

Технічні науки

УДК 62-69

**Шафаренко Микола Васильович**

*асистент кафедри біотехніки та інженерії*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Шафаренко Николай Васильевич**

*ассистент кафедры биотехники и инженерии*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Shafarenko Nikolai**

*Assistant Department of Bioengineering and Biotechnics*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

**Воробйова Ольга Володимирівна**

*аспірант кафедри біотехніки та інженерії*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Воробьева Ольга Владимировна**

*аспирант кафедры биотехники и инженерии*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Vorobyova Olga**

*PhD Student of Department of Bioengineering and Biotechnics*

*National Technical University of Ukraine*

*«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПОВІТРЯНИХ КАЛОРИФЕРІВ ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВОЗДУШНЫХ КАЛОРИФЕРОВ FEATURE OF CALCULATION THE AIR CALORIFER

**Анотація.** Розглянуто методику розрахунку калорифера для нагрівання повітря із застосуванням оребрених теплообмінних труб.

**Ключові слова:** повітряний калорифер, теплообмінні труби, теплоносій.

**Аннотация.** Рассмотрена методика расчета калорифера для нагрева воздуха с применением оребренных теплообменных труб.

**Ключевые слова:** воздушный калорифер, теплообменные трубы, теплоноситель.

**Summary.** The method of calculating the air heater for heating air using finned heat exchange tubes is considered.

**Key words:** air calorimeter, heat exchange tubes, coolant.

Умовні позначення:

|                                                |                                                  |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| $G$ - масова витрата;                          | $\mu$ – коефіцієнт динамічної в'язкості;         |
| $V$ - об'ємна витрата;                         | $\sigma$ – коефіцієнт поверхневого натягу;       |
| $\varphi$ - коефіцієнт теплових витрат;        | $d$ – діаметр теплообмінної трубки;              |
| $t$ – температура;                             | $D$ – внутрішній діаметр корпусу теплообмінника; |
| $c$ – питома теплоємність;                     | $l$ – довжина теплообмінної трубки;              |
| $r$ – питома тепла пароутворення;              | $h$ – висота;                                    |
| $\rho$ – густина;                              | $\delta$ – товщина;                              |
| $\lambda$ – коефіцієнт теплопровідності;       | $t_p$ – крок між ребрами;                        |
| $\vartheta$ - коефіцієнт кінетичної в'язкості; | $t_{кр}$ – крок між трубами у решітці.           |

Індекси:

|                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| $I$ – насичена водяна пара; | $z$ – зовнішній;  |
| $2$ – повітря;              | $v$ – внутрішній; |
| $/$ - початкова;            | $ст$ – стінка;    |
| $//$ - кінцева;             | $пл$ – плівка.    |
| $p$ – ребро;                |                   |

Повітряні калорифери використовуються для нагрівання повітря насиченою водяною парою. Нагрівальними елементами являються оребрені теплообмінні труби. Гарячий теплоносіє (насичена водяна пара) поступає в труби (трубний простір), а холодний теплоносіє (повітря) подається в міжтрубний простір, утворений зовнішньою поверхнею оребрених теплообмінних труб.

Розглянемо методику теплового розрахунку такого калорифера.

1) Розрахунок теплового балансу і температурного режиму.

Теплове навантаження калорифера:

$$Q = G_2 C_2 (t_2'' - t_2').$$

Масова витрата гарячого теплоносія (насиченої водяної пари):

$$G_1 = \frac{Q}{r_1}.$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - t_2') - (t_1 - t_2'')}{\ln \frac{t_1 - t_2'}{t_1 - t_2''}} = \frac{t_2'' - t_2'}{\ln \frac{t_1 - t_2'}{t_1 - t_2''}}.$$

Середня температура холодного теплоносія (повітря):

$$t_2 = t_1 - \Delta t_{cp}.$$

2) Конструктивний розрахунок.

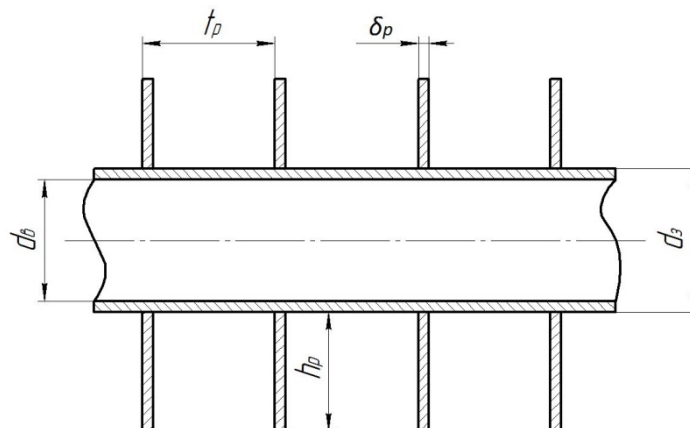


Рис. 1. Розріз теплообмінної трубки

Орієнтовна поверхня теплообміну:

$$F_{op} = \frac{Q}{K_{op} \cdot \Delta t_{cp}},$$

де  $K_{op} = 10 \div 60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – орієнтовне значення коефіцієнта теплопередачі.

