

## НОВА СТРУКТУРА КРИТЕРІАЛЬНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕПЛОВІДДАЧІ В ПЛАСТИНЧАСТОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

### Анотація

Розроблено на основі узагальнення експериментальних даних нову структуру критеріального рівняння для коефіцієнта тепловіддачі гофрованих пластин. Застосування цього критеріального рівняння дозволяє скоротити так звану маржу (*margin*) при розрахунку поверхні теплообміну пластинчастого теплообмінника.

**Ключові слова:** критеріальне рівняння; коефіцієнт тепловіддачі; пластинчастий теплообмінник; теплообмін; гофровані пластини

### Abstract

Based on the generalization of experimental data, a new structure of the criterion equation for the heat transfer coefficient of corrugated plates has been developed. The application of this criterion equation allows to reduce the so-called margin when calculating the heat exchange surface of a plate heat exchanger.

**Key words:** criterion equation; heat transfer coefficient; plate heat exchanger; heat exchange; corrugated plates

### Вступ

Актуальність тематики виконуваного дослідження полягає в тому, що коефіцієнт тепловіддачі має велике значення для ефективності роботи теплообмінників. Високий коефіцієнт тепловіддачі забезпечує швидку передачу тепла і зниження температури робочого середовища. Отже, розробка нової структури критеріального рівняння для коефіцієнта тепловіддачі в пластинчастому теплообміннику може принести позитивні результати, оскільки дозволить покращити ефективність його роботи та знизити витрати на енергію.

### Огляд публікацій

Пластинчасті теплообмінні апарати (ПТА) є одними із найпоширеніших типів. На сьогоднішній день в енергетиці, комунальному господарстві, промислових технологіях та на транспорті їхня частка перевищує 80% від усього встановленого теплообмінного обладнання. При визначенні потрібної передаючої поверхні, практично всі виробники ПТА пропонують замовнику скористатися програмою наявною у відкритому доступі і за вихідними даними отримати результат. Так фірма  $\alpha$ -Laval, наприклад, пропонує програму CASH-2000. Однак, певна частка, визначена таким чином поверхня, або містить, або при визначенні фактичної поверхні ПТА при замовленні збільшується на величину, так званої «маржі» («*margin*»), величина якої може коливатися від 9-20% і більше від розрахункового значення. Виробник зумовлює таке збільшення похибок, запасом на забруднення поверхні та іншими факторами. Слід особливо наголосити, що виробнику вигідно збільшувати поверхню, оскільки це збільшує обсяг продажу виготовленої поверхні практично без витрат. З іншого боку, таке збільшення поверхні підвищує капітальні витрати. Вимагає більшого обсягу ПТА та його маси. Це, у свою чергу, якщо не критично для стаціонарного обладнання, то стосовно транспортних машин знижує їх корисний об'єм та масу. Підвищення величини поверхні для компенсації забруднень взагалі сумнівно, що неодноразово обговорювалося у низці публікацій [1,3,5,7]. У зв'язку з цим виникає завдання розробки критеріального рівняння, яке дозволяє визначити теплообмінну поверхню з достатньою точністю, що видаляє "*margin*".

### Основний матеріал

Основним етапом при проектуванні ПТА є визначення коефіцієнта тепловіддачі для відповідного типу поверхні, з урахуванням конструктивних розмірів гідродинамічного потоку та інших специфічних факторів. Проте слід розуміти, що коефіцієнт пропорційності рівняння

Ньютона-Фрімана для конвективної тепловіддачі. Таким чином це не фізична величина, а розрахунковий коефіцієнт, який може бути визначений по-різному залежно від того, до якої поверхні він віднесений, як визначено температурний напір і тепловий потік. Певним коефіцієнтам тепловіддачі присвячені роботи Фрааса А., Оцісіка М., Керна А., Крауса А., Рамеша К., Шаха К., Коваленко Л.М. та інших авторів, таких як Ашер, Керор і не припиняються до теперішнього часу [1-4, 6, 8] . Однак, всі автори дотримуються однакової структури критеріального рівняння у вигляді (для турбулентного режиму):

$$N_u = CR_e^{\text{ш}} Pr^u; \quad (1)$$

де  $C$ ,  $\text{ш}$  і  $u$  – коефіцієнт і показники степені, які підлягають визначенню в процесі дослідження для відповідної конструктивної поверхні. Причому, починаючи з 1930-х років показники степені і при числі Прандтля зразу будуть рівними 0,43 і, таким чином, задача суттєво спрощується, скорочується необхідна кількість експериментів.

