

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

за освітньо-професійною програмою

"Холодильні машини і установки"

зі спеціальності 142 "Енергетичне машинобудування"

на тему «Проектування конденсатора повітряного охолодження для
одноступеневої парокомпресійної холодильної машини»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

В. М. Козін

Здобувач

Є. В. Ковальов

Суми 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
ЗАВДАННЯ.....	5
РОЗДІЛ 1 «СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ».....	6
1.1 Загальні відомості про холодильні машини.....	6
1.2 Тепловий розрахунок одноступеневої парокомпресійної холодильної машини.....	12
1.3 Розрахунок конденсатора повітряного охолодження.....	21
1.4 Підбір обладнання холодильної машини.....	33
РОЗДІЛ 2 «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ».....	41
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	57

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Проектування конденсатора повітряного охолодження для одноступеневої парокомпресійної холодильної машини. Пояснювальна записка			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Ковальов						2	58	
Перевір.		Козін								
Конс.										
Н. контр.		Шарапов						СумДУ, гр. ХК-71		
Затв.		Ванєєв								

ВСТУП

Виробництво штучного холоду, тобто досягнення температур нижче температури навколишнього середовища, і здійснення різних технологічних процесів за цих температур знаходять якомога зростаюче застосування в багатьох галузях народного господарства. Холодильна техніка виявилася потрібною майже у всіх галузях людської діяльності. Розвиток деяких галузей не можна, собі уявити без застосування штучного холоду. У харчовій промисловості холод забезпечує тривале збереження високої якості швидкопсувних продуктів і саме через недостатнє на даний момент використання холоду в світі втрачається приблизно 25 % вироблених харчових продуктів. За масштабами споживання штучного холоду важливе місце займає хімічна промисловість. У хімічній промисловості штучний холод застосовується для разделепія рідких і газових сумішей і синтезу чистих продуктів (паприклад, етилену, пропану, пропілену з нафти і природного газу), при виробництві багатьох синтетичних матеріалів (спирту, каучуку, пластмас, волоком тощо), при виробництві аміаку і азотних добрив, для відведення теплоти хімічних реакцій, в машинобудуванні впроваджується низькотемпературне гартування металів і створення холодних посадок з натягом. Штучне заморожування ґрунтів виявляється ефективним засобом для виконання будівельних робіт в водоносних шарах, штучне охолодження бетону застосовується при будівництві гребель найбільших гідроелектростанцій. Холод використовується при виробництві значної кількості матеріалів і виробів. За допомогою холоду створюється штучний клімат в закритих приміщеннях (кондиціонування повітря), в будь-який час року і в будь-якому кліматі можуть бути створені штучні крижані ковзанки. Широко застосовується штучний холод у різних видах транспорту для перевезення харчових продуктів, а також на судах рибальського флоту, в торгівлі харчовими продуктами і в побуті.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

В основі застосування холоду з різною виробничою метою міститься факт, що багато фізичних, хімічних, біологічних та інших процесів протікають за низьких температур, істотно відрізняючись від того, як вони відбуваються при звичайних умовах. Як загальне правило, всі ці процеси за низьких температур сповільнюються, а деякі з них (наприклад, життєдіяльність окремих видів бактерій) припиняються. Існують, однак, процеси, які за низьких температур протікають інтенсивніше, ніж за високих (наприклад, перетворення аустеніту в мартенсит при загартуванні високолегованих інструментальних сталей); зниження температури, за якої відбувається реакція, що дозволяє отримувати полімери з більш високою молекулярною масою, тобто більш міцні і пружні. [2]

Отже, застосування холоду є досить актуальним завданням для багатьох галузей економіки. Воно реалізується завдяки використанню холодильних машин та установок. Серед усіх видів холодильних машин найбільше поширення отримали парокомпресійні холодильні машини як високоефективні у широкому діапазоні температур, конструктивно прості, порівняно компактні та надійні системи.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ЗАВДАННЯ

Виконати розрахунок і проектування конденсатора повітряного охолодження для одноступеневої парокompресійної холодильної машини відповідно до вихідних даних.

Вихідні дані

- холодильний агент – ізобутан (R600a);
- холодопродуктивність $Q_0=20$ кВт;
- температура в холодильній камері $t_{\text{кам}}=-18$ °С;
- температура навколишнього середовища $t_{\text{н.с}}=40$ °С;
- відносний внутрішній ККД компресора $\eta_{oi}=0,8$;
- парокompресійна холодильна машина з регенеративним теплообмінником.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 «СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ»

1.1 Загальні відомості про холодильні машини

Класифікація холодильних машин

Для отримання холоду в холодильній техніці найчастіше застосовують холодильні машини, принцип дії яких заснований на використанні фізичних процесів з витратами енергії і тепла.

До цих процесів відносять фазові перетворення речовин (пароутворення, сублімація, плавлення, розчинення), а також розширення стисненого газу (ефект Джоуля-Томпсона).

Середовища, в яких відбуваються ці процеси називають холодильними агентами. Вони і є робочим середовищем холодильних машин.

У холодильних машинах холодильний агент забирає тепло від охолоджуваного середовища (тепло завжди спрямоване від середовища, що має більшу температуру до середовища з більш низькою температурою), а потім передає його в навколишнє середовище.

Тому, для того, щоб охолодити холодильним агентом той чи інший об'єкт до температури, яка була б нижчою за температуру навколишнього середовища, необхідно його нагріти до температури, що перевищує температуру навколишнього середовища, тобто зробити деякі перевитрати енергії, що впливає з другого закону термодинаміки.

Залежно від джерел цієї енергії холодильні машини поділяють на:

- компресійні;
- абсорбційні;
- ежекторні.

Компресійні машини використовують для перенесення тепла механічну енергію, а абсорбційні і ежекторні – теплову. Тому абсорбційні і ежекторні машини іноді називають тепловикористовуючими.

					XM 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

У холодильній промисловості найбільшого поширення набули компресійні холодильні машини. У хімічній промисловості, де часто наявні високотемпературні джерела теплової енергії також набули поширення пароежекторні і абсорбційні холодильні машини.

У пароежекторних і абсорбційних холодильних машинах холодильним агентом часто є вода, а для отримання холоду використовується процес її пароутворення за умови зниженого тиску і, відповідно, за низької температури кипіння. Наприклад, якщо вода за атмосферного тиску кипить при 100 °С, то за тиску близько 611 Па температура її кипіння складе всього 0 °С. При цьому теплота паротворення води буде найбільшою (2500 кДж/кг) серед відомих холодильних агентів.

При використанні води як холодильного агента не можна досягти охолодження середовищ до від'ємних температур. Тому пароежекторні і абсорбційні холодильні машини використовуються в основному у системах кондиціонування повітря.

У пароконпресійних холодильних машинах як холодильний агент найчастіше використовують фреони. Також можна використовувати і інші холодильні агенти (вуглекислота CO₂, аміак NH₃) з низькою температурою кипіння, що дозволяє отримувати низькі температури охолоджуваних середовищ.

Іноді для отримання холоду використовують спеціальні пристрої (напівпровідникові термоелементи і вихрові труби), робота яких заснована на термоелектричному і вихровому охолоджуючих ефектах. Робота термоелектричних холодильних машин пов'язана зі споживанням електричного струму, а для роботи вихрових холодильних машин необхідне джерело стисненого газу. Ці типи холодильних машин не набули широкого поширення через низьку ефективність.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Характеристика холодильних агентів

У парокомпресійних холодильних машинах використовують робочі тіла HC, HFC і HCFC типів, які отримали патентну назву фреони, а також їх суміші та натуральні (природні) холодильні агенти (наприклад, аміак, вуглекислота, вода).

Фреони – це речовини з низькою температурою кипіння і великою питомою холодопродуктивністю. Як правило, вони вибухобезпечні і пожежобезпечні (за винятком речовин HC-типу), інертні до конструкційних металів, мають підвищену плинність і високу проникаючу здатність.

Фреони і мастила взаємно розчинні. Вода в фреонах розчиняється погано, а при роботі холодильної машини може замерзнути і забити прохідні отвори в арматурі. Тому її вміст в фреонах при заповненні машини регламентується, а в складі машини є осушувачі, заповнені силікагелем.

За хімічним складом фреони – це фтористі, хлористі або бромисті похідні метану (CH_4), етану (C_2H_6), пропану (C_3H_8), бутану (C_4H_{10}). Загальна хімічна формула хладонов $C_mH_nF_pCl_qBr_r$, де індекси m, n, p, q, r позначають число відповідних атомів в молекулі.

Повітря – інертний нетоксичний газ з низькою температурою кипіння і малою об'ємною холодопродуктивністю.

Вуглекислота – інертний газ, який вимагає високого тиску в циклі і тому використовується рідко.

Аміак – безбарвний газ, який різко і неприємно пахне, отруйний вже за невеликих концентрацій, електропровідний. При нагріванні запалюється, за умови концентрації 16–27% утворює вибухову суміш. Аміак інертний до сталей, але взаємодіє з кольоровими металами. Руйнує мідь і її сплави, роз'їдає цинк. Добре розчинний у воді, в мастилі розчиняється обмежено. Незважаючи на токсичність, є вибухопожежонебезпечним, використовують в промислових холодильних машинах з великою та середньою холодопродуктивністю.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вода – широко поширена і нетоксична рідина, має високу теплоту пароутворення, високу температуру кипіння за атмосферного тиску, порівняно високу температуру затвердіння. У зв'язку з високою температурою кипіння за атмосферного тиску, вода може використовуватися лише в вакуумних холодильних установках, де пароутворення відбувається за низького тиску, які значно менший атмосферного тиску. З огляду на великий питомий об'єм водяної пари (за умови її використання як холодильного агента), для забезпечення переміщення води при роботі холодильних машин необхідно використовувати високопродуктивні насоси. У зв'язку з високою температурою затвердіння води (0 °С), холодильні машини, які використовують воду, працюють лише при позитивних температурах випаровування.

Принцип дії парокompресійної холодильної машини

Принципова схема парокompресійної холодильної машини подана на рис. 1.1.

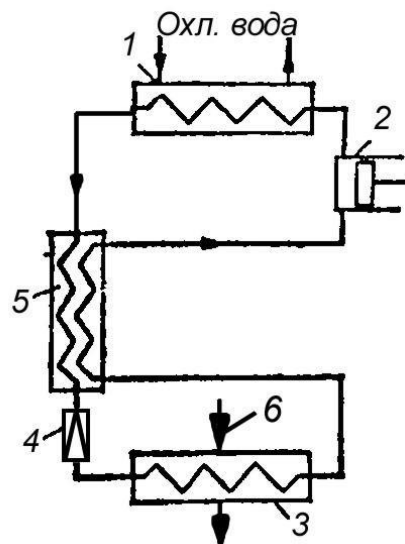


Рисунок 1.1 – Принципова схема парокompресійної холодильної машини:

1 – конденсатор; 2 – компресор; 3 – випарник; 4 – терморегулюючий (дросельний) вентиль; 5 – теплообмінник; 6 – охолоджуюче середовище

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Парокомпресійні холодильні машини залежно від застосовуваного типу компресора бувають роторні, поршневі і турбокомпресорні.

