

НЕСТАЦІОНАРНИЙ ТЕПЛООБМІН В ОБМЕЖЕНОМУ ОБ'ЄМІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показано застосування методів регулярного теплового режиму для визначення еквівалентних коефіцієнтів теплопровідності багатокомпонентних багатофазних середовищ та інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості

Ключові слова: регулярний тепловий режим, теплообмін в багатокомпонентних багатофазних середовищах, еквівалентний коефіцієнт теплопровідності

Abstract

The application of the regular thermal regime methods for determination of equivalent thermal conductivity coefficients of multicomponent multiphase media and the intensity of heat transfer in mixtures with limited information on thermophysical properties is shown

Key words: regular thermal mode, heat-exchange in multicomponent multiphase environments, equivalent coefficient of thermal conductivity

Вступ

Авторами [1-3] запропоновано експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості, який включає базовий експеримент на портативній установці та алгоритм розрахунку з використанням структуризованих критеріальних рівнянь. Достовірність визначення експериментальних коефіцієнтів тепловіддачі залежить від правильного вибору механізму теплообміну та структури критеріального рівняння для портативної установки.

Дана робота ставить за мету підвищити достовірність експериментальних результатів за ЕРМ шляхом застосування методів нестационарного теплообміну для визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості та визначення еквівалентних коефіцієнтів теплопровідності багатокомпонентних багатофазних середовищ в реальних технологічних процесах.

Основна частина

В ЕРМ за базовий режим взято вільну конвекцію рідини біля вертикальної стінки. За умов вільної конвекції зазвичай розрізняють два види процесу – в обмеженому та необмеженому просторі. Різниця між двома такими видами виникає внаслідок віддалення поверхонь, які нагріваються та охолоджуються одна від одної. Якщо дві поверхні знаходяться на значній відстані, а процеси нагрівання і охолодження не впливають один на одного, то розглядають вільну конвекцію в необмеженому просторі. Якщо ж дві поверхні розміщені достатньо близько і процеси нагрівання і охолодження впливають один на одного, то такий вид процесу називають конвекцією в обмеженому просторі [4-6].

В обмеженому просторі явища нагрівання і охолодження рідини відбуваються близько один біля одного і розділити їх неможливо [4]. Через наявність обмеженості простору і висхідних та низхідних потоків ускладнюється рух рідини. Вплив також здійснюють розміри тіла, вид рідини та інтенсивність теплообміну. Наприклад, у вертикальних каналах і щілинах циркуляція висхідних і низхідних потоків рідини може відбуватися без взаємних перешкод (рис. 1а) та з внутрішніми циркуляційними контурами, якщо товщина щілини δ достатньо мала (рис. 1б). В горизонтальних плоских щілинах, циліндричних щілинах, щілинах форми кулі (рис. 1в) наявність циркуляції та її характер залежить від товщини δ і від взаємного розташування нагрітої t_{c1} та холодної поверхонь t_{c2} .

