

ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ З НЕПЕРЕРВНИМ І ДИСКРЕТНИМ ОРЕБРЕННЯМ

В.Г. Горобець, доктор технічних наук

Розроблено методика розрахунку оптимальних міжреберних відстаней для вертикальних поверхонь з неперервним і дискретним оребрением. Проведено чисельний розрахунок оптимальних параметрів для сталевого оребрения. Проведено порівняння одержаних результатів з відомими даними для ізотермічних оребренных поверхонь та визначено похибки, які допускаються в спрощених методиках розрахунку.

Вертикальна поверхня, неперервне і дискретне оребрения, ізотермічна поверхня, розрахунок, оптимальна міжреберна відстань.

В експериментальних дослідженнях і роботах, присвячених чисельному моделюванню процесів теплопереносу, для вертикальних поверхонь з паралельним неперервним та дискретним оребрением в умовах вільної конвекції [2–6, 8] зазвичай виходять з передумови, що зміна температурного напору або густини теплового потоку на обтічній поверхні не впливає на умови теплообміну та вибір оптимальних геометричних параметрів оребрения. Разом з тим, цей фактор може суттєво впливати на вибір оптимальної геометрії оребренных поверхонь.

Мета дослідження – розробити методика розрахунку оптимальних міжреберних відстаней для вертикальних поверхонь з неперервним і дискретним оребрением за умов вільної конвекції; провести розрахунок оптимальних відстаней для поверхонь із сталевим оребрением та провести порівняння з відомими результатами для ізотермічних оребренных поверхонь.

Методи досліджень та результати розрахунку. Розглянемо вертикальну поверхню з поздовжнім неперервним і дискретним оребрением (рис. 1). У роботах [1,7] були проведені експериментальні дослідження та визначено критеріальні співвідношення для умов теплообміну вказаних поверхонь. Використовуючи отримані в [6,8] критеріальні співвідношення,

$$Nu_s = 0,7 \left[(Ra_{s,s} / L)^{0,25} - 1 \right] \quad (1)$$

$$Nu_s = 0,314 (Ra_{s,s} / L)^{0,4} - 0,19, \quad (2)$$

відповідно для неперервного і дискретного оребрения, можна визначити оптимальні міжреберні відстані s_{opt} для цих поверхонь. Для них кількість тепла Q , що відводиться в зовнішнє середовище, буде максимальним ($Ra_s = g\beta\Delta T s^3 / \nu^2$ – число Релея; g – гравітаційна постійна; β – коефі-

цієнт об'ємного розширення; ΔT – температурний напір між стінкою і зовнішнім середовищем; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості).

Загальна кількість відведеної теплоти буде:

$$Q = \alpha \Delta T F_s, \quad (3)$$

де $F_s = m(2Lh + Ls)$ – площа оребреної поверхні; $m = H/(s + \delta)$ – кількість ребер у системі з неперервним оребренням; s – міжреберна відстань; h – висота ребра; L – довжина ребра; H – вертикальний розмір оребреної стінки; α – коефіцієнт теплообміну на поверхні.

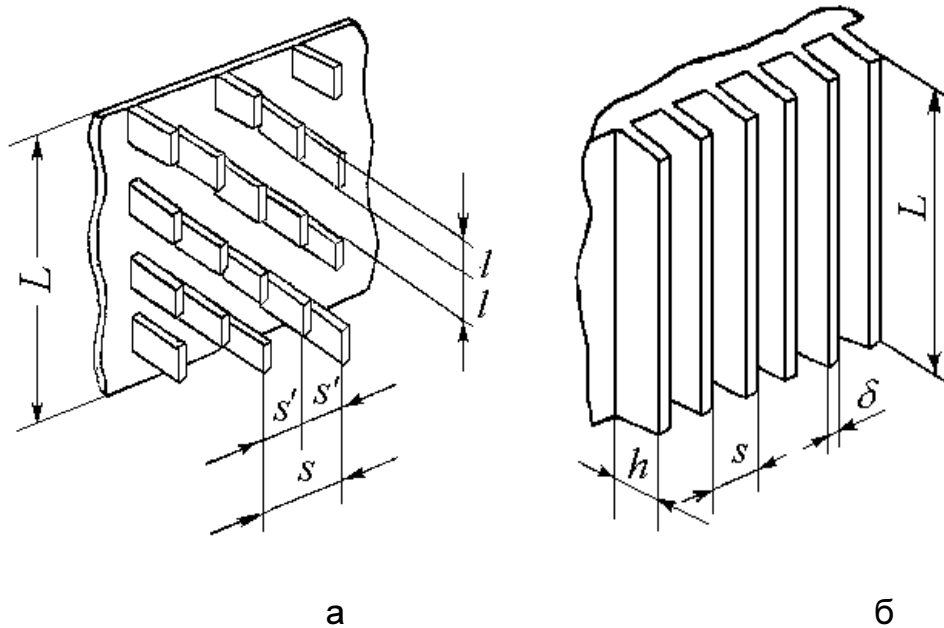


Рис. 1. Поверхня з неперервним (а) і дискретним (б) оребренням

Максимальне значення теплого потоку Q визначається з умови $dQ/ds = 0$. З врахуванням співвідношення $\alpha = Nu_s \lambda_g / s$ і залежності (1) після диференціювання рівняння (3) знаходимо умову для визначення оптимальної міжреберної відстані:

