

УДК 535.244:629.7

Методика розрахунку одно- та двоярусних мікрощілинних теплообмінників

Е.С. Малкін¹, Ю.Є. Ніколаєнко², І.Е. Фуртат³, А.В. Тимощенко⁴,
М.І. Дьячков⁵

¹д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва та архітектури, saodhar@gmail.com

²д.т.н., ст.н.співр., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

³к.т.н., доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», i.e.furtat@gmail.com

⁴к.т.н., Інститут технічної теплофізики НАНУ

⁵інженер, Київський національний університет будівництва та архітектури

Наведено методику розрахунку потужності мідного і алюмінієвого теплообмінника з мікроканалами різних розмірів. Розрахунок базується на визначенні ефективності обрешітки.

Ключові слова: питома потужність тепловиділення, гребінчасті мікроканали, одноярусний теплообмінник, двоярусний теплообмінник.

Вступ. У зв'язку зі значним розвитком електронного, електричного та інших типів тепловиділяючого обладнання, який характеризується значним зменшенням питомих габаритних розмірів цього обладнання і, як слідство, значним зростанням питомої потужності тепловиділення певних ділянок його поверхні. Це викликає необхідність створення нових високоінтенсивних теплообмінників для відведення значних питомих тепловиділень з поверхні і підтримання на ній безпечної температури (до 65°C). Авторами були розроблені такі теплообмінники з гребінчастими мікроканалами [1–3], які дозволяють забезпечити при охолодженні водою відведення 2100÷2200 кВт/м² поверхні при $(\bar{t}_{\text{пов}} - \bar{t}_6) = 30^\circ\text{C}$.

Стаття присвячена подальшому підвищенню ефективності теплообмінників з гребінчастими мікроканалами шляхом розробки конструкції з двоярусним розташуванням мікроканалів та методики їх розрахунку, на базі якої проведено порівняльний розрахунок одно- (рис. 1а) та двоярусного (рис. 1б) теплообмінників. Наведено результати розрахунків мідних та алюмінієвих теплообмінників.

Методика розрахунку одноярусного мідного теплообмінника.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку одноярусного теплообмінника

матеріал	Мідь (М2)	Алюміній(А5)
Товщина ребра δ_p , м		0,001
Довжина ребра l_p , м		0,031
Висота ребра h_p , м		0,0075
Ширина каналу δ_k , м		0,0002

Товщина основи $\delta_{осн}$, м	0,003	
Закінчення таблиці 1		
Товщина горизонтального перекриття $\delta_{пер}$, м	0,005	
Товщина вертикального огородження δ_o , м	0,005	
Висота вертикального огородження h_o , м	0,0075	
Коефіцієнт тепловіддачі від стінок до теплоносія α , Вт/м²К	12000	
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу ребра λ_p , Вт/мК	400	200

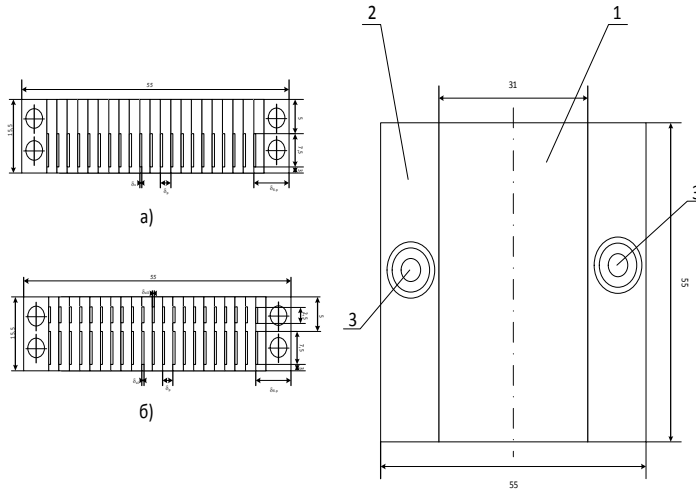


Рис. 1. Схема теплообмінників з гребінчастими мікроканалами:

а – одноярусний теплообмінник з постійною шириною каналів, б – двоярусний теплообмінник.

1 – корпус (радіатор), 2 – камера розподілу теплоносія, 3 – патрубок вводу теплоносія

1. Розраховуємо ефективність ребер.

