

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технічної теплофізики

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

здобувача за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»  
освітньо-професійної програми «Холодильні машини і уста-  
новки»  
на тему «Конденсатор з повітряним охолоджен-  
ням»

### **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

М. Г. Прокопов

Здобувач

М.С. Бабенко

Група

ХК-71/2 Х

Суми 2021

## Зміст

Вступ.....	3
Початкові дані .....	4
1. Тепловий розрахунок .....	5
1.1. Зона зняття перегріву пара .....	12
1.2. Зона конденсації парів аміаку.....	12
1.3. Зона охолодження рідкого аміаку .....	14
2. Конструктивний розрахунок.....	17
2.1. Зона зняття перегріву пара .....	17
2.2. Зона конденсації парів аміаку.....	18
2.3. Зона охолодження рідкого аміаку .....	19
3. Аеродинамічний розрахунок конденсатора .....	12
3.1. Зона зняття перегріву пара .....	21
3.2 Зона охолодження рідкого аміаку .....	22
Висновок .....	24
Охорона праці та безпека .....	25
Список літератури .....	27
Додаток А.....	28

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

## Вступ

Повітряний конденсатор холодильної машини призначений для відводу теплоти в навколишнє середовище. Головним фактором, що впливає на режим роботи конденсатора і установки в цілому є температура навколишнього середовища, величина якої визначає насамперед значення температури конденсації.

Температура конденсації залежить також від теплопередатної здатності конденсатора, яка в свою чергу, обумовлена конструкцією апарату. У повітряних конденсаторах на ефективність теплопередачі впливає насамперед тепловіддача з боку повітря, що представляє найбільший термічний опір.

Застосування повітряного охолодження конденсаторів, дозволило значно скоротити застосування прямочного та зворотнього водопостачання, а використання водопровідних мереж стало винятком.

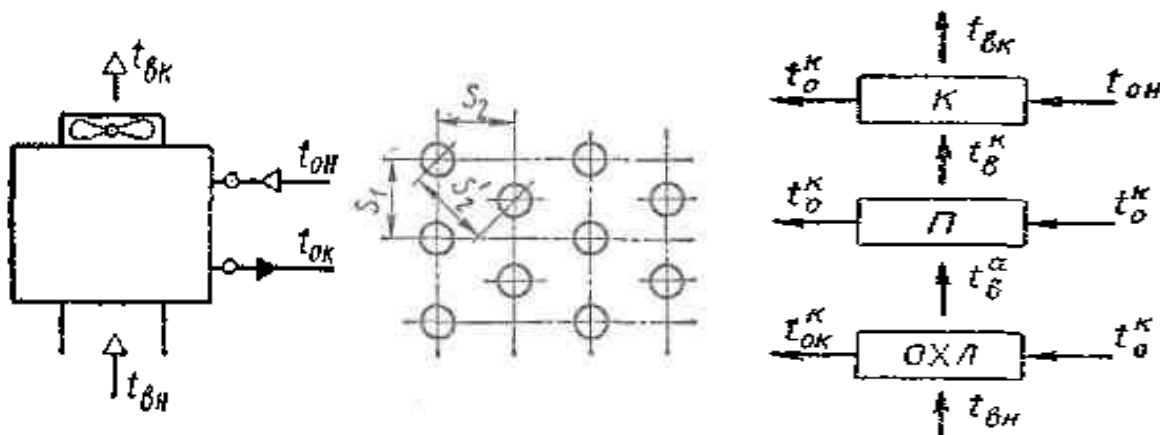
В даний час до холодильних установок пред'являють все більш жорсткі санітарно-технічні вимоги з метою запобігання забруднення водою, скорочення витрат прісної води і ін. В зв'язку з цим використання повітряного охолодження конденсаторів холодильних машин стає все більш актуальним завданням. Цьому сприяє також широкий експорт холодильних машин в країни з обмеженими водними ресурсами.

Незважаючи на те що системи з повітряним охолодженням конденсаторів в порівнянні з водяним мають більш низьку початкову вартість, менші експлуатаційні витрати і більш прості в обслуговуванні, їх експлуатація пов'язана з вирішенням ряду проблем. Основними недоліками повітряних конденсаторів є шум при роботі вентиляторів, більш висока температура конденсації і відповідно підвищене енергоспоживання в жаркий літній час, а також необхідність застосування спеціальних пристроїв (отже, ускладнення схеми машини і її велика вартість) для регулювання тиску конденсації в хоодний період року при низькій навколишній температурі. Однак переваги повітряного охолодження конденсаторів набагато істотніше.

