

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Центр заочної, дистанційної та вечірньої форм навчання  
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ВАНЄЄВ  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня бакалавр**  
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»,  
освітньо-професійної програми «Опалення, вентиляція, кондиціонування повітря та  
штучний холод»  
на тему: «Проектування повітряного конденсатора фреонової холодильної  
машини»

Здобувач групи ХКдн-04др

**Когут Сергій Русланович**

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Когут Сергій  
(підпис)

Керівник

к.т.н., доцент Станіслав МЕЛЕЙЧУК

(підпис)

Суми 2024

# ЗМІСТ

С.

1.	Холодильні машини.....	3
1.1	Вступ.....	3
1.2	Основні типи компресорів холодильних машин .....	4
1.3	Основні типи конденсаторів холодильних машин .....	7
1.4	Основні типи випарників холодильних машин .....	13
2.	Термодинамічний розрахунок циклу холодильної установки .....	18
2.1.	Вихідні дані.....	18
2.2.	Розрахунок циклу холодильної машини.....	18
2.3	Розрахунок повітряного конденсатора .....	25
3.	Охорона праці.....	37
	Список використаних інформаційних джерел .....	50

					<i>Б142д 02.00.00.00 ПЗ</i>					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	<i>Проектування повітряного конденсатора фреонової холодильної машини</i>			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		<i>Когут</i>						2		
Перевір.		<i>Мелейчук</i>								
Н. контр.								<i>ХКдн-04др</i>		
Затв.		<i>Ванєєв</i>								

# 1. Холодильні машини

## 1.1 Вступ

Холодильна машина являє собою установку, що призначена для перенесення енергії у формі тепла з низького температурного рівня на більш високий. Розв'язання цього завдання вирішується за допомогою зворотного термодинамічного циклу, що здійснюється робочою речовиною, яка називається холодоагентом. Машина охолодження здійснює відведення теплоти від об'єктів, що охолоджуються, мають температуру нижчу, ніж навколишнє середовище, і передачу цієї теплоти. Конденсатор призначений для перетворення в рідину парів холодоагенту, що надходять з компресора. Іноді в конденсаторі здійснюється також охолодження рідкого холодоагенту нижче температури конденсації (переохолодження). Обидва ці процеси супроводжуються відведенням теплоти від холодоагенту.

У механічному охолодженні холодоагент є речовиною, здатною до перенесення тепло, яке він поглинає при низьких температурах і тисках до середовища, що конденсується; в районі перенесення, холодоагент знаходиться при вищих температурах і тиску. За допомогою розширення, стиснення, і холодоагент, такий як повітря або вода, холодоагент відводить тепло від речовини і передає його в охолоджуюче середовище.

Охолодження є одним із найважливіших теплових процесів у різних практичних застосуваннях, від кондиціонування простору до охолодження їжі. У цих системах використовується холодоагент, який здатен передавати тепло.

Компоненти системи охолодження.

Є кілька механічних компонентів, необхідних для холодильної системи.

Ці компоненти включають конденсатори, випарники, компресори, лінії холодоагенту та труби, дросельні вентилі, ресивери та акумулятори.

Основні компоненти парокомпресійної системи охолодження:

- компресор,

									Арк.
									3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

*Б142д 02.00.00.00 ПЗ*



*Поршневі компресори* - це об'ємні машини, доступні для будь-якого застосування. Ефективність систем клапанів була значно покращена на багатьох більших моделях. Контроль ємності зазвичай здійснюється шляхом розвантаження циліндра.

*Спіральні компресори* - це ротаційні об'ємні машини з постійним об'ємним співвідношенням. Вони мають хорошу ефективність для кондиціонування повітря та високотемпературного холодильного обладнання. Вони доступні лише для комерційних застосувань і зазвичай не мають вбудованого контролю потужності.

*Гвинтові компресори* доступні у великих комерційних і промислових розмірах і зазвичай стаціонарні співвідношення об'ємів машин. Вибір компресора з неправильним співвідношенням обсягу може призвести до значного зниження працездатності. Робота з частковим навантаженням забезпечується золотником або підйомним клапаном розвантаження. Обидва типи дають більше зниження ефективності при частковому навантаженні, ніж зворотно-поступальній системи контролю потужності.

Холодильні компресори також поділяються на декілька груп за певними ознаками, одна з них тип корпусу.

