

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТЯХ С ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ. 1. УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В. Г. Горобец

Аннотация. Разработана методика расчета теплообмена в областях с отрывными течениями. Методика базируется на разбиении отрывной области на три гидродинамические зоны: I – зону пограничного слоя у стенки; II – зону вихревого ядра; III – зону присоединенного внешнего течения за вихревым ядром. В результате расчета, в соответствии с разработанной методикой, в отрывной области находятся все теплообменные характеристики в этой области.

Ключевые слова: область с отрывным течением, теплообмен, пограничный слой, вихревое ядро, присоединенное течение.

CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN AREAS WITH SEPARATED FLOWS. 1. SIMPLIFIED PROCEDURE OF CALCULATION

V. Gorobetz

Annotation. The method of calculating heat transfer in the areas of separated flow is developed. The technique is based on partition of the separated area for three hydrodynamic zones: I – zone boundary layer near the wall; II – zone of the vortex core; III – zone attached flow to outer reaches of the vortex core. As a result of calculation in the field vortex flow the all heat characteristics in this area are found.

Key words: region of separated flow, heat transfer, boundary layer, vortex core, attached flow.

УДК 536.24

РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В ОБЛАСТЯХ ІЗ ВІДРИВНИМИ ТЕЧІЯМИ. 2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В КУТОВИХ ЗОНАХ ТА ВИЇМКАХ

*В. Г. Горобець, доктор технічних наук
e-mail: gorobetsv@ukr.net*

Анотація. Спрощена методика розрахунку теплообміну в областях із відривними течіями застосована для розрахунку процесів теплопереносу в кутових зонах та виїмках для ребрених поверхонь. У результаті проведеного розрахунку, отримано розподіли локальних коефіцієнтів тепловіддачі та температурні розподіли на поверхні обтікання для досліджуваних об'єктів.

© В. Г. Горобець. 2015

Ключові слова: теплообмін, пограничний шар, вихрове ядро, приєднана течія, коефіцієнт тепловіддачі, температура.

При розрахунку багатьох елементів теплообмінного обладнання необхідно проводити тепловий та гідравлічний розрахунок процесів тепло- і масопереносу в областях з відривами потоку. До таких об'єктів належать, наприклад, елементи оребрених поверхонь у котлах, теплообмінниках різного призначення, системах охолодження електронного обладнання тощо. Використовуючи спрощену методику розрахунку теплообміну у відривних зонах [1], у даній роботі проведено розрахунок окремих елементів оребрених поверхонь.

Мета досліджень – розрахунок теплообміну в елементах оребрених поверхонь із використанням спрощеної методики розрахунку теплообміну в області відривних течій.

Матеріали та методика досліджень. Розглянемо умови гідродинамічної течії та теплопереносу для двох елементів оребреної поверхні – елемента поверхні труб із плавниковим оребренням і в окремій комірці між сусідніми ребрами для плоскооребреної поверхні при поперечному її обтіканні (рис. 1а, б). На рис. 1, а показано натікання зовнішнього потоку зі швидкістю U_g і температурою T_g на поверхню плавникового ребра і труби. При цьому на поверхні обтікання можна виокремити три зони гідродинамічної течії: I – зону формування пограничного шару (ПШ); II – зону відривної течії; III – зону приєднання потоку після відривної зони. При розгляді течії в комірці при поперечному обтіканні оребреної поверхні (див. рис. 1б) можна виокремити один відривний вихор, що формується в ній. Згідно з методикою, розробленою в [1], на оребреній поверхні в зоні відривної течії формується ПШ, для якого справедливе співвідношення [2, 3]

$$q(x, T) = \alpha^*(x) \left[T(x=0) - T_{gs} + \int_0^x f(x, x') \frac{dT}{dx'} dx' \right], \quad (1)$$

де x – поточна координата, м;

$f(x, x') = [1 - (x'/x)^{c_1}]^{c_2}$ – функція впливу.

Для ПШ локальні значення коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* визначаються за формулою:

$$\alpha^*(x) = c \lambda_g \text{Pr}^n \text{Re}_x^m / x, \quad (2)$$

де λ_g – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, Вт/м⁰С;

Pr – число Прандтля;

$\text{Re}_x = Ux / \nu$ – число Рейнольдса, розраховане за швидкістю U на зовнішній границі ПШ;

x – довжина формування ПШ, м, а коефіцієнт c і показники n, m визначаються на підставі розрахункових або експериментальних даних [4].