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

### **Початкові дані**

конденсатор з литим ребрами виконується зі сталевих труб зовнішнім діаметром  $d_{\delta\delta} = 25 \text{ мм}$  і товщиною стінки  $\delta_{\delta\delta} = 2,5 \text{ мм}$ . Зовнішній діаметр силумінової відлітою труби  $d_0 = 28 \text{ мм}$ . Геометричні характеристики оребрення: висота ребра  $h_{\delta} = 26 \text{ мм}$ , Крок ребер  $s_{\delta} = 4 \text{ мм}$ , Товщина ребра в підставі  $\delta_{\delta}^0 = 2 \text{ мм}$ , Вершини -  $\delta_{\delta}^a = 0,5 \text{ мм}$ , Ребро кругле, трапецієподібного перетину. Розташування труб в пучку - шахове, поперечний крок труб  $s_1 = 90 \text{ мм}$ , поздовжній крок труб  $s_2 = 70 \text{ мм}$ . Робочий хладагент- аміак. теплове навантаження на конденсатор  $Q = 50 \text{ кВт}$ .



Мал. 1. Схема руху теплоносія в конденсаторі; П., К, ОХЛ - зони відповідно зняття перегріву, конденсації, охолодження.

## 1. Тепловий розрахунок

Розрахункова температура зовнішнього повітря обчислюється за формулою

$$t_{\hat{a}i} = t_{\tilde{n}\delta} + 0,125t_{\max} = 20,0 + 0,125 \cdot 29 = 23,6^{\circ}\text{C}$$

де  $t_{\tilde{n}\delta}$  - середньомісячна температура найспекотнішого місяця,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\max}$  - максимальна температура повітря в даній місцевості,  $^{\circ}\text{C}$ . Підігрів повітря в конденсаторі приймають рівним  $3-8^{\circ}\text{C}$ , Т. Е.

$$t_{\hat{a}e} = t_{\hat{a}i} + (3...8); t_{\hat{a}e} = 30^{\circ}\text{C}$$

Середня температура повітря в апараті і теплофізичні властивості при

$$t_{\hat{a}} = 0,5(t_{\hat{a}i} + t_{\hat{a}e}) = 0,5(23,6 + 30) = 26,8^{\circ}\text{C} \quad \rho = 1,178 \frac{\hat{e}\tilde{a}}{i^3}; \quad \nu = 15,7 \cdot 10^{-6} \frac{i^2}{\tilde{n}};$$

$$c_p = 1 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{(\hat{e}\tilde{a} \cdot \hat{E})}, \quad \lambda = 2,28 \cdot 10^{-2} \frac{\hat{A}\delta}{(i \cdot \hat{E})}, \quad \text{Pr} = 0,702.$$

температура конденсації  $t_0^{\hat{e}} = t_{\hat{a}e} + (3...8); t_0^{\hat{e}} = 30 + 5 = 35^{\circ}\text{C}$ .

Прийmemo наступну схему розподілу температур між теплоносіями в умовно прийнятих зонах конденсатора:

а) зняття перегріву пари (охолодження до температури насичення)

$$t_{i\hat{i}} = 110^{\circ}\text{C} \quad (i_{i\hat{i}} = 1920 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\hat{e}\tilde{a}})$$

б) конденсація парів холодоагенту  $t_0^{\hat{e}} = 35^{\circ}\text{C}$

$$(i_0^{\hat{e}i} = 1705 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\hat{e}\tilde{a}}; i_0^{\hat{e}e} = 587 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\hat{e}\tilde{a}});$$

в) охолодження рідкого холодоагенту  $t_{i\hat{e}} = t_0^{\hat{e}} - 5; t_{i\hat{e}} = 35 - 5 = 30^{\circ}\text{C};$

$$(i_{i\hat{e}} = 570 \frac{\hat{e}\ddot{A}\alpha}{\hat{e}\tilde{a}}).$$

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5



$$\Delta t_{\hat{t}\hat{i}\hat{a}} = \frac{(t_0^{\hat{e}} - t_{\hat{a}}^0) - (t_0^{\hat{e}} - t_{\hat{a}}^{\hat{e}})}{\ln \frac{t_0^{\hat{e}} - t_{\hat{a}}^0}{t_0^{\hat{e}} - t_{\hat{a}}^{\hat{e}}}} = \frac{(35 - 23,7) - (35 - 29,0)}{\ln \frac{35 - 23,7}{35 - 29,0}} = 8,4^0 \text{C}.$$

г. Середній температурний напір при охолодженні рідкого холодоагенту

$$\Delta t_{\hat{t}\hat{o}\hat{e}} = \frac{(t_0^{\hat{e}} - t_{\hat{a}\hat{i}}) - (t_{\hat{i}\hat{e}} - t_{\hat{a}}^0)}{\ln \frac{t_0^{\hat{e}} - t_{\hat{a}\hat{i}}}{t_{\hat{i}\hat{e}} - t_{\hat{a}}^0}} = \frac{(35 - 23,6) - (30 - 23,7)}{\ln \frac{35 - 23,6}{30 - 23,7}} = 8,6^0 \text{C}.$$