Попередньо визначається параметр ребра m_p :

$$m_p = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_\delta}{\lambda_\delta \cdot \delta_\delta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12000}{400 \cdot 0,001}} = \sqrt{60000} \approx 244,9 \text{ м}^{-1} \quad (1)$$

Значення коефіцієнта ефективності ребра ε_p :

$$\varepsilon_p = \frac{\text{th}(m_p \cdot h_p)}{m_p \cdot h_p} = \frac{\text{th}(1,837)}{244,9 \cdot 0,0075} = \frac{0,95}{1,837} \approx 0,518 \quad (2)$$

2. Ефективність бокових огорожуючих ребер.

Параметр m_o вертикального огородження:

$$m_p = \sqrt{\frac{\alpha_o}{\lambda_o \cdot \delta_o}} = \sqrt{\frac{12000}{400 \cdot 0,005}} = \sqrt{6000} \approx 77,46 \text{ м}^{-1} \quad (3)$$

Ефективність ε_o вертикального огородження:

$$\varepsilon_p = \frac{\text{th}(m_o \cdot h_o)}{m_o \cdot h_o} = \frac{\text{th}(77,46 \cdot 0,0125)}{77,46 \cdot 0,0125} = \frac{0,748}{0,968} \approx 0,773 \quad (4)$$

3. Ефективність $\varepsilon_{пер}$ горизонтального перекриття.

Параметр $m_{\text{пер}}$:

$$m_{\text{пер}} = \sqrt{\frac{\alpha_{\text{пер}}}{\lambda_{\text{пер}} \cdot \delta_{\text{пер}}}} = \sqrt{\frac{12000}{400 \cdot 0,005}} \approx 77,46 \text{ м}^{-1} \quad (5)$$

Середня висота ребра горизонтального перекриття:

$$h_{\text{пер}} = (55-10)/2 = 22,5 \text{ мм} \quad (6)$$

Загальна ефективність перекриття теплообмінника:

$$\varepsilon'_{\text{пер}} = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_{\text{пер}} = 0,773 \cdot \frac{\text{th}(m_{\text{пер}} \cdot h_{\text{пер}})}{m_{\text{пер}} \cdot h_{\text{пер}}} = 0,773 \cdot \frac{\text{th}(77,46 \cdot 0,0225)}{77,46 \cdot 0,0225} = 0,773 \cdot \frac{0,94}{1,742} \approx 0,417 \quad (7)$$

4. Поверхня теплообміну в теплообміннику:

$$F = 2 \cdot n \cdot f_p = 2 \cdot 37 \cdot 0,0075 \cdot 0,031 = 0,0172 \text{ м}^2,$$

де n – кількість ребер = 37

$f_p = h_p \cdot l_p$ – площа поверхні ребра

5. Потужність теплообмінника:

$\Delta \bar{t}$ – середньологарифмічна різниця температур між основою теплообмінника та охолоджуючою водою = 30°C

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \varepsilon'_{\text{пер}} \cdot \Delta \bar{t} = 12000 \cdot 0,0172 \cdot 0,518 \cdot 30 = 3207 \text{ Вт} = 3,207 \text{ кВт}.$$

Методика розрахунку двохярусного теплообмінника.

Таблиця 2

Вихідні дані для розрахунку двохярусного теплообмінника мідного та алюмінієвого

Товщина основи $\delta_{\text{осн}}$, м	0,003
Довжина бокової стінки $\delta_{\text{ст}}$, м	0,005
Товщина горизонтального перекриття між першим і другим ярусами $\delta_{\text{с.п.}}$, м	0,005
Товщина перекриття над другим ярусом $\delta_{\text{пр}}$, м	0,003
Висота вертикального огородження h_o , м	0,1
Коефіцієнт теплопровідності матеріалу ребра λ_m , Вт/мК	400
перший ярус	
Товщина ребра $\delta_{\text{рI}}$, м	0,001
Довжина ребра $l_{\text{рI}}$, м	0,031
Висота ребра $h_{\text{рI}}$, м	0,005
Ширина каналу $\delta_{\text{кI}}$, м	0,0002
Коефіцієнт тепловіддачі від стінок до теплоносія $\alpha_{\text{рI}}$, Вт/м ² К	12000
другий ярус	
Товщина ребра $\delta_{\text{рII}}$, м	0,0011
Довжина ребра $l_{\text{рII}}$, м	0,031
Висота ребра $h_{\text{рII}}$, м	0,0025
Ширина каналу $\delta_{\text{кII}}$, м	0,0001
Коефіцієнт тепловіддачі від стінок до теплоносія $\alpha_{\text{рII}}$, Вт/м ² К	24000

1. Параметр ребра I ярусу:

$$m_{\text{рI}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{\text{рI}}}{\lambda_m \cdot \delta_{\text{рI}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12000}{400 \cdot 0,001}} = \sqrt{60000} \approx 244,9 \text{ м}^{-1} \quad (8)$$