$$[(2h + s)(s + \delta) + s(s + \delta) - (2h + s)(2s + \delta)] \times \\ \times (Ra_s s / L)^{0,25} = s(s + \delta) - (2h + s)(2s + \delta). \quad (4)$$

У граничному випадку, коли товщина ребра δ наближається до нуля, розв'язок рівняння (4) можна отримати в явному вигляді:

$$(s/h)_{opt} = \frac{2}{(Ra_h h / L)^{0,25} - 0,5}, \quad (5)$$

де $Ra_h = Pr g \beta \Delta T h^3 / \nu^2$; Pr – число Прандтля.

Із співвідношення (5) слідує, що оптимальна міжреберна відстань залежить не тільки від температурного напору ΔT і властивостей теплоносія, але й від геометричних розмірів ребра. Порівняння

залежності (5) із залежністю, отриманою в [2] для ізотермічних ($T = const$) неперервних пластин

$$s_{opt} = 2,714 / P^{1/4}, \quad (6)$$

де $P = c_p \rho g \beta \Delta T / \nu \lambda_g L$, які наведені на рис. 2, показує, що для ребер із скінченною тепловою провідністю величина s_{opt} дещо нижча порівняно з ізотермічними ребрами і залежить від параметра $Ra_h h / L$. Вказаних відмінностей все більше із зростанням величини $Ra_h h / L$ і для великих його значень можуть бути більше 40 %.

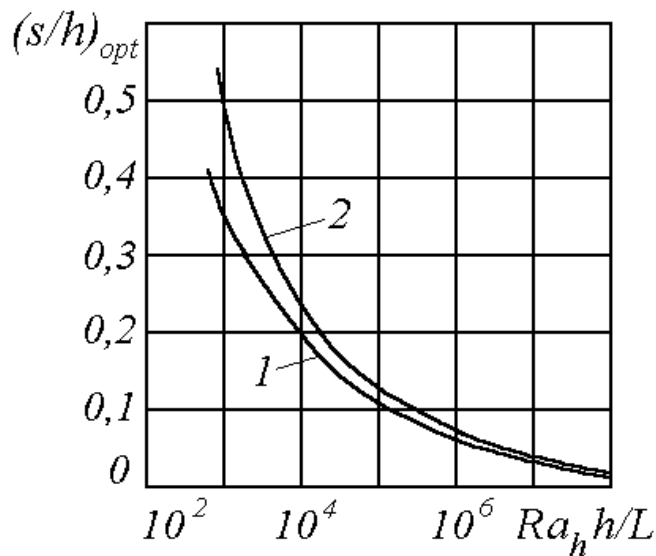


Рис. 2. Залежність s_{opt} від параметра $Ra_h h / L$

для неперервного оробрення:

1 – розрахункова крива; 2 – розрахунок для ізотермічної поверхні [6]

Для вертикальних поверхонь з дискретним оробренням, використовуючи вищевикладену методику визначення s_{opt} та враховуючи співвідношення (2) для числа Нуссельта Nu_s , знаходимо рівняння для визначення оптимальних міжреберних відстаней:

$$[0,188(2h+s)(s+\delta) + 0,31s(s+\delta) - 0,314s(2h+s)] \times (Ra_s s / L)^{0,4} = 0,19[s(s+\delta) - (2h+s)(2s+\delta)]. \quad (7)$$

Для нескінченно тонких ребер ($\delta \rightarrow 0$) рівняння (7) зводиться до більш простого вигляду:

$$(s/h)^{2,6} - 1,341(s/h)^{1,6} + 1,011(s/h)(Ra_h h / L)^{-0,4} + 4,044(Ra_h h / L)^{-0,4} = 0, \quad (8)$$

де $Ra_h = Pr g \beta \Delta T h^3 / \nu^2$.

