

Разработано и обосновано эквивалентную электрическую схему семенной массы, находящейся в сильном электрическом поле постоянного тока. На основе эквивалентной электрической схемы исследованы разрядные процессы, происходящие в воздушных включениях семенной массы и обоснована модель полного тока.

Разрядные процессы, семенная масса, сильное электрическое поле, напряжение, полный ток.

Developed and reasonably equivalent electrical circuit of seed mass, which is in a strong electric field of direct current. On the basis of equivalent electrical circuit studied bit processes in air inclusions seed weight and reasonably model the full current.

Discharge processes, seed weight, strong electric field, voltage, total current.

УДК 536.24

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПУЧКІВ ТРУБ З ПЛАВНИКОВИМ ОРЕБРЕННЯМ

В.Г. Горобець, доктор технічних наук

Проведено гідравлічний розрахунок шахового пучка труб з плавниковим оребрением. Одержано гідравлічні характеристики оребреного пучка. Проведено порівняння одержаних результатів з відомими експериментальними даними та отримано їх задовільне узгодження.

Пучок труб, плавникове оребрение, гідравлічний опір, розрахунок.

У роботі [1] проведено тепловий розрахунок пучків труб з плавниковим оребрением, в якій було знайдено локальні та інтегральні теплові характеристики пучка. На базі отриманих результатів можна визначити оптимальні геометричні параметри досліджуваного пучка. При цьому, крім теплового розрахунку, необхідно провести також гідравлічний розрахунок вказаного пучка, що дасть можливість визначити гідравлічні опори пучка та вибрати насосне обладнання, необхідне для прокачування теплоносія в міжтрубному каналі.

Мета дослідження – розробити математичну модель та провести розрахунок гідравлічних втрат для шахового пучка труб з плавниковим оребрением; отримати при чисельному розрахунку гідравлічні опори оребреного пучка; порівняти одержані результати з відомими результатами експериментальних досліджень.

Методи досліджень та результати розрахунку. При визначенні гідравлічного опору ζ для шахового пучка труб виходимо з передумови, що його величину можна знайти, розрахувавши опір для повторюваного елемента трубного пучка в виділеному каналі між сусідніми поздовжніми рядами труб (рис. 1). Вказаний елемент каналу обмежений двома вертикальними площинами, які проходять через центри сусідніх труб

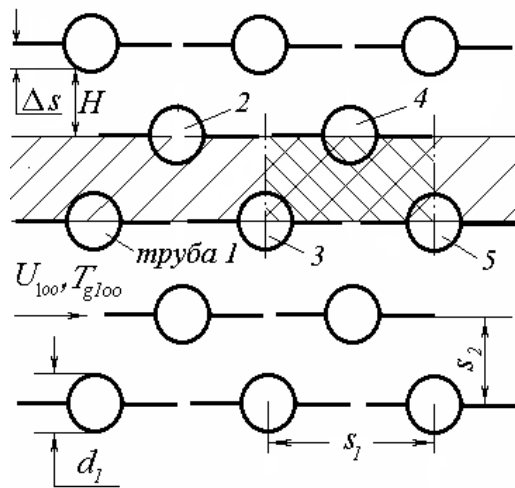


Рис. 1. Схема течії у пучку труб з плавниковим оребренням

поздовжнього ряду, мають довжину s_1 та включають дві труби одного ряду і трубу сусіднього ряду. Як приклад розглянемо довільний елемент всередині каналу, який показано в заштрихованому вигляді на рис. 1. Він включає в собі труби 3, 4 і 5. Враховуючи періодичність структури шахового пучка труб та ідентичність умов течії на оребреній поверхні окремих труб (виключаючи перші труби ряду в пучці), визначимо гідравлічний опір для повторюваного елемента каналу трубного пучка.

Для гідравлічного опору на j – му елементі міжтрубного каналу, що розглядається, маємо дві складові опору [2]:

$$\zeta_j = \zeta_{loc} + \zeta_{fr}, \quad (1)$$

де ζ_{loc} – місцевий опір за рахунок розширення (стискання) площі поперечного перерізу каналу; ζ_{fr} – опір тертя на поверхні оребрених труб для ділянки каналу, що розглядається.

