

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ТЕПЛООБМІНУ В БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показані методи для визначення коефіцієнтів кінематичної в'язкості і коефіцієнтів теплопровідності рідин з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості.

Ключові слова: теплофізичні властивості, коефіцієнт тепловіддачі, коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт кінематичної в'язкості, теплообмін в багатоконпонентних середовищах.

Abstract

Methods for determining kinematic viscosities and thermal conductivity coefficients of liquids with limited information on thermophysical properties are presented

Key words: thermophysical properties, coefficient of heat transfer, coefficient of thermal conductivity, coefficient of kinematic viscosity, heat-exchange in multicomponent environments.

Вступ

Методами ротаційної віскозиметрії отримані залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву для різних типів рідин, що дають уявлення про реологічну поведінку середовища (рис. 1). Для визначення реологічних характеристик відомими методами у віскозиметрах та реометрах створюються штучні умови – стабілізується температура, задається механічне збурення в рідині для створення однорідного в об'ємі режиму деформування зі строго контрольованими кінематичними і динамічними параметрами. Заданий режим підтримується протягом певного проміжку часу [1 – 3]. Відомі методи неізотермічної віскозиметрії, коли в робочому вузлі віскозиметра забезпечується рівномірність нагрівання рідини і низька інтенсивність теплообміну з навколишнім середовищем, розігрівання рідини відбувається тільки за часом, відсутня нерівномірність розподілу температур за об'ємом. Використовуючи принципи квазістаціонарної теорії неізотермічної течії, знаходять температурну залежність в'язкості і, змінюючи значення напруження зсуву, визначають залежність ефективної в'язкості від напруження $\eta_{ef} = f(\dot{\gamma})$. В цьому випадку саморозігрівання рідини, що є небажаним ефектом в ізотермічному способі, дозволяє отримати неперервну залежність в'язкості від температури [1 – 3].

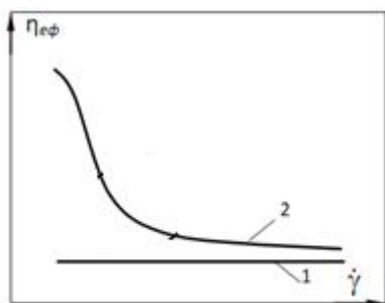


Рис. 1 Реологічні криві залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву від швидкості зсуву $\dot{\gamma}$: 1 — ньютонівська рідина; 2 — неньютонівська рідина; тиксотропна

Основна частина

Швидкість зсуву визначити важко, тому авторами [4 – 9] вводиться поняття еквівалента швидкості зсуву $KФВ/KФВ_0$, де $KФВ_0$ – максимальне значення комплексу фізичних властивостей (КФВ) в експериментах і КФВ поточне значення комплексу фізичних властивостей, які прив'язані до експериментального стенду. На базовому експериментальному стенді для «модельних» рідин (розчин цукру, олія рафінована, субстрати ВРХ, субстрати свиней) за умов вільної конвекції і вимушеної конвекції виведені узагальнені залежності в критеріальному вигляді:

- вимушена конвекція

$$Nu = 0,0549 \cdot Re^{*0,589} \cdot Pr_p^{0,33} (Gr_p \cdot Pr_p)^{0,1} \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (1)$$

де Re – критерій Рейнольдса, Pr_p – критерій Прандтля для температури рідини, Pr_c – критерій Прандтля для температури стінки Gr_p – критерій Грасгофа;

- вільна конвекція

$$Nu = 1,3 (Gr_p \cdot Pr_p)^{0,25} \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

- вільна конвекція в циліндричному об'ємі

$$\frac{\lambda_{екв}}{\lambda} = 0,4 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25}, \quad (3)$$

де $\lambda_{екв}$ – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), λ – молекулярний коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К).

Згідно методики [6 – 9] експериментально визначається коефіцієнт тепловіддачі від стінки до рідини з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості $\alpha_2^{експ}$ на базовому стенді для всіх трьох режимів, еквівалентний коефіцієнт теплопровідності і експериментальне значення комплексу фізичних властивостей.