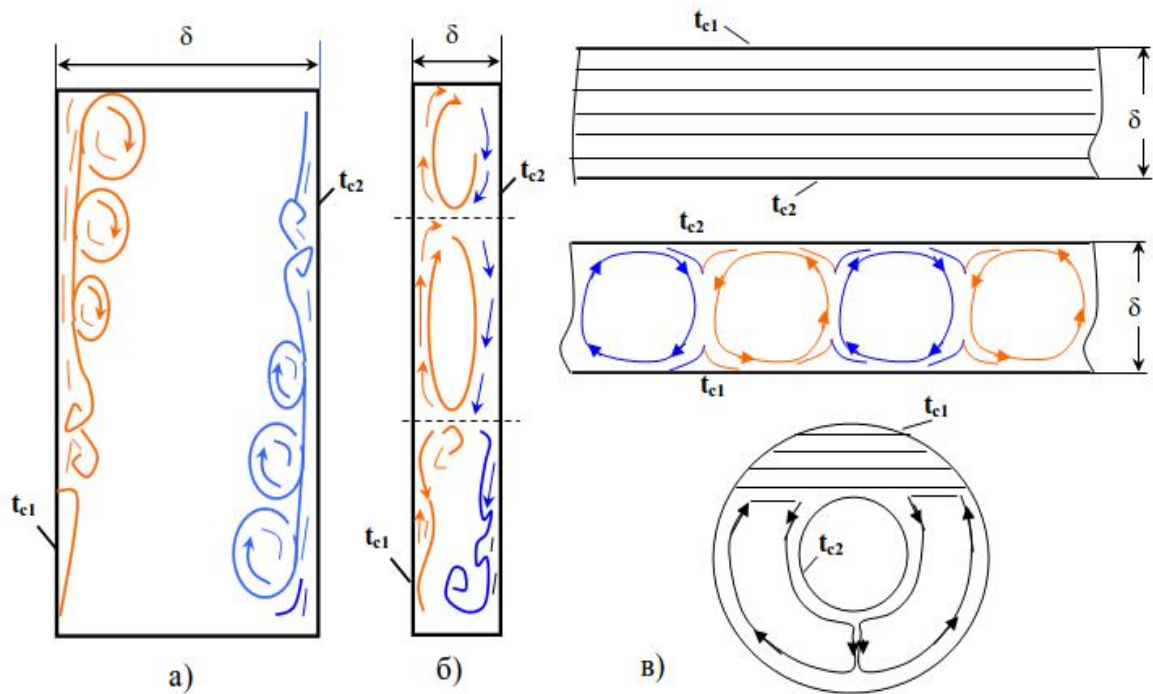


Рис. 1 Циркуляція потоків в обмеженому об'ємі

Відомо, що такий складний процес розглядають як явище теплопровідності, а розрахунки здійснюють через еквівалентний коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{екв}$

$$\lambda_{екв} = \frac{Q \cdot \delta}{F \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

де $\Delta t = t_{c1} - t_{c2}$ – різниця температур, °С;

Q – тепловий потік, Вт

F – площа поверхні теплообміну, м².

Для визначення інтенсивності теплообміну в обмеженому об'ємі для стаціонарного режиму теплообміну запропоноване рівняння виду [1]

$$\frac{\lambda_{екв}}{\lambda} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n, \quad (2)$$

де Pr, Gr – критерії Прандтля і Грасгофа відповідно;

C, n – константи критеріального рівняння;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

На рис. 2 показані внутрішній циліндричний об'єм і циркуляція потоків в експериментальній установці для визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості, в якій експеримент відбувається за нестационарних умов теплообміну. Для такого характеру руху в обмеженому об'ємі авторами запропонований метод визначення коефіцієнтів тепловіддачі α на основі теорії регулярного теплового режиму [7 – 9].

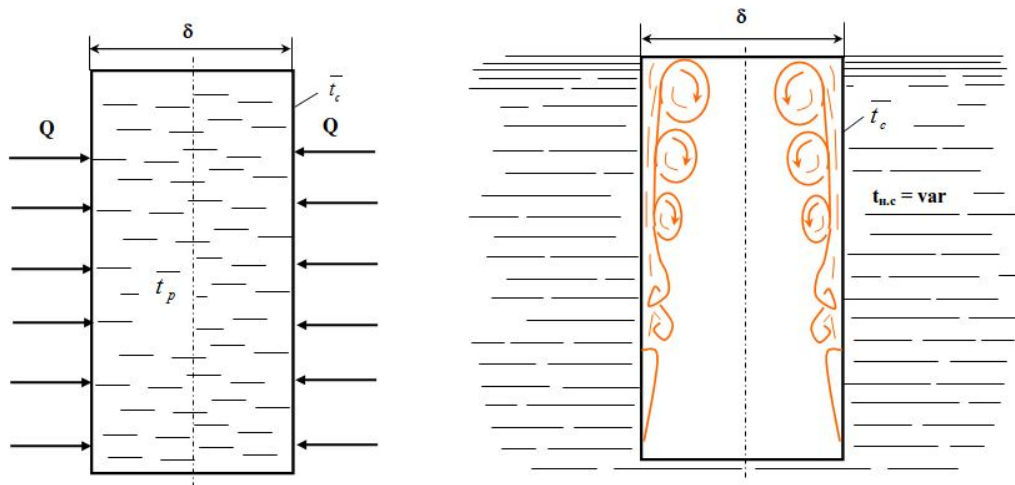


Рис. 2 Внутрішній циліндричний об'єм експериментальної установки

Теплообмін у внутрішньому циліндричному об'ємі експериментальної установки за нестационарних умов теплообміну описується відомим рівнянням теплопровідності в безрозмірних координатах

$$\frac{\partial \theta}{\partial Fo} = \nabla^2 \theta, \quad (3)$$

де $Fo = \frac{a\tau}{\ell^2}$ – критерій Фур'є; a – коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – час, с ;

ℓ – визначальний геометричний розмір, м ; θ – безрозмірна температура.