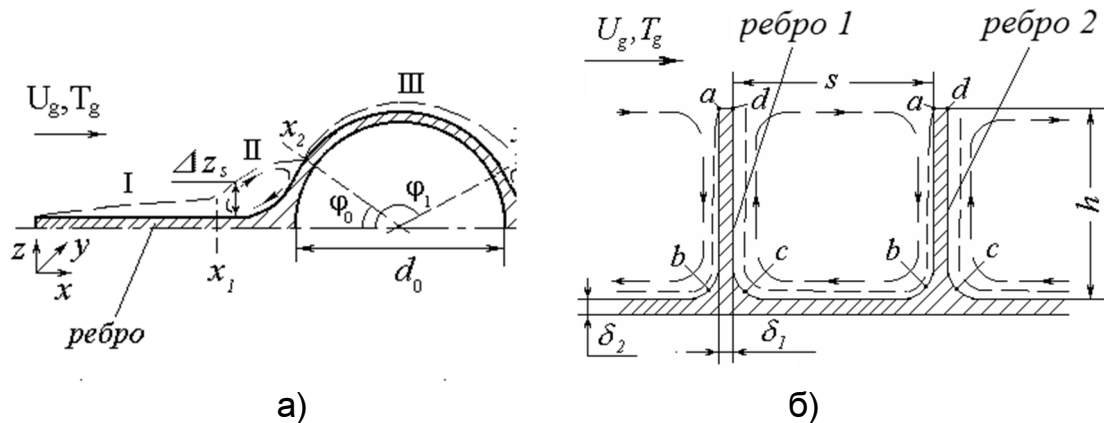


Рис. 1. Схема течії в зонах із відривною течією:

а) відривна течія в кутовій зоні для труби з плавниковим ребром; б) відривна течія в комірці між сусідніми ребрами необігрітої ділянки; q – густина теплового потоку, відведеного з поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2$; α^* – коефіцієнт тепловіддачі на ізотермічній поверхні, $\text{Вт}/\text{м}^2\text{К}$; T – температура стінки, $^{\circ}\text{К}$; T_{gs} – температура теплоносія у відривній зоні, $^{\circ}\text{К}$

Температура поверхні ребреної стінки визначається при розв'язку рівняння теплопровідності [5]

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0, \quad (3)$$

де T – температура стінки;

x, y, z – поточні координати.

Для ребрених стінок їх товщина є невеликою, порівняно з повздовжніми і поперечними розмірами цих стінок, тому можна провести усереднення температур по товщині стінки. Наприклад, для елемента, поданого на рис. 1а, рівняння (3) можна записати у вигляді

$$\lambda \delta \left(\frac{\partial \bar{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial \bar{T}}{\partial y^2} \right) = q(x, y, \bar{T}), \quad (4)$$

де x, y – поточні координати стінки в повздовжньому й поперечному напрямках;

λ, δ – відповідно, коефіцієнт теплопровідності і товщина стінки;

$\bar{T} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} T(x, y, z) dz$ – усереднена по товщині температура стінки;

q – локальний тепловий потік, відведений з поверхні стінки.

Для стінок із великими розмірами в поперечному напрямку залежність від координати y відсутня й рівняння (3) стає одновимірним. Аналогічно можна записати рівняння теплопровідності для елемента, представленого на рис. 1б, причому усереднення температур проводиться на несучій стінці по координаті z , а для ребер – по координаті x .

Граничні умови для рівняння (4) записуються залежно від об'єкта дослідження. Для елемента труби з плавниковим ребренням (див. рис. 1а) можна записати

$$\left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \bar{T}(x=h) = T_0, \quad (5)$$

де T_0 – температура на поверхні труби;
 h – висота ребра.

Для елемента ребреної поверхні, поданої на рис 1б, граничні умови мають вигляд

$$\left. \frac{\partial \bar{T}}{\partial z} \right|_{z=h} = 0, \quad \bar{T}(z=0) = T_0. \quad (6)$$

Для обох розглянутих елементів ребрення температура стінки, на якій знаходяться ребра, вважається постійною і рівною T_0 .

Проведені чисельні розрахунки рівняння (4) з граничними умовами (5), (6) для елементів ребреної стінки, подані на рис. 1. Деякі результати розрахунку наведено на рис. 2–4.

На рис. 2 подано розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі α на поверхні труби з плавниковим ребренням, отриманий у результаті чисельного розрахунку (див. рис. 1а). При розрахунках як зовнішній теплоносій вибрано повітря, яке має на вході такі значення швидкостей і температур: $U_g = 5 \text{ м/с}$, $T_g = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ та геометричні розміри ребреної труби, виготовленої зі сталі $d_0 = 38 \text{ мм}$, $h = 42 \text{ мм}$.

