

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІНИ КРОКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ

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

Запропоновано визначати геометричні характеристики витих теплообмінників з урахуванням впливу на інтенсивність теплообміну не тільки режимних параметрів теплоносія та робочого тіла, але й зміни однієї з основних конструктивних параметрів обладнання — крокових характеристик витка. Експериментальне дослідження процесів теплообміну при вимушеній конвекції газу у витому теплообміннику при ламінарному режимі руху теплоносія дозволило встановити залежності коефіцієнта тепловіддачі і питомого аеродинамічного опору від однієї з основних геометричних характеристик теплообмінника: відносного кроку витка.

Ключові слова: витий теплообмінник, геометричні характеристики, ламінарний рух, конвективний теплообмін.

Кріогенні установки знайшли широке застосування в технологічних системах охолодження радіоелектронного обладнання завдяки відносно простій конструкції основних елементів, низьким експлуатаційним витратам, надійності та великому ресурсу роботи. Значною мірою ефективність установки залежить від схемного рішення, а також від конструкції рекуперативного теплообмінного апарата (витого типу). Багатопараметричність завдання проектування передбачає комплексний підхід до оцінки кожного фактору, який впливає на кінцевий результат. Розрахунок характеристик рекуперативних теплообмінників, до яких належать і виті [1, 2], полягає у визначенні коефіцієнтів тепловіддачі як зі сторони теплоносія, так і зі сторони робочого тіла та загального коефіцієнта опору.

Розглядаючи рух теплоносія у кільцевому каналі, в якому розташований витий теплообмінник, виділяють характерну особливість гідродинаміки потоку: зберігаючи основний напрям руху вздовж осі теплообмінника, на робоче тіло діють відцентрові сили завдяки криволінійній поверхні виті труби починають. На гідравліку течії значною мірою впливають параметри потоку та геометрія кільцевого каналу й витого теплообмінника. Однією з найбільш вагомих характеристик, які впливають на інтенсивність теплообміну, є крокові характеристики трубного пучка.

Крім геометричних характеристик визначальний вплив на інтенсивність теплообміну в витих теплообмінниках мають режим течії, швидкість і теплофізичні властивості теплоносія. Аналіз параметрів, за яких експлуатуються виті теплообмінники кріогенних установок свідчить, що всередині трубної поверхні реалізується турбулентний режим, а в міжтрубному просторі теплоносієм рухається при ламінарному режимі. Для розрахунку теплообміну всередині труби використовуються відомі залежності [3]. Для розв'язання зовнішньої задачі необхідно враховувати вплив крокових характеристик і зазору між корпусом на інтенсивність теплообміну та аеродинамічного опору. Оскільки у наявній літературі це питання не розглядається, виникла задача такого дослідження. Вони проводились у діапазоні $Re = 100 \dots 2100$ за таких параметрів: довжина труби $L_{тр} = \text{const}$; діапазон зміни крокових характеристик $S_2 = 2,7 \dots 13,5$ мм, або в безрозмірних величинах $\sigma_2 = 1 \dots 6$; зазор між теплообмінником та стінками каналу $\delta_3 = 1,6$ мм; швидкість та температура теплоносія в міжтрубному просторі $w = 0,68 \dots 10,58$ м/с, $t_{тн} = 50 \dots 65^\circ\text{C}$.

Аналіз результатів досліджень свідчить про те, що збільшення відносного кроку σ_2 призводить до зростання коефіцієнта тепловіддачі на 16...18% (рис. 1). Найбільш суттєве зростання відбувається при зміні відносного кроку σ_2 від 1 до 3...4. Це пояснюється тим, що зростає доля кількості руху закрученого потоку, а на процес формування пограничного шару, особливо в кормовій частині труби, впливає струмінь, який рухається вздовж труби. Наявність такого струменя впливає на утворення вихрової структури, зменшує площу поверхні труби, яка знаходиться під дією зворотної течії. Подаль-

ше збільшення відносного кроку σ_2 практично не впливає на процес теплообміну, а при значних температурах стінки труби інтенсивність тепловіддачі дещо знижується.

