

# ТЕПЛОБМІН ТА ГІДРОДИНАМІКА ПЕРШОГО РЯДУ ПУЧКА ТРУБ ЗІ СФЕРИЧНИМИ ЗАГЛИБЛЕННЯМИ

А. Ж. Мейріс<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

<sup>2</sup>Інститут технічної теплофізики НАН України

## Анотація

Проведено експериментальні дослідження середнього теплообміну і гідравлічного опору при обтіканні пучків труб з сферичними заглибленнями на поверхні. На першому етапі вивчений середній теплообмін і гідравлічний опір для першого ряду шахового пучка. Проведено комп'ютерне моделювання пучка та розглянута фізика інтенсифікації та структура течій в заглибленні.

## Вступ

В даний час інтенсифікація теплообміну при обтіканні круглих труб продовжує привертати увагу дослідників та інженерів у зв'язку з розробкою нових енергетичних установок і ефективних методів утилізації теплової енергії. Останнім часом для зовнішньої інтенсифікації теплообміну широко використовуються різні методи профілювання труб і нанесення штучної шорсткості [1]. Особливий інтерес представляє інтенсифікація теплообміну за рахунок використання різних видів шорсткості, а саме застосування сферичних заглиблень на поверхні труб. Даний вид шорсткості характеризується зростанням теплообміну при незначному збільшенні гідравлічного опору, при цьому забезпечується компактність і ефективність теплообмінного обладнання [2].

Метою даної роботи є виконання експериментального дослідження теплообміну та гідравлічного опору при поперечному обтіканні першого ряду пучка труб формованих заглибленнями та числове моделювання, для пояснення причин інтенсифікації.

## 1. Експериментальна установка

Для дослідження теплообміну і гідравлічного опору при поперечному обтіканні повітрям пучка труб була створена експериментальна установка (рис. 1), яка представляла собою відкритий газодинамічний контур. Повітря, що всмоктувалося компресором низького тиску 1, проходило через чашковий анемометр 5, потім через хонейкомб 4 надходило у робочу ділянку 2, з встановленими в ній досліджуваними трубами. Регулюючий вентиль 3, дозволяв плавно змінювати витрату.

Робоча ділянка являла собою прямокутний канал, поперек якого встановлювалися п'ять рядів по п'ять труб в кожному (в непарних рядах) із шаховим розміщенням в пучку. В експериментах досліджувалися пучки гладких труб і труб з заглибленнями, на поверхні яких сформовані штампуванням сфе-

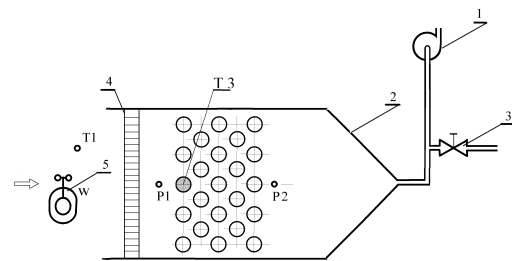


Рис. 1. Схема експериментального стенду: 1 – компресор низького тиску; 2 – робоча ділянка; 3 – регулюючий вентиль; 4 – хонейкомб; 5 – анемометр

ричні заглиблення відносної глибиною  $h/d = 0,3$ , розташовані в шаховому порядку. Зовнішній діаметр труб становив  $D = 22$ , відносний поперечний крок –  $s_1/D = 1,7$ , відносний поздовжній крок –  $s_2/D = 1,2$ . Експерименти проводилися в діапазоні чисел Рейнольдса від 5000 до 16000, що відповідає перехідному режиму течії для гладких труб.

Для визначення кількості теплоти, що передавалася від нагрітого повітря до середнього циліндру в ряду, використовувався метод калориметра з льодом, що тане [3]. Даний метод для визначення теплообміну в пучках труб показує значно меншу похибку, у порівнянні з методом, який заснований на вимірюванні температурного перепаду на стінці [3]. Перед експериментом обтічна повітрям труба з заглибленнями заповнювалася дистильованою водою і містилася в морозильну камеру для утворення в ній льоду. На початку експерименту циліндр-калориметр встановлювався в робочій ділянці і обдувався повітрям. Середній тепловий потік визначався за результатами вимірювання об'єму води, що утворилася за фіксований відрізок часу.

## 2. Результати експериментів та їх аналіз

Перша серія експериментальних досліджень середнього теплообміну і гідравлічного опору виконувалася для першого ряду пучка труб з сферичними заглибленнями (рис. 2). Число Нуссельта (коефіці-

ент тепловіддачі) визначалося за площею «гладкого» циліндра. Як впливає з рисунка, в дослідженому діапазоні чисел Рейнольдса наявність сферичних заглиблень на поверхнях трубок призводить до збільшення тепловіддачі на 35%, порівняно з даними для гладких труб [4]. Гідрравлічний опір пучка круглих труб з заглибленнями на зовнішній поверхні збільшується тільки на 10%.