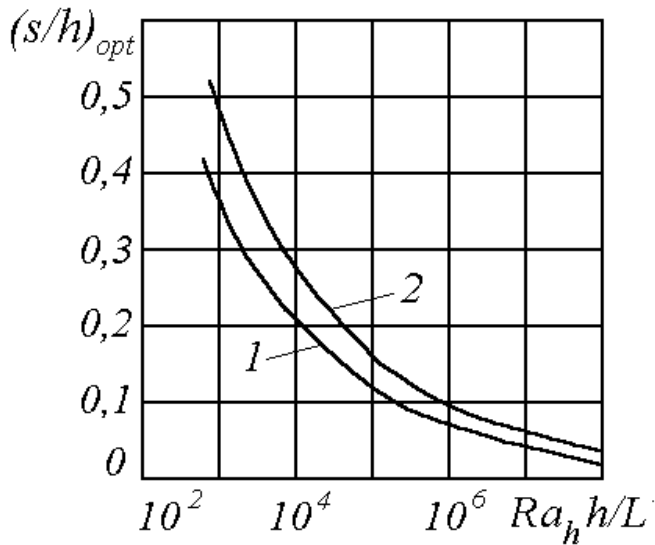


Рис. 3. Залежність s_{opt} від параметра $Ra_h h/L$:

1 – неперервне оребрення; 2 – дискретне оребрення

Чисельний розв'язок рівняння (8) відносно s/h дає можливість визначити оптимальні розміри міжреберної відстані для системи дискретних ребер при різних значеннях параметра $Ra_h h/L$. Результати чисельного розрахунку цих залежностей наведено на рис. 3. Для порівняння на рис. 3 наведено результати розрахунку оптимальних значень s/h , знайдених за формулою (6) для системи неперервних ребер. Як видно із рисунка, зі зменшенням параметра $Ra_h h/L$ для дискретних ребер оптимальна відстань s_{opt} зростає в порівнянні з аналогічною відстанню для неперервних ребер. При цьому для невеликих значень $Ra_h h/L$ відмінності можуть складати більше 30 %.

Висновки

1. Розроблено методику розрахунку для визначення оптимальної міжреберної відстані для вертикальних поверхонь з неперервним і дискретним оребренням.
2. Проведено чисельний розрахунок та одержано оптимальні міжреберні відстані для сталевих неперервного і дискретного оребрення.
3. Проведено порівняння одержаних результатів з відомими результатами щодо визначення оптимальних міжреберних відстаней для ізотермічних оребрених поверхонь та проведено оцінку похибок, які в них допускаються.

Список літератури

1. Горобец В.Г. Экспериментальное исследование теплоотдачи вертикальных поверхностей с дискретным оребрением при естественной конвекции /

В.Г. Горобец, В.В. Трепутнев // Промышленная теплотехника. – 1999. – №1. – С. 55–60.

2. Бар-Коэн. Термически оптимальный промежуток между вертикальными параллельными пластинами, охлажденными свободной конвекцией / Бар-Коэн, Розенау // Теплопередача. – 1984. – №1. – С.114–122.

3. Джалурия Й. Естественная конвекция / Й. Джалурия – М.: Мир, 1983. – 200 с.

4. Леви. Оптимальное расстояние между пластинами при теплоотдаче путем естественной конвекции от параллельных вертикальных пластин при ламинарном режиме / Леви // Теплопередача. – 1971. – №4. – С.141–148.

5. Семенюк В.А. Оптимальное расстояние между ребрами пластинчатых радиаторов, охлаждаемых путем естественной конвекции / В.А. Семенюк // Вопр. радиоэлектроники. Сер.ТРГО. – 1973. – Вып.3. – С.44–51.

6. Старнер. Опытное исследование естественной конвекции на поверхности с прямоугольными ребрами / Старнер, Макманус // Теплопередача. – 1963. – №3. – С.103–109.

7. Трепутнев В.В. Экспериментальное исследование теплоотдачи вертикальных поверхностей с непрерывным оребрением при естественной конвекции / В.В. Трепутнев, В.Г. Горобец // Промышленная теплотехника. – 1998. – №6. – С. 19–24.

8. Chaddock J.B. Free convection heat transfer from vertical rectangular fin arrays / J.B. Chaddock // ASHRAS Journal. – 1970. – V.7. – N8. – P.53–60.

Разработана методика расчета оптимальных межреберных расстояний для вертикальных поверхностей с непрерывным и дискретным оребрением. Проведен численный расчет оптимальных параметров для стального оребрения. Проведено сравнение полученных результатов с известными данными для изотермических оребренных поверхностей и определены погрешности, которые допускаются в упрощенных методиках расчета.

Вертикальная поверхность, непрерывное и дискретное оребрение, изотермическая поверхность, расчет, оптимальное межреберное расстояние.

Methodology of calculation of optimal interfins distances is worked out for vertical surfaces with continuous and discrete fins. The numeral calculation of optimal parameters is conducted for steel fins. Comparing of the got results is conducted to well-known data for isothermal finned surfaces are conducted. The errors which were admitted in simplified methodologies of calculation are determined.

Vertical surface, continuous and discrete fins, isothermal surface, calculation, optimal interfins distance.