Для вказаних трьох методів значення експериментального комплексу фізичних властивостей $EKF\Phi B_{\delta}$ для рідин з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості визначається із структурованих критеріальних рівнянь (4), (6), (8) і аналітичних (5), (7), (9):

- вимушена конвекція

$$EKF\Phi B_{\delta} = \frac{\alpha_2^{експ}}{0,0549 \cdot \bar{w}^{-0,59} \cdot (g \cdot \Delta T_{\delta})^{0,1} \cdot \frac{H_{\delta}^{0,3}}{2\delta^{0,41}} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)_{\delta}^{0,25}}, \quad (4)$$

де \bar{w} – швидкість руху рідини в базовому експерименті, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с²; ΔT_{δ} – середній температурний напір між стінкою і рідиною °С; δ – різниця діаметрів внутрішньої ємкості базової установки, м; H_{δ} – висота вертикальної теплообмінної поверхні, м;

$$EKF\Phi B_{\delta} = C_p^{0,43} \cdot \rho^{0,43} \cdot \beta^{0,1} \cdot \lambda^{0,57} \cdot \nu^{-0,359}, \quad (5)$$

- вільна конвекція

$$EKF\Phi B_{\delta} = \frac{\alpha_2^{експ}}{1,3 \cdot \bar{w}^{-0,59} \cdot (g \cdot \Delta T_{\delta})^{0,25} \cdot H_{\delta}^{-0,25} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)_{\delta}^{0,25}}, \quad (6)$$

$$EKF\Phi B_{\delta} = C_p^{0,25} \cdot \rho^{0,25} \cdot \beta^{0,25} \cdot \lambda^{0,75} \cdot \nu^{-0,25}, \quad (7)$$

- вільна конвекція в циліндричному об'ємі

$$EKF\Phi B_{\delta} = \frac{\lambda_{екв}}{0,4 \cdot (g \cdot \Delta T_{\delta})^{0,25} \cdot H_{\delta}^{0,75}}, \quad (8)$$

$$EKF\Phi B_{\delta} = C_p^{0,25} \cdot \rho^{0,25} \cdot \beta^{0,25} \cdot \lambda^{0,75} \cdot \nu^{-0,25}. \quad (9)$$

Частина теплофізичних властивостей рідини – густина ρ , температурний коефіцієнт об'ємного розширення суміші β і середня теплоємність C_p , визначається в лабораторії.

Згідно методів [7 – 9] для трьох випадків з використанням виразів (4 – 9) визначаються в'язкість ν і коефіцієнт теплопровідності λ рідини з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості.

В'язкість також ν визначається за умов порушеної структури у випадку рідини схильної до зміни структури.

Висновки

На портативному стенді проведені експериментальні дослідження інтенсивності теплообміну за умов вільної і вимушеної конвекції в рідинах схильних до зміни структури. Розроблені методи для визначення в'язкості ν і коефіцієнтів теплопровідності λ рідини.

Визначення декількома методами λ і ν дозволяє встановити ступінь достовірності одержаних теплофізичних величин рідини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малкин А. Я. Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения. / А. Я. Малкин, А. Е. Чалых.– М.: Химия, 1979. – 304 с.
2. Пивинский Ю. Е. Реология дилатантных и тиксотропных дисперсных систем. / Ю. Е. Пивинский – СПб.: СПбГТИ, 2001. – 174 с.
3. Овчинников П.Ф. Реология тиксотропных систем. / П. Ф. Овчинников, Н. В. Круглицкий, Н. В. Михайлов – К.: Наукова думка, 1972. – 120 с.
4. Ткаченко С. Й. Теплообмін в системах біоконверсії / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 124 с.
5. 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.
6. Ткаченко С. Й. Теплофізичне тестування реологічного поведіння складних рідинних середовищ / С. Й. Ткаченко, Н. В. Паламарчук, Д.І. Денесяк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 4. – С. 46 – 53.
7. Патент України № 105399 У, МПК (2006.01) G01N 25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, С.В. Дишлюк; заявник та патентовласник ВНТУ – №а201204878 ; заявл. 18.04.2012. опубл. 12.05.2014, Бюл. № 9.
8. Ткаченко С.Й. Еквівалентна теплопровідність в циліндричному об'ємі з розчином / С. Й. Ткаченко, Д. І. Денесяк, К. О. Іщенко // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві, – 2018. – № 1. – С. 106 – 110.
9. Резидент Н. В. Нестационарный теплообмін в обмеженому об'ємі. Матеріали конференції Енергоефективність в галузях економіки України-2019. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/eg2019/paper/view/8383/7001>

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

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

Іщенко Ксенія Олександрівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

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

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

Ishchenko Ksenia – graduate student of heating, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: doc13energee@gmail.com