Безрозмірні температурні параметри для апарату

$$P = \frac{t_{\hat{a}\hat{e}} - t_{\hat{a}\hat{i}}}{t_{\hat{i}\hat{i}} - t_{\hat{a}\hat{i}}} = \frac{30 - 23,6}{110 - 23,6} = 0,074;$$

$$R' = \frac{t_{\hat{i}\hat{i}} - t_{\hat{i}\hat{e}}}{t_{\hat{a}\hat{e}} - t_{\hat{a}\hat{i}}} = \frac{110 - 30}{30 - 23,6} = 12,5.$$

Функція ефективності апарату  $\Phi_{\hat{y}} = PR'$ ;  $\Phi_{\hat{y}} = 0,074 \cdot 12,5 = 0,925$ ,  $\varepsilon_t = 1$

Задаємося кількістю труб в одному фронтальному ряду  $N = 10$ , приймаємо розмір фронтального перетину  $AB = 1,9 \cdot 0,945 = 1,8 \text{ м}^2$ , визначаємо площу живого конденсатора

$$F_{\alpha \cdot \bar{n}} = A \left[ B - N \left( d_0 + \frac{2\delta_{\bar{n}\delta} h_{\delta}}{s_{\delta}} \right) \right];$$

$$F_{\alpha \cdot \bar{n}} = 1,9 \left[ 0,945 - 10 \left( 0,028 + \frac{2 \cdot 0,00125 \cdot 0,026}{0,004} \right) \right] = 0,9547 \text{ м}^2$$

Швидкість повітря в живому перетині апарату

$$\omega = \frac{V}{F_{\alpha \cdot \bar{n}}}; \quad \omega = \frac{6,63}{0,9547} = 6,94 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря визначаємо за формулою Юдіна

$$Nu = c c_s c_z \left( \frac{d_0}{s_p} \right)^{-0,54} \left( \frac{h_p}{s_p} \right)^{-0,14} Re^{m_1} \varphi$$

Для шахового пучка труб  $c = 0,23$  ;  $m_1 = 0,65$

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$c_s = \left( \frac{s_1 - d_0}{s_2' - d_0} \right)^{0,2}; \quad c_s = \left( \frac{0,09 - 0,028}{0,083 - 0,028} \right)^{0,2} = 1,023,$$

де  $s_2' = \sqrt{\left(\frac{s_1}{2}\right)^2 + s_2^2}; \quad s_2' = \sqrt{\left(\frac{0,09}{2}\right)^2 + 0,07^2} = 0,083.$

Величина  $C_z$  залежить від кількості рядів труб по глибині; при  $z = 8 \quad c_z = 0,99.$   
критерій Рейнольда

$$Re = \frac{\omega s_p}{\nu}; \quad Re = \frac{6,94 \cdot 0,004}{15,7 \cdot 10^{-6}} = 1768,2.$$

коефіцієнт  $\varphi = 1 - 0,058mh' = 0,96.$

критерій Нуссельта

$$Nu = 0,23 \cdot 1,023 \cdot 0,99 \left( \frac{0,028}{0,004} \right)^{-0,54} \left( \frac{0,026}{0,004} \right)^{-0,14} \cdot 1768,2^{0,65} \cdot 0,96 = 7,689.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря

$$\alpha_1 = \frac{Nu \lambda}{s_p} = \frac{7,689 \cdot 2,28 \cdot 10^{-2}}{0,004} = 43,8 \frac{\hat{A}\hat{\theta}}{\hat{i}^2 \cdot \hat{E}}.$$

Наведена висота круглого ребра

$$h' = h \left( 1 + 0,8051g \frac{D_p}{d_0} \right) = 0,026 \left( 1 + 0,8051g \frac{0,08}{0,028} \right) = 0,03554 \hat{i}.$$

Ефективність круглого ребра трапецієподібного перерізу

$$E_p' = \frac{th(mh')}{mh'} = \frac{th\left(\sqrt{\frac{2 \cdot 43,8}{174 \cdot 0,00125}} \cdot 0,03554\right)}{0,03554 \sqrt{\frac{2 \cdot 43,8}{174 \cdot 0,00125}}} = 0,855$$

де  $m = \sqrt{\frac{2\alpha_1}{\lambda_p \delta_p}};$   $\lambda_p$  - теплопровідність ребра;  $\delta_p = \frac{\delta_p^0 + \delta_p^{\hat{a}}}{2}$  - середня товщина ребра. **Г.**

										Лист
										8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Щоб врахувати нерівномірність товщини ребра по його висоті, в розрахунок

вводиться поправка  $\varepsilon_{\Delta}$  в залежності від ставлення  $\frac{\sqrt{\delta_{\delta}^{\hat{a}}}}{\sqrt{\delta_{\delta}^0}}$  при

$$\frac{\sqrt{\delta_{\delta}^{\hat{a}}}}{\sqrt{\delta_{\delta}^0}} = \frac{\sqrt{0,5}}{\sqrt{0,2}} = 0,5\varepsilon_{\Delta} = 1,05,$$

