

С. Й. Ткаченко
К. О. Іщенко
Д. І. Денесяк

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЗА РЕАЛЬНИХ УМОВ ТЕПЛООБМІНУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Представлено методику та результати по дослідженню еквівалентного коефіцієнта теплопровідності з використанням методів нестационарного теплообміну – регулярного теплового режиму (РТР), шляхом удосконалення розрахунково-технічного методу дослідження інтенсивності теплообміну. В роботі вдалось отримати замкнену математичну модель, зменшити невизначеність у дослідженні еквівалентного коефіцієнта теплопровідності за рахунок заміни поняття «віртуальної модельної рідини» на методи РТР. Відносна похибка у визначенні $\lambda_{ЕРМ}$ становить $\pm 10\%$.

Ключові слова: теплопровідність, експериментально-розрахунковий метод, регулярний тепловий режим, теплообмін.

Abstract

The methodology and results for the study of the equivalent coefficient of thermal conductivity using non-stationary heat transfer methods - the regular thermal regime (RTR) are presented, by means of improving the calculation-technical method of studying the heat transfer intensity. In the work it was possible to obtain a closed mathematical model, to reduce the uncertainty in the study of the equivalent coefficient of thermal conductivity by replacing the concept of "virtual model liquid" with the methods of RTR. The relative error in the determination is $\pm 10\%$.

Keywords: thermal conductivity, experimental-calculation method, regular thermal regime, heat exchange.

Вступ

Питанню дослідження теплофізичних властивостей складних рідинних середовищ присвячено значну кількість наукових досліджень та розробок [1-4]. Основною проблемою є їх неоднорідність і зміна структури і ТФВ з часом та під дією зовнішніх чинників. У роботі [1, 3] представлено спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші з використанням понять комплексу фізичних властивостей (КФВ), «модельної рідини», «віртуальної модельної рідини» та «частково-модельної рідини».

За КФВ приймається функція теплофізичних властивостей отримана шляхом аналізу визначального рівняння теплообміну і записується у вигляді $\text{КФВ} = f(\lambda, \rho, \beta, \dots)$. Під «модельною рідиною» розуміють таку рідину, в якій виконується 2 умови рівності: рівність КФВ і рівність температур «модельної рідини» і шуканого режиму. Її застосовують в експериментально-розрахунковому методі (ЕРМ) для визначення інтенсивності теплообміну за умов роботи теплообмінника, тобто в обмеженому інтервалі параметрів натурної рідини. «Віртуальну модельну рідину» використовують для визначення теплофізичних параметрів таких як коефіцієнт теплопровідності та коефіцієнт кінематичної в'язкості. Детально методика використання поняття «Віртуальної модельної рідини» наведена в [1].

"Частково-модельна рідина" це – однорідна рідина або розчин на водній основі, для якої залежність теплофізичних властивостей від температури досліджена. Призначення "частково-модельної рідини" – моделювати в конкретному діапазоні температур зміну ТФВ органічної суміші з невідомими теплофізичними властивостями. Теплофізичні властивості "частково-модельної рідини" вибираються із довідника і застосовуються для оцінювання поправок на напрям теплообміну $P_t/P_{t,ст.}$.

Дані методи дозволяють отримати значення теплофізичних параметрів і коефіцієнтів тепловіддачі складних рідинних середовищ з прийнятною точністю, проте не завжди дають змогу отримати замкнену математичну модель і складність у виборі «віртуальної модельної рідини».

Метою даної роботи є удосконалення експериментально-розрахункового методу заміною «віртуальної модельної рідини» на адаптовану під умови експерименту методику регулярного теплового режиму (РТР).

Результати досліджень

Після проведення експерименту, методика проведення якого описана в [5, 6], необхідно провести математичну обробку даних для перевірки достовірності гіпотези. Гіпотеза полягає в тому, що використання методів РТР для обробки даних експерименту підтвердить можливість заміни (вилучення) поняття «віртуальної модельної рідини» та можливості використання даних експерименту отриманих за умов вільної конвекції для прогнозування інтенсивності теплообміну в умовах вимушеної конвекції в круглих трубах.