Роторні компресори застосовують в холодильних установках, які мають холодопродуктивність до 2,78 кВт, поршневі компресори – за умови холодопродуктивності до 222,22 кВт, турбокомпресори – за умови холодопродуктивності більше 222,22 кВт. Незалежно від типу компресора склад елементів і принцип дії парокомпресійних холодильних машин однаковий.

Холодильна машина складається з компресора 2, який стискає пару холодильного агента, які надходить з випарника 3 і направляється в конденсатор 1. Крім того, компресор забезпечує створення низького тиску в випарнику.

В конденсаторі 1 холодним теплоносієм (вода, повітря тощо) охолоджується і конденсується стиснута компресором 2 пара холодильного агента до температури конденсації.

З випарника 3 холодна пара холодильного агента потрапляє в регенеративний теплообмінник 5, де реалізується теплообмін між ними і рідким холодильним агентом, що надходять з конденсатора 1, який при цьому додатково переохолоджується.

Далі рідкий холодильний агент надходить до терморегулювального (дросельного) вентиля 4, який регулює подачу холодильного агента у випарник 3 в заданій кількості при зміні заданої температури через підтримання необхідного перепаду тиску. У ньому тиск холодильного агента знижується від тиску конденсації p_k до тиску кипіння p_0 .

У випарнику 3 відводиться тепло від охолоджуваного середовища 6 до пароподібного холодильного агента.

					XM 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Всі елементи парокомпресійної холодильної машини з'єднані трубопроводами в замкнуту герметичну систему, що забезпечує циркуляцію холодильного агента.

Температура рідкого холодильного агента перед теплорегулюючим вентилем 4 нижча температури конденсації. Після випарника холодильний агент у вигляді вологої пари підсушується в теплообміннику до сухої насиченої або перегрітої пари. Переохолодження рідкого холодильного агента перед дроселюванням збільшує його питому об'ємну холодопродуктивність, а підсушування парів холодильного агента після випарника запобігає гідравлічним ударам в компресорі і забезпечує збільшення його продуктивності за рахунок зменшення в ньому об'ємних втрат.

На рис. 1.2 зображена діаграма $T - S$ (температура – ентропія), в якій показані процеси, що відбуваються в парокомпресійній холодильній машині.

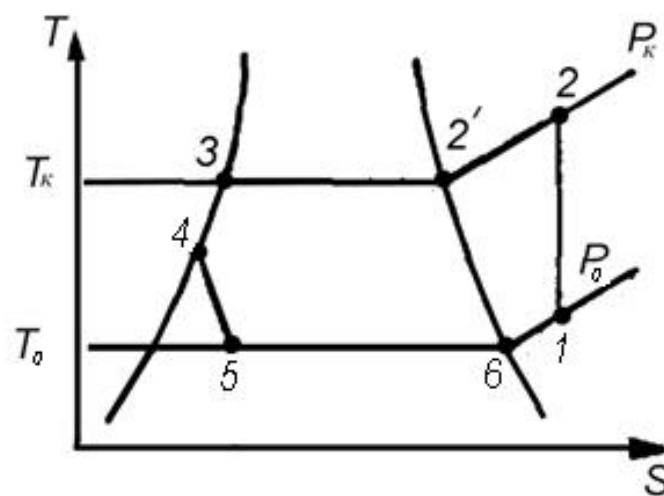


Рисунок 1.2 – Теоретичний цикл парокомпресійної холодильної машини

Робочий цикл холодильної машини реалізується по замкнутому контуру 1-2-2'-3-4-5-6-1. Адіабата 1-2 зображує процес стиснення пари холодильного агента в компресорі від тиску кипіння p_0 до тиску конденсації p_k . Ізобара

									Аркуш
									11
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

2-2' характеризує процес охолодження перегрітої пари холодильного агента в конденсаторі до температури конденсації T_k .

Лінія 2'-3 характеризує процес конденсації пари холодильного агента в конденсаторі внаслідок теплообміну з охолоджуючим середовищем. Відрізок 3-4 характеризує процес переохолодження рідкого холодильного агента в регенеративному теплообміннику в результаті внутрішнього теплообміну з парами холодильного агента, що виходять з випарника і мають більш низьку температуру T_0 порівняно з температурою конденсації T_k .

Ізоентальпа 4-5 зображує процес дроселювання холодильного агента в теплорегулюючому вентилі від тиску конденсації p_k до тиску кипіння p_0 . Лінія 5-6 характеризує процес кипіння холодильного агента в випарнику за умови сталих температури і тиску.

Ізобара 6-1 зображує процес підсушування і перегрівання в регенеративному теплообміннику вологої пари холодильного агента, що виходить з випарника. [3]

1.2 Тепловий розрахунок одноступеневої парокompресійної холодильної машини [6-8]

З метою визначення теплового навантаження на теплообмінники (конденсатор, регенеративний теплообмінник) для подальшого вибору обладнання, а також проектування конденсатора виконаємо тепловий розрахунок одноступеневої парокompресійної холодильної машини.

Для розрахунку необхідно знати температури конденсації та кипіння холодильного агента. Конденсація відбувається у навколишнє середовище за допомогою конденсатора повітряного охолодження. Температура конденсації холодильного агента

$$t_k = t_{н.с} + \Delta t_n + \Delta t_{HP} = 40 + 6 + 10 = 56 \text{ } ^\circ\text{C},$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Умовні позначення елементів ПКХМ, подані на рис. 1.3:

КМ – компресор; *КД* – конденсатор; *РТ* – регенеративний теплообмінник; *ДВ* – дросельний вентиль; *В* – випарник

Термодинамічні процеси, що утворюють цикл одноступеневої ПКХМ:

1-2 – політропне (дійсне) стиснення пари холодильного агента в компресорі КМ від тиску кипіння p_0 до тиску конденсації p_k ;

1-2s – адіабатне (теоретичне) стиснення пари холодильного агента в компресорі КМ від тиску кипіння p_0 до тиску конденсації p_k ;

2-3 – ізобарне відведення тепла в конденсаторі КД за умови тиску p_k ;

3-4 – переохолодження холодильного агента за умови тиску p_k у РТ;

4-5 – дроселювання холодильного агента в ДВ від тиску p_k до p_0 ;

5-6 – ізобарне підведення тепла у випарнику В холодильної машини за умови тиску p_0 ;

6-1 – перегрівання пари холодильного агента у РТ.

Розрахунковий (робочий) режим роботи ПКХМ

Тиск конденсації холодильного агента знаходимо за температурою конденсації $t_k = 56\text{ }^\circ\text{C}$ за умови, що холодильний агент знаходиться у стані насичення, тоді $p_k = 0,792\text{ МПа}$.

Тиск кипіння холодильного агента знаходимо за температурою кипіння $t_0 = -25\text{ }^\circ\text{C}$ за умови, що холодильний агент знаходиться у стані насичення, тоді $p_0 = 0,058\text{ МПа}$.

Ступінь підвищення тиску у циклі

$$\pi = \frac{p_k}{p_0} = \frac{0,792}{0,058} = 13,66.$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Отримане значення ступеня підвищення тиску у циклі задовольняє умові застосування гвинтового компресора, тому що $\pi = 13,66 < 14$.

Температура холодильного агенту за умовами всмоктування у компресор

$$t_1 = t_0 + \Delta t_{пер} = -25 + 30 = 5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $\Delta t_{пер}$ – перегрівання холодильного агенту у РТ; для гвинтових компресорів задаємося з діапазону $\Delta t_{пер} = 20 - 40 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Визначення термодинамічних і теплофізичних параметрів холодильного агенту виконуємо з використанням програмного продукту RefProp. Параметри в вузлових точках циклу ПКХМ заносимо до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри циклу у вузлових точках циклу ПКХМ (розрахунковий режим роботи)

Параметры	1	2s	2	3	4	5	6
$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	5	79	92	56	38	-25	-25
$p, \text{ МПа}$	0,058	0,792	0,792	0,792	0,792	0,058	0,058
$h, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	567	677	705	338	292	292	521
x	–	–	–	0	–	0,392	1
$v, \text{ м}^3 / \text{ кг}$	0,668	–	–	–	–	–	–
$s, \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$	2,479	2,479	2,556	1,454	1,311	1,382	2,305

Розглянемо регенеративний теплообмінник РТ.

Стан після РТ (т. 4) знаходимо з розгляду виразу теплового балансу РТ

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$h_3 - h_4 = h_1 - h_6,$$

$$h_4 = h_3 - (h_1 - h_6),$$

$$h_4 = 338 - (567 - 521) = 292 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Дійсні параметри в точці «2»

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{oi}} = 567 + \frac{677 - 567}{0,8} = 705 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

де η_{oi} – відносний внутрішній ККД компресора.

Питома холодопродуктивність циклу

$$q_0 = h_6 - h_5 = 521 - 292 = 229 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_K = h_2 - h_3 = 705 - 338 = 367 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на РТ

$$q_{РТ} = h_3 - h_4 = 338 - 292 = 46 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Холодопродуктивність (вихідні дані)

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\dot{Q}_0 = 20 \text{ кВт}.$$

Масова витрата холодильного агенту

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_0}{q_0} = \frac{20}{229} = 0,087 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{\text{КД}} = q_{\text{К}} \cdot \dot{m}_a = 367 \cdot 0,087 = 32,05 \text{ кВт}.$$

Теплове навантаження на РТ

$$\dot{Q}_{\text{РТ}} = q_{\text{РТ}} \cdot \dot{m}_a = 46 \cdot 0,087 = 4,02 \text{ кВт}.$$

Питома робота компресора

$$l_{\text{К}} = h_2 - h_1 = 705 - 567 = 138 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Внутрішня потужність компресора

$$N_{\text{К}} = l_{\text{К}} \cdot \dot{m}_a = 138 \cdot 0,087 = 12,05 \text{ кВт}.$$

Електрична потужність двигуна компресора

$$N_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{К}}}{\eta_{\text{ел}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{мех}}} = \frac{12,05}{0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 13,92 \text{ кВт},$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де $\eta_{ел}$ – електричний ККД двигуна; $\eta_{пер}$ – механічний ККД передачі між двигуном і валом компресора; $\eta_{мех}$ – механічний ККД, що враховує втрати на тертя у елементах компресора, що мають безпосередній контакт.