Сумуючи гідравлічні опори, обумовлені розширенням і стисканням поперечного перерізу каналу, для досліджуваного елемента можна записати:

$$\zeta_{exp} = \zeta_{1,exp} + \zeta_{2,com} + \zeta_{3,exp} + \zeta_{4,com}. \quad (2)$$

На ділянці від центрального перерізу труби 3 до основи ребра, розташованого в кормовій її частині коефіцієнт опору при розширенні каналу визначається за формулою: $\zeta_{1,exp} = k_1(1 - F_1 / F_0)^2$. На ділянці від основи ребра, розташованого в лобовій частині труби 4, до її центрального перерізу коефіцієнт опору, який враховує стискання перерізу каналу дорівнює: $\zeta_{2,com} = k_2(1 - F_1 / F_2)$. На ділянці від центрального перерізу труби 4 до основи ребра в її кормовій частині і на ділянці від основи лобового ребра труби 5 до центральної її частини коефіцієнти опору при розширенні $\zeta_{3,exp}$ та стиску $\zeta_{4,com}$ в силу симетрії трубного пучка будуть рівні $\zeta_{3,exp} = \zeta_{1,exp}$, $\zeta_{4,com} = \zeta_{2,com}$. Площі поперечного перерізу для ділянок, що розглядається, розраховуються за

формулами: $F_0 = (s_2 - d_1/2)L$; $F_1 = (s_2 - \delta_1/2)L$; $F_2 = (s_2 - d_1/2)L$, де d_1 – зовнішній діаметр труби; s_1 – поперечна міжтрубна відстань; L – довжина оребреної труби; δ_1 – товщина ребра. Коефіцієнти k залежать від кривизни ділянки розширення (стискання) [2] і при розширенні каналу лежать у межах $0 \leq k_1 \leq 1$, а при стисканні $0 \leq k_2 \leq 0,5$. Зазначимо, що в силу припущення про малу товщину ребер їх вплив на зміну поперечного перерізу каналу не враховувався.

Загальний коефіцієнт опору тертя ζ_{mp} на елементі міжтрубного каналу, що повторюється та має довжину s_1 , визначався шляхом сумування коефіцієнтів опору на окремих ділянках поверхні труб 3,4 і 5, які мають різні умови гідродинамічного обтікання. Враховуючи ідентичність умов течії на окремих оребрених трубах незалежно від їх розташування (виключаючи труби перших рядів), можна записати

$$\zeta_{fr} = 2 \sum_{i=1}^V \Delta x_i \zeta_{i,fr} / x_S, \quad (3)$$

де $\zeta_{i,fr}$ – коефіцієнт тертя на i -й ділянці оребреної труби, а індекс i відповідає ділянкам I, II, III, IV, V на рис. 2. Поздовжні розміри ділянок Δx_i дорівнюють: $\Delta x_I = x_1$, $\Delta x_{II} \approx d_1 \sin \varphi_0 / 2$, $\Delta x_{III} = x_3 - x_2$, $\Delta x_{IV} \approx d_1 \sin(\pi - \varphi_1) / 2$, $\Delta x_V = h - x_4$, а їх загальна довжина x_S знаходиться як $x_S = \Delta x_I + \Delta x_{II} + \Delta x_{III} + \Delta x_{IV} + \Delta x_V$, де h – висота ребра; φ – значення радіального кута для відповідних ділянок, як показано на рис. 2.

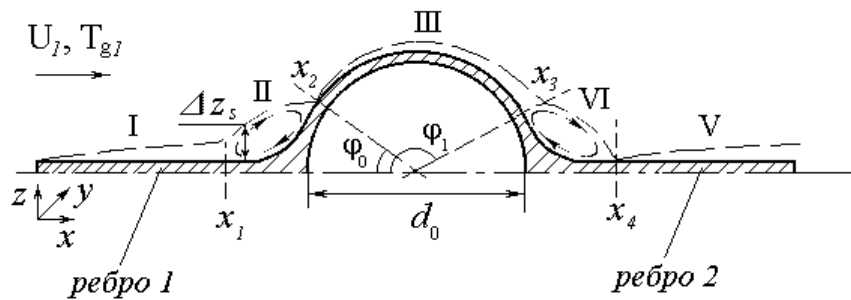


Рис. 2. Схема обтікання оребреної труби

Коефіцієнти тертя при формуванні приграничного шару (ПШ) на плоскій поверхні згідно з роботою [5] можуть бути розраховані за відомими залежностями для ламінарного