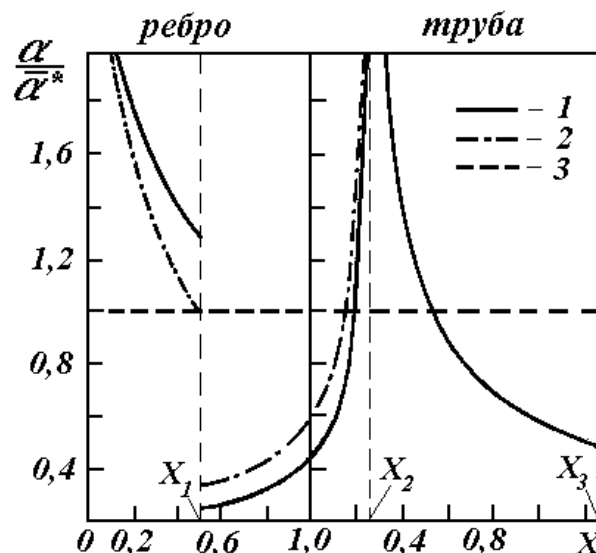


Рис. 2. Розподіл локальних коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні труби з плавниковим ребренням:

1 – розподіл, отриманий при чисельному розрахунку; 2 – розподіл для ізотермічної поверхні; 3 – усереднені значення по поверхні обтікання

При цьому локальні значення α віднесені до усереднених значень коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні $\bar{\alpha}^*$. Крім розподілу локальних значень α , отриманих в результаті чисельного розрахунку, на рис. 2 подано також локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* та його усереднене значення (відповідно, криві 1, 2, 3 на рис. 2). Як бачимо з рисунка, локальні максимуми значень коефіцієнта тепловіддачі спостерігаються на ділянках поблизу торцевої поверхні ребра та на ділянках труби, де відбувається приєднання зовнішньої течії до поверхні труби після відривної зони. Отримані локальні максимуми коефіцієнта тепловіддачі зумовлені тим, що на цих ділянках починає формуватися ПШ, товщина якого є малою, а інтенсивність теплообміну є максимальною.

На рис. 3 наведено розподіл температур по поверхні труби з плавниковим оребренням, які подано в безрозмірному вигляді $\theta = \frac{T - T_g}{T_0 - T_g}$.

Як бачимо з рисунка, максимальне падіння температури має місце біля торцевих ділянок ребра, де локальні значення коефіцієнта тепловіддачі максимальні. У міру наближення до основи ребра, його температура підвищується, наближаючись до значень температури на поверхні труби.

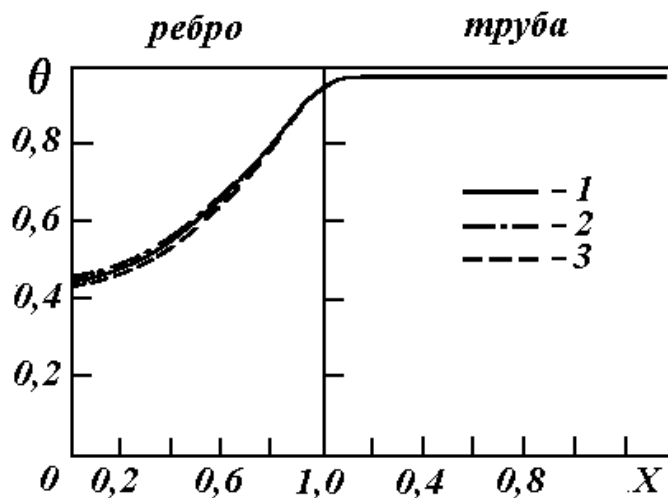


Рис. 3. Розподіл локальних значень температури по поверхні труби з плавниковим оребренням
(криві 1, 2, 3 відповідають кривим, наведеним на рис. 2)

На рис. 4 подано локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі α по поверхні оребреної комірки (див. рис. 1б), віднесені до усереднених значень коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні $\bar{\alpha}^*$. У розрахунках прийнято, що зовнішній теплоносіє – це повітря, яке на вході має такі значення швидкостей і температур: $U_g = 1-20 \text{ м/с}$, $T_g = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вибрано також наступні геометричні розміри оребреної стінки, виготовленої зі сталі:

$s = 5 \text{ мм}, h = 5 \text{ мм}$. Розрахунки проведено для двох значень характерис-

тичного параметра ребра $N = \frac{2h^2 \bar{\alpha}^*}{\lambda \delta}$, які рівні 0,2 і 2,0. На рис. 4, крім

розподілів локальних значень α , отриманих при чисельному розрахунку (крива 1), подано також локальні розподіли коефіцієнта тепловіддачі на ізотермічній поверхні α^* (крива 2). Аналіз отриманих кривих свідчить, що максимальні значення локального коефіцієнта тепловіддачі спостерігаються поблизу торцевої поверхні ребра (див. область біля точки *a* на рис. 1б), де починає формуватися ПШ на поверхні оребреної комірки.