Коефіцієнт термотрансформації циклу ПКХМ за електричною потужністю

$$COP_e = \frac{\dot{Q}_0}{N_{ел}} = \frac{20}{13,92} = 1,44.$$

Стандартний режим роботи ПКХМ

Для середньотемпературного стандартного режиму задаємося температурами:

$$t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}; t_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}; t_{ес} = 0\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Таблиця 1.2 – Параметри циклу у вузлових точках циклу ПКХМ (стандартний режим роботи)

Параметры	1	2s	2	3	4	5	6
$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	0	42	51	30	20	-15	-15
$p, \text{ МПа}$	0,089	0,405	0,405	0,405	0,405	0,089	0,089
$h, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	558	618	633	271	247	247	534
x	–	–	–	0	–	0,219	1
$s, \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$	2,387	2,387	2,435	1,246	1,165	1,186	2,299

Ступінь підвищення тиску у циклі за умови стандартного режиму роботи

$$\pi = \frac{p_k}{p_0} = \frac{0,405}{0,089} = 4,55.$$

Отримане значення ступеня підвищення тиску у циклі задовільняє умові застосування одноступеневого гвинтового компресора, тому що $\pi = 4,55 < 14$.

Дійсні параметри в точці «2»

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_{oi}} = 558 + \frac{618 - 558}{0,8} = 633 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Стан після РТ (т. 4) знаходимо з розгляду виразу теплового балансу РТ

$$h_4 = h_3 - (h_1 - h_6) = 271 - (558 - 534) = 247 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питома холодопродуктивність

$$q_0 = h_6 - h_5 = 534 - 247 = 287 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_k = h_2 - h_3 = 633 - 271 = 362 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на РТ

$$q_{РТ} = h_3 - h_4 = 271 - 247 = 24 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Холодопродуктивність

$$\dot{Q}_0 = 20 \text{ кВт}.$$

Масова витрата холодильного агента

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_0}{q_0} = \frac{20}{287} = 0,07 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{\text{КД}} = q_{\text{К}} \cdot \dot{m}_a = 362 \cdot 0,07 = 25,23 \text{ кВт}.$$

Теплове навантаження на РТ

$$\dot{Q}_{\text{РТ}} = q_{\text{РТ}} \cdot \dot{m}_a = 24 \cdot 0,07 = 1,68 \text{ кВт}.$$

Питома робота компресора

$$l_{\text{К}} = h_2 - h_1 = 633 - 558 = 75 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Внутрішня потужність компресора

$$N_{\text{К}} = l_{\text{К}} \cdot \dot{m}_a = 75 \cdot 0,07 = 5,25 \text{ кВт}.$$

Електрична потужність двигуна компресора на стандартному режимі роботи

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_{el} = \frac{N_K}{\eta_{el} \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{мех}} = \frac{5,25}{0,93 \cdot 0,98 \cdot 0,95} = 6,06 \text{ кВт},$$

Коефіцієнт термотрансформації циклу ПКХМ на стандартному режимі роботи

$$COP_e = \frac{\dot{Q}_0}{N_{el}} = \frac{20}{6,06} = 3,3.$$

Подальший розрахунок конденсатора будемо виконувати для розрахункового режиму, тому що теплова потужність апарату є більшою ($\dot{Q}_{КД} = 32,05 \text{ кВт}$).

1.3 Розрахунок конденсатора повітряного охолодження [6, 8]

Тепловий розрахунок і конструктивний розрахунок

Розрахунок повітряного конденсатора з пластинчастими ребрами.

Вихідні дані для розрахунку такі:

- тепловий потік, що відводиться у апараті $\dot{Q}_{КД} = 32,05 \text{ кВт}$;
- температура повітря $T_{П1} = t_{н.с} + 273 = 40 + 273 = 313 \text{ К}$;
- робоча речовина $R600a$;
- масова витрата холодильного агента $\dot{m}_a = 0,087 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$;
- Температура конденсації $T_k = t_k + 273 = 56 + 273 = 329 \text{ К}$;
- Нагрівання повітря на вході і виході з апарату $\Delta T_n = 6 \text{ К}$.

Температура повітря на виході з апарату

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$T_{II2} = T_{II1} + \Delta T_{II} = 313 + 6 = 319K.$$

Середня логарифмічна різниця температур

$$\theta_m = \frac{\Delta T_{II}}{\ln \frac{T_k - T_{II1}}{T_k - T_{II2}}} = \frac{6}{\ln \frac{329 - 313}{329 - 319}} = 12,8K.$$

Витрата повітря:

– масова

$$\dot{m}_{нов} = \frac{\dot{Q}_k}{c_p \cdot \Delta T_{II}} = \frac{32,05}{1,005 \cdot 6} = 5,315 \text{ кг} / \text{с},$$

де $c_p = 1,005 \cdot \text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ – теплоємність повітря при

$$T_{II} = \frac{T_{II1} + T_{II2}}{2} = \frac{313 + 319}{2} = 316K.$$

– об'ємна за умовами входу у апарат

$$\dot{V}_{нов} = \frac{\dot{m}_{нов}}{\rho_{II1}} = \frac{5,315}{1,128} = 4,712 \text{ м}^3 / \text{с},$$

де $\rho_{II1} = 1,128 \text{ кг} / \text{м}^3$ – густина повітря при $T_{II1} = 313K$.

Живий переріз апарату

$$F_{жс} = \frac{\dot{V}_{нов}}{w} = \frac{4,712}{5} = 0,942 \text{ м}^2,$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де $w = 5 \text{ м/с}$ – середня швидкість повітря (задаємося).

Основні розміри, що характеризують поверхню теплообміну:

- зовнішній діаметри труби $d_3, \text{ м}$ 0,012;
- внутрішній діаметр труби $d_{\text{вн}}, \text{ м}$ 0,010;
- крок труб по фронту і в глибину $s, \text{ м}$ 0,025;
- товщина ребра $\delta_p, \text{ м}$ 0,0005;
- крок ребер $u, \text{ м}$ 0,004;
- матеріал труб латунь;
- ребер латунь;
- ребра пластинчасті суцільні;
- розташування труб в пучку коридорне.

Зовнішній вигляд оребреної теплообмінної поверхні конденсатора поданий на рис. 1.4.

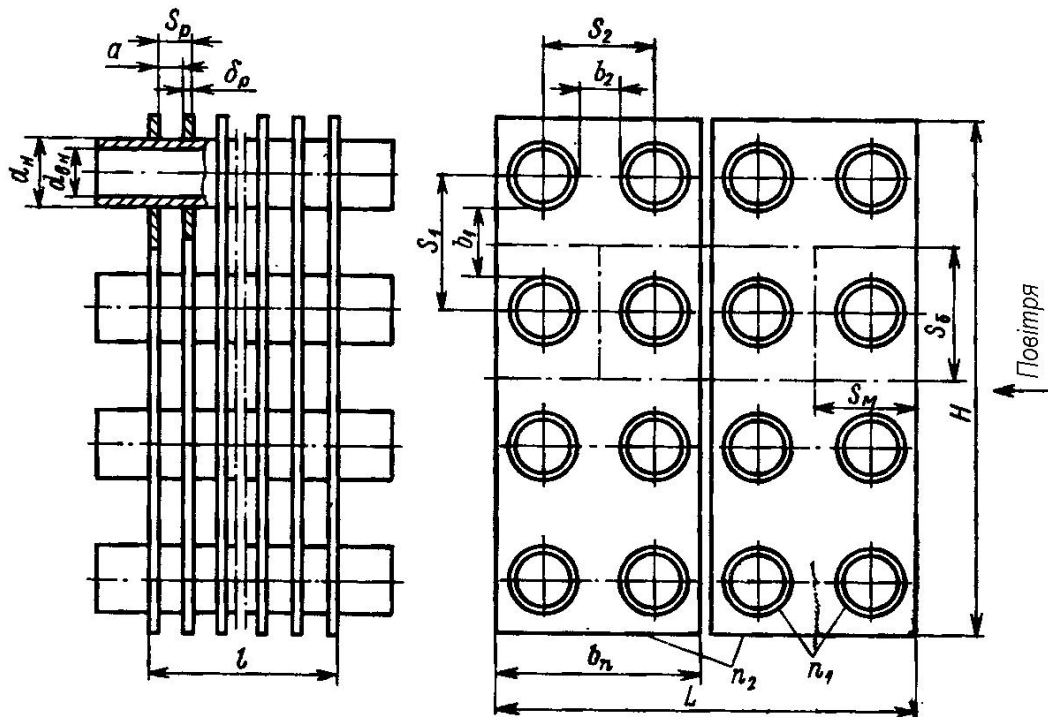


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд оребреної теплообмінної поверхні конденсатора

Розміри апарату по фронту. Живий переріз пов'язаний з основними розмірами, що характеризують поверхню теплообміну співвідношенням

$$F_{жс} = L_1 \cdot (s - d_3) \cdot \left(1 - \frac{\delta_p}{u}\right).$$

Звідси загальна довжина труби в одній секції конденсатора

$$L_1 = \frac{F_{жс}}{(s - d_3) \cdot \left(1 - \frac{\delta_p}{u}\right)} = \frac{0,942}{(0,025 - 0,012) \cdot \left(1 - \frac{0,0005}{0,004}\right)} = 82,81 \text{ м.}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, віднесений до зовнішньої поверхні оребреної труби. При коридорному розташуванні труб з пластинчастими ребрами при $Re = 500 \div 10000$; $L/d_{екв} = 4 \div 50$;

$u/d_3 = 0,18 \div 0,35$; $s/d_3 = 2 \div 5$; $t_p = -40 \div 40$ °C

$$Nu = c \cdot Re_p^n \cdot \left(\frac{L}{d_{екв}}\right)^m.$$

Тут

$$d_{екв} = \frac{2 \cdot (s - d_3) \cdot (u - \delta_p)}{(s - d_3) - (u - \delta_p)} = \frac{2 \cdot (0,025 - 0,012) \cdot (0,004 - 0,0005)}{(0,025 - 0,012) + (0,004 - 0,0005)} = 0,0055 \text{ м.}$$

Число Рейнольдса

$$Re_p = \frac{w \cdot d_{екв}}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,0055}{17,26 \cdot 10^{-6}} = 1594,$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

де $\nu = 17,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при $T_{II} = 316 \text{ K}$;

$$u/d_3 = 0,004 / 0,012 = 0,33; s/d_3 = 0,025 / 0,012 = 2,08; L/d_{\text{екв}} \geq 4,5.$$

Довжина пластини по ходу повітря L залежить від числа паралельних секцій конденсатора і визначається рівнянням: $L = a \cdot s$.

Коефіцієнти

$$n = 0,45 + 0,0066 \cdot \frac{L}{d_{\text{екв}}} = 0,45 + 0,0066 \cdot \frac{0,24}{0,0055} = 0,738;$$

$$m = -0,28 + 0,08 \cdot \frac{\text{Re}_p}{1000} = -0,28 + 0,08 \cdot \frac{1594}{1000} = -0,153;$$

$$A = f\left(\frac{L}{d_{\text{екв}}}\right) = 0,07;$$

$$B = 1,36 - 0,24 \cdot \frac{\text{Re}_p}{1000} = 1,36 - 0,24 \cdot \frac{1594}{1000} = 0,977;$$

$$C = A \cdot B = 0,07 \cdot 0,977 = 0,068;$$

$$\text{Nu} = 0,068 \cdot 1594^{0,738} \cdot \left(\frac{0,24}{0,0055}\right)^{-0,153} = 8,87.$$

Коефіцієнт теплоотдачи со стороны воздуха

$$\alpha_{II_{\text{ФВН}}} = \frac{\text{Nu}_p \cdot \lambda_{\text{нов}}}{d_{\text{екв}}} = \frac{8,87 \cdot 2,85 \cdot 10^{-2}}{0,0055} 46 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{ К}).$$

Тут $\lambda_{\text{нов}} = 2,85 \cdot 10^{-2} \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при $T_{II} = 316 \text{ K}$.

Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря, зведений до внутрішньої поверхні труби

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\alpha_{ПЗБ} = \alpha_{П} \cdot \left(\frac{F_3}{F_0} \cdot E + \frac{F'_{TP}}{F_0} \right) \cdot \frac{d_3}{d_{вн}} =$$

$$= 46 \cdot \left(\frac{0,28797}{0,03768} \cdot 0,927 + \frac{0,03297}{0,03768} \right) \cdot \frac{0,012}{0,010} = 439 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К}),$$

де F'_{TP} – зведена площа поверхні труби між ребрами

$$F'_{TP} = \pi \cdot d_3 \cdot \left(1 - \frac{\delta_p}{u} \right) = 3,14 \cdot 0,012 \cdot \left(1 - \frac{0,0005}{0,004} \right) = 0,03297 \text{ м}^2 / \text{м},$$

де F_p – зведена площа поверхні ребер

$$F_p = 2 \cdot \left(s^2 - \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{u} = 2 \cdot \left(0,025^2 - \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{0,004} = 0,255 \text{ м}^2 / \text{м},$$

де F_3 – зведена зовнішня площа поверхні оребреної труби

$$F_3 = F'_{TP} + F_p = 0,03297 + 0,25500 = 0,28797 \text{ м}^2 / \text{м},$$

де F_0 – зведена основна площа поверхні труби

$$F_0 = \pi \cdot d_3 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,03768 \text{ м}^2 / \text{м}.$$

Ступінь ефективності ребра

$$E = \frac{\text{th}(m \cdot h')}{m \cdot h'} = \frac{\text{th}(44,46 \cdot 0,011)}{44,46 \cdot 0,011} = 0,927.$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\text{де параметр } m = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_B}{\delta_p \cdot \lambda_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 46}{0,0005 \cdot 93}} = 44,46 \text{ м}^{-1};$$

$\lambda_p = 93 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності латуні; h' – умовна висота ребра

$$h' = \frac{d_3}{2} \cdot (\rho' - 1) \cdot (1 + 0,805 \cdot \lg \rho') = \frac{0,012}{2} \cdot (2,38 - 1) \cdot (1 + 0,805 \cdot \lg 2,38) = 0,011 \text{ м};$$

$$\rho' = 1,28 \cdot \frac{s}{d_3} \cdot \left(\frac{s_1}{s_2} - 0,2\right)^{1/2} = 1,28 \cdot \frac{0,025}{0,012} \cdot (1 - 0,2)^{1/2} = 2,38.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку холодильного агента

$$\begin{aligned} \alpha_a &= 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot d_{\text{вн}} \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{СТ}})}} = \\ &= 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{290,6 \cdot 10^3 \cdot 508,7^2 \cdot 0,079^3 \cdot 9,81}{0,11 \cdot 10^{-3} \cdot 0,010 \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{СТ}})}} = 3070 \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{СТ}})^{-0,25}, \end{aligned}$$

де $r = 290,6 \text{ кДж} / \text{кг}$ – теплота конденсації R600a за умови $T_{\text{к}} = 329 \text{ К}$;

$\rho = 508,7 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина рідини; $\lambda = 0,079 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності рідини; $\mu = 0,110 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини.

Питомий тепловий потік в апараті

– з боку робочого тіла

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 3070 \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{СТ}})^{0,75} \text{ Вт} / \text{м}^2;$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

або з урахуванням $\theta_a = T_\kappa - T_{CT}$ отримаємо

$$q_{aF_{BH}} = 3070 \cdot \theta_a^{0,75} \text{ Вт} / \text{м}^2;$$

– з боку повітря

$$q_{ПФ_{BH}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ПЗВ}} + \frac{F_{BH}}{F_3 + F_{BH}} \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda}} \cdot (T_{CT} - T_{II}) =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{439} + \frac{0,0314}{0,0314 + 0,28797} \cdot \frac{0,001}{93}} \cdot (T_{CT} - T_{II}) = 438,8 \cdot (T_{CT} - T_{II}), \text{ Вт} / \text{м}^2,$$

де $F_{BH} = \pi \cdot d_{BH} = 3,14 \cdot 0,010 = 0,0314 \text{ м}^2 / \text{м}$ – площа внутрішньої поверхні труби; $\lambda = 93 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності стінки труби (латунь).

Або з урахуванням, що $(T_{CT} - T_{II}) = (\theta_m - \theta_a)$ отримаємо

$$q_{ПФ_{BH}} = 438,8 \cdot (\theta_m - \theta_a) = 438,8 \cdot (12,8 - \theta_a).$$

Термічним опірком контакту ребер і труби задаємося: $R_{конт} = 0$ (для випадку гарячого оцинкування).

Використаємо графоаналітичний метод для визначення величини питомого теплового потоку в випарнику q_F . Результати розрахунків густин теплових потоків з боку холодильного агента $q_{aF_{BH}}$ і повітря $q_{ПФ_{BH}}$ заносимо до табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Параметри для графіка

$\theta_a, ^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4
$q_{aF_{BH}}, \text{ Вт} / \text{м}^2$	0	3070	5163,1	6998,1	8683,3
$q_{ПФ_{BH}}, \text{ Вт} / \text{м}^2$	5616,6	5177,8	4739,0	4300,2	38,61,4

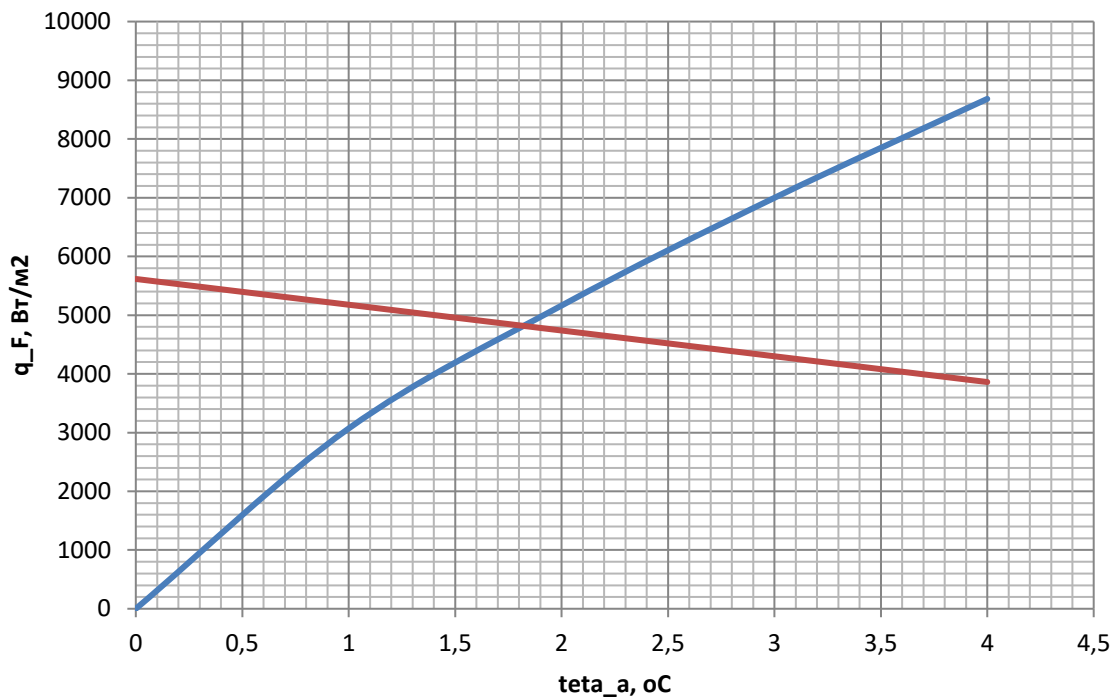


Рисунок 1.5 – Графіки залежностей $q_{Fa} = f(\theta_m)$ і $q_{Fb} = f(\theta_m)$.

З рис. 1.5 визначаємо питомий тепловий потік у конденсаторі

$$q_{F_{\text{вн}}} = 4800 \text{ Вт} / \text{м}^2; \theta_a = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тоді

$$T_{CT} = T_k - \theta_a = 329 - 1,8 = 327,2 \text{ K}.$$

Площа поверхні теплообміну (внутрішня)

$$F_{\text{вн}} = \frac{\dot{Q}_k}{q_{F_{\text{вн}}}} = \frac{32,05 \cdot 10^3}{4800} = 6,68 \text{ м}^2.$$

Загальна довжина оребрених труб

$$L_{заг} = \frac{F_{вн}}{\pi \cdot d_{вн}} = \frac{6,68}{0,0314} = 212,7 м.$$

Кількість секцій

$$a = \frac{L_{заг}}{L_1} = \frac{212,7}{82,81} = 2,57.$$

Задаємося числом секцій $a = 3$.

Середній коефіцієнт теплопередачі апарату

$$k_{F_{вн}} = \frac{q_{F_{вн}}}{\theta_m} = \frac{4800}{12,8} = 375 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Основні конструктивні розміри апарату. При числі секцій $a=3$ довжина труб в одній секції дорівнює

$$L_1 = \frac{L_{заг}}{a} = \frac{212,7}{3} = 70,9 м.$$

Площа живого перерізу

$$F_{ж} = 70,9 \cdot (0,025 - 0,012) \cdot \left(1 - \frac{0,0005}{0,004}\right) = 0,806 \text{ м}^2.$$

Уточнене значення площі живого перерізу відрізняється від заданого раніше на 9 %, що є допустимим. Тому подальших уточнень не виконуємо.

При висоті апарату такій, що дорівнює його ширині число рядів труб по висоті апарату

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$n = \sqrt{\frac{L_1}{s}} = \sqrt{\frac{70,9}{0,025}} = 53.$$

Тоді висота секції апарату

$$H = n \cdot s_1 = 53 \cdot 0,025 = 1,325 \text{ м.}$$

Ширина секції апарату

$$l = \frac{L_1}{n} = \frac{70,9}{53} = 1,34 \text{ м.}$$

Перевіряємо температуру повітря після конденсатора

$$\Delta T_{II} = T_{II2} - T_{II1} = \frac{\dot{Q}_K}{c_p \cdot F_{жс} \cdot w \cdot \rho} = \frac{32050}{1,005 \cdot 10^3 \cdot 0,806 \cdot 5 \cdot 1,128} = 7 \text{ K} \Rightarrow$$

$$T_{II2} = \Delta T_{II} + T_{II1} = 7 + 313 = 320 \text{ K.}$$

Отримане значення нагрівання повітря у апараті відрізняється від заданого попередньо на 1 K, або на 17 %, що є допустимим ($\leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$). Тому подальшого уточнення не виконуємо.