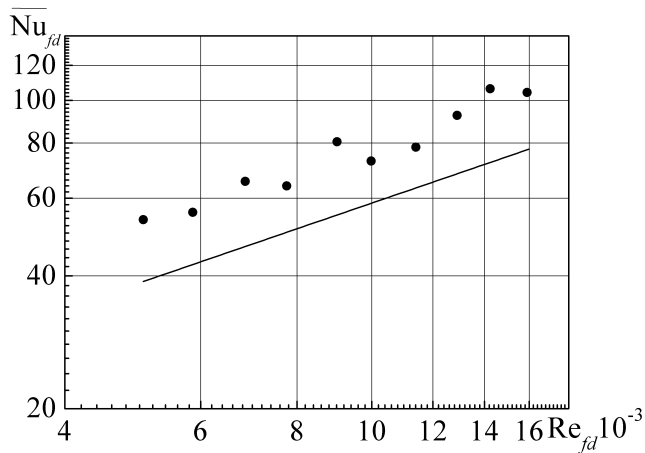


Рис. 2. Середній теплообмін пучка труб формованих заглибленнями та пучка гладких труб

Як видно з рисунка, отримані експериментальні дані для середнього теплообміну та дані для середнього теплообміну гладкої труби практично паралельні один одному. Це свідчить про однакове значення фактора інтенсифікації теплообміну для дослідженого діапазону чисел Рейнольдса.

### 3. Комп'ютерне моделювання

Дослідження середнього теплообміну та гідрравлічного опору показало, що процес має складний характер. Для пояснення причин інтенсифікації було проведено числове моделювання. Розрахунки проводилися для чисел Рейнольдса, що відповідають швидкостям в незахарачених перерізах рівним 5, 6,5 і 9 м/с.

Граничні умови задавалися таким чином: постійна швидкість потоку з температурою  $22^{\circ}C$  на вході і атмосферний тиск на виході, на поверхні досліджуваних труб задавалися граничні умови першого роду  $-t = 0^{\circ}C$ , на решті сторін каналу задавалися симетричні граничні умови. Розрахунок припинявся при відсутності змін в п'ятому знаку основних параметрів між послідовними ітераціями. Дискретизації розрахункової області проводилася у вбудованому редакторі сіток ANSYS. На поверхні стінки створювалися призматичні шари, які дозволяють більш якісно описувати процеси, що відбуваються в примежовому шарі і в заглибленнях, тим самим,

збільшуючи точність розрахунку. Основні параметри дискретизації розрахункової області: число призматичних шарів – 25, висота першого шару 0,01 мм, фактор приросту 1,05. Максимальний розмір чарунки – 1 мм. Кількість елементів у моделі пучка труб складала 28млн. Теплофізичні властивості повітря задавалися за допомогою емпіричних рівнянь.

При дослідженні тестувалися чотири моделі турбулентності: RNG  $\kappa$ - $\epsilon$  модель, SST модель Ментера, модель напруг Рейнольдса – SSG і LRR. SST була обрана, як модель турбулентності, для дослідження перебігу через пучок труб, так як показує найбільшу збіжність з розрахунковими даними.

### Висновки

Створений експериментальний стенд для дослідження теплообміну та гідрравлічного опору циліндричних поверхонь з заглибленнями на зовнішній поверхні. В результаті дослідження першого ряду пучка круглих труб із заглибленнями, визначено, що у діапазоні чисел Рейнольдса  $Re_{fd} = 5000 \dots 16000$  середній теплообмін зріс в порівнянні з аналогічним пучком гладких труб на 35%. Тоді як гідрравлічний опір зріс лише на 10%.

Проведене комп'ютерне моделювання пучка труб. Завдяки моделюванню детально показана фізика інтенсифікації та структура течії в заглибленнях. Отримані результати показують, що досліджена поверхня характеризується випереджаючим зростанням теплообміну в порівнянні зі збільшенням гідрравлічного опору.

Подальші дослідження будуть спрямовані на дослідження теплообміну та гідродинаміки третього і п'ятого рядів пучка труб, а також визначення теплогідрравлічної ефективності.

### Перелік використаних джерел

1. Калинин Э. К. Дрейцер Г. А. Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах — М. : Машиностроение, 1972. — 220 с.
2. Коваленко Г. В. Мейрис А. Ж. Сравнение различных способов интенсификации теплообмена на цилиндрических поверхностях Восточно-Европейский журнал передовых технологий — 2013. — № 3. — с. 58–60.
3. Коваленко Г. В. Халатов А. А. Применение ледяных калориметров для исследования теплоотдачи поверхностей, сформированных углублениями — Промышленная теплотехника — 2008. — № 2. — с. 5–12.
4. Исаченко В. П. Осипова В. А. Сукомел А. С. Теплопередача — М. : Энергоиздат, 1981. — 416 с.