

**КОМПЛЕКС ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ В
ПЕРЕХІДНОМУ РЕЖИМІ РУХУ РІДИНИ**

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Проаналізовано застосування експериментально-розрахункового методу для визначення інтенсивності тепловіддачі до сумішей з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

Ключові слова: комплекс фізичних властивостей, теплообмін в органічних сумішах, вимушена конвекція, перехідний режим, критеріальні рівняння, експериментально-розрахунковий метод.

Abstract

Application of experimental and calculation method for determination heat transfer intensity to mixtures with non-defined thermophysical properties.

Key words: complex of physical properties, heat-exchange in organic mixtures, artificial convection, transient mode, criterial equations, experimental calculated method.

Вступ

Сьогодні в Україні гостро постають питання енергоефективності. В промисловості значну частку у вартості виробленої продукції складають енергоносії, тобто вартість пов'язана з енергоефективністю технологічних процесів. Виробництво продукції в харчовій і переробній промисловості передбачає застосування складних систем, які містять значну кількість теплообмінного і ємнісного обладнання. Рівень теплотехнологічного обладнання визначає енергоефективність процесів, які відбуваються в ньому. В таких виробництвах велике значення мають процеси нагрівання та інтенсифікації теплообміну в'язких сумішей, ньютонівських та неньютонівських рідин, з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості [1–3].

Тому мета розробок авторів полягає у підвищенні енергоефективності теплотехнологічного обладнання за умов проходження в ньому тепломасообмінних процесів в сумішах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості. Для досягнення поставленої мети потрібно проаналізувати експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості та сформулювати напрямки подальшого вдосконалення ЕРМ.

Основна частина

Метод ЕРМ застосовується для тих умов теплообміну та режимів руху теплоносіїв, які надійно описані в критеріальній формі для ньютонівських рідин. Згідно запропонованого методу в критеріальних рівняннях можна чітко визначити комплекс фізичних властивостей КФВ, геометричні характеристики, поправку на напрямок теплообміну та ін., тобто структурувати їх до виду

$$\alpha = C \cdot g^{n_1} \cdot \Pi_{\text{баз.н}} \cdot \text{КФВ}_{\text{баз}}^{\text{експ}} \cdot w^{n_2} \cdot L^{n_3} \cdot \overline{\Delta t}^{n_4} \cdot \Pi_{\text{н.т}}, \quad (1)$$

де C – константа критеріального рівняння; $\Pi_{\text{баз.н}}$ – поправка переходу із базових в натурні умови теплообміну; w – швидкість руху рідини; L – геометричний розмір; $\overline{\Delta t}$ – середній температурний напір між стінкою та сумішшю; $\Pi_{\text{н.т}}$ – поправка на напрям теплообміну; $n_1 \dots n_4$ – показники степеня.

Базовий комплекс фізичних властивостей для реальної речовини $\text{КФВ}_{\text{баз}}^{\text{експ}}$ визначається за експериментальними значеннями $\alpha_{\text{баз}}^{\text{експ}}$ методом послідовних наближень

$$\text{КФВ}_{\text{баз}}^{\text{експ}} = \frac{\alpha_{\text{баз}}^{\text{експ}}}{C_{\delta} \cdot \Pi_{\delta} \cdot \left(Pr_p / Pr_c \right)_{\delta}^{0,25}}, \quad (2)$$

де $\alpha_{\text{баз}}^{\text{експ}}$ – коефіцієнт тепловіддачі до натурної суміші в базових умовах теплообміну, P_6 – множник, який враховує визначальний геометричний розмір базової експериментальної установки та температурний напір; C_6 – константа базового критеріального рівняння.

Поправка переходу із базових в натурні умови теплообміну $\Pi_{\text{баз.н}}$ визначається з рівняння

$$\Pi_{\text{баз.н}} = K\Phi B_{\text{ЕРМ}} / K\Phi B_{\text{баз}}. \quad (3)$$

Комплекси фізичних властивостей $K\Phi B_{\text{баз}}$ та $K\Phi B_{\text{ЕРМ}}$ виведені із структурованого критеріального рівняння теплообміну для базових умов та для натурних умов, тобто

$$K\Phi B_{\text{баз}} = C_p^{k_1} \cdot \rho^{k_2} \cdot \beta^{k_3} \cdot \lambda^{k_4} \cdot \nu^{k_5}, \quad (4)$$

$$K\Phi B_{\text{ЕРМ}} = C_p^{a_1} \cdot \rho^{a_2} \cdot \beta^{a_3} \cdot \lambda^{a_4} \cdot \nu^{a_5}, \quad (5)$$

де $k_1 \dots k_5$, $a_1 \dots a_5$ – показники степеня; C_p – теплоємність, ρ – густина, β – коефіцієнт температурного розширення, ν – кінематична вязкість, λ – теплопровідність рідини.