а коефіцієнт ефективності ребра з урахуванням

поправки  $E_{p_1} = E_p' \varepsilon_{\Delta} = 0,855 \cdot 1,05 = 0,9.$

Площі поверхні 1 м орбреної труби:

$$F_p = \frac{2}{s_p} 0,785(D_p^2 - d_0^2) = \frac{2}{0,004} \cdot 0,785(0,08^2 - 0,028^2) = 2,20 \frac{\hat{i}^2}{\hat{i}};$$

$$F_{i\delta} = \frac{\pi d_0(s_p - \delta_p^0)}{s_p} = \frac{3,14 \cdot 0,028(0,004 - 0,002)}{0,004} = 0,004 \frac{\hat{i}^2}{\hat{i}};$$

$$F_{\hat{a}\hat{i}} = \pi d_{\hat{a}\hat{i}} 1 = 3,14 \cdot 0,02 \cdot 1 = 0,0628 \frac{\hat{i}^2}{\hat{i}};$$

$$F_{\hat{i}\delta} = F_p + F_{i\delta} = 2,20 + 0,044 = 2,244 \frac{\hat{i}^2}{\hat{i}}.$$

Ефективність всієї орбреної поверхні при хорошому контакті ребер з трубою

$$E_{\hat{i}} = E_{p_1} + (1 - E_{p_1}) \frac{F_{i\delta}}{F_{\hat{i}\delta}} = 0,9 + (1 - 0,9) \frac{0,044}{2,244} = 0,902.$$

Наведений коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_{\hat{i}\delta} = \alpha_1 E_{\hat{i}} = 43,8 \cdot 0,902 = 39,5 \frac{\hat{A}\hat{\delta}}{\hat{i}^2 \cdot \hat{E}}.$$

										Лист
										9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Коефіцієнти тепловіддачі від холодоагенту в умовно прийнятих зонах зняття перегріву пари і охолодження рідкого холодоагенту розраховуються за формулами

$$Nu = 1,4 \left( \frac{d_{\hat{a}\hat{i}}}{l} \text{RePr}^{\frac{5}{6}} \right)^{\frac{2}{5}} \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_c} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{зона ОХЛ});$$

при  $\text{Re} > 10, \frac{l}{d_{\hat{a}\hat{i}}} > 10 \frac{d_{\hat{a}\hat{i}}}{l} \text{RePr}^{\frac{5}{6}} > 15;$

$l = A$  - довжина оребреної труби конденсатора;

$$Nu = \frac{\xi''}{8} \cdot \frac{\text{RePr} \varepsilon_t \varepsilon_e \varepsilon_R}{1 + \frac{900}{\text{Re}} + 12,7 \sqrt{\frac{\xi''}{8}} (\text{Pr}^{\frac{2}{8}} - 1)} \quad (\text{зона П, рис. 1});$$

за умови, що  $4 \cdot 10^3 < \text{Re} < 5 \cdot 10^6, 0,5 < \text{Pr} < 5 \cdot 10^5$  визначальна

температура  $t_m = 0,5(t_{\hat{a}\hat{o}} - t_{\hat{a}\hat{i}\hat{o}})$ , де  $t_{\hat{a}\hat{o}}$  і  $t_{\hat{a}\hat{i}\hat{o}}$  - се температура

теплоносія на вході і виході труби:

$$t_{m_1} = 0,5(t_{\hat{i}\hat{i}} + t_0^{\hat{e}}) = 0,5(110 + 35) = 72,5^{\circ} \text{Ñ};$$

$$t_{m_2} = 0,5(t_0^{\hat{e}} + t_{\hat{i}\hat{e}}) = 0,5(35 + 30) = 32,5^{\circ} \text{Ñ}.$$

Масова витрата аміаку

$$G_a = \frac{Q_{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\hat{a}}}{r} = \frac{41400}{1123,8 \cdot 10^3} = 3,7 \cdot 10^{-2} \frac{\hat{e}\hat{a}}{\hat{n}}.$$

Швидкість руху пари в зоні зняття перегріву

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\omega_1 = \frac{G_a}{\rho'' F} = \frac{3,7 \cdot 10^{-2}}{20 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3}} = 0,59 \frac{\dot{\lambda}}{\tilde{n}}$$

Швидкість руху рідини в зоні охолодження рідини

$$\omega_2 = \frac{G_a}{\rho' F} = \frac{3,7 \cdot 10^{-2}}{591,4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^{-2} \frac{\dot{\lambda}}{\tilde{n}}$$

де  $F$  - площа перерізу,

$$F = \pi \frac{d_{\hat{a}i}^2}{4} N = 3,14 \frac{0,020^2}{4} 10 = 3,14 \cdot 10^{-3} \dot{\lambda}^2.$$

