

ВПЛИВ КРОКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ

Д. т. н. В. О. Туз, к. т. н. Н. Л. Лебедь, М. П. Литвиненко

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Україна, м. Київ

valeriituz56@gmail.com; nata.lebeddom@gmail.com; grassorc412@ukr.net

Представлено результати експериментальних досліджень, які дозволяють врахувати вплив на інтенсивність теплообміну крокових характеристик витих теплообмінних апаратів, розташованих в кільцевих каналах. Це необхідно при визначенні геометричних характеристик таких теплообмінників, оскільки вони залежать від реальної гідродинаміки процесу.

Ключові слова: інтенсивність теплообміну, витий теплообмінник, кільцеві канали, гідродинаміка.

Основні вимоги до сучасної кріотехніки, мікроелектроніки та обладнання інших галузей виробництва можна сформулювати з урахуванням важливіших технологічних, експлуатаційних, техніко-економічних і екологічних проблем, виконання яких має забезпечити світовий рівень новітнього обладнання і його максимальну конкурентоспроможність. Зменшення масо-габаритних характеристик мікроелектронної техніки, підвищення надійності і ресурсу її роботи можливо тільки за умов забезпечення відповідного температурного режиму.

Для рішення цієї наукової задачі в літературі пропонується декілька варіантів. В даній роботі представлені дослідження процесу теплообміну в рекуперативних витих апаратах. Умови роботи таких апаратів відрізняються від обладнання, що використовується з теплоносіями, які мають значні температури, наступним:

- теплообмін між робочими середовищами відбувається при суттєво малих температурних напорах Δt , значення яких в деяких випадках не перевищує $1\text{—}5^\circ\text{C}$;
- теплофізичні властивості теплоносія і робочого тіла в теплообміннику істотно змінюються, особливо біля кривих насичення та в області критичної точки;
- на ефективність теплообмінних апаратів низькотемпературних установок значно впливають так звані вторинні ефекти, які пов'язані з нерівномірністю розподілу потоків по перерізу, можливості появи крапельної вологи і її випаровування на поверхні теплообмінника.

Однією з перспективних конструкцій теплообмінників, які використовуються в системах охолодження радіоелектронного обладнання, є виті апарати. Поверхня теплообміну виконується з гладких або оребрених труб, навитих в один чи декілька рядів. Оребрені труби виготовляються шляхом щільного намотування на поверхню труби мідного дроту. Слід зазначити, що дріт до основи не припаюється і, як наслідок, значно збільшується контактний термічний опір, що ставить під сумнів використання такої технології. Найбільш поширена в теплообмінниках даного типу — протитокова схема руху теплоносіїв: в середині труби рухається рідина, а в міжтрубному просторі — насичена пара, парорідинна суміш або газ.

В [1, 2] представлені емпіричні залежності, які дозволяють визначити інтегральні характеристики процесів, але область їхнього застосування досить обмежена. Пов'язано це з тим, що при проведенні досліджень автори не звертають увагу на надзвичайно складну гідродинаміку руху в міжтрубному просторі.

При збереженні руху основного потоку вздовж осі теплообмінника частина теплоносія рухається по гвинтовій лінії, при цьому виникають течії, пов'язані з відцентровою нестабільністю, яка приводить до інтенсифікації процесів переносу теплоти та імпульсу. В потоках теплоносія біля криволінійних поверхонь вторинні течії представляють собою вихрову структуру Тейлора — Гетлера, а в криволінійних каналах — вихори Діна. Внаслідок таких флуктуацій відбувається зміна інтенсивності локального теплообміну і тертя в поперечному напрямку. У реальних фізичних процесах на розвиток

додаткових збурень впливають і зовнішні фактори, а саме наявність повздовжнього градієнту тиску, режим течії, гравітаційні сили, турбулентність потоку. Отже, при виконанні розрахунків параметрів процесів теплообміну і гідродинаміки складних потоків виникає необхідність враховувати наявність вторинних течій і їхню взаємодію зі збуреннями.

Досвід проектування і експлуатації мікротеплообмінників [3] свідчить, що теплообмін всередині труби значно інтенсивніший, ніж у міжтрубному просторі. Швидкість в міжтрубному просторі не перевищує 5—8 м/с, що пов'язано з обмеженнями по зростанню гідродинамічного опору. Такий діапазон швидкостей теплоносія відповідає ламінарному режиму течії.

На відміну від запропонованих у [3] залежностей виду

$$Nu = A \cdot Re^n, \quad (1)$$

у класичній літературі [4] пропонують функціональні залежності:

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^m \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_\ell, \quad (2)$$

де ε_ℓ — поправка, яка враховує зміну інтенсивності теплообміну по довжині теплообмінника; $(Pr_f/Pr_w)^{0,25}$ — поправка, яка враховує зміну теплофізичних властивостей по товщині пограничного шару зі зміною температури теплоносія.

Враховуючи особливості умов процесів і конструкції теплообмінника, а також його розташування в кільцевому щільному зазорі, залежність для розрахунку теплообміну витих теплообмінників в кінцевому варіанті буде мати вид

$$Nu = A \cdot Re^n \cdot Pr^m \cdot \varepsilon_\ell \cdot \varepsilon_{\text{зазор}} \cdot \varepsilon_{\text{крок}}, \quad (3)$$

де $\varepsilon_{\text{зазор}}$ — поправка, яка враховує величину зазору між трубами витого теплообмінника та зовнішнім і внутрішнім корпусом теплообмінника; $\varepsilon_{\text{крок}}$ — поправка, яка враховує вплив відносного кроку навивки на інтенсивність теплообміну (поправку $(Pr_f/Pr_w)^{0,25}$ не враховано тому, що для газів і парів її використання недоречно).

Дослідження процесу теплообміну проводилось на експериментальному стенді, конструкція якого дозволяла визначити вплив режимних параметрів газового потоку і геометрії теплообмінника у широкому діапазоні на інтенсивність процесу. В результаті, було визначено, що в діапазоні відносного кроку навивки $\sigma = S / d_{\text{тр}} = 1—6$, поправка $\varepsilon_{\text{крок}}$ визначається за залежністю

$$\varepsilon_{\text{крок}} = -0,0022 \cdot \sigma^2 + 0,191 \cdot \sigma + 0,538. \quad (4)$$

Точність апроксимації експериментальних даних становила 0,985.

Таким чином, визначення на основі теплового розрахунку однієї з головних характеристик конструкції витого теплообмінника — кроку навивки, рекомендується шляхом введення в загальну розрахункову залежність (3) поправки $\varepsilon_{\text{крок}}$, яка визначається за формулою (4).

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Дилевская Е.В. Криогенные микротеплообменники.— М. : Машиностроение, 1978.
2. Дилевская Е.В., Каськов С.И., Станкевич И.В., Шевич Ю.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена и гидродинамики при течении газа в микро каналах устройств для охлаждения электронных приборов // Труды IV Национальной Российской конференции по тепломассообмену.— Москва, МЭИ.— 2006.
3. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника.Справочник / Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина.— М: Энергоиздат, 1983.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С., Теплопередача.— М.: Энергия, 1981.

V. O. Tuz, N. L. Lebed, M. P. Litvinenko

Influence of step characteristics of twisted heat exchangers on the heat transfer intensity

The authors present the results of experimental studies that allow taking into account the effect on the heat transfer intensity on the step characteristics of twisted heat exchangers located in the annular channels. This is necessary to determine the geometric characteristics of such heat exchangers, because they depend on the actual hydrodynamics of the process.

Key words: heat transfer intensity, twisted heat exchanger, ring channels, hydrodynamics.