Експеримент відбувається за умов природної конвекції в об'ємі, який має форму тонкостінного циліндра (товщина стінки 0,5 мм) для дослідної рідини та зовнішнього коаксіального каналу для грійного середовища, геометричні розміри поверхонь теплообміну: зовнішня кільцева порожнина зовнішнім діаметром 200 мм, внутрішнім – 97 мм, висота – 12 см; внутрішня циліндрична порожнина діаметром 96 мм; висота – 90 мм. За таких же геометричних умов проводимо експеримент в умовах вимушеної конвекції, при цьому стенд обладнуємо змінною пропелерної мішалкою $d_m = 0,058$ м, з трьома лопатями, кут нахилу до горизонту кожної дорівнює 60° і дозволяє досліджувати процеси теплообміну в умовах вимушеної конвекції. Співвідношення діаметрів мішалки і внутрішньої робочої порожнини установки $d_m / D_{вн} = 0,6$. Діапазон регулювання частоти обертання мішалки 4 ... 150 об / хв [6].

В якості дослідної рідини в експерименті використовувався цукровий розчин 3-х масових концентрацій: 50%, 60% та 70% твердої частини. Теплофізичні властивості розчинів прийнято на основі довідкових даних [7]. Маса грійного середовища $\approx 2,3$ кг, дослідної речовини – 0,6...0,8 кг; зміна температур грійного середовища 78...42 $^\circ\text{C}$, нагріваного – 20...65 $^\circ\text{C}$. Температура навколишнього середовища за межами системи 22...30 $^\circ\text{C}$. З попередніх досліджень визначено, що процес теплообміну в експериментальній установці відбувається на межі великий об'єм – обмежений простір [6].

Методика проведення обробки результатів експерименту наступна.

Виконуємо визначення коефіцієнтів критеріального рівняння на базі експериментальних досліджень теплообміну

За умов вільної конвекції

$$\alpha_{вн} = f\left(\frac{\lambda}{d}, Gr, Pr, \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)\right). \quad (1)$$

За умов вимушеної конвекції

$$\alpha = f\left(\frac{\lambda}{d}, Re, Gr, Pr, \left(\frac{Pr}{Pr_c}\right)\right). \quad (2)$$

Визначення показників проводимо за допомогою програмного комплексу STATISTICA v10 або згідно методики описаної в спеціалізованій літературі [8].

Для визначення теплофізичних параметрів використовуємо доступні засоби і методику описані у [3]. Визначення питомої густини, теплоємності та коефіцієнта температурного розширення проводимо із аналізу рівняння теплового балансу та за рахунок методів проведення експерименту та обробки даних з використання РТР

$$C_p = \frac{\bar{Q}}{M \cdot (t_{ст} - t_p)} \quad (\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})), \quad (3)$$

$$a = m \cdot K \quad (\text{м}^2/\text{с}), \quad (4)$$

$$K = \left[\left(\frac{2,4048}{R} \right)^2 + \left(\frac{\pi}{1} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (5)$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості визначаємо за допомогою засобів віскозиметрії, наприклад віскозиметр Енглера. Визначення коефіцієнта теплопровідності виконуємо з використанням модернізованого ЕРМ із застосуванням методів РТР. Метод полягає в наступному.

а) Представляємо рівняння (1) у такій формі

$$\alpha = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\omega^{n1} \cdot d^{n1}}{v^{n1}} \cdot \frac{g^{n2} \cdot \beta^{n2} \cdot \Delta t^{n2} \cdot (I^3)^{n2}}{(v^2)^{n2}} \cdot \frac{v^{n3}}{a^{n3}} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{n4}, \quad (6)$$

де $a = \frac{\lambda}{Cp \cdot \rho}$, $\Delta t = t_{cr} - t_p$.