$$\zeta_{fr} = 0,664 \text{Re}_x^{-0,5} \quad (4)$$

і турбулентного режимів течії

$$\zeta_{fr} = 0,074 \text{Re}_x^{-0,2}, \quad (5)$$

де $\text{Re}_x = Ux/\nu$ – число Рейнольдса; x – довжина ділянки, на якій формується ПШ; U – швидкість течії в каналі; ν – кінематична в'язкість теплоносія.

При ламінарному і турбулентному режимах течій в каналах, відповідно, маємо

$$\zeta_{fr} = 64 / \text{Re}_d; \quad (6)$$

$$\zeta_{fr} = 0,3164 \text{Re}_d^{-0,25}, \quad (7)$$

де d – еквівалентний діаметр каналу, що визначається як $d = 4F / P$ (F – площа поперечного перерізу каналу; P – його периметр).

На ділянках II, IV поверхні оребреної труби, для яких характерні відривні течії, коефіцієнт тертя $\zeta_{i,fr}$ розраховувався для шару змішування, причому число Рейнольдса Re_x у виразі (5) визначалося за відносною швидкістю течії $U_{s\infty} = U_{1\infty} - U_{sep}$ ($U_{1\infty}, U_{sep}$ – відповідно швидкість течії в каналі і на зовнішній поверхні відривного вихору).

Довжину першого за ходом течії елемента в міжтрубному каналі, в силу ідентичності умов течії для труб 1 і 2, зручно вибрати рівною $3/2s_1$, де s_1 – поздовжня міжтрубна відстань (див. рис. 1). Вказаний елемент включає дві труби сусідніх рядів 1 і 2, а також частину труби 3 (див. рис. 1). Процедура обчислення коефіцієнта опору ζ_{exp} , що враховує опір при розширенні та стисканні каналу для першого елемента не змінюється. Величина коефіцієнта опору тертя ζ_{fr} для труб 1 і 2 буде дещо відрізняться від значення, обчисленого за формулою (3). Це обумовлено відсутністю відривної зони II і неперервністю ПШ на ділянках I, II, III оребреної поверхні труб передніх двох рядів. Для труб передніх рядів (труби 1 і 2) сумування коефіцієнтів тертя у формулі (3) проводиться по ділянках I, IV, V , причому загальна довжина x_S у цьому випадку буде рівна $x_S = \Delta x_I + \Delta x_{IV} + \Delta x_V$, де $\Delta x_I = h + x_3$.

Процедура визначення коефіцієнтів опору ζ_{exp} і ζ_{fr} для останнього елемента міжтрубного каналу в пучці не змінюється. Слід зазначити, що залежно від того, рівна чи нерівна кількість труб у сусідніх поздовжніх рядах, останній елемент каналу може включати в себе одну або дві труби.

Загальний гідравлічний опір для трубного пучка знаходиться в результаті сумування локальних опорів на всіх елементах трубного пучка

$$\zeta = \sum_{j=1}^m \zeta_j, \quad (8)$$

а втрати тиску в трубному пучці визначаються за формулою:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \rho U_1^2 \zeta, \quad (9)$$

де $\Delta p = p_1 - p_2$ – падіння тиску в каналі, p_1, p_2 – відповідно тиск на вході і виході з каналу; ζ_j – коефіцієнт гідравлічного опору на j -му елементі виділеного каналу; m – кількість повторюваних елементів у трубному пучку (див. рис. 1); ρ – густина теплоносія; U_1 – швидкість течії у вузькому перерізі каналу.

Використовуючи наведену вище методику, були розраховані коефіцієнти гідравлічного опору пучків з вихідними геометричними параметрами, наведеними в роботі [1]. Результати розрахунків наведені на рис. 3 (крива 1). На цьому ж рисунку є також дані, розраховані за експериментальними залежностями для шахового пучка з плавниковими ребрами [3] та експериментальні дані для мембранного пучка аналогічної геометрії [4]. Як видно з порівняння отриманих залежностей, розрахункові величини коефіцієнта опору дещо нижче знайдених експериментально, причому максимальні відмінності при порівнянні кривих 1 і 2 складають близько 30 %, а для залежностей 1 і 3 не перевищують 20 %.

