

ЕФЕКТИВНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЗА УМОВ ТЕПЛООБМІНУ В ОБМЕЖЕНОМУ ПРОСТОРІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Представлено результати експериментального визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності методом стаціонарного режиму в обмеженому просторі. Представлено результати отримані за двома методиками обробки експериментальних даних та вказано ймовірні похибки, які виникали при визначенні коефіцієнтів теплопровідності та тепловіддачі. Описано умови протікання процесів та їх вплив на отримані результати.

Ключові слова: ефективний коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт конвекції, коефіцієнт тепловіддачі, стаціонарний режим.

Abstract

The results of experimental determination of effective thermal conductivity by steady state in a confined space. The results obtained by the two methods of data processing and indicated possible errors that arose in the determination of thermal conductivity and heat transfer. Described terms of processes and their impact on the results.

Keywords: effective thermal conductivity, coefficient of convection heat transfer coefficient, stationary mode.

Вступ

Теплові процеси широко розповсюджені в технологіях харчової та хімічної промисловості. Величина потоку тепла через деяку тверду поверхню визначається її тепловим опором і коефіцієнтами тепловіддачі зі сторін середовищ, які обмінюються теплом [1, 2]. Математичні моделі для опису тепло- та масообмінних процесів за умов турбулентного та ламінарного режиму конвекції зазвичай базуються на ідеї про усереднення рівнянь Нав'є-Стокса, згідно з якою миттєві значення швидкості, тиску, густини та температури представляються сумами їх середніх та пульсаційних значень [2]. Якщо середовище є ньютонівським, то коефіцієнти тепловіддачі визначаються за

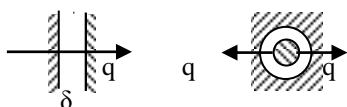


Рисунок 1 – Форма обмеженого простору

допомогою відомих залежностей [1, 2]. Теплообмін в неньютонівському середовищі вивчений значно менше, особливо за умов вільної конвекції в обмеженому просторі, хоча і зустрічається в багатьох технологічних та біологічних об'єктах і має велике практичне значення. Серед найбільш досліджених є

процес переносу енергії та маси через щільні канали, заповнені рідиною або газом, утворені плоскими паралельними пластинами та кільцевими каналами (рис. 1). На рисунках 1 і 2 q – питомий тепловий потік.

Основна частина

Дослідники [1-4] для опису процесу використовували методи математичного моделювання та натурний експеримент, загальний результат яких представлений на рисунку 3. У даній роботі наведені результати експериментального дослідження процесу теплопереносу у в'язкій рідині (цукровий розчин 50 % концентрації) методом регулярного режиму.

Дослідна установка [4] являє собою дві посудини більшого та меншого діаметру, які вставлені одна в одну і утворюють дві відокремлені області. Дослідна рідина розміщена у внутрішній циліндричній посудині, а грійна вода у зовнішньому кільцевому каналі (рис. 2).

Для опису процесу тепломасообміну в установці використовуються наступні критеріальні

рівняння: критерій Грасгофа – $Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu^2}$, критерій Прандтля – Pr, критерій Ралея – $Ra = Gr \cdot Pr$, критерій Біо. За характерний розмір приймалась висота внутрішньої посудини – l .

Локальні значення теплового потоку змінюються по поверхні стінки ємності через наявність конвекції рідини в ємності. У зв'язку з цим отримані дані для узагальнення і порівняння з відомими даними виражають у формі еквівалентного коефіцієнта теплопровідності λ_e . Введемо величину $\epsilon_k = \lambda_e / \lambda$, яка характеризує вплив конвекції на перенесення енергії за умов різних значень Ra. В даному випадку λ – коефіцієнт теплопровідності середовища, що досліджується.