Тепловий та конструктивний розрахунки конденсатора повітряного охолодження вважаємо завершеними.

Гідравлічний розрахунок конденсатора

Аеродинамічний опір коридорного пучка с пластинчатим оребренням визначаємо за формулою Гоголіна

$$\Delta p = A \left(\frac{L}{d_{эжс}} \right) (\omega \cdot \rho)^{1,7} = 0,07 \cdot \frac{0,24}{0,0055} \cdot (5 \cdot 1,128)^{1,7} = 57,8 \text{ мм вод. ст.} \approx 567 \text{ Па.}$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Відповідно до отриманих значень об'ємної продуктивності одного вентилятора $\dot{V}_{\text{вент}} = \dot{V} / a = 4,712 / 3 = 1,571 \text{ м}^3 / \text{с} = 5654 \text{ м}^3 / \text{год}$ та величини аеродинамічного опору $\Delta p = 567 \text{ Па}$ підбираємо вентилятор осьового типу моделі SOLER&PALAU TCBTX2/4-560 (Іспанія) з такими характеристиками [12]:

- діаметр лопатей 560 мм;
- номінальна витрата повітря 10000 м³/год;
- номінальна частота обертання 1360 об/хв;
- рівень шуму 78 дБА;
- маса 66 кг;
- робочий діапазон температур від -40 до +70 °С.

Потужність електродвигуна вентилятора

$$N_{\text{вент}} = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{a \cdot \eta_{\text{вент}} \cdot \eta_{\text{ем}}} = \frac{4,712 \cdot 567}{3 \cdot 0,65 \cdot 0,75} = 1827 \text{ Вт},$$

де $\eta_{\text{вент}}$ – ККД вентилятора; $\eta_{\text{ем}}$ – електромеханічний ККД.

Підбираємо асинхронний електродвигун змінного струму серії 4А марки 4А90В4 У3, що має такі характеристики [11]:

- номінальна потужність 2,2 кВт;
- номінальна напруга живлення 220 В;
- номінальна синхронна частота обертання 1500 об/хв;
- ковзання 5,4 %;
- ККД на номінальному режимі 80 %;
- коефіцієнт потужності 83 %.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

1.4 Підбір обладнання холодильної машини

Підбір компресора

Тиск конденсації холодильного агенту $p_k = 0,792 \text{ МПа}$.

Тиск кипіння холодильного агенту $p_0 = 0,058 \text{ МПа}$.

Ступінь підвищення тиску у циклі $\pi = 13,66$.

Перепад тисків

$$\Delta p = p_k - p_0 = 0,792 - 0,058 = 0,734 \text{ МПа}.$$

З урахуванням великого значення ступеня підвищення тиску у циклі ($\pi = 13,66$) підбираємо гвинтовий холодильний компресор.

Об'ємна продуктивність компресора за умовами всмоктування на робочому режимі роботи

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_a \cdot v_1 = 0,087 \cdot 0,668 = 0,058 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 209 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Використовуючи каталог компанії MYSOM (Японія) [10], за відомою величиною об'ємної продуктивності компресора $\dot{V}_1 = 209 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ та ступеня підвищення тиску $\pi = 13,66$ підбираємо гвинтовий холодильний компресор моделі 125SUD.

Технічні характеристики компресора моделі 125SUD (рис. 1.6 і 1.7):

- об'ємна продуктивність номінальна, $\text{м}^3/\text{год}$ 197;
- середній діаметр ротора, мм 125;
- довжина ротора, мм 137,5;
- розміщення патрубків нагнітання горизонтально;
- частота обертання вала ротора, об/хв 1500–4500;
- максимальний тиск нагнітання, МПа 2,1;

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

– тиск всмоктування, МПа	0,03–0,7;
– допустима різниця тисків, МПа	2,0;
– допустима температура нагнітання, °С	100;
– температура мастила, °С	30–55;
– габаритні розміри	$L = 850 \text{ мм}$; $W = 725 \text{ мм}$; $H = 600 \text{ мм}$;
– маса, кг	350.

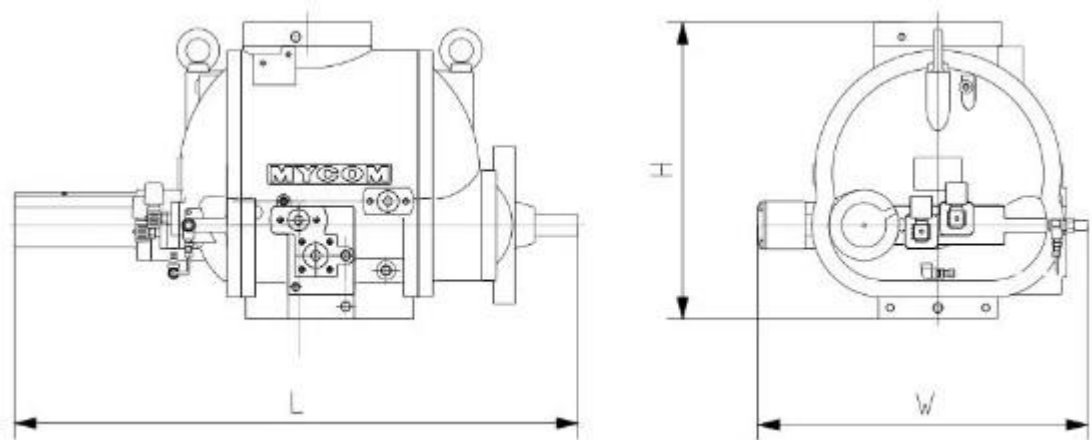


Рисунок 1.6 – Гвинтовий холодильний компресор моделі 125SUD фірми MYCOM. Габаритне креслення



Рисунок 1.7 – Гвинтовий холодильний компресор моделі 125SUD фірми MYCOM. Зовнішній вигляд

					XM 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		34

Всі гвинтові компресори фірми MYCOM є двохроторними, а також маслозаповненими.

Використання запатентованої форми ротора дозволяє досягти високої продуктивності і високого коефіцієнта термотрансформації COP. Використані сальникові ущільнення виготовлені із сучасних матеріалів, що мають високий ступінь зносостійкості.

Ступінь стиснення регулюється, а плавне регулювання холодопродуктивності дозволяє досягти найнижчого рівня споживання електроенергії.

Завдяки використанню масловіддільника, що складається з двох горизонтальних ступенів практично виключається можливість винесення мастила в систему холодопостачання.

З метою технічного обслуговування, без зупинки і розгазування агрегату, використовуються два масляних фільтри, які дублюють один одного.

Для відсутності осьового тиску і збільшення терміну служби використовуються подвійні спіральні профілі на роторі маслонасоса.

Для управління використовується панель MYPRO, яка забезпечує захист агрегату і його автоматичне керування, а також забезпечує можливість роботи декількох компресорів у зв'язці.

За показниками продуктивності за умови низького завантаження компресора, при роботі в умовах низьких температур, гвинтові компресори MYCOM є лідерами.

Підбір випарника (приладів охолодження)

Температура у камері $t_{кам} = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$; теплове навантаження на обладнання $Q_0 = 20000\text{ Вт}$.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Обираємо прилади охолодження – повітроохолоджувачі з низькою швидкістю руху повітря та малим значенням температурного напору $\Delta t = 4 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Необхідна площа поверхні повітроохолоджувача

$$F = \frac{\dot{Q}_0}{k \cdot \Delta t},$$

де $k = 17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ – коефіцієнт теплопередачі для повітроохолоджувача

$$F = \frac{20000}{17 \cdot 5} = 235 \text{ м}^2.$$

З метою більш рівномірного розподілу джерел охолодження у холодильній камері підбираємо 5 повітроохолоджувачів ВОП-50 ([4, табл. 14.7]). Надлишок поверхні теплообміну дозволить забезпечувати стабільну роботу камери під час пікових температур у теплий період року.

Визначимо достатність циркуляції охолодженого повітря через повітроохолоджувачі.

Задаємося зміною температури у повітроохолоджувачі $\Delta t_{\text{ПО}} = 2..5 \text{ }^\circ\text{C} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Задаємося відносною вологістю у камері $\varphi_{\text{КАМ}} = 0,8$.

Температура повітря на вході у повітроохолоджувач

$$t_1 = t_{\text{КАМ}} + \frac{\Delta t_{\text{ПО}}}{2} = -18 + \frac{4}{2} = -16 \text{ }^\circ\text{C};$$

Питома ентальпія повітря на вході у повітроохолоджувачі

$$h_{\text{ПІ}} = (1,01 + 1,97 \cdot d_{\text{ПО}}) \cdot t_{\text{ПІ}} + 2493 \cdot d_{\text{ПО}},$$

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$\text{де } d_{\text{ПО}} = 0,622 \cdot \frac{\varphi_{\text{КАМ}} \cdot P_s(t_{\text{КАМ}})}{B - \varphi_{\text{КАМ}} \cdot P_s(t_{\text{КАМ}})} = 0,622 \cdot \frac{0,8 \cdot 125}{10^5 - 0,8 \cdot 125} = 0,00062 \text{ кг / кг} -$$

вологівміст повітря при параметрах у камері.

Тоді питома ентальпія повітря на вході до повітроохолоджувача складе

$$h_1 = (1,01 + 1,97 \cdot 0,00062) \cdot (-16) + 2493 \cdot 0,00062 = -14,6 \text{ кДж/кг.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки для повітря, що виходить з повітроохолоджувача:

– температура

$$t_2 = t_{\text{КАМ}} - \frac{\Delta t_{\text{ПО}}}{2} = -18 - \frac{4}{2} = -20 \text{ }^\circ\text{C};$$

– питома ентальпія

$$\begin{aligned} h_2 &= (1,01 + 1,97 \cdot d_{\text{ПО}}) \cdot t_2 + 2493 \cdot d_{\text{ПО}} = \\ &= (1,01 + 1,97 \cdot 0,00062) \cdot (-20) + 2493 \cdot 0,00062 = -18,7 \text{ кДж / кг.} \end{aligned}$$

Необхідна об'ємна витрата повітря

$$\dot{V}_B = \frac{\dot{Q}_0}{\rho \cdot \Delta h};$$

$$V_B = \frac{20}{1,29 \cdot (-14,6 - (-18,7))} = 3,78 \text{ м}^3/\text{с},$$

де $\rho = 1,29 \text{ м}^3/\text{кг}$ – густина повітря при нормальних фізичних умовах.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Повітроохолоджувач ВОП-50 укомплектовано двома вентиляторами об'ємною продуктивністю $0,66 \text{ м}^3/\text{с}$ кожен. При кількості повітроохолоджувачів 5 шт., загальна витрата охолодженого повітря складе

$$5 \cdot 2 \cdot 0,66 = 6,6 \text{ м}^3 / \text{с},$$

що з надлишком забезпечує необхідну витрату повітря, а отже, перепад температур у камері при роботі усіх вентиляторів на номінальному режимі буде меншим.