2.Параметр вертикального огородження I ярусу:

$$m_{oI} = \sqrt{\frac{\alpha_{pI}}{\lambda_m \cdot \delta_{ст}}} = \sqrt{\frac{12000}{400 \cdot 0,005}} = \sqrt{6000} \approx 77,46 \text{ м}^{-1} \quad (9)$$

3. Параметр горизонтального перекриття між I та II ярусом:

$$m_{с.п.} = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{\alpha_{pI} + \alpha_{pII}}{2}}{\lambda_m \cdot \delta_{с.п.}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \frac{12000 + 24000}{2}}{400 \cdot 0,005}} = \sqrt{\frac{36000}{2}} \approx 134,16 \text{ м}^{-1} \quad (10)$$

4. Параметр ребра II ярусу:

$$m_{pII} = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{pII}}{\lambda_p \cdot \delta_{pII}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 24000}{400 \cdot 0,0011}} \approx 330,3 \text{ м}^{-1} \quad (11)$$

5. Параметр вертикального огородження II ярусу:

$$m_{oII} = \sqrt{\frac{\alpha_{pII}}{\lambda_m \cdot \delta_{ст}}} = \sqrt{\frac{12000}{400 \cdot 0,005}} = \sqrt{6000} \approx 77,46 \text{ м}^{-1} \quad (12)$$

6. Параметр перекриття II ярусу:

$$m_{oI} = \sqrt{\frac{\alpha_{pII}}{\lambda_m \cdot \delta_{пр}}} = \sqrt{\frac{24000}{400 \cdot 0,003}} = \sqrt{20000} \approx 141,1 \text{ м}^{-1} \quad (13)$$

7. Висота вертикального огородження I ярусу:

$$h_{oI} = 0,005 + 0,0015 = 0,0065 \text{ м} \quad (14)$$

8. Висота ребра I ярусу

$$h_{pI} = 0,005 \text{ м} \quad (15)$$

9. Висота ребра перекриття між I та II ярусами:

$$h_{с.п.} = \frac{l_p}{4} = 0,0125 \text{ м} \quad (16)$$

10. Висота вертикального огородження II ярусу:

$$h_{oII} = 0,0025 + 0,0025 + 0,03 = 0,008 \text{ м} \quad (17)$$

11. Висота ребра II ярусу:

$$h_{pII} = 0,0025 \text{ м} \quad (18)$$

12. Висота ребра перекриття над II ярусом:

$$h_{nII} = \frac{l_p}{4} = 0,0125 \text{ м} \quad (19)$$

13. Ефективність ребра I ярусу:

$$\varepsilon_{pI} = \frac{\text{th} \left(h_{pI} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{pI}}{\lambda_m \cdot \delta_{pI}}} \right)}{h_{pI} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_{pI}}{\lambda_m \cdot \delta_{pI}}}} = \frac{\text{th}(0,005 \cdot 244,9)}{0,005 \cdot 244,9} = \frac{0,841}{1,2245} \approx 0,687 \quad (20)$$

14. Ефективність вертикального огородження I ярусу:

$$\varepsilon_{ol} = \frac{\operatorname{th}\left(h_{ol} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_{pl}}{\lambda_m \cdot \delta_{ct}}}\right)}{h_{ol} \cdot \sqrt{\frac{\alpha_{pl}}{\lambda_m \cdot \delta_{ct}}}} = \frac{\operatorname{th}(0,0065 \cdot 77,46)}{0,0065 \cdot 77,46} = \frac{0,464}{0,503} \approx 0,922 \quad (21)$$

15. Ефективність горизонтального перекриття між I та II ярусами:

$$\varepsilon_{c.п.} = \frac{\operatorname{th}(h_{c.п.} \cdot m_{c.п.})}{h_{c.п.} \cdot m_{c.п.}} \cdot \varepsilon_{ol} = \frac{0,9325}{1,677} \cdot 0,923 = 0,513 \quad (22)$$

16. Ефективність вертикального огородження II ярусу:

$$\varepsilon_{oII} = \frac{\operatorname{th}(h_{oII} \cdot m_{oII})}{h_{oII} \cdot m_{oII}} \cdot \varepsilon_{ol} = 0,804 \cdot 0,923 = 0,742 \quad (23)$$

17. Ефективність ребра II ярусу:

$$\varepsilon_{oII} = \frac{\operatorname{th}(h_{pII} \cdot m_{pII})}{h_{pII} \cdot m_{pII}} \cdot \varepsilon_{c.п.I} = \frac{0,678}{0,825} \cdot 0,513 = 0,422 \quad (24)$$