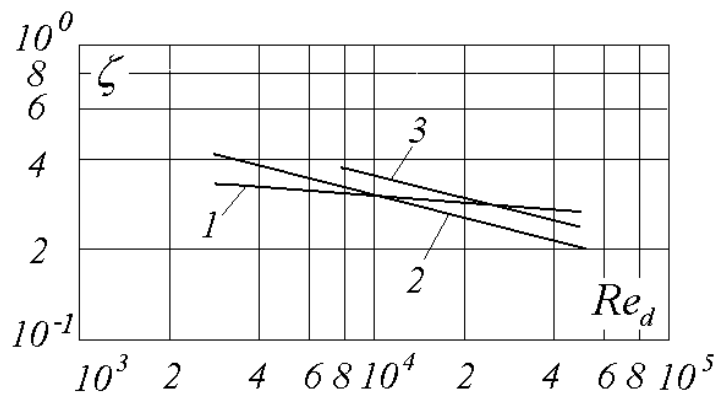


Рис. 3. Залежність коефіцієнта гідравлічного опору ζ пучка труб з плавниковим оребренням від числа Re_d :

1 – розрахунок; 2 – експериментальна залежність для мембранного оребрення [4]; 3 – експериментальна залежність для плавникового оребрення [3]

Висновки

1. Розроблено математичну модель для визначення гідравлічних втрат для шахового пучка труб з плавниковим оребренням.
2. Проведено чисельний розрахунок та одержано гідравлічні опори для досліджуваного трубного пучка.
3. Проведено порівняння одержаних результатів з відомими експериментальними даними для пучків труб з плавниковим та мембранним оребренням та отримано їх задовільний збіг.

Список літератури

1. Горобець В. Г. Спряжений теплообмін пучків труб з плавниковим оребренням. / В. Г. Горобець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування. – 2011. – Вип.166. – Ч.4. – С. 70–81.
2. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / И. Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 558 с.
3. Легкий В. М. Коэффициенты теплоотдачи и аэродинамического сопротивления компактных плавниковых пучков в поперечном потоке / В.М. Легкий // Изв. ВУЗов. Энергетика. – 1959. – №5. – С.98–107.

4. Левченко Г. И. Оребренные поверхности нагрева паровых котлов. / Г.И. Левченко, И. Д. Лисейкин, А. М. Копелиович и др. // М.: Энергоатомиздат, 1986. – 342 с.

5. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. / Г. Шлихтинг. – М: Наука, 1969. – 742 с.

Выполнен гидравлический расчет шахматного пучка труб с плавниковым оребрением. Получены гидравлические характеристики оребренного пучка. Проведено сравнение полученных результатов с известными экспериментальными данными и получено их удовлетворительное совпадение.

Пучок труб, плавниковое оребрение, гидравлическое сопротивление, расчет.

It is solved the problem of hydraulic losses for chess bundle pipes with longitudinal fins and the hydraulic characteristics of finned bundle are obtained. The comparison of obtained results and known experimental data are conducted besides good coincidence of solved and experimental results are found.

The tube bundle, longitudinal fins, hydraulic loss, calculation.

УДК 621.03.67

АНАЛІЗ УЗАГАЛЬНЮЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНТРОПІЙНИХ ДІАГРАМ

***А.А. Долінський, доктор технічних наук
Інститут технічної теплофізики НАН України
Б.Х. Драганов, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів
і природокористування України***

Визначено геометричні властивості термодинамічних діаграм (в T-s і h-s- координатах).

Ентропія, ентальпія, погранична крива, ортогональна проекція, геометричне місце точок.

Аналіз геометричних властивостей термодинамічних властивостей ентропії може призвести до:

- виявлення ряду теоретичних залежностей між окремими параметрами діаграм;
- точнішому визначенню деяких положень термодинаміки;
- більш точній побудові ентропійних діаграм при виконанні відповідних розрахунків.