Додаткові технічні характеристики повітроохолоджувача ВОП-50:

- площа поверхні теплопередачі 50 м^2 ;
- крок ребер $13,4 \text{ мм}$;
- частота обертання вентилятора $16,7 \text{ об} / \text{с}$;
- потужність приводу вентилятора $0,4 \text{ кВт}$;
- кількість вентиляторів – 2 шт.;
- об'ємна витрата повітря одного вентилятора на номінальному режимі роботи $0,66 \text{ м}^3 / \text{с}$;
- наявність електронагрівачів – так;
- місткість за холодильним агентом $24,6 \text{ дм}^3$;
- маса (без холодоагенту) 340 кг .

Теплообмінна поверхня створена на базі сталевих безшовних труб діаметром $25 \times 2 \text{ мм}$. Ребра пластинчасті сталеві розміром $460 \times 140 \times 0,4 \text{ мм}$ посажені на два ряди труб (по 6 труб на кожному ряду). Розміщення труб коридорне з відстанню по осі труб $76 \times 70 \text{ мм}$.

Зовнішній вигляд повітроохолоджувача стелевого типу ВОП-50 поданий на рис. 1.8.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

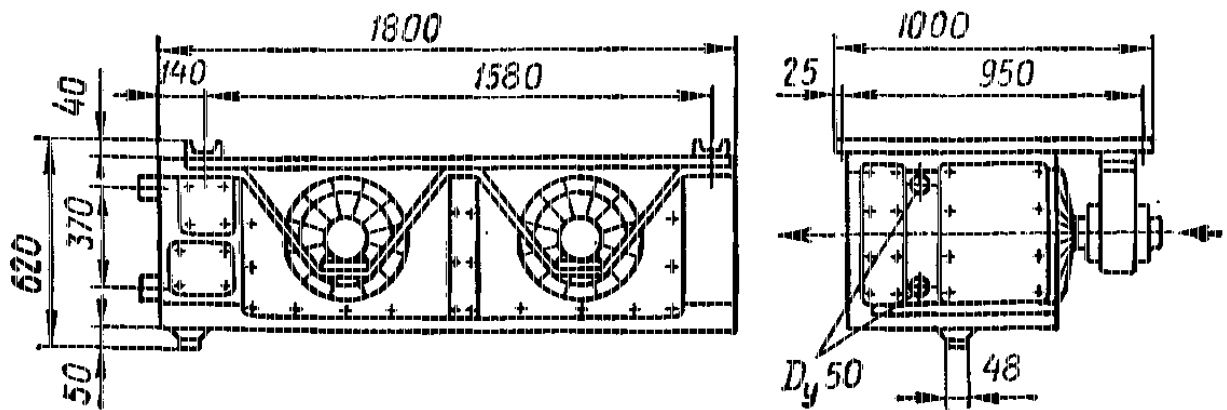


Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд повітроохолоджувача стелевого типу ВОП-50 [5]

Підбір регенеративного теплообмінника

Підбір виконуємо за такими вихідними даними:

- теплове навантаження $\dot{Q}_{PT} = 4,02 \text{ кВт}$;
- температура кипіння холодильного агента $t_0 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура конденсації холодильного агента $t_k = 56 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура холодильного агенту за умовами всмоктування у компресор $t_6 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура холодильного агенту перед дросельним вентиляем $t_4 = 38 \text{ }^\circ\text{C}$;
- схема руху теплоносіїв у апараті – протитечія.

Середній логарифмічний температурний напір у апараті

$$\Delta t = \frac{(t_4 - t_0) - (t_k - t_6)}{\ln \frac{t_4 - t_0}{t_k - t_6}} = \frac{(56 - (-25)) - (38 - (-25))}{\ln \frac{56 - (-25)}{38 - (-25)}} = 71,6 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Площа теплопередаючої поверхні регенеративного теплообмінника

									Аркуш
									39
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					

$$F_{PT} = \frac{\dot{Q}_{PT}}{k \cdot \Delta t} = \frac{4,02 \cdot 10^3}{120 \cdot 71,6} = 0,47 \text{ м}^2.$$

де $k = 120 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопередачі регенеративного теплообмінника.

Підбираємо регенеративний теплообмінник марки ТФ-50М з табл. 7.1 [6] з параметрами: тип апарату – кожухозмійовиковий горизонтальний; площа поверхні – $0,50 \text{ м}^2$; труби гладкі – $12 \times 1,5 \text{ мм}$; матеріал труби – мідь; кількість змійовиків – 2; маса теплообмінника – 35 кг .

Зовнішній вигляд регенеративного теплообмінника поданий на рис. 1.9.

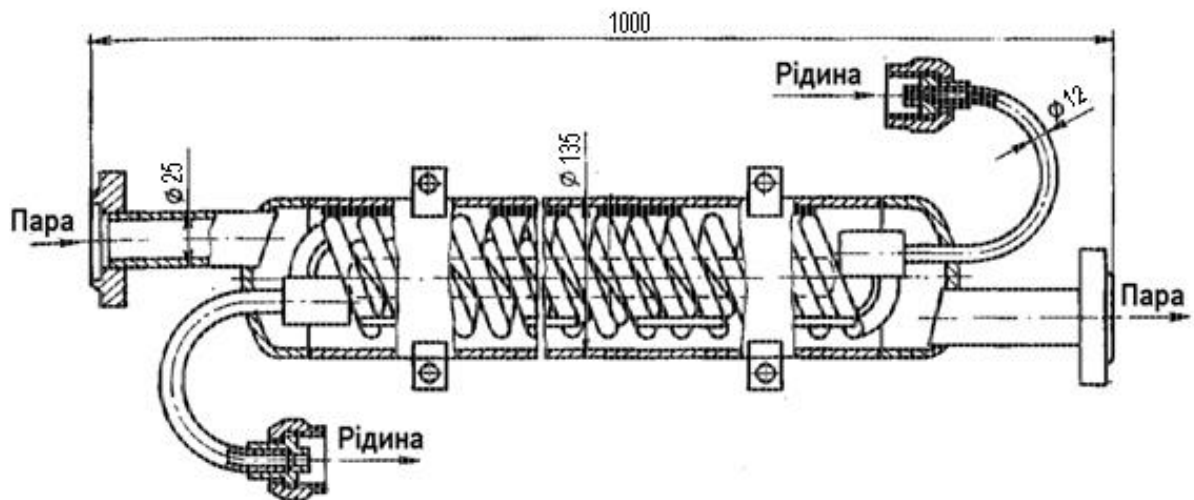


Рисунок 1.9 – Зовнішній вигляд регенеративного теплообмінника типу ТФ-50М

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 «ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ»

Заходи безпеки при експлуатації холодильних установок

При забезпеченні безпечної експлуатації холодильних установок поряд із зазначеними Правилами слід керуватися також відповідними вимогами діючих Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, стандартів та інших нормативних правових актів, що містять нормативні вимоги до охорони праці (з урахуванням особливостей і специфіки холодильних установок).

При експлуатації холодильних установок можливий вплив на працівників ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, в тому числі:

- осколків, що розлітаються, обладнання і струменів холодильного агенту (рідкого, газоподібного під тиском), холодоносіїв за умови руйнування елементів обладнання і трубопроводів;
- розташування робочих місць на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);
- рухомих частин обладнання (компресори, насоси, вентилятори);
- підвищеної загазованості повітря робочих зон (через можливих витоків холодильного агенту з холодильних систем і внаслідок пожежі);
- підвищеної або зниженої температури поверхонь обладнання і трубопроводів;
- зниженої температури повітря робочих зон (в холодильних камерах; при обслуговуванні обладнання взимку на зовнішніх майданчиках);
- підвищеного рівня шуму на робочих місцях;
- підвищеного рівня вібрації;
- підвищеної рухливості повітря в холодильних камерах і на зовнішніх (відкритих) майданчиках тощо.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Вміст шкідливих речовин і кількість небезпечних факторів в робочих зонах не повинен перевищувати значень, визначених чинними стандартами і гігієнічними нормативами.

Для обслуговування обладнання, трубопроводів, арматури та інших елементів холодильних установок, розташованих на висоті вище 1,8 м від підлоги (землі), повинні передбачатися відповідні майданчики, драбини.

Для захисту працівників від наслідків можливих руйнувань елементів обладнання і трубопроводів холодильних установок треба, зокрема, передбачати:

- а) прилади протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ);
- б) запобіжні пристрої за тиском;
- в) своєчасне огляд апаратів (посудин) і трубопроводів.

Захист працівників від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів повинен здійснюватися також на основі виконання вимог пожежної безпеки, будівельних і санітарних норм щодо розміщення обладнання і влаштування систем, приміщень, вимог безпеки при монтажі та ремонті.

Для захисту працівників, зайнятих експлуатацією холодильних установок, від знижених температур і підвищеної рухливості повітря в холодильних камерах і на зовнішніх (відкритих) майданчиках треба передбачати для них спецодяг і спецвзуття згідно з діючими нормативами.

Охорона навколишнього природного середовища забезпечує ретельну герметизацію холодильних систем, недопущення викидів холодильних агентів при ремонтах, оглядах, демонтаж обладнання і трубопроводів, контролем за недопущенням витікань холодильних агентів під час вироблення холоду відповідно до інструкцій організацій-виробників холодильних установок.

Експлуатація холодильної установки повинна здійснюватися відповідно до технологічного регламенту. Технологічний регламент розробляється проектною організацією-розробником проєкту, науково-дослідною

					XM 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

організацією або організацією, яка експлуатує холодильну установку, за погодженням із проектною організацією-розробником проекту.

У холодильній установці повинні бути передбачені апарати, що запобігають потраплянню крапель рідкого холодильного агенту у всмоктувальну порожнину компресорів.

Блок випарника для охолодження холодоносія повинен включати в себе пристрій для відділення крапель рідини з парорідинній суміші і повернення відокремленої рідини в випарник.

На постійному робочому місці обслуговування холодильної установки (установок) повинен бути експлуатаційний журнал, затвердженої в цій організації формі.

Роботодавці та організації, зайняті експлуатацією холодильних установок, зобов'язані забезпечити:

- навчання своїх працівників у встановленому порядку;
- підтримання холодильних установок у справному стані (та їх періодичне обстеження) відповідно до вимог документації на ці установки;
- постійний контроль за дотриманням працівниками всіх вимог інструкцій з охорони праці;
- працівників відповідних служб нормативними правовими документами.

У кожній організації, яка експлуатує холодильну установку (установки), наказом роботодавця з числа фахівців, які пройшли в установленому порядку перевірку знань правил охорони праці, повинні бути призначені працівники, відповідальні:

- а) за здійснення контролю за технічним станом та безпечною експлуатацією холодильної установки (установок) і дотриманням вимог нормативного законодавства;

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

б) за справний стан, правильну і безпечну роботу обладнання, трубопроводів, арматури, контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА) та інших пристроїв холодильної установки (установок).