критерій Рейнольдса  $Re = \frac{\omega d_{\hat{y}}}{\nu}$ ; критерій Прандтля  $Pr = \frac{\mu c_p'}{\lambda}$ , де  $\lambda, \mu, c_p'$  - коефіцієнти теплопровідності, динамічна в'язкість і питома ізобарна теплоємність теплоносія;  $f, \dot{I}$  - площа прохідного перетину і периметр труби,

де  $f = \frac{F}{N}$ .

$$\dot{I} = \pi d_{\hat{a}i} = \pi 0,02 = 0,0628 \dot{\lambda}$$

еквівалентний діаметр

$$d_{\hat{y}} = \frac{4f}{\dot{I}}; d_{\hat{y}} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{0,0628} 0,02 \dot{\lambda}.$$

Теплофізичні характеристики пари визначаємо при  $t_{ae} = 72,5^0 \tilde{N}$ :  $\rho'' = 20 \frac{\hat{e}\tilde{a}}{\dot{\lambda}^3}$ ,

$$\nu = 0,5 \cdot 10^{-6} \frac{\dot{\lambda}^2}{\tilde{n}}, \quad \lambda = 2,94 \cdot 10^{-2} \frac{\hat{A}\hat{o}}{\dot{\lambda}^2 \cdot \hat{E}}, \quad Pr = 2,2, \quad Pr \approx Pr_c;$$

при  $t_{ae} = 32,5^0 \tilde{N}$  визначаємо теплофізичні характеристики рідкого аміаку;

										Лист
										11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						





$\frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,0005}{0,12} \left( \frac{\dot{i}^2 \cdot \hat{E}}{\hat{A}\delta} \right)$  - термічний опір внаслідок забруднення внутрішньої поверхні конденсатора. Г.

Питомий тепловий потік з боку агента, віднесений до внутрішньої поверхні

труби,  $q_{aF_{\hat{A}\dot{\delta}}} = 3753\theta_a^{\frac{3}{4}} \frac{\hat{A}\dot{\delta}}{\dot{i}^2}$ .

0	1	2	3	4	5
$\theta^3/4$	1	1,682	2,28	2,828	3,344
$q_{BF_{BH}}$	1216	2432	3648	4864	6080
$q_{aF_{BH}}$	3753	6313	8557	10 613	12 550

З графіка рис. 2  $q_{F_{\hat{A}\dot{\delta}}} = 7000 \frac{\hat{A}\dot{\delta}}{\dot{i}^2}$ ,  $\theta_a = 2,3^0 C$ .

Площа зовнішньої поверхні цієї зони

$$F = \frac{Q_{\hat{e}}}{q_{F_{\hat{A}\dot{\delta}}}} \beta = \frac{41400}{7000} 35,8 = 212 \dot{i}^2,$$

тоді коефіцієнт тепловіддачі з боку конденсованого аміаку

$$\alpha_2 = 3753 \cdot 2,3^{-0,25} = 3048 \frac{\hat{A}\dot{\delta}}{\dot{i}^2 \cdot \hat{E}}.$$

### 1.3. Зона охолодження рідкого аміаку.

Коефіцієнт тепловіддачі з боку рідкого аміаку-

$$\alpha_2 = \frac{Nu\lambda}{d_y} = \frac{5 \cdot 0,47}{0,02} = 117,7 \frac{\hat{A}\dot{\delta}}{\dot{i}^2 \cdot \hat{E}},$$



$$k = \frac{1}{\frac{1}{39,5} + \left( \frac{0,0025}{39} + \frac{0,015}{174} + \frac{0,0005}{0,12} \right) + \frac{1}{3048}} = 27 \frac{\hat{A}\delta}{i^2 \cdot \hat{E}};$$

для зони охолодження

У зв'язку з малими значеннями коефіцієнта теплопередачі в зонах зняття перегріву і охолодження рідкого аміаку краще перейти на використання гладких сталевих труб. Тоді площа живого перетину конденсатора в цих зонах

$$F_{\alpha \cdot \tilde{n}} = A(B - Nd_0) = 1,9(0,945 - 10 \cdot 0,025) = 1,32 i^2.$$

Швидкість повітря в живому перетині

$$\omega = \frac{V}{F_{\alpha \cdot \tilde{n}}} = \frac{6,63}{1,32} = 5 \frac{i}{\tilde{n}}.$$

критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega d_0}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,025}{15,7 \cdot 10^{-6}} = 7995.$$

$$\frac{s_1}{d_0} = \frac{0,09}{0,025} = 3,6; \quad \frac{s_2}{d_0} = \frac{0,07}{0,025} = 2,8;$$

$$\frac{s_2}{s_1} = \frac{0,07}{0,09} = 0,78; \quad \varepsilon_s = \left( \frac{s_2}{s_1} \right)^{\frac{1}{6}} = 0,959.$$

