

ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ ЗА УМОВ ТРИВИМІРНОСТІ ГРАДІЄНТА ЗСУВУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі представлено гіпотезу щодо вдосконалення експериментально-розрахункового методу визначення інтенсивності теплообміну. Показано вплив багатовимірності градієнту зсуву на вигляд критеріального рівняння, а отже і інтенсивність теплообміну. Представлена методика, за якою знаючи закономірності теплообміну можна встановити тип зсуву в конкретному випадку.

Ключові слова: градієнт швидкості зсуву, експериментально-розрахунковий метод, теплообмін, ньютонівські рідини, неньютонівські рідини.

Abstract

The work presents a hypothesis for improving experimental calculation method for determining the intensity of the of heat exchange. The influence of multidimensionality gradient shift in appearance criterion equation, and hence the intensity of heat transfer. The methods by which knowing the laws of heat exchange can set the type of shift in the case.

Keywords: shear rate gradient, experimental calculation method, heat transfer, Newtonian fluid Non-Newtonian fluid.

Для опису тензора напружень $\tau_{ij}(x_i, t)$ в середовищі Ньютона використовується реологічне рівняння [1, 3]:

$$\tau_{ij} = -p \cdot \delta_{ij} + 2 \cdot \mu \cdot \dot{\epsilon}_{ij}, \quad (1)$$

де $\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{dv_i}{dx_j} + \frac{dv_j}{dx_i} \right)$ – тензор швидкостей деформацій; μ – зсувна в'язкість (константа);

$p = -1/3\tau_{ij}$ – ізотропний гідродинамічний тиск, який співпадає з термодинамічним.

Теплообмін в цих середовищах в загальному випадку можна описати [1-3, 5-6]

$$Nu = f(X, Y, Z, Re, Pr, Gr), \quad (2)$$

де, X, Y, Z – безрозмірні лінійні розміри; Re – критерій Рейнольдса, характеризує сили інерції; Gr – критерій Грасгофа, характеризує гравітаційні сили; Pr – критерій Прандтля, характеризує співвідношення температурних та гідродинамічних полів.

Для течії після стабілізаційної ділянки, тобто для стабілізованої одномірної течії в круглій трубі

$$Nu = f(Re, Pr), \quad (3)$$

Добре відомі і знайшли застосування в інженерній практиці безрозмірні залежності за умов стабілізованої ламінарної і турбулентної течії в круглих трубах. В даному випадку реалізується одномірна течія, коли маємо найпростіші вирази для градієнта швидкості зсуву.

За умов в'язкісно-гравітаційного режиму в результаті впливу природної конвекції коефіцієнт тепловіддачі за певних умов може збільшитись в 5 разів [3]. Для наближеної оцінки середнього коефіцієнта тепловіддачі за умов в'язкісно - гравітаційного режиму застосовується безрозмірне рівняння.

$$Nu = f(Re, Pr, Gr), \quad (4)$$

В даному випадку можемо мати багатомірний зсув, що і призводить до описаного вище ефекту.

Неньютонівські рідини – текуча система, реологічно більш складна ніж ньютонівські рідини, і одночасно наділені одним, двома і більше нелінійними фундаментальними властивостями: в'язкістю, пластичністю, зсувною пружністю, високою еластичністю, міцністю [3, 5].

Співвідношення Рейнера-Рівліна адитивно поєднує модель Ньютона з тензорно-квадратичною добавкою [1, 3, 5]

$$\tau_{ij} = -p \cdot \delta_{ij} + 2 \cdot \mu \cdot \dot{\epsilon}_{ij} + 4 \cdot \nu \cdot \dot{\epsilon}_{ik} \cdot \dot{\epsilon}_{kj}, \quad (5)$$

де μ і ν – зсувна і поперечна (об'ємна) в'язкості відповідно.

При розгляді рівняння (5) на випадок багатовимірного зсуву допускається, що зберігаються значення реологічних констант, розраховані за даними віскозиметричних вимірів за умов простого зсуву [5]. Дане питання висвітлено в літературі дуже мало не дивлячись на те, що для багатьох систем, в першу чергу для систем зі змінними в процесі деформації структурою, це питання потребує експериментальної перевірки. Про можливі похибки, які виникають через такі допущення можна ознайомитись в літературі.

Навіть у реологічному рівнянні (5) тензорної нелінійності відбиває нову важливу для практики властивість – не рівність нулю різності нормальних напружень і обумовлене цим фактором в'язкопружне поведження такої системи.

У роботі [7] виведене критеріальне рівняння для ньютонівських рідин у експериментальній установці, яка має вигляд циліндричної коаксіальної ємності. У роботі представлено експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ), який встановлює що властивості складних реонестабільних натурних сумішей при певному теплообмінному процесі можна охарактеризувати за допомогою однорідної ньютонівської рідини, яка за своїми фізичними властивостями, за впливом на інтенсивність теплообміну еквівалентна конкретній складній суміші в конкретних умовах. Для цього в ЕРМ введено поняття «частково-модельна рідина» та «модельна рідина», які вибираються із переліку рідин і розчинів на водній основі, теплофізичні властивості яких достатньо вивчені [7].