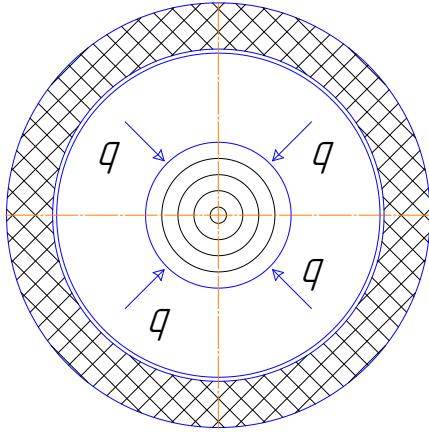


Рисунок 2 – Форма обмеженого простору у експериментальній установці

Згідно з методикою обробки експериментальних даних для стаціонарного режиму [1, 3] еквівалентний коефіцієнт теплопровідності зв'язаний з критерієм Біо наступним чином:

$$\lambda_e = \frac{\alpha \cdot K \cdot F}{Bi \cdot V}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт форми; V – об'єм досліджуваного середовища, m^3 ; F – площа теплообміну, m^2 ; α – коефіцієнт тепловіддачі навколишнього середовища, $Вт/(m^2 \cdot K)$. Для циліндра коефіцієнт форми визначається:

$$K = \frac{1}{\left(\frac{2.405}{R}\right)^2 \cdot \left(\frac{\pi}{1}\right)^2}, \quad (2)$$

де l – довжина циліндра, м; R – радіус циліндра, м.

Критерій Біо та коефіцієнт нерівномірності розподілу температури можна виразити наступними залежностями [1, 3]

$$\psi = \left(1 + 1.44 \cdot Bi + Bi^2\right)^{-1/2}, \quad (3)$$

$$\psi = \vartheta_f / \vartheta_v = \frac{m \cdot C_v}{\alpha \cdot F}, \quad (4)$$

де ϑ_f, ϑ_v – середні по поверхні та по об'єму тіла температури відповідно, $^{\circ}C$; $\vartheta_f = |t_p - t_{ct}|$ та $\vartheta_v = |t_p - t_o|$; t_p, t_{ct}, t_o – температури зовнішнього середовища (рідини), стінки та по центру розчину відповідно, $^{\circ}C$; C_v – повна теплоємність тіла, $кДж/К$; m – темп охолодження, $1/с$.

Отримані після обробки результати досліджень представлені на рисунку 3.

Під час проведення досліджень необхідно звернути увагу на умови протікання процесу, що відрізняються від умов у роботах [1, 2], тобто тепловий потік направлений до вісі циліндричної посудини (рис. 2). До значної похибки може призвести також те, що ми визначаємо коефіцієнт тепловіддачі для грійного середовища α_1 , а його значення більше за коефіцієнт тепловіддачі у внутрішній посудині α_2 , тобто $\alpha_1 \gg \alpha_2$. Очікувана похибка у визначенні α_1 оцінюємо в межах 50 %. Гіпотетичне положення експериментальних даних ϵ' з врахуванням похибки представлене на рис. 3.