Так в монографії [4] для гладенької пластини пропонується критеріальне рівняння:

$$N_u = 0,033R_e^{0,73} Pr^{0,43} (Pr/P_{r\text{ст}})^{0,25}; \quad (2)$$

Для гофрованої пластини шевронного профілю [4]:

$$N_u = 0,1R_e^{0,73} Pr^{0,43} (Pr/P_{r\text{ст}})^{0,25}; \quad (3)$$

Для пластини 0,3 ( $R_{\text{скр}} = 100 - 200$ ):

$$N_u = 0,17R_e^{0,73} Pr^{0,43} (Pr/P_{r\text{ст}})^{0,25}; \quad (4)$$

Для пластини «ялинка» з площадкою:

$$N_u = 0,098R_e^{0,73} Pr^{0,43} (Pr/P_{r\text{ст}})^{0,25}; \quad (5)$$

Як можна бачити, що незважаючи на те, що не існує подібності між течією вздовж гладкої поверхні (рівняння (2)) і вздовж гофрованої поверхні степені при числі  $Re$  та  $Pr$  однакові. Тобто внесок степеня турбулізації потоку та теплофізичних властивостей теплоносія однакові. Не дивлячись на те що, що гофровані поверхні підвищують компактність, але й вони турбулізують потік. Так, для гофрованих пластин критичне значення числа  $Re$  становить вже 50-100. Мало відрізняються результати публікацій зарубіжних авторів [1-3,5,6]. Так Ашер та Перкор пропонують критеріальне рівняння для гофрованих пластин у вигляді:

$$N_u = 0,2R_e^{0,67} Pr^{0,4} (\eta/\eta)^{0,1} \quad (6)$$

Аналіз виразів (2) - (6) показує, що похибка визначення коефіцієнта тепловіддачі за цими рівняннями міститься у величині коефіцієнта  $C$ . У той же час конструктивні параметри гофр-висота ( $H$ ) та крок ( $2T$ ) [ ]. Вплив ТФХ теплоносія «затиснути» у постійних показниках степенів при числах  $Re$  та  $Pr$ .

Все це в сукупності призводить до непередбачуваної похибки у визначенні коефіцієнта тепловіддачі та необґрунтованого збільшення розрахункової поверхні.

### Результати досліджень

З використанням експериментальної установки проведено велику кількість експериментів щодо визначення коефіцієнта тепловіддачі гофрованої поверхні з урахуванням впливу відносного

конструктивного параметра ( $T/H$ ), швидкості теплоносія при турбулентному русі та впливу властивостей теплоносія [7]. В результаті узагальнення та аналізу цих даних розроблено наступну структуру критеріального рівняння:

$$K(T/H) \cdot \left(\frac{Re}{Re_{кр}}\right)^n \cdot Pr^m \cdot Pr \quad (7)$$

$$Nu = k(T/H) \cdot \left(\frac{cRe}{Re_{кр}}\right) \cdot Pr. \quad (8)$$

Як видно, така структура позбавлена зазначених вище недоліків. Крім того, було встановлено, що показник ступеня при Прандті залежить від числа  $Pr$ . З урахуванням розробленої структури для діапазону  $1 \leq T/H \leq 1,9$  було отримано критеріальне рівняння у вигляді:

$$Nu = (0,213 - 0,037 T/H) \left(\frac{cRe}{Re_{кр}}\right)^4 \cdot Pr^{(0,33 + \frac{3,43}{Pr+33})}; \quad (9)$$

Для зазначеного діапазону коефіцієнт тепловіддачі визначений (9) дозволяє визначити теплообмінну поверхню з похибкою не більше 5-7% і виключити «margin».

#### Висновок

Розроблено нову структуру критеріального рівняння для гофрованих пластин ПТА, яка дозволяє з прогнозованою точністю визначити площу теплообмінної поверхні з урахуванням конкретних конструктивних особливостей ( $T/H$ ), ступеня турбулізації потоку ( $Re/Re_{кр}$ ) та теплофізичних властивостей теплоносія (критерій Прандті). Це, у свою чергу, дозволяє виключити «margin», що у свою чергу призводить до зниження капітальних витрат, експлуатаційних витрат на прокачування теплоносіїв та знизити масу та габарити ПТА.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. John Willey. New York – London 1970. 672 p.
2. Donald Q. Kern, Allan D. Kraus. Extended surface Heat Transfer New York, 2002. 1120 p.
3. Heat Transfer design Handbook, 1983. 1500 p.
4. Коваленко Л.М., Глушков Н.Ф. Теплообмінники з інтенсифікацією теплообміну, 1986. 240 с.
5. Аніпко О.Б. Раціональні теплообмінні поверхні, Харків, 1998. 196 с.
6. Ramesh K. Shah, Dusian P. Sehic Fundamentals of Heat Exchanger Design Willey, 2003.
7. Аніпко О.Б., Клімов В.Ф., Мочерамов Л.К. До питання про ціну впливу теплофізичних властивостей теплоносія на тепловіддачу // ІТЕ №2, 2009. С. 14-17.
8. Гунько І.В., Севостьянов І.В., Орлюк Ю.Т. Дослідження напрямків удосконалення пластинчастих теплообмінників // Техніка, енергетика, транспорт АПК, № 2 (105) / 2019. С. 59-65.

**Аніпко Олег Борисович**, д.т.н., професор, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, Email: anipko.ob2023@gmail.com

**Коц Іван Васильович**, к.т.н., професор кафедри інженерних систем у будівництві, завідувач і науковий керівник науково-дослідної лабораторії гідродинаміки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Email: ivvkots@ukr.net

**Anipko Oleg B.**, Dr. Sci. (Techn.), professor, Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozheduba, Kharkiv. Email: anipko.ob2023@gmail.com

**Kots Ivan V.**, Ph.D. (Techn.), professor of the department of engineering systems in construction, head and scientific leader of the hydrodynamics research laboratory, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, E-mail: ivvkots@ukr.net