

ТЕРМОГАЗОДИНАМІКА ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ З ЗАГЛИБЛЕННЯМИ НА ЗОВНІШНІЙ СТОРОНІ

А. В. Гамрецька¹, А. Ж. Мейріс^{1,2}

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

²Інститут технічної теплофізики НАН України

Анотація

Представлені результати експериментального дослідження теплообміну та гідравлічного опору при поперечному обтіканні першого ряду пучка труб формованих заглибленнями. Схема становить практичний інтерес для використання в регенераторах газових турбін.

Ключові слова: теплообмін, гідравлічний опір

Вступ

Зменшення маси та габаритів теплообмінних апаратів є актуальною проблемою теплоенергетики. Найбільш перспективний шлях вирішення цієї проблеми – інтенсифікація теплообміну

Одним з найефективніших методів інтенсифікації теплообміну є використання пристінних інтенсифікаторів, що зумовлює зміщення точки відриву в кормову область труби та можуть бути виконані у вигляді циліндричних, сферичних, призматичних та ін. виступів і заглиблень [1]. Такий спосіб інтенсифікації має суттєву перевагу – високу енергетичну ефективність за рахунок турбулізації лише пристінної області течії.

При турбулентному русі течії у заглибленні спостерігається утворення смерчеподібних вихрових структур, які зносяться течією з певною частотою. Специфічна вихрова структура, тривимірна і нестационарна завихреність, мала висота вихорів над поверхнею з заглибленнями забезпечують високий рівень теплообміну і відносно низькі втрати тиску [2].

Згідно з авторами [3], при поперечному обтіканні пучків труб, поверхня яких формована заглибленнями, тепловіддача збільшується, а гідравлічний опір зменшується в порівнянні з пучком гладких труб.

Метою даної роботи є виконання експериментального дослідження термогазодинаміки (теплообміну та гідравлічного опору) при поперечному обтіканні першого ряду пучка труб формованих заглибленнями.

1. Експериментальна установка

Експерименти проводились в установці з п'ятирядним пучком труб, формованих заглибленнями виконані в аеродинамічній трубі розіркненого типу (рис. 1). Використання прямокутного сопла, спроектованого за профілем Вітошинського забезпечує рівномірне по перетину поле швидкості на вході в робочу ділянку. Потік повітря, що всмоктувався ком-

пресором низького тиску (1) подавався на чашковий анемометр У5№21137 (5) для визначення витрати повітря, проходив через хонейкомб (4) та надходив у робочу ділянку (2), з встановленими в ній трубками із зовнішнім діаметром 22 мм, які розташовувались у шаховому порядку. Відносний поперечний крок труб S_1/d становив 1,7, а відносний повздовжній крок труб S_2/d – 1,2. Діапазон швидкостей течії повітря відповідав числам Рейнольдса $Re_{fd} = 4000 \dots 18000$.

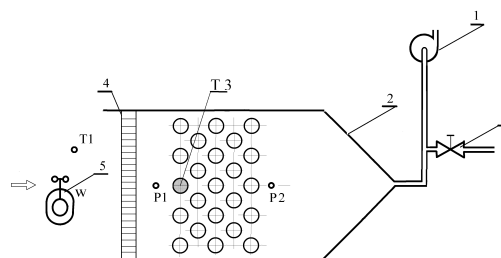


Рис. 1. Схема експериментального стенду: 1 – компресор низького тиску; 2 – робоча ділянка; 3 – регулюючий вентиль; 4 – хонейкомб; 5 – анемометр

Для визначення кількості теплоти, що передавалася від повітря до середньої труби в ряду, використовувалася калориметр з льодом, який тане. У момент початку експерименту циліндр-калориметр з холодильника встановлювався в робочій ділянці і піддавався обдуву повітрям. Середній тепловий потік визначався за результатами вимірювання об'єму води, що утворилася за фіксований проміжок часу. Поверхня тонкостінних труб була формована сферичними заглибленнями, розташованими у шаховому порядку. Застосовувалися заглиблення з відносною глибиною $h/d = 0,3$. Діаметр заглиблення становив 4,0 мм, глибина h – 1,3 мм. Стінка труби була товщиною 0,2 мм. Крок вздовж осі труби P_{ax} становив 4,9 мм, а крок по азимуту P_{an} – 4,9 мм. По азимуту було розташовано 15 заглиблень. Внаслідок нанесення заглиблень площа труби збільшилась у 1,4 рази.