Комплекс фізичних властивостей дозволяє перейти від коефіцієнтів тепловіддачі, які отримані на базовій експериментальній установці до коефіцієнтів тепловіддачі в теплообмінниках, які проектується. Більш детально методика застосування ЕРМ показана в роботах [4–6]. Вона випробувана авторами для визначення інтенсивності тепловіддачі в разі ламінарного і турбулентного режимів руху рідини за умов вільної та вимушеної конвекції. Достовірність ЕРМ підтверджена зіставленням коефіцієнтів тепловіддачі визначених на портативній установці з отриманими на традиційних експериментальних стендах. При цьому розбіжність становить 20%...35%. Для розробки енергоефективного теплообмінного обладнання потрібно підвищувати достовірність ЕРМ. Авторами запропоновано комплекс, який містить лише теплофізичні властивості рідини. Згідно з теорії подібності крім $K\Phi B_{\text{баз}}$ і $K\Phi B_{\text{ЕРМ}}$ потрібно врахувати комплекс, який містить визначальний геометричний розмір та визначальну швидкість.

В теплообмінному обладнанні харчової та переробної промисловості часто реалізується перехідний режим руху теплоносія. В даній області для потоку характерна нестійкість режиму, на нього впливають окремі місцеві збурення, які обумовлені розміром та формою каналів, шорсткістю поверхні стінок та ін. Тобто інтенсивність теплообміну в такому режимі залежить від багатьох величин, які важко врахувати [7]. Тому для перехідного режиму течії теплоносія в трубах і каналах, якому відповідає діапазон чисел $Re = 2300 \dots 10000$, немає розрахункових фоомул, які узагальнюють результати різних дослідів. Тепловіддача в перехідному режимі руху не може бути описана одним критеріальним рівнянням.

Для наближеної оцінки інтенсивності тепловіддачі в перехідному режимі руху рідини можна застосувати наступні критеріальні рівняння [8]

$$Nu_{p,d} = 0,008 Re_{p,d}^{0,9} Pr_p^{0,43} \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_n \quad (6)$$

або

$$Nu_{p,d} = 0,021 Re_{p,d}^{0,9} Pr_p^{0,43} \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon_\ell \cdot \varepsilon_n. \quad (7)$$

Поправковий коефіцієнт ε_n для перехідного режиму течії в (7) визначається наступним чином:

$$\varepsilon_n = 1,18 - 1800 / Re_{p,d} = a - b / Re_{p,d}. \quad (8)$$

Вплив природної конвекції враховується корегуванням констант a і b в залежності від критерія Грасгофа Gr : $b = 1800 - 220 \lg Gr$; $a = 1 + b \cdot 10^4$, тобто

$$\varepsilon_n = 1 + \left[(1800 - 220 \lg Gr_{p,d}) \left(\frac{1}{10^4} - \frac{1}{Re_{p,d}} \right) \right]. \quad (9)$$

З урахуванням (9) критеріальне рівняння (7) можна представити у вигляді функціональної залежності

$$Nu = f \left(Re, Gr, Pr, \left(Pr_p / Pr_c \right)^{0,25} \right), \quad (10)$$

звідки можна виділити комплекс фізичних властивостей $K\Phi B$ і після апроксимації отримати критеріальне рівняння виду

$$Nu_{p,d} = C Re_{p,d}^{n_1} Gr^{n_2} Pr_p^{n_3} \left(\frac{Pr_p}{Pr_c} \right)^{n_4}. \quad (11)$$

Рівняння (7 – 11) дозволяють отримати результати за схемою застосування ЕРМ для перехідного режим руху в'язких сумішей, ньютонівських та неньютонівських рідин з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

Висновки

1. Методика застосування ЕРМ випробувана авторами для визначення інтенсивності тепловіддачі в разі ламінарного і турбулентного режимів руху рідини за умов вільної та вимушеної конвекції. Розбіжність результатів у порівнянні з традиційними методами становить 20%...35%.
2. Сформульовані напрямки для підвищення достовірності експериментально-розрахункового методу визначення інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про їх теплофізичні властивості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фройштетер Г. Б. Течение и теплообмен неньютоновских жидкостей в трубах / Г.Б. Фройштетер, С. Ю. Данилевич, Н. В. Радионова – Киев : Наук, думка, 1990 – 216 с.
2. Уилкинсон У. Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У. Л. Уилкинсон. [под ред. А. Л. Лыкова, перевод с английского З. П. Шульмана]. – М.: Мир, 1964 – 216с.
3. Николаев Б. В. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в ёмкостном оборудовании с перемешивающими устройствами: дис. докт. техн. наук / Б. В. Николаев – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2009. – 584 с.
4. 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.
5. Ткаченко С.Й. Теплообмін в системах біоконверсії : монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. — Вінниця : ВНТУ, 2011. — 124 с.
6. 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.
7. Исаченко В. П. Теплопередача. / Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел С. А. – М.: Высшая школа, 1969. – 440 с.
8. Радченко Д. Є. Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини у горизонтальних трубах / Д.Є. Радченко, С.М. Василенко, О.М. Недбайло // Промышленная теплотехника. – 2014. – № 6. – С. 46 – 48.

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

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