критерій Нуссельта

$$Nu = 0,41 Re^{0,6} Pr^{0,33} \left( \frac{Pr}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon_s;$$

$$Nu = 0,41 \cdot 7995^{0,6} \cdot 0,702^{0,33} \cdot 0,959 \left( \frac{0,702}{0,694} \right)^{0,25} = 77.$$

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря в зоні зняття перегріву

$$\alpha_1 = \frac{Nu\lambda}{d_0} = \frac{77 \cdot 2,28 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 70,3 \frac{\hat{A}\delta}{\text{і}^2 \cdot \hat{E}}$$

критерій Нуссельта

$$Nu = 0,41 \cdot 7995^{0,6} \cdot 0,702^{0,33} \cdot 0,959 \left( \frac{0,702}{0,694} \right)^{0,25} = 77.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря в зоні охолодження рідкого аміаку

$$\alpha_1 = \frac{Nu\lambda}{d_0} = \frac{77 \cdot 2,28 \cdot 10^{-2}}{0,025} = 70,3 \frac{\hat{A}\delta}{\text{і}^2 \cdot \hat{E}}$$

## 2. Конструктивний розрахунок

### 2.1. Зона зняття перегріву пари.

коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{70,3} + \left( \frac{0,0025}{39} + \frac{0,0005}{0,12} \right) + \frac{1}{161}} = 40,5 \frac{\hat{A}\delta}{\text{і}^2 \cdot \hat{E}}$$

Площа зовнішньої поверхні

$$F = \frac{Q_{\dot{I}}}{k\Delta t_{\dot{I}}} = \frac{8000}{40,5 \cdot 27,2} = 7,3 \text{ і}^2.$$

Площа 1 м гладкої труби  $F_{\delta} = \pi d_0 l = 3,14 \cdot 0,025 \cdot l = 7,85 \cdot 10^{-2} \text{ і}^2$ . Загальна довжина труби

$$L = \frac{F}{F_{\delta}} = \frac{7,3}{7,85 \cdot 10^{-2}} = 93 \text{ і}.$$

					XM 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Кількість труб по глибині  $z = \frac{L}{AN} = \frac{93}{1,9 \cdot 10} = 4,9$ . Приймаємо 5 рядів труб у вертикальному ряду. глибина зони

$$H_{\dot{i}} = s_2 z = 0,07 \cdot 5 = 0,35 \dot{i} .$$

## 2.2. Зона конденсації парів холодоагенту.

Площа зовнішньої поверхні

$$F = \frac{Q_{\dot{i}\ddot{a}}}{k \Delta t_{\dot{i}\ddot{a}}} = \frac{41400}{27 \cdot 8,4} = 183 \dot{i}^2 .$$

Загальна довжина труб, необхідна для створення такої площі поверхні,

$$L = \frac{F}{F_{\dot{i}\delta}} = \frac{183}{2,244} = 82 \dot{i} .$$

Кількість труб по глибині

$$z = \frac{L}{NA} = \frac{82}{1,9 \cdot 10} = 4,3,$$

приймаємо 5 рядів. глибина апарату  $H_{\dot{e}} = s_2 z = 0,07 \cdot 5 = 0,35 \dot{i} .$

Аеродинамічний опір ребреної поверхні

$$Re = \frac{\omega d_0}{v_{t_{\dot{n}\ddot{o}}}} = \frac{6,94 \cdot 0,028}{15,248 \cdot 10^{-6}} = 12744;$$

$$\Delta p_{\dot{e}} = 1,35 z \left( \frac{h_p}{d_0} \right)^{0,45} \left( \frac{s_p}{d_0} \right)^{-0,72} Re^{-0,24} \frac{\rho \omega^2}{2} =$$

$$= 1,35 \cdot 5 \cdot \left( \frac{0,026}{0,028} \right)^{0,45} \cdot \left( \frac{0,004}{0,028} \right)^{-0,72} \cdot 12744^{-0,24} \cdot \frac{1,178 \cdot 6,94^2}{2} = 76,5 \dot{i} \dot{a} .$$

					XM 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

### 2.3. Зона охолодження рідкого аміаку.

коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{i\delta}} + \sum_{i=0}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{70,3} + \left( \frac{0,0025}{39} + \frac{0,0005}{0,12} \right) + \frac{1}{117,7}} = 37 \frac{\text{А}\delta}{\text{і}^2 \cdot \hat{E}}.$$

Площа зовнішньої поверхні

$$F = \frac{Q_{i\delta\ddot{e}}}{k\Delta t_{i\delta\ddot{e}}} = \frac{600}{37 \cdot 8,6} = 1,9 \text{ і}^2.$$

Загальна довжина труб

$$L = \frac{F}{F_{\delta}} = \frac{1,9}{7,85 \cdot 10^{-2}} = 24 \text{ і}.$$

Кількість труб по глибині

$$z = \frac{L}{AN} = \frac{24}{1,9 \cdot 10} = 1,3,$$

приймаємо 2 ряди.