У результаті обробки експерименту

$$Nu = 0,549 \cdot Re_{2\delta}^{*0,589} \cdot Pr_p^{0,33} \cdot (Gr_H \cdot Pr_p)^{0,1} \left(\frac{Pr_p}{Pr_{cr}} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

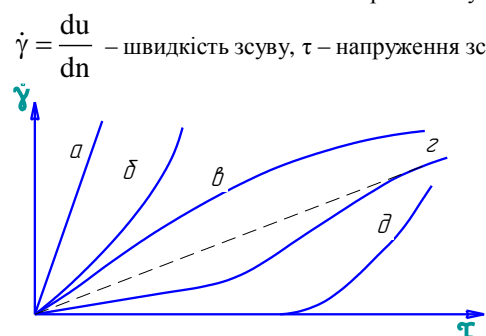
де, $Re^* = \frac{2\delta \cdot \bar{w}}{\nu}$ Критерій Рейнольдса; δ – різниця між діаметром внутрішньої порожнини та діаметром мішалки.

Достовірність апроксимації за умов обрахунку за даною залежністю складає $R^2 = 0,86$.

Добуток $(Gr_H \cdot Pr_p)^{0,1}$ - критерій Ралея, впливає у не значній мірі, але результати апроксимації експериментальних даних без його врахування показали значно меншу достовірність $R^2 < 0,86$.

Отримані результати можна узагальнити у наступному вигляді (табл. 1).

Таблиця 1 – Зв'язок між типом зсуву і структурою критеріального рівняння теплообміну

№ п/п	Тип зсуву	Структура критеріального рівняння
1	2	3
1	Простий зсув $\dot{\gamma} = \frac{du}{dn}$ – швидкість зсуву, τ – напруження зсуву 	$Nu = f(Re, Pr)$ $Nu = f(Gr, Pr)$

Таблиця 1 – Зв'язок між типом зсуву і структурою критеріального рівняння теплообміну (продовження)

1	2	3
2	Складний зсув Багатомірний зсув Ньютонівське поведіння середовища $\tau_{ij} = -p \cdot \delta_{ij} + 2 \cdot \mu \cdot \dot{\epsilon}_{ij}$	$Nu = f(Re, Pr, Gr)$

На основі аналізу гідромеханічних та теплообмінних процесів за умов багатовимірного градієнту зсуву прийшли до висновку, що крім сил гравітаційної природи, сил які організують природну конвекцію в експериментальних стендах (ЕРМ [7]) можуть виникати сили інерції, що призводять до появи додаткових конвективних рухів. А отже, заслуговує на експериментальну перевірку залежність

$$Nu = f(X, Y, Z, Re, Pr, Gr, Fr \cdot \bar{\Theta}), \quad (7)$$

де, Fr - характеризує сили інерції, які з'являються у зв'язку із криволінійними рухами частинок рідини, $\bar{\Theta}$ – безрозмірна температура.

Діють сили, які організують вимушений рух, природню конвекцію і додаткові конвертині рухи, викликані дією сил інерції.

Складність при визначенні теплообміну в умовах багатомірного зсуву полягає у експериментальному визначенні типу зсуву (двовимірний, тривимірний і т. д.). Оскільки нам не відомі такі прилади. Отже, використання ЕРМ можливе не тільки для визначення інтенсивності теплообміну і побудови критеріального рівняння, а й визначення на його основі типу зсуву і отримання уявлення про процес в цілому.

Висновки

Встановлено, що від типу зсуву залежить структура критеріального рівняння інтенсивності теплообміну між твердою стінкою і ньютонівським середовищем. Тобто, по закономірностям теплообміну можна встановити тип зсуву в конкретному випадку.

Наявні на даний час результати експериментів та критеріальні рівняння для їх аналізу не дають достатнього рівня достовірності для визначення інтенсивності теплообміну у неньютонівських рідинах.

Достовірність апроксимації за умов обрахунку за залежностями виду $Nu=f(Re, Pr, Gr)$ складає $R^2 = 0,86$. Рівняння виду $Nu=f(Re, Pr)$ дає достовірність апроксимації $R^2 < 0,86$. Теоретичний аналіз призвів до висновку, що за умов уточнення критеріального рівняння критеріями Fr та безрозмірної температури (залежність (7)) дасть точність апроксимації дослідних даних $R^2 > 0,86$. Встановлена важлива для подальшого розвитку ЕРМ гіпотеза (7), яка потребує експериментального підтвердження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Исаченко В. П. Теплопередача : учебн. для вузов / В. П. Исаченко [и др.]. – [3-е изд. доп.]. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
3. Холланд Ф. Химические реакторы и смесители для жидкофазных процессов / Ф. Холланд, Ф. Чапман; [пер. с англ. под ред. Ю. М. Жорова]. М.: Химия, 1974. – 208 с.
4. Николаев Б. В. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в ёмкостном оборудовании с перемешивающими устройствами: дис. д. т. н. / Б. В. Николаев - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2009.- 584 с.
5. Фройштетер Г. Б. Течение и теплообмен неньютоновских жидкостей в трубах / Г. Б. Фройштетер, С. Ю. Данилевич, Н. В. Радионова.; Отв. ред. Никитенко Н. И.; АН УССР Ин-т техн. теплофизики; Мин. нефтепераб. и нефтехим. пром-сти СССР. ВНИИПК-нефтехим. – Киев: Наук. думка, 1990. – 216 с. – ISBN 5-12-001626-X.
6. Шульман З. П. Конвективный теплоперенос реологически сложных жидкостей / З. П. Шульман. – М., «Энергия», 1975. – 352 с.

7. Ткаченко С. Й. Метод визначення інтенсивності теплообміну в реонестабільних сумішах / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2012.– №2. – с. 78-87.

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.

Науковий керівник: *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 heating, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, E-mail: doc13energee@gmail.com.

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