурою 80-90°C. Внутрішня ємність поміщається в експериментальну установку, накривається ізольованою кришкою. Серія дослідів закінчується, коли температура гарячого і холодного теплоносіїв відрізняється не більше ніж на 5°C. За час проведення однієї серії досліду фіксується 80-100 вимірювань температур. Для обробки

експерименту беруться вимірювання кожні 100с. Так як температура з експериментального стенду автоматично вводиться в комп'ютер, є можливість варіювати кількістю точок в серії дослідів. Крива будується по точкам однієї серії дослідів.

Досліджуються такі рідини: вода, рафінована соняшникова олія, сироватка, молоко, цукровий розчин з концентрацією 50%, за умов вільної конвекції в обмеженому об'ємі з розмірами циліндричної ємності: висота  $h = 0,115$  м, діаметр  $d = 0,1$  м.

За умов експерименту (вільна конвекція) критерій Релея приймав значення  $Ra = 5,81 \cdot 10^7 - 1,23 \cdot 10^9$ , температура грійного теплоносія –  $t_{1c} = 67-83^\circ\text{C}$ , температура нагріваного теплоносія –  $t_{2c} = 32-62,2^\circ\text{C}$ , питомий тепловий потік –  $q = 2,4-13,4$  кВт/м<sup>2</sup>, коефіцієнт кінематичної в'язкості рідинного середовища –  $\nu = 0,478 \cdot 10^{-6} - 26 \cdot 10^{-6}$  (м<sup>2</sup>/с), густина –  $\rho = 885-1390,8$  (кг/м<sup>3</sup>), коефіцієнт теплоємності –  $c = 1995-4183$  (Дж/кг·К).

В [1] складний процес розглядається, як елементарне явище теплопровідності, в якому тепло передається від стінки до стінки через рідину, відбувається стаціонарний процес теплопровідності. В наших дослідах розглядається теплопередача від стінки до рідини в циліндричному об'ємі рідини з накопиченням теплової енергії.

Ефективний коефіцієнт теплопровідності за формулою наведено в [2], за умов коли критерій  $Bi_e \rightarrow \infty$ , Вт/(м·К)

$$\lambda_e = \rho \cdot c \cdot m, \quad (1)$$

де  $Bi_e = \alpha \cdot l / \lambda_e$  – критерій Біо,

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі від рідини до стінки,

$\rho$  – густина рідинного середовища, кг/м<sup>3</sup>,

$c$  – коефіцієнт теплоємності рідинного середовища, кДж/(кг·К),

$K$  – коефіцієнт форми, м<sup>2</sup>,

$m$  – темп охолодження (нагрівання) рідинного середовища.

Безрозмірна величину  $\varepsilon_k = \lambda_e / \lambda_m$ , яка називається коефіцієнтом конвекції [1], представлена в залежності від критерія Релея на рис.1.

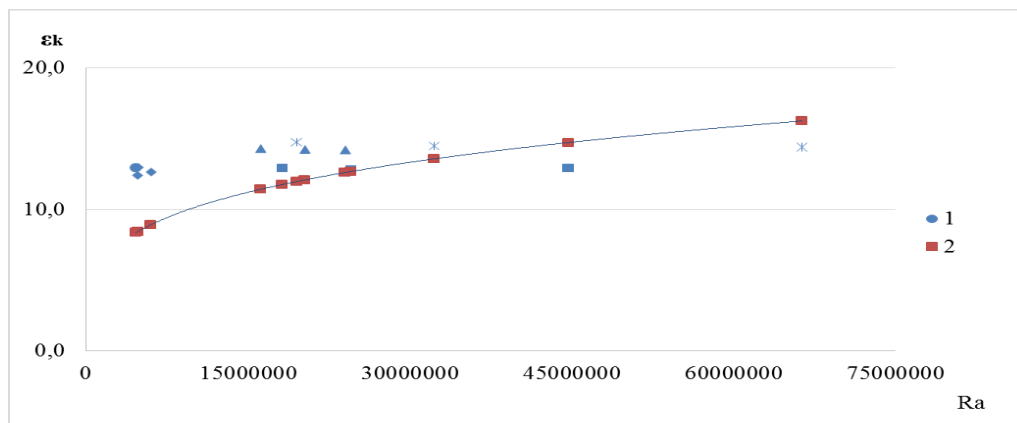


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта конвекції  $\varepsilon_k$  Ra: 1 – дослідні середовища за методом наведеним в [2]; 2 – дослідні середовища за наближеною залежністю.

Коефіцієнт конвекції за наближеною залежністю [1]

$$\varepsilon_k = 0,18 \cdot Ra^{0,25} \quad (2)$$

де Ra – безрозмірне число Релея.

Експериментальні результати оброблені із застосуванням залежності (1) розташовуються на рис.1 вище кривої побудованої з використанням залежності (2). Цей результат очікуваний, оскільки умови нашого експерименту відповідають  $0 < Bi_e < \infty$ .

## Висновки

Досліджена залежність  $\epsilon_k = f(Ra)$  в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка циліндрична металева стінка – органічне середовище в циліндричному об'ємі» в умовах нестационарних теплових процесів. Отримані дані дають можливість більш широкого вивчення механізму теплообміну в рідинних середовищах та дозволяють вдосконалити методику проведення і обробку результатів. Експериментальні значення коефіцієнта конвекції  $\epsilon_k$  за умови, коли  $Bi_c \rightarrow \infty$ , розташувалися вище кривої  $\epsilon_k = f(Ra)$  розрахованої по наближеній залежності (2), за рахунок, що в дійсності критерій Біо знаходиться в межах  $0 < Bi_c < \infty$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2–е, стереотип / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : «Энергия», 1977. – 344 с.
2. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – Москва : 1954. – 408 с.
3. Ткаченко С.Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів : монографія / С.Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 148 с.
4. Ткаченко С. Й. Дослідження темпу нагрівання гетерогенного рідкого середовища / С. Й. Ткаченко, О. В. Власенко. – Науково-технічний журнал «Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві» – 2019. – №1. – 127 – 133 с.
5. Календар'ян В.О. Методи дослідження процесів теплообміну. Експериментальні методи / В. О. Календар'ян. – Навчальний посібник. Частина 2. – Одеса: ОДАХ, 2006. – 75 с.
6. Ткаченко С.Й. Еквівалентна теплопровідність в циліндричному об'ємі / С. Й. Ткаченко, Д. І. Денесяк, К. О. Іщенко – Науково-технічний журнал «Сучасні технології матеріали і конструкції в будівництві» – 2018. – №1. – 106 – 110 с.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Власенко Ольга Володимирівна** – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [olgakytysak7@gmail.com](mailto:olgakytysak7@gmail.com).

Науковий керівник: **Ткаченко Станіслав Йосипович** – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Tkachenko Stanislav Yosypovych** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com).

**Vlasenko Olga Vladimirovna** – postgraduate student, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [olgakytysak7@gmail.com](mailto:olgakytysak7@gmail.com).

Scientific supervisor: **Tkachenko Stanislav Yosypovych** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com).