глибина апарату

$$H_{i\delta\ddot{e}} = s_2 z = 0,07 \cdot 2 = 0,14 \text{ і}.$$

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



$$\alpha_1 = \frac{66 \cdot 2,28 \cdot 10^{-2}}{0,02} = 75,3 \frac{\hat{A}\delta}{\dot{i}^2 \cdot \hat{E}}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі

$$\alpha_{i\delta} = \alpha_1 E_f ; \alpha_{i\delta} = 75,3 \cdot 0,918 = 69 \frac{\hat{A}\delta}{\dot{i}^2 \cdot \hat{E}}$$

Площа живого перетину для зони зняття перегріву і охолодження рідкого аміаку.

$$F_{a.\tilde{n}} = 1,9 \left[ 0,945 - 10 \left( 0,028 + \frac{2 \cdot 0,00125 \cdot 0,026}{0,02} \right) \right] = 1,2 \dot{i}^2.$$

Швидкість повітря в живому перетині

$$\omega = \frac{V}{F_{a.\tilde{n}}} = \frac{6,63}{1,2} = 5,5 \frac{\dot{i}}{\tilde{n}}$$

### ***3. Аеродинамічний розрахунок конденсатора***

#### ***3.1. Зона зняття перегріву.***

коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{69} + \left( \frac{0,0025}{39} + \frac{0,0015}{174} + \frac{0,0005}{0,12} \right) + \frac{1}{161} \cdot 8,3} = 15,1 \frac{\hat{A}\delta}{\dot{i}^2 \cdot \hat{E}}$$

Площа зовнішньої поверхні

$$F = \frac{Q_{\dot{i}}}{k \Delta t_{\dot{i}}} = \frac{8000}{15,1 \cdot 27,2} = 19,5 \dot{i}^2.$$

Загальна довжина труб

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$L = \frac{F}{F_{i\delta}} = \frac{19,5}{0,52} = 37,5 \text{ м}$$

Приймаємо 2 труби по глибині зони.

$$\text{глибина зони } H_{i\delta} = s_2 z = 0,07 \cdot 2 = 0,14 \text{ м}$$

аеродинамічний опір ребреної поверхні

$$Re = \frac{\omega d_0}{\nu_{t_{\text{нб}}}} = \frac{5,5 \cdot 0,028}{15,492 \cdot 10^{-6}} = 9941;$$

$$\Delta p_{i\delta} = 1,35 \cdot 2 \cdot 9941^{-0,24} \cdot \frac{1,178 \cdot 5,5^2}{2} \left( \frac{0,026}{0,028} \right)^{0,45} \left( \frac{0,02}{0,028} \right)^{-0,72} = 6,5 \text{ Па}$$

### 3.2. Зона охолодження рідкого аміаку

коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{69} + \left( \frac{0,0025}{39} + \frac{0,0015}{174} + \frac{0,0005}{0,12} \right) + \frac{1}{117,7} \cdot 8,3} = 11,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Площа зовнішньої поверхні

$$F = \frac{Q_{i\delta}}{k \Delta t_{i\delta}} = \frac{600}{11,7 \cdot 8,6} = 6 \text{ м}^2$$

Загальна довжина труб

$$L = \frac{F}{F_{i\delta}} = \frac{6}{0,52} = 11,5 \text{ м}$$

Кількість труб по глибині

$$z = \frac{L}{AN} = \frac{11,5}{1,9 \cdot 10} = 0,6$$

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

Приймаємо 1 трубу по глибині зони.

глибина зони  $H_{i\delta\ddot{e}} = s_2 z = 0,07 \cdot 1 = 0,07 \text{ м}$ .

Аеродинамічний опір оребреної поверхні

$$Re = \frac{\omega d_0}{\nu_{t_{\text{по}}}} = \frac{5,5 \cdot 0,028}{15,97 \cdot 10^{-6}} = 9625;$$

$$\Delta p_{i\delta\ddot{e}} = 1,35 \cdot 4 \cdot 9625^{-0,24} \left( \frac{0,026}{0,028} \right)^{0,45} \left( \frac{0,02}{0,028} \right)^{-0,72} \frac{1,178 \cdot 5,5^2}{2} = 13,1 \text{ Па}.$$

глибина апарату  $H = H_i + H_e + H_{i\delta\ddot{e}} = 0,14 + 0,35 + 0,07 = 0,56 \text{ м}$ .

Габаритні розміри  $A \times B \times H = 1,9 \times 0,945 \times 0,56$ . Повний аеродинамічний

опір конденсатора

$$\Delta p = \Delta p_i + \Delta p_e + \Delta p_{i\delta\ddot{e}} = 6,5 + 76,5 + 13,1 = 96,1 \text{ Па}.$$

За загальною витратою повітря і натиску підбираємо марку вентилятора.

Приймаємо осьовий вентилятор МЦ №10 з подачею повітря  $6,5 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$  і напором 98 Па [5].