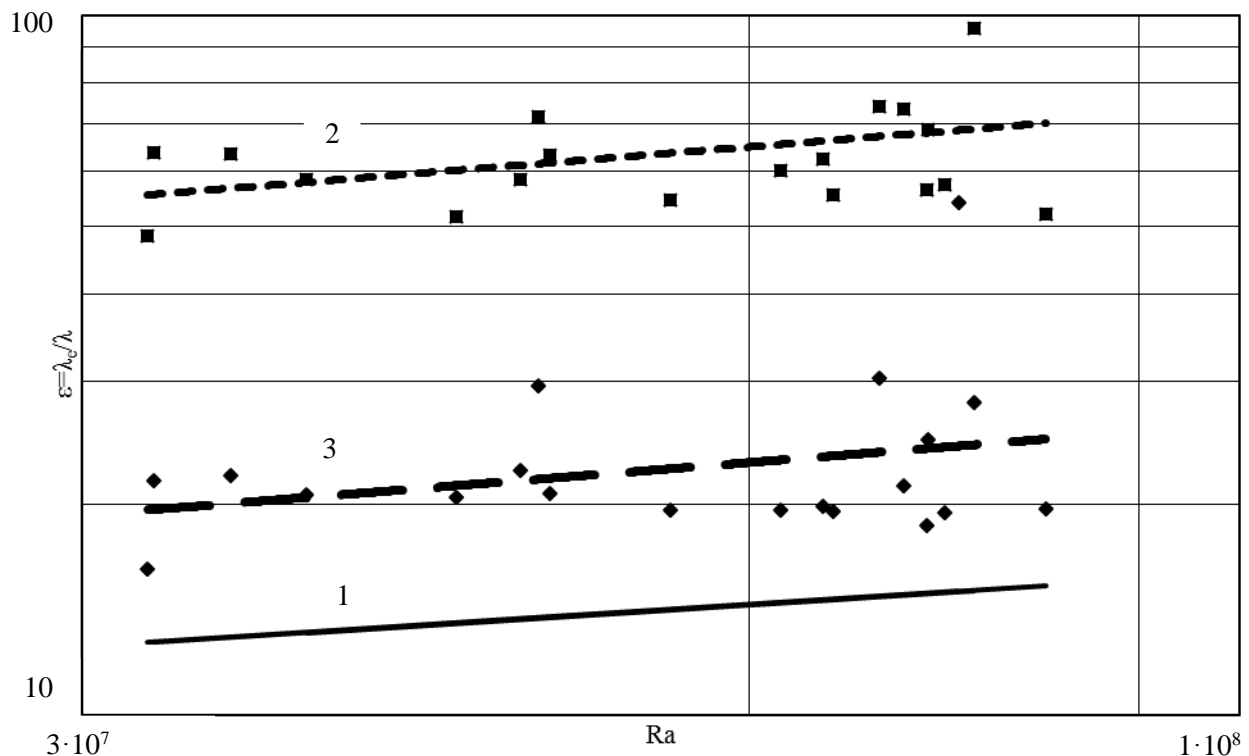


Рисунок 3. Лінія 1 – розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності в щілевих каналах (за [1, 2]); лінія 2 – експериментальні значення коефіцієнтів теплопровідності в циліндричному об’ємі (формула 1); лінія 3 – за умови зниження експериментальних коефіцієнтів тепловіддачі на 50 % у формулі (1)

Отже, за даних умов теплообміну порядок коефіцієнта конфекції ϵ на 20 – 60 % більший ніж при теплообміні в прямокутному каналі (згідно рис. 1). Апроксимація отриманих результатів дає досить схожу до отриманої іншими авторами структуру рівняння $\epsilon = 0,55Ra^{0,25}$ в діапазоні $10^6 < Ra < 10^{10}$, тоді як у авторів [1, 2] на такому ж проміжку рівняння має форму $\epsilon = 0,4 \cdot Ra^{0,2}$.

Висновки

Приведені експериментальні коефіцієнти теплопровідності в циліндричному об’ємі на 20...60 % мають вищі значення ніж розрахункові в щілевих каналах, що обумовлено різною геометрією об’ємів в яких здійснюється природня конвекція.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев. – [2-е изд.]. – М.: Энергоатомиздат, 1949 – 396 с.
2. Никитенко Н. И. Метод численного моделирования тепло- и массообмена при трехмерном ламинарном, переходном и турбулентном режимах течения / Н. И. Никитенко, Ю. Ф. Снежкин, Н. Н. Сороковая, Ю. Н. Кольчик // Одеська національна академія харчових технологій. Наукові праці. – Одеса, Видавництво ОНАХТ, – 2013р. – Том 1, Вип. 43. – С. 20–25.
3. Календер’ян В. О. Методи дослідження процесів теплообміну. Експериментальні методи. Навчальний посібник. Частина 2 / В. О. Календер’ян. – Одеса: ОДАХ, 2006. – 75 с.
4. Ткаченко С. Й. Метод визначення інтенсивності теплообміну в реонестабільних сумішах / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна // Науково-технічний збірник "Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві". – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2012. – № 2. – С. 87 – 96.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики.

Денесяк Дмитро Іванович – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: stahit@mail.ru.

Stanislav Tkachenko - Dc. Sc., Professor, Head of the power system.

Denesyak Dmitry - graduate student of the power system, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Stanislav Tkachenko - Dc. Sc., Professor, Head of the power system, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: stahit@mail.ru.