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності за нестационарних умов теплообміну визначається з рівняння

$$\lambda_{\text{екв}} = \alpha \ell \left\{ \frac{n}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{n}{2}\right)^2 - \left(1 - \frac{1}{\psi^2}\right)} \right\}^{-1}, \quad (4)$$

де n – константа для пластини, циліндра та кулі відповідно дорівнює 1,633; 1,414; 1,265;

ℓ – визначальний геометричний розмір, м ;

α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Рівняння (4) застосовується в межах чисел Біо $0 < Bi_{\text{екв}} = \frac{\alpha \cdot \ell}{\lambda_{\text{екв}}} < \infty$, дає достатню точність,

якщо $Bi_{\text{екв}} < 15$ і застосовується для визначення коефіцієнтів теплопровідності твердого тіла у формі циліндра.

Відношення середньої по поверхні надлишкової температури до середньої по об'єму надлишкової температури тіла ψ [10]

$$\psi = (1 + nBi_{\text{екв}} + Bi_{\text{екв}}^2)^{-0,5}. \quad (5)$$

Авторами застосовані рівняння (4) і (5) для системи «вода в кільцевому об'ємі – тонка металева стінка – багатокомпонентне багатофазне середовище в циліндричному об'ємі», оскільки встановлено, що на дослідному проміжку витримується співвідношення для логарифму надлишкової температури $\ln(\theta) = f(\tau)$, яке характерне для регулярного теплового режиму у твердих тілах різної форми [8].

За рівняннями (1), (2), (4) та (5) здійснено обробку дослідних даних. На основі результатів досліджень виявлено, що в елементах експериментальної установки теплообмін відбувається за нестационарних умов, але структура критеріального рівняння відповідає структурі для стаціонарному режиму теплообміну, тобто

$$\frac{\lambda_{\text{екв}}}{\lambda} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n,$$

де константа C і показник степеня n одного порядку із відомими в літературі [4]. З останнього співвідношення визначається комплекс фізичних властивостей, згідно винаходів [3, 11, 12] коефіцієнт теплопровідності багатокомпонентного багатофазного середовища λ . Інші теплофізичні властивості визначаються за існуючими методами та приладами.

Висновки

Запропонована авторами методика проведення експериментальних досліджень дозволила виявити існування регулярного теплового режиму в системі «вода в кільцевому об'ємі – тонка металева стінка – багатокомпонентне багатофазне середовище в циліндричному об'ємі».

Застосування методів на основі теорії регулярного теплового режиму дає можливість визначити еквівалентні коефіцієнти теплопровідності багатокомпонентних багатофазних середовищ, інтенсивність теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості та підвищити достовірність ЕРМ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ткаченко С.Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів: монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. — Вінниця : ВНТУ, 2017. — 124 с.
2. Ткаченко С. Й. Теплообмін в системах біоконверсії / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 124 с.
3. Патент України на винахід № 97021, (51) МПК (2006.01) G01N 25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В., Резидент Н. В.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. — № а201005661; заявл. 11.05.2010; опубл. 26.05.2011, Бюл. № 2.
4. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев.— М.: Энергоатомиздат, 1977 — 344 с.
5. Исаченко В. П. Теплопередача. / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел С. А. — М.: Высшая школа, 1969. — 440 с.
6. Лыков А. В. Тепломассообмен. Справочник / А. В. Лыков. — М.: «Энергия», 1971. — 560 с.
7. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. — 408 с.
8. Ткаченко С. Й. Експериментальне дослідження нестационарного теплообміну в суміші / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент, Д.І. Денесяк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — 2018. — № 1. — Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/562>.
9. Ткаченко С. Й. Резидент Н. В. Методи визначення коефіцієнтів тепловіддачі в нестационарних режимах теплообміну Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/viewFile/6105/5094>
10. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова — М.: Энергия, 1979. — 320 с.
11. Патент України на винахід № 105399, (51) МПК (2006.01) G01N 25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / Ткаченко С. Й., Пішеніна Н. В., Дишлюк С. В.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. — № а 2012 04878; заявл. 18.04.2012; опубл. 25.05.2014, Бюл. № 9.
12. Ткаченко С. И. Исследование процессов теплообмена в реонестабильных смесях органического происхождения / С. И. Ткаченко, Н. В. Пишенина, Т. Ю. Румянцева //Инженерно-физический журнал. — Издательство Национальной академии наук Беларуси. Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова., 2014. - Том 87, № 3. - С. 700 - 707.

Резидент Наталія Володимирівна – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

Nataliya Rezydent – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rezidentnv1@ukr.net