Повна поверхня теплообмінної труби:

$$f_{op} = f_p + f_{mp},$$

де  $f_p$  – поверхня ребер  $f_p = 2 \cdot 0,785 \left[ (d_3 + 2h_p)^2 - d_6^2 \right] z_p$ ;

$f_{mp}$  – поверхня ділянок між ребрами

$$f_{mp} = \pi d_3 l - f_0;$$

$f_0$  – поверхня, на якій розміщені ребра

$$f_0 = \pi d_3 \delta_p z_p;$$

$z_p$  – кількість ребер

$$z_p = \frac{l}{t_p + \delta_p} - 1.$$

Орієнтовна кількість теплообмінних труб:

$$n_{op} = \frac{F_{op}}{f_{op}}.$$

Внутрішня поверхня теплообмінної труби:

$$f_6 = \pi d_6 l.$$

Площа звуженого перерізу калорифера:

$$f_3 = \left[ 1 - \frac{d_3}{t_{kp}} \left( 1 + 2 \frac{h_p}{t_p} \cdot \frac{\delta_p}{d_3} \right) \right] f,$$

де  $f$  – площа вільного перерізу калорифера  $f = 0,785 D^2$

3) Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при конденсації гарячого теплоносія.

Питомий тепловий потік:

$$q = \frac{Q}{f_6 n_{op}}$$

Температура внутрішньої поверхні стінки:

$$t_{cm_1} = t_1 - q \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}},$$

де  $\delta_{cm}$  – товщина стінки теплообмінної труби

$$\delta_{cm} = 0,5(d_3 - d_6).$$

Температура плівки конденсату:

$$t_{nl} = 0,5(t_1 + t_{cm_1}).$$

Критерій Рейнольдса:

$$Re_{nl} = \frac{q d_6}{r_1 \rho_{nl} g_{nl}}$$

Критерій поверхневого натягу:

$$Pi_\sigma = \frac{g \rho_{nl} d_6^2}{\sigma_{nl}}$$

Критерій Нусельта:

$$Nu_1 = 1,26 Re_{nl}^{0,5} Pi_\sigma^{0,3} \left( \frac{\rho_{nl}}{\rho_1} \right)^{0,3} \left( \frac{l}{d_6} \right)^{0,35}$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_{nl}}{d_6}$$

4) Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі при нагріванні холодного теплоносія.

Швидкість повітря у звуженому перерізі:

$$W_2 = \frac{V_2}{f_3}$$

Критерій Рейнольдса:

$$\text{Re}_2 = \frac{W_2 t_p \rho_2}{\mu_2}$$

Критерій Нусельта:

$$\text{Nu}_2 = 0,23 C_t C_s \left( \frac{d_3}{t_{kp}} \right)^{-0,54} \left( \frac{h_p}{t_{kp}} \right)^{0,14} \text{Re}_2 \psi,$$

де  $C_t, C_s$  – коефіцієнти, які враховують відповідно вплив числа поперечних рядів труб та розміщення труб в пучку;

$\psi$  – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення тепла по висоті ребра (цією величиною задаються з послідуною перевіркою).

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{\text{Nu}_2 \lambda_2}{t_p}$$

Перевірки значення коефіцієнта  $\psi$ :

$$\psi = 1 - 0,058 h_p \sqrt{\frac{2\alpha_2}{\lambda_{cm} \delta_p}}$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$mh_p = h_p \sqrt{\frac{2\alpha_2}{\lambda_{cm} \delta_p}}$$

Ефективність ребра знаходиться по графіку:

$$E = f \left( mh_p; \frac{d_3 + 2h_p}{d_3} \right)$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{2np} = \alpha_2 \left( \frac{f_p}{f_{op}} E + \frac{f_{mp}}{f_{op}} \right) = \alpha_2 \frac{f_p E + f_{mp}}{f_{op}}$$

5) Розрахунок поверхні теплообміну.

Коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{2np}} + \frac{f_{op}}{f_6} \left( \frac{1}{\sum r} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} \right) + \frac{\beta_p}{\alpha_1}},$$

де  $\sum r$  – теплова провідність забруднення з боку гарячого теплоносія;

$\beta_p$  – коефіцієнт оребрення.

$$\beta_p = \frac{f_p}{f_{mp}}$$

Розрахункова поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q}{K \Delta t_{cp}}$$

Повинна виконуватись умова:

$$F_{op} \geq F$$

Якщо умова не виконується, то треба вибрати інше значення  $K_{op}$  та зробити перерахунок.

### Література

1. Данилова Г.Н., Богданов С.Н., Иванов О.П. Теплообменные аппараты холодильных установок, Л. Машиностроение. 1973 г. 328 с.
2. Андреев В.А. Теплообменные аппараты для вязких жидкостей, Л. Энергия. 1971 г. 152 с.