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

## Висновок

Конденсатори з повітряним охолодженням – це ряд плоских вертикальних змійовиків з мідних чи сталевих труб, у яких протікає холодильний агент. Зовнішню поверхню змійовиків, що омивається повітрям, роблять ребристою. Для оребрення застосовують пластинчасті сталеві чи алюмінієві ребра. Для створення контакту між ребрами і трубами практикують роздачу труб: в кожній трубі протягують кульку або циліндр, діаметр якого на 0,5 мм більший за зовнішній діаметр труб. Застосовують також гідравлічний спосіб роздачі труб.

Повітряний конденсатор холодильної машини служить для відводу теплоти в навколишнє середовище. Головним фактором, що впливає на режим роботи конденсатора і установки в цілому є температура навколишнього середовища, величина якої визначає насамперед значення температури конденсації.

В даний час до холодильних установок пред'являють все більш жорсткі санітарно-технічні вимоги з метою запобігання забруднення водою, скорочення витрат прісної води і ін. В зв'язку з цим використання повітряного охолодження конденсаторів холодильних машин стає все більш актуальним завданням. Цьому сприяє також широкий експорт холодильних машин в країни з обмеженими водними ресурсами.

Однак переваги повітряного охолодження конденсаторів набагато істотніші. Зниження рівня шуму можна домогтися шляхом вибору оптимального профілю лопаток вентилятора. Для країн з сухим кліматом доцільно, знижувати температуру конденсації за рахунок дрібнодисперсного розпилення води в потік входу у апарат повітря.

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ

Ціль організаційних заходів з техніки безпеки на холодильних установках – створення безпечних умов праці шляхом постійного контролю за дотриманням правил монтажу, експлуатації і ремонту обладнання і систем установок, а також шляхом підтримки технічних знань обслуговуючого персоналу на необхідному рівні.

### 1. Норми заповнення холодильного обладнання холодоагентами

Нормоване заповнення обладнання холодоагентами викликане умовами, без виконання яких неможлива безпечна експлуатація холодильних установок.

**Заповнення холодильного обладнання аміаком.** У зв'язку з підвищеною небезпекою аміачних холодильних установок першочергове заповнення системи аміаком виконують на підставі розрахунку сумарної кількості рідкого аміаку в апаратах і трубопроводах відповідно до норм заповнення їх внутрішнього об'єму (у %), наведеними нижче.

Випарники	
кожухотрубні і вертикально-трубні	80
змійовикові і листотрубні (панельні) незалежно від наявності відділювачів рідини	50
Батарей холоодильних камер	
з верхньою подачею аміаку	30
з нижньою подачею аміаку	70
при безнасосних схемах	60
Повітроохолоджувачі	
з верхньою подачею аміаку	50
з нижньою подачею аміаку і при безнасосних схемах	70

## **ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З АМІАКОМ**

знати та виконувати правила поведінки з устаткуванням, інструментом та іншими засобами навчання; користуватися засобами колективного та індивідуального захисту; виконувати правила внутрішнього розпорядку:

а) вчасно починати та закінчувати роботу, дотримуватись встановленого часу практичної чи лабораторної роботи;

б) не виконувати роботи, не передбачених в інструкції виконання практичної чи лабораторної роботи;

в) не заходити в кабінет хімії без відповідного дозволу вчителя; повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу (ст.159 КЗпПУ).

### **ПРАВИЛА ПОВЕДІНКИ ПРИ ПОШКОДЖЕННІ ОБЛАДНЯННЯ**

Якщо трапилося пошкодження техніки для внесення хімікатів, працівники повинні:

1.стати у навітряний бік на віддалі від місця витоку небезпечної речовини та вдягти засоби індивідуального захисту, передусім протигаз;

2.перекрити крани та вентиля у місткості із небезпечною речовиною;

3.перекрити крани та вентиля у місткості із небезпечною речовиною;

4.за можливості відвести технічний засіб на достатню віддаль від населеного пункту, аби мінімізувати вірогідність додаткового завдання шкоди;

5.повідомити відповідальних осіб про аварію, встановивши нагляд за місткістю із небезпечною речовиною.

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## Список літератури

1. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Теплопередача» для студентів спеціальності 16.03 «Техніка і фізика низьких температур» денної форми навчання
2. Довідник по теплообмінним апаратів / П.І. Бажан, Г. Є. Каневець, В.М. Селіверстов - М.: Машинобудування, 1989. -367с.: Ил.
3. Жукаускас А.А. Конвективний перенесення в теплообмінниках. - М.: Наука, 1982. - 472 с.
4. Теплообмінні апарати холодильних установок / Г.М. Данилова, С. Богданов, О.П. Іванов та ін.; - Л.: Машинобудування, 1986. - 303 с.: Ил.
5. Калінушкін М.П. Вентиляційні установки. - М.: вища школа, 1967.-260с.

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

# Додаток А

					ХМ 02.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28