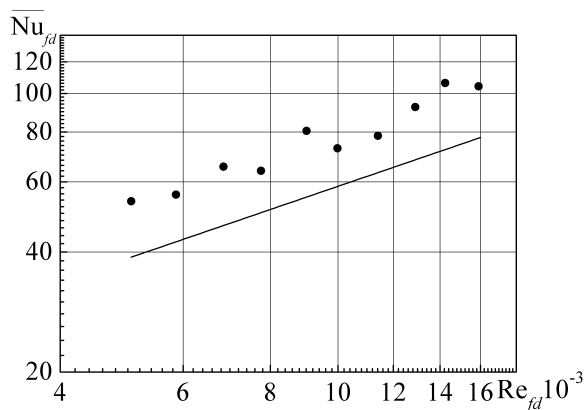


Рис. 3. Середній теплообмін першого ряду пучка труб формованих заглибленнями та пучка гладких труб

З метою перевірки експериментального стенду та роботи його вимірювального обладнання на відповідність до вимог фізичного експерименту [4] були проведені тестові експерименти. За отриманими результатами були визначені числа Нуссельта при різних числах Рейнольдса (рис. 2). Отримані дані приведені в порівнянні з даними літературних джерел [1].

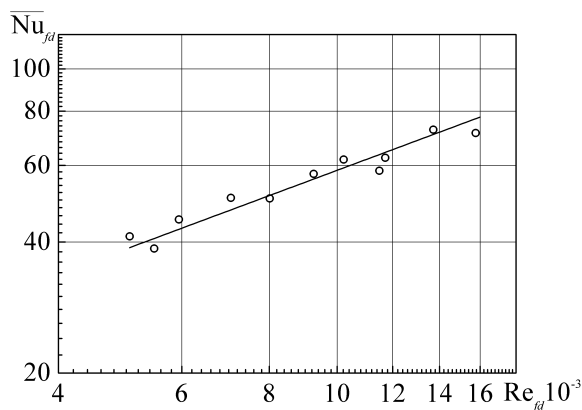


Рис. 2. Середній теплообмін першого ряду пучка гладких труб

Обробка отриманих даних тестового експерименту дозволила зробити висновок, що виміряні середні коефіцієнти тепловіддачі з похибкою $\pm 8\%$ узгоджуються з рівнянням [1]

$$\overline{Nu}_{fd} = 0,246 Re_{fd}^{0,6} Pr_{fd}^{0,33} \left(\frac{S_1}{S_2} \right)^{\frac{1}{6}}$$

Збіжність отриманих експериментальних даних з даними літературних джерел із зазначеною вище похибкою свідчить про те, що результати експериментів відповідають вимогам фізичного експерименту та можуть бути використаними для подальших досліджень.

2. Результати експериментів та їх аналіз

В процесі дослідження було розраховано значення теплообміну та гідравлічного опору у першому ряді пучка труб формованих заглибленнями в діапазоні чисел Рейнольдса $Re_{fd} = 4000 \dots 18000$. В ході визначення коефіцієнта тепловіддачі використовувалося значення площі гладкої труби. На рис. 3 показані експериментально отриманні значення середнього теплообміну в порівнянні з літературними даними для гладких труб. В результаті досліджень першого ряду пучка труб формованих сферичними заглибленнями, було визначено, що середній теплообмін (число Нуссельта) зріс в порівнянні з пучком гладких труб на 35%. Тоді як гідравлічний опір (число Ейлера) зріс лише на 10%. Як видно з рисунка, отримані експериментальні дані для середнього теплообміну (число Нуссельта) та дані для середнього теплообміну гладкої труби практично паралельні один одному. Це свідчить про однакове значення фактора інтенсифікації теплообміну для дослідженого діапазону чисел Рейнольдса.

Висновки

Створений експериментальний стенд для дослідження термогазодинаміки циліндричних поверхонь з заглибленнями на зовнішній поверхні. Проведені тестові експерименти, які підтверджують відповідність експериментального стенду до вимог фізичного експерименту. В результаті дослідження першого ряду пучка круглих труб із заглибленнями, визначено, що у діапазоні чисел Рейнольдса $Re_{fd} = 4000 \dots 18000$ середній теплообмін (число Нуссельта) зріс в порівнянні з аналогічним пучком гладких труб на 35%. Тоді як гідравлічний опір (число Ейлера) зріс лише на 10%. Отримані результати показують, що досліджена поверхня характеризується випереджаючим зростанням теплообміну в порівнянні зі збільшенням гідравлічного опору.

Подальші дослідження будуть спрямовані на дослідження термогазодинаміки третього і п'ятого рядів пучка труб, а також визначення теплогідравлічної ефективності.

Перелік використаних джерел

1. Ісаченко В. П. Осипова В. А. Сукомел А. С. Теплопередача — М. : Энерговидавн, 1981. — 415 с.
2. Халатов А. А. Теплообмін і гідродинаміка близько поверхневих заглиблень (лунок) — К. : Наукова думка, 2005. — 76 с.
3. Біленький М. Я. Готовський М. А. Леках Б. М. Фокін Б. С. Теплогідравлічні характеристики попереочно обтічних поверхонь з лунками — Теплоенергетика — 1995. — № 1. — с. 54–57.
4. Преображенський В. П. Теплотехнічні вимірювання та прилади — М. : Энергія, 1978. — 704 с.