18. Поверхня теплообміну в I ярусі теплообмінника:

$$F_I = 2 \cdot n_I \cdot f_{pI} = 2 \cdot 37 \cdot 0,005 \cdot 0,031 = 0,01147 \text{ м}^2 \quad (25)$$

19. Теплова потужність I ярусу при $\Delta \bar{t} = 30^\circ \text{C}$:

$$Q_I = \alpha_{pI} \cdot F_I \cdot \varepsilon_{pI} \cdot \Delta \bar{t} = 12000 \cdot 0,01147 \cdot 30 \cdot 0,687 = 2840 \text{ Вт} = 2,84 \text{ кВт} \quad (26)$$

20. Поверхня теплообміну в II ярусі теплообмінника:

$$F_{II} = 2 \cdot n_{II} \cdot f_{pII} = 2 \cdot 37 \cdot 0,0025 \cdot 0,031 = 0,00574 \text{ м}^2 \quad (27)$$

$$n_{II} - \text{кількість ребер в II ярусі} = \frac{45}{1,1 + 0,1} = 37 \text{ шт.}$$

21. Теплова потужність II ярусу при $\Delta \bar{t} = 30^\circ \text{C}$:

$$Q_{II} = \alpha_{pII} \cdot F_{II} \cdot \varepsilon_{pII} \cdot \Delta \bar{t} = 24000 \cdot 0,00574 \cdot 30 \cdot 0,422 = 1774 \text{ Вт} = 1,774 \text{ кВт} \quad (28)$$

22. Сумарна теплова потужність двоюрисного теплообмінника:

$$Q = Q_I + Q_{II} = 2,84 + 1,774 = 4,614 \text{ кВт} \quad (29)$$

За аналогічними методиками проведено розрахунки одно- та двоюрисних теплообмінників з алюмінію. Результати розрахунків зведено в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку теплообмінників		
Матеріал	мідь	алюміній
Температурний напір, °C	Теплова потужність Q, Вт	
Одноярусний теплообмінник		
$\Delta t_1 = 10$	1069	844,5
$\Delta t_2 = 20$	2138	1689
$\Delta t_3 = 30$	3207	2533
Двохярусний теплообмінник		
$\Delta t_1 = 10$	1538	1215
$\Delta t_2 = 20$	3016	2430
$\Delta t_3 = 30$	4614	3645

Висновки. Більш ефективним є теплообмінник, виконаний з міді, що пояснюється більшим коефіцієнтом теплопровідності міді ($400 \text{ Вт/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$) порівняно з алюмінієм ($200 \text{ Вт/м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$), а це приводить до збільшення коефіцієнта оребрення на 21%.

Потужність двоярусних теплообмінників із зменшеною шириною каналів у II ярусі на 44% більша, ніж одноярусних.

Література

1. Малкін Е.С., Тимошенко А.В. Експериментальне вивчення теплообміну в вертикальних кільцевих мікроканалах з однобічним обігрівом та вимушеним рухом рідини // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2006. – Вип. 9. – С. 11-23.

2. Тимошенко А.В. Гідродинаміка та теплообмін потоку рідини в щільних мікроканалах / Автореферат дисертації на здобуття ступеня к.т.н. – 2007. – 20 с.

3. Малкін Е.С., Фуртат І.Е., Дьячков М.І. Теплотехнічні характеристики високоефективних теплообмінників з гребінчастими мікроканалами // Нова тема №1/2010(24). – С. 23-25.

Методика расчёта одно- и двухярусных микрощелевых теплообменников

Э.С. Малкин, Ю.Е. Николаенко, И.Э. Фуртат, А.В. Тимошенко, М.И. Дьячков

Приведена методика расчёта мощности медного и алюминиевого теплообменника с микроканалами разных размеров. Расчёт основывается на определении эффективности оребрения.

Ключові слова: удельная мощность тепловыделения, гребенчатые микроканалы, одноярусный теплообменник, двухярусный теплообменник.

Methods of calculating the one and two tier micro-slotted heat exchangers

E. Malkin, Y. Nikolaienko, I. Furtat, A. Timoshchenko, M. Diachkov

Power was calculated for copper and aluminum heat exchanger with microchannels of different dimensions on all height of heat exchanger. The calculation is based on the calculation of the fins.

Keywords: specific heat capacity; comb microchannels storey exchanger; single tier heat exchanger.

Надійшла до редакції 17.06.2014 р.