Для організацій з періодичним обслуговуванням (власними силами) малих холодильних установок дозволяється поєднання перерахованих обов'язків одним працівником. У разі наявності договору на обслуговування (ремонт) холодильних установок зі сторонньою спеціалізованою організацією відповідальність за справний стан, правильну і безпечну роботу пристроїв холодильної установки (установок) покладається на цю організацію.

Устаткування, арматура, прилади, засоби захисту тощо, виготовлені за межами країни (що надходять як імпорт), що використовуються при експлуатації холодильних установок, а також проекти створення і прив'язки холодильних установок повинні мати рівень безпеки не нижче рівня, необхідного відповідними внутрішньодержавними нормативними правовими актами.

При роботі або знаходженні в недіючому стані холодильної установки тиск в будь-якій її частині не повинен бути вище допустимого.

Для скидання тиску, який перевищує припустимий, можуть бути використані запобіжні клапани, розривні мембрани, плавкі пробки. Переважно треба застосовувати автоматичні запобіжні клапани, перед якими при необхідності встановлюються розривні мембрани.

Монтажні роботи повинні виконуватися спеціалізованими організаціями.

Забороняється виконувати монтаж холодильних установок або їх вузлів без наявності проектної документації.

До зварювання посудин і трубопроводів повинні допускатися зварники, які мають посвідчення про атестацію у встановленому порядку. Перед пуском в експлуатацію, після тривалої стоянки (більше одного року) або

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

після ремонту, холодильні установки (з урахуванням їх характеристик, вимог чинної нормативної документації та інструкцій заводу-виробника обладнання) повинні піддаватися випробуванням, які можуть в повному обсязі або частково включати:

- випробування на міцність;
- випробування на щільність;
- випробування на функціонування пристроїв безпеки (реле тиску, запобіжні клапани тощо);
- випробування, що підтверджують функціонування установки в цілому.

Заново змонтована холодильна установка перевіряється на відповідність проектній документації з технологічної частини та наявності приладів і пристроїв контролю, захисту і управління. Перевіряється також наявність документації, що відноситься до посудин, що працюють під тиском.

Якщо до складу холодильної установки входять посудини, на які поширюються вимоги Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, то питання випробувань установки перед допуском її в експлуатацію повинні вирішуватися з урахуванням вимог до цих посудинах.

Якщо холодильна установка зібрана на місці експлуатації з окремих вузлів, що мають документи, що підтверджують їх випробування на міцність на підприємстві-виробнику і відповідне зберігання, то після монтажу установки можна виконувати випробування на міцність лише тих вузлів, які раніше не були випробувані. Випробування на щільність виконується для всієї холодильної установки в цілому.

До обслуговування холодильних установок допускаються працівники, які пройшли навчання і мають посвідчення, яке підтверджує їх кваліфікацію.

При обслуговуванні холодильних установок в організації своїми силами керівник повинен видати наказ про створення служби технічного нагляду за безпечною експлуатацією обладнання, трубопроводів, КВП і інших пристроїв цих установок.

					XM 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для малих холодильних установок з періодичним обслуговуванням технічну експлуатацію і ремонт допускається виконувати силами сторонніх спеціалізованих організацій, що мають дозвільні документи на виконання цих робіт.

Холодильні установки повинні обслуговуватися на підставі робочих інструкцій, складених з урахуванням Правил з охорони праці, типових інструкцій з охорони праці, проектної документації, керівництв організацій-виробників з експлуатації холодильного обладнання.

Робочі інструкції повинні перебувати у працівників, відповідальних за безпечну експлуатацію холодильних установок, а також бути доведені до відома працівників, які обслуговують ці установки.

Початковий пуск холодильної установки після монтажу, а також після ремонту, тривалої зупинки або після спрацьовування приладів захисту і виведення її на робочий режим повинні здійснюватися під наглядом працівників, які обслуговують цю установку.

Кожна холодильна установка повинна мати експлуатаційний журнал, в якому фіксуються заходи з технічного обслуговування установки і параметри її роботи. У разі, якщо є кілька однотипних установок, допускається мати один журнал.

В процесі експлуатації холодильних установок з постійним або нецілодобовим обслуговуванням виконується візуальний огляд обладнання, фіксування показань приладів (манометрів, термометрів), перевірка герметичності обладнання з періодичністю 1 раз в зміну.

Для діагностування роботи холодильних установок з зарядкою до 50 кг холодильного агенту допускається застосування знімних приладів, наприклад, манометричної станції. Перевірка герметичності установок повинна виконуватися залежно від маси заправленого холодильного агенту і числа можливих місць витоків.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Для виявлення місця витіку холодинного агента дозволяється користуватися галоїдними та іншими течешукачами, мильною піною, полімерними індикаторами герметичності. Наявність слідів мастила в роз'ємних з'єднаннях, бульбашок при обмилуванні з'єднань, зміна кольору полум'я вказують на витікання холодинного агента.

При виявленні витікання холодинного агента необхідно, за можливості, видалити холодинний агент з пошкодженої ділянки холодинної установки, зупинити установку, перекрити запірною арматурою пошкоджену ділянку, включити витяжну вентиляцію і усунути витік.

При огляді холодинного обладнання, розташованого в закритих приміщеннях, а також трубопроводів в колодязях і тунелях необхідно впевнитись у відсутності в повітрі холодинного агента, наприклад, за допомогою галоїдного або іншого течешукача. У випадку виявлення пари холодинного агента в цих об'єктах вхід в них заборонений до їх провітрювання.

Проходи поблизу холодинного обладнання повинні бути завжди вільні, а підлоги проходів – в справному стані.

Забороняється експлуатація холодинної установки з несправними приладами захисної автоматики.

Куріння в машинних відділеннях, а також в інших приміщеннях, де встановлено холодинне обладнання, забороняється.

Зварювання та пайка при ремонті машин, агрегатів, апаратів, трубопроводів діючих холодинних установок повинні застосовуватися під наглядом старшого технічного персоналу і за наявності письмового дозволу працівника, відповідального в організації за справний стан, правильну і безпечну експлуатацію холодинних установок.

Перед зварюванням або паянням треба видалити холодинний агент з ділянки холодинного обладнання або трубопроводу, що ремонтується.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Зварювання та пайка повинні виконуватися відповідно до вимог Правил пожежної безпеки.

Забороняється знімати огороження з рухомих частин і торкатися до рухомих частин холодильного обладнання, як при роботі, так і після зупинки цього обладнання, поки не буде попереджено його випадкове або несанкціоноване включення.

Розкривати компресори, апарати і трубопроводи холодильних установок дозволяється лише після того, як тиск холодильного агенту буде знижений до атмосферного і залишиться незмінним протягом 20 хв.

Забороняється розкривати холодильні апарати з температурою стінок нижче мінус 35 °С (до їх утеплення).

Холодильні установки, що працюють на озононебезпечних холодильних агентах, повинні експлуатуватися з обов'язковим збором холодильного агенту для його утилізації при ремонтах (ревізіях) установок.

Електричні пристрої, що забезпечують роботу холодильних установок, повинні експлуатуватися з урахуванням діючих нормативних документів по електроустановок, в тому числі щодо заземлення.

Випробування захисних пристроїв, що обмежують тиск: реле тиску, запобіжні клапани – проводиться силами організації, що експлуатує холодильну установку, якщо вона має дозвільний документ на проведення цих робіт, або силами сторонньої спеціалізованої організації, в терміни, встановлені технічною відсталістю та проектною документацією.

Всі встановлені манометри повинні бути опломбовані або мати клеймо повірки; повірка манометра повинна проводитися щорічно, а також кожного разу після проведеного ремонту манометра. Не рідше 1 разу на 6 міс. організацією повинна проводитися додаткова перевірка робочих манометрів контрольним манометром, про що робиться запис в журналі контрольних перевірок.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Ремонт холодильних установок може виконуватися організацією, яка обслуговує власними силами цю установку, або сторонньою спеціалізованою організацією.

Підставою для проведення ремонтних робіт є вимоги експлуатаційної документації заводу-виробника (планові ремонти і огляд) або результати оглядів, позачергових оглядів, в тому числі обумовлених відмовами, що виникли під час роботи обладнання, порушеннями режимів експлуатації холодильних установок.

Ремонт може проводитися як при повністю зупиненій холодильній установці, так і при її частковій експлуатації (по окремих вузлах і ділянках установки), залежно від виду обладнання, наявності резерву, можливості виділення ремонтної ділянки від іншої частини установки, обсягу ремонту, забезпечення безпеки ремонтних робіт тощо.

Основою ремонту обладнання холодильної установки в організації, що експлуатує цю установку, повинна бути система планово-попереджувальних ремонтів (ППР), що проводиться згідно із заздалегідь складеними графіками.

Річний і місячний (з урахуванням фактичного наробітку обладнання) графіки ППР повинні затверджуватися роботодавцем.

В організації повинна вестися документація, що підтверджує своєчасність і якість проведених ремонтних робіт відповідно до вимог ППР. Порядок безпечного виконання ремонтних робіт повинен бути передбачений інструкцією з охорони праці при ремонті, затвердженій роботодавцем.

Перед виконанням ремонтних робіт ділянку або елемент холодильної установки, що підлягає ремонту, повинен бути відключений вентилями від іншої частини установки і звільнений від холодильного агенту і інших речовин, відповідно до інструкції по експлуатації холодильної установки.

Дії зі встановлення і зняття заглушок повинні фіксуватися в спеціальному журналі з підписом особи, що встановила і зняла заглушку.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Ремонтоване холодильне обладнання (компресори, насоси тощо) і пов'язане з ним електричне обладнання (електродвигуни, електричні прилади автоматики, щити управління тощо) повинне бути від'єднане від електромереж для запобігання випадкового контакту або несанкціонованого пуску-включення.

На пускових пристроях електроустаткування повинні бути вивішені таблички "НЕ ВМИКАТИ! ЙДЕ РЕМОНТ".

Здавання обладнання, трубопроводів або частини холодильної установки в ремонт повинне оформлятися відповідним актом, де зокрема зазначаються:

а) повнота і достатність звільнення від холодильного агенту, мастила, води і холодоносія, а також відділення ділянки від решти холодильної установки;

б) заходи щодо повного знеструмлення ремонтується холодильного обладнання;

в) дата і час здачі в ремонт, із зазначенням посади, прізвища та підписів осіб, що здає та приймає.

На території ремонтованої частини холодильної установки повинні бути виставлені попереджувальні щити та таблички про ремонт і заборону входу сторонніх осіб в зону ремонту.

Про знаходженні холодильної установки в ремонті повинно бути записано в експлуатаційному журналі, а також повинні бути поінформовані працівники установки і цехи, на території (у приміщеннях) якого виконується ремонт.

Працівники повинні мати засоби індивідуального захисту і знати правила їх застосування, заходи долікарської допомоги.