б) Визначаємо КФВ у вигляді

$$КФВ = \lambda^{m1} \cdot \beta^{m2} \cdot \rho^{m3} \cdot Cp^{m4} \cdot v^{m5} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{n4}. \quad (7)$$

Визначаємо експериментальний КФВ

$$КФВ_e = f(d, w, g, \dots). \quad (8)$$

Приймаючи до уваги (7) і (8) визначаємо ефективний коефіцієнт теплопровідності λ_{EPM}

$$\lambda_{EPM} = \left(\frac{КФВ_\alpha}{\beta^{m2} \cdot \rho^{m3} \cdot Cp^{m4} \cdot v^{m5} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_c} \right)^{n4}} \right)^{1/m1}. \quad (9)$$

Отримані значення λ_{EPM} використовуємо для подальших розрахунків. Це дає змогу отримати замкнену модель із повним набором теплофізичних властивостей. Для порівняння проводимо визначення λ_{EPM} для умов вільної і вимушеної конвекції у експериментальній установці за наведеною вище методикою.

Відносна похибка визначення коефіцієнту λ_{EPM} становить $\pm 10\%$. Більш широкий діапазон значень для вільної конвекції пояснюється швидшим часом установки регулярного теплового режиму і початку обробки даних.

Наступним кроком є перевірка можливості використання λ_{EPM} визначене за умов вільної конвекції для умов вимушеної. Для цього підставляємо у рівняння (6) λ_{EPM} визначену за умов природної конвекції, розраховуємо коефіцієнт тепловіддачі. Розбіжність у визначенні α із використанням $\lambda_{EPM}^{віль}$ і $\lambda_{EPM}^{виму}$ становить до 11%. тобто, даний метод має достатню точність і перспективу для подальшого дослідження і вдосконалення.

Висновки

Підтверджено гіпотезу про можливість оцінки значення коефіцієнту тепловіддачі за умов вимушеного руху використовуючи експериментальні значення теплофізичних властивостей отриманих за умов вільної конвекції. В результаті чого вдалося збільшити діапазон можливостей експериментального методу по дослідженню ТФВ і коефіцієнтів тепловіддачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С. Й. Визначення параметрів "віртуальної модельної рідини" для оцінки інтенсивності теплообміну в реальних умовах теплотехнології / С. Й. Ткаченко, Т. Ю. Румянцева, Н. В. Пішеніна // Енергетика. – 2014. – № 1. – С. 27-35.
2. С. Й. Ткаченко і Н. В. Пішеніна, Застосування поняття «модельна рідина» в експериментально-розрахунковому методі, Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 3, с. 103-110.
3. Ткаченко С. Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 148 с.
4. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. Учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 320 с.
5. Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 408 с.
6. Ткаченко С. Й. Перспективи використання методів регулярного режиму для визначення інтенсивності теплообміну в обмеженому об'ємі / С. Й. Ткаченко, Д. І. Денесяк // Сучасні технології

матеріали і конструкції в будівництві. Наук.-техн. збірник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2017. – №2(23), С. 106-112.

7. Чубик И.А., Маслов А.М. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов. Второе дополненное издание. — М.: Пищевая промышленность, 1970. — 185 с.

8. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев.— М.: Энергоатомиздат, 1977 – 344 с

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: stahit6937@gmail.com.

Ищенко Ксенія Олександрівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: ksenia1991911@ukr.net.

Денесяк Дмитро Іванович – інженер-проектувальник ТОВ «ГРІН КУЛ», м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Tkachenko Stanislav – Dc. Sc., Professor, Head of the power system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, E-mail: stahit6937@gmail.com.

Ishchenko Ksenia – post-graduate student of the Department of Heat and Power Engineering Vinnytsia National Technical University, Vinnytsya, E-mail: ksenia1991911@ukr.net.

Denesyak Dmitry – engineer-designer at the Ltd. "GREEN COOL", Vinnytsya, E-mail: doc13energee@gmail.com.