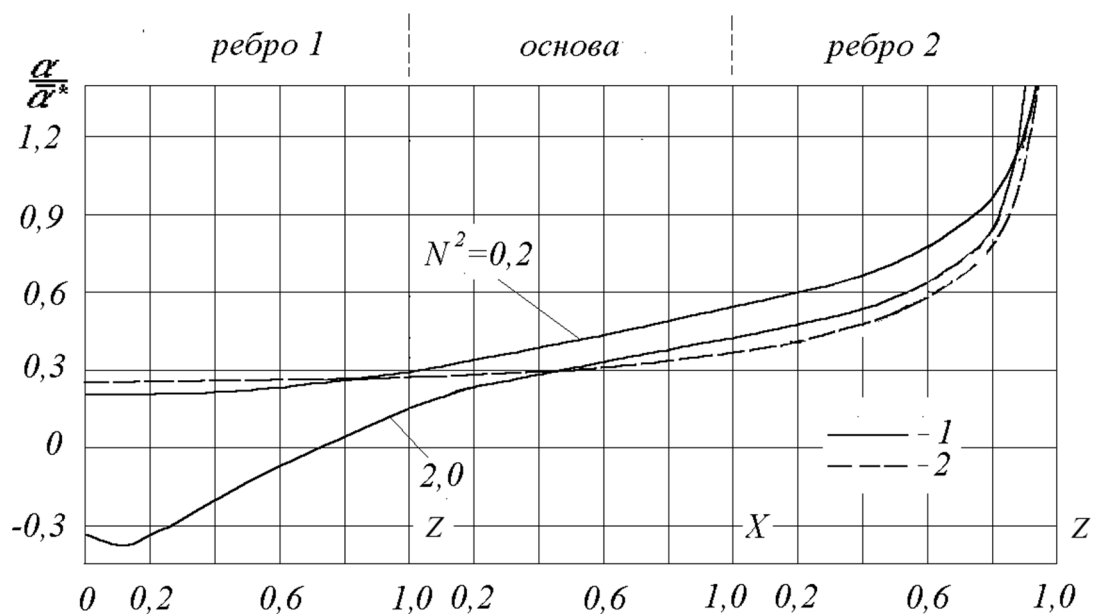


Рис. 4. Локальний розподіл коефіцієнтів тепловіддачі по поверхні оребреної комірки:

- 1 – розподіл, отриманий при чисельному розрахунку;
- 2 – розподіл для ізотермічної поверхні

Отже, у результаті розрахунків теплообміну у відривних зонах за спрощеною методикою, можна отримати всі локальні характеристики оребрених поверхонь, для яких характерні гідродинамічні умови обтікання з відривами зовнішньої течії.

Висновки

1. Базуючись на спрощеній методиці розрахунку теплообміну для відривних течій, проведено чисельні розрахунки теплопереносу для труб із плавниковим оребренням та плоскопаралельних оребрених поверхонь при поперечному їх обтіканні.

2. У результаті чисельного розрахунку теплообміну отримано локальні розподіли коефіцієнтів тепловіддачі та температурні розподіли по поверхні обтікання для досліджуваних об'єктів.

Список літератури

1. Горобець В. Г. Розрахунок теплообміну в областях з відірваними течіями. 1. Спрощена методика розрахунку / В. Г. Горобець // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 224. – С. 51–55.
2. Кэйс В. М. Конвективный тепло- и массоперенос / В. М. Кэйс. – М. : Энергия, 1972. – 367 с.
3. Дорфман А. Ш. Теплообмен при обтекании неизотермических тел / А. Ш. Дорфман. – М. : Машиностроение, 1982. – 249 с.
4. Себиси Т. Конвективный теплообмен / Т. Себиси, П. Брэдшоу. – М. : Мир, 1987. – 339 с.
5. Gorobets V. G. Heattransfer in a non-isothermal extended surface / V. G. Gorobets. – K. : Компринт, 2014. – 377 с.

РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В ОБЛАСТЯХ С ОТРЫВНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ. 2. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕНА В УГЛОВЫХ ЗОНАХ И ВЫЕМКАХ

В. Г. Горобец

Аннотация. Упрощенная методика расчета теплообмена в областях с отрывными течениями применена для расчета процессов теплопереноса в угловых зонах и выемках для ребренных поверхностей. В результате проведенного расчета, получены распределения локальных коэффициентов теплоотдачи и температурные распределения на поверхности обтекания для исследуемых объектов.

Ключевые слова: теплообмен, пограничный слой, вихревое ядро, присоединенное течение, коэффициент теплоотдачи, температура.

CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN AREAS WITH SEPARATED FLOWS. 2. CALCULATION OF HEAT TRANSFER IN THE CORNER AREAS AND SEIZURES

V. Gorobetz

Annotation. A simplified method for calculating heat transfer in areas with separated flows is used for calculation of heat transfer in the corner areas and seizures for the finned surfaces. As a result of the calculation the distribution of heat transfer coefficient and the temperature distribution on the surface of these objects are obtained.

Key words: heat transfer, boundary layer, vortex core, attached flow, heat transfer coefficient, temperature.