При проведенні ремонту посудин, що підпадають під дію Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, повинні дотримуватися вимоги цих правил.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						50
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

До електрозварювальних, газозварювальних та інших вогневих робіт на холодильних установках допускаються лише працівники, атестовані в установленому порядку.

У зв'язку із підписанням Урядом України Монреальського Протоколу про відмову від використання озоноруйнуючих холодоагентів (фреонів, хладонів) групи хлорфторвуглеводнів ХФВ (або з міжнародних позначенням HCFC): R11, 12, 13, 113, 114, 115, 502, 503, 12B1 і 13B1, що містять атоми хлору або бром, які виготовляються в Україні і поставляються з-за кордону нове холодильне обладнання повинно працювати на речовинах, що не входять в перерахований ряд.

При використанні неазеотропних сумішей повинні бути застосовані особливо жорсткі вимоги до герметичності холодильних установок, оскільки при витіканнях через нещільності з установки спочатку витікають найбільш леткі (низькокиплячі) компоненти, і склад суміші, що залишилася, відрізняється від початкового.

Заміна холодильного агента і мастила на інші марки в холодильних установках в передбачених випадках повинна проводитися лише спеціалізованими організаціями, які мають дозвільні документи на виконання таких робіт.

До обслуговування холодильних установок допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд і мають документ про закінчення спеціального навчального закладу або курсів.

До самостійного обслуговування холодильних установок можуть бути допущені працівники тільки після проходження під керівництвом досвідченого наставника стажування протягом одного місяця і відповідної перевірки знань. Допуск до стажування і самостійної роботи оформлюється розпорядженням по організації.

Виконання робіт в машинних і апаратних відділеннях, а також в холодильних камерах та інших приміщеннях, де є холодильне обладнання,

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

працівниками, не пов'язаними з обслуговуванням холодильної установки і експлуатацією камер (ремонт приміщення, теплоізоляції, фарбування обладнання та труб тощо), повинен виконуватися після відповідного інструктажу і під наглядом працівника, відповідального за експлуатацію холодильної установки (або працівника, що його заміняє).

Допущені до роботи працівники повинні бути проінструктовані про небезпечні наслідки пошкодження елементів холодильних установок, про неприпустимість використання обладнання і труб як опори для робочих майданчиків (помостів), сходів і засобів підйому матеріалів та про заборону куріння в приміщеннях.

Працівники, допущені до технічного обслуговування конкретної холодильної установки, крім загальнотеоретичних знань і вимог, Правил з безпеки і охорони праці, повинні знати:

- будову, правила обслуговування і принцип роботи холодильної установки, системи трубопроводів (холодильного агенту, води, холодоносія);
- порядок виконання робіт з пуску, зупинки холодильної установки і її елементів, регулювання режиму їх роботи (відповідно до інструкцій заводу-виробника з обслуговування встановленого обладнання);
- нормальний режим роботи холодильної установки;
- правила заповнення холодильної установки холодильним агентом, мастилом і холодоносієм;
- порядок ведення експлуатаційного журналу холодильної установки;
- правила користування засобами індивідуального захисту;
- правила охорони праці та надання долікарської допомоги, в тому числі при ураженні електрострумом.

У кожній організації повинні бути розроблені і затверджені робочі інструкції з холодильних установок, в тому числі з охорони праці. Інструкції повинні бути доведені до відома обслуговуючого персоналу (під розписку).

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

В машинних відділеннях або інших приміщеннях, де перебувають в основний час чергові зміни, які обслуговують холодильні установки, на видному місці повинні бути вивішені:

а) принципові технологічні схеми трубопроводів (холодильного агенту, води, холодоносіїв) і розміщення на них холодильного та технологічного обладнання, з пронумерованою запірною арматурою, нанесенням місць розміщення КВП і короткими поясненнями; б) плани розміщення холодильного та технологічного обладнання, трубопроводів та відсічної запірної арматури;

в) режимні карти роботи холодильних установок;

г) інструкції із зупинення холодильних установок та про порядок дій за умови виникнення аварійних ситуацій;

д) списки, телефони і адреси посадових осіб і спецпідрозділів (пожежної команди, швидкої допомоги, електромережі тощо), які повинні бути негайно повідомлені про аварію або пожежу;

е) покажчики місцезнаходження аптечки і засобів індивідуального захисту.

Біля входів до охолоджувальних приміщень (коридор, естакада) повинні бути вивішені інструкції з охорони праці при виконанні робіт у цих приміщеннях і захисту охолоджувальних пристроїв і трубопроводів від пошкоджень.

Перераховані документи повинні бути затверджені роботодавцем.

У місці основного перебування чергових працівників холодильної установки повинен бути експлуатаційний журнал затвердженого в цій організації зразка, робочі інструкції, річні і місячні графіки проведення планово-попереджувального ремонту, номери телефонів і адреси сторонніх організацій, які обслуговують холодильне обладнання.

Для машинних відділень та інших приміщень, де встановлені лише агреговані (блокові) холодильні установки (машини) повної заводської

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

поставки (автоматичні), які обслуговуються сторонньою спеціалізованою організацією, перелік вищевказаних інструкцій та інших матеріалів, а також їх місцезнаходження встановлюється керівництвом організації, яка споживає холод.

Роботодавці зобов'язані забезпечувати холодильні установки необхідним штатом обслуговуючого персоналу, або повинні залучати сторонні спеціалізовані організації для комплексного технічного обслуговування автоматичних холодильних установок.

Забороняється використовувати добові графіки роботи чергових змін обслуговуючого персоналу холодильних установок.

Роботодавці проводять відповідно до вимог ГОСТ 12.0.004 навчання працівників холодильних установок з безпеки праці, а також здійснюють контроль за своєчасним та якісним їх навчанням.

Загальне керівництво навчанням в організації покладається на роботодавця, а в підрозділах – на керівника підрозділу.

Періодична перевірка знань молодшого обслуговуючого персоналу правил, нормативних документів з технічного обслуговування холодильної установки і охорони праці, а також практичних дій повинна виконуватися не рідше 1 разу на рік комісією, що складається з фахівців з холодильної техніки і охорони праці. Склад комісії затверджується роботодавцем.

Холодильні установки повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до чинних норм. Розміщення і зберігання в приміщеннях холодильних установок сторонніх предметів не допускається.

[10]

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи відповідно до завдання було виконано аналіз існуючих видів холодильних машин та ґрунтовно розглянуто найбільш поширений з них – парокомпресійну холодильну машину. Також подано опис основних холодильних агентів, що застосовуються у холодильній техніці.

З метою визначення теплового навантаження на теплообмінники (конденсатор, регенеративний теплообмінник) для подальшого вибору обладнання, а також проектування конденсатора виконаємо тепловий розрахунок одноступеневої парокомпресійної холодильної машини. За результатами розрахунку ступеня підвищення тиску у циклі було визначено, що робочим умовам задовольняє гвинтового компресора. Також розраховано теплове навантаження на конденсатор $\dot{Q}_{КД} = 32,05 \text{ кВт}$, коефіцієнт термотрансформації циклу ПКХМ за електричною потужністю $\text{COP}_e = 1,44$ та інші величини. Після повторного розрахунку циклу ПКХМ на стандартному режимі роботи ($t_0 = -15^\circ\text{C}$; $t_k = 30^\circ\text{C}$; $t_{ec} = 0^\circ\text{C}$) та порівняння отриманих величин теплових навантажень і електричної потужності для подальшого розрахунку було визначено робочий режим холодильної машини як більш навантажений.

У результаті виконання розрахунку конденсатора повітряного охолодження, використовуючи и графоаналітичний метод, було визначено питомий тепловий потік у конденсаторі $q_{F_{\text{вн}}} = 4800 \text{ Вт} / \text{м}^2$, внутрішню площу поверхні теплообміну $F_{\text{вн}} = 6,68 \text{ м}^2$, число секцій апарату $a=3$, висоту секції апарату $H = 1,325 \text{ м}$, ширину секції апарату $l = 1,34 \text{ м}$. У результаті виконання гідравлічного розрахунку конденсатора було розраховано аеродинамічний опір коридорного пучка с пластинчатим ребренням $\Delta p = 567 \text{ Па}$.

При виконанні підбору обладнання холодильної машини було підібрано гвинтовий холодильний компресор моделі 125SUD компанії MYCOM (Япо-

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

нія), повітроохолоджувачі моделі ВОП-50 у кількості 5 шт. та регенеративний теплообмінник марки ТФ-50М.

У розділі 2 «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» наведено докладний опис заходів безпеки при експлуатації холодильних установок, а саме: можливий вплив на працівників ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів, заходів із захисту працівників від наслідків можливих руйнувань елементів обладнання і трубопроводів холодильних установок, заходів з охорони навколишнього природного середовища, обов'язки роботодавців та організацій, працівників, що експлуатують холодильні установки, заходи при ремонті холодильного обладнання тощо.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 4110 Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалаврів професійного напрямку підготовки 6.050604 "Енергомашинобудування" [Текст] : для студ. напрямів підготовки 6.05060405 "Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка", 6.05060403 "Холодильні машини і установки" денної та заочної форм навчання / В. М. Арсеньєв, Ю. М. Вертепов. – Суми : СумДУ, 2016. – 15 с.

2. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://lsn-dnepr.com.ua/stati/znachenie-holodilnye-ustanovki/> Значение «Холодильные установки».

3. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://studfile.net/preview/7253359/> Классификация, принцип действия и основные понятия из теории корабельных ХМ.

4. Свердлов Г. З. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха / Г. З. Свердлов, Б. К. Явнель. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пищевая пром-сть, 1978.

5. Чумак И. Г. Холодильные установки. Проектирование: Учебное пособие для вузов / И. Г. Чумак, Д. Г. Никульшина – К.:Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 280 с.

6. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г.Н. Данилова, С.Н. Богданов, О.П. Иванов и др.; Под общ. ред. д.т.н. Г.Н. Даниловой. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1986. – 303 с., ил.

7. Кошкин Н. Н. Холодильные машины / Н. Н. Кошкин, И. А. Сакун и др. – Л.: Машиностроение, 1985 – 542 с.

8. Бамбушек Е. М. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / Е. М. Бамбушек, Н. Н. Бухарин и др. – Л.: Машиностроение, 1987 – 424 с.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						57
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

9. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://ru.calameo.com/read/00284128405576ec76998> МҮСОМ – каталог компрессоров и агрегатов.

10. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://works.doklad.ru/view/Yxii3OT-sSg.html> Заходи безпеки при експлуатації холодильних установок.

11. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <http://www.mahaero.by/katalog-produkcii/oborudovanie-dlya-ventilyacii/elektrodivigateli-dlya-ventilyatorov/elektrodivigateli-4a-4am> ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ 4А, 4АМ.

12. [Електронний інтернет-ресурс] : Режим доступу – <https://ventbazar.ua/osevoi-vytyazhnoi-ventilyator-solerpalau-tsvtkh24-560.html> ОСЕВОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯТОР SOLER&PALAU TCBTX2/4-560.

					ХМ 11.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		