Збільшення відносного кроку σ_2 від 1 до 6 приводить до зменшення питомого аеродинамічного опору $\Delta P/L_{т/о}$ у 3,78...3,94 рази при збереженні сталої швидкості газового потоку (рис. 2). Водночас при сталому значенні відносного кроку σ_2 питомий аеродинамічний опір зростає практично на порядок у діапазоні зміни швидкості газового потоку $w = 1,104...8,595$ м/с. Наведені результати свідчать про домінування величини витратних параметрів газового потоку над кроковими характеристиками витого теплообмінника.

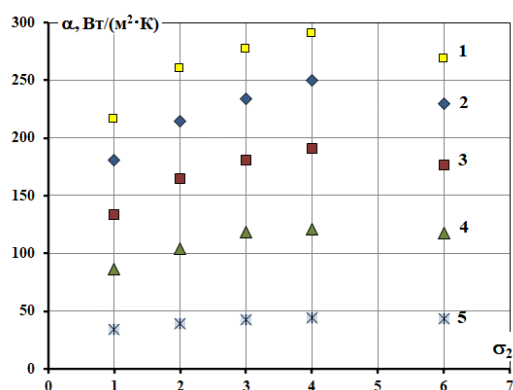


Рис. 1. Залежність інтенсивності теплообміну α від відносного кроку навівки σ_2 при різних швидкостях газового потоку w (м/с):

1 — 8,15...8,298; 2 — 6,376...6,491;
3 — 4,608...4,683; 4 — 2,826...2,875;
5 — 1,049...1,067
($t_{тн} = 65^\circ\text{C}$)

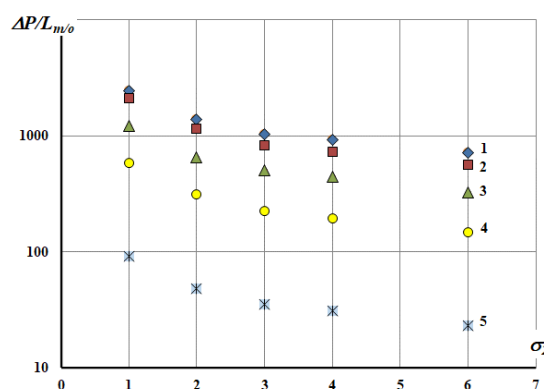


Рис. 2. Залежність питомого гідравлічного опору $\Delta P/L_{т/о}$ від відносного кроку навівки σ_2 при різних швидкостях газового потоку w (м/с):

1 — 8,595; 2 — 6,722; 3 — 4,8492; 4 — 2,9763;
5 — 1,104
($t_{тн} = 65^\circ\text{C}$)

Таким чином, експериментальне дослідження процесів теплообміну і гідродинаміки в умовах вимушеної конвекції газу у витому теплообміннику надало можливість встановити залежності коефіцієнта тепловіддачі та питомого опору від швидкості газового потоку і відносного кроку витка.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Wang G., Wang D., Peng X., Han L., Xiang S., Ma F. Experimental and numerical study on heat transfer and flow characteristics in the shell side of helically coiled trilobal tube heat exchanger. *Appl. Therm. Eng.* 2018, vol. 149, p. 772–787. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.055>
2. Andrzejczyk R., Muszynski T. An experimental investigation on the effect of new continuous core-baffle geometry on the mixed convection heat transfer in shell and coil heat exchanger. *Appl. Therm. Eng.* 2018, vol. 136, p. 237–251. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.03.003>
3. Василенко С.М., Українець А.І., Олішевський В.В. *Основи тепломасообміну*. К.: НУХТ, 2004. 250 с.

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

Evaluation of the efficiency of changing the step characteristics of coiled heat exchangers

The paper proposes to calculate geometric characteristics of coiled heat exchangers considering how the heat transfer intensity is affected by not only the operating parameters of the heat carrier and the working fluid, but also the effectiveness of changing one of the main design characteristics of the equipment, namely, the pitch characteristics of the coil. The experimental study of heat transfer processes during forced gas convection in a coiled heat exchanger under a laminar flow regime of the heat carrier made it possible to establish the dependence of the heat transfer coefficient and specific hydraulic resistance on one of the main geometric characteristics of the heat exchanger: the relative pitch of the coil.

Keywords: coiled heat exchanger, hydrodynamics of complex flows, convective heat transfer, geometric characteristics of coiled heat exchangers.