*Герметичні компресори.* Компресори є кращими з міркувань надійності, ніж агрегати, призначені в основному для меншого діапазону температур, необхідних для кондиціонування повітря або охолодження. У невеликій техніці де вартість є основним фактором, і бажано звести до мінімуму встановлення на місці, наприклад, герметично герметичні комбінації двигун/компресор, немає обертових ущільнень, що розділяють двигун і компресора, а внутрішні компоненти недоступні для обслуговування, оскільки корпус має заводське зварювання.

*Напівгерметичні компресори.* У більших розмірах холодильні компресори часто є напівгерметичними, тобто хоча двигун і компресор знаходяться в одному корпусі, цей корпус може бути відкритий, і

					Б142д 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

холодоагент не перетікає обмотки двигуна. Доступ для обслуговування простий, але потрібно зовнішнє охолодження, яке сприяє ефективності охолодження, і вартість істотно вище, ніж у герметичних агрегатів. Оскільки великі двигуни ефективніші, ніж малі, теоретично можливий загальний ККД до 70% або більше, а в багатоциліндрових компресорах, потужність можна контролювати, зробивши один або більше циліндрів неефективними (наприклад, за допомогою утримуючи впускний клапан відкритим). Зручним способом зменшення є також розвантаження циліндра при запуску пусковий момент.

*Відкрити компресори.* Відкриті поршневі компресори з ущільненням вала та зовнішнім приводним двигуном, які підходять для ряду головних двигунів також доступні приблизно до 2 МВт. У цих компресорах колінчасті вали, які зовні з'єднані з електродвигуни, простягаються через корпуси компресора. Там, де необхідно використовувати відповідні пломби вали проходять через корпуси компресора, щоб запобігти витоку холодоагенту або повітря від витоку (коли тиск у картері нижчий за атмосферний). Щоб запобігти витоку через ущільнення, двигун і компресор рідко поміщаються в один корпус.

*Об'ємні компресори.* Ці компресори використовують роботу вала для підвищення тиску холодоагенту шляхом зменшення компресії обсягу в камері. Компресори цієї групи бувають: поршневі, пластинчасті (роторні) і гвинтові (гвинтові роторні) компресори (рисунок 1.1).

*Компресори динамічного принципу дії.* Ці компресори підвищують тиск холодоагенту шляхом безперервного обміну кутовими імпульсами між обертовим механічним елементом і рідиною, що піддається стисненню.

Головні типи:

- відцентрові
- турбокомпресори.

									Арк.
									6
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142δ 02.00.00.00 ПЗ				

Відцентрові компресори, доступні на ринку, використовують R123, R22 і R134a. Це зазвичай вимагає напівгерметичних конструкцій з одно- чи багатоступеневими робочими колесами. У холодильній промисловості, багатоступінчасті відцентрові компресори в даний час виготовляються з чавуну, чавуну з шаровидним графітовим шаром і лиття сталеві корпуси для тиску нагнітання до 40 бар. До восьми коліс в одному корпусі компресор має продуктивність 42000 м<sup>3</sup>/год і 9000 кВт.

У холодильній техніці турбокомпресори зазвичай позначають відцентрові компресори, але їх ККД низькі. У цьому типі компресора тиск нагнітання обмежений максимумом дозволена швидкість наконечника. Набір робочих коліс розрахований на високий тиск стиснення. Ці компресори знайшли застосування в системах кондиціонування повітря та водяного охолодження, де висока необхідні обсяги всмоктування при високому тиску всмоктування.

### 1.3 Основні типи конденсаторів холодильних машин

Існує кілька типів конденсаторів. Кожен тип конденсатора має своє унікальне застосування. Деякі визначальні фактори включають розмір і вагу агрегату, погодні умови, розташування, наявність електроенергії і наявність води [5-6].

У холодильній та харчовій промисловості використовується широкий вибір конфігурацій конденсаторів.

Тип конденсатора залежить від наступних критеріїв:

- теплоємність речовини конденсації,
- температура і тиск конденсації,
- витрати холодоагенту та теплоносія,
- розрахункова температура води або повітря,
- період експлуатації,

									Арк.
									7
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 02.00.00.00 ПЗ				

- кліматичні умови.

Конденсатори, які використовуються в холодильній промисловості, зазвичай бувають трьох типів:

- конденсатори з водяним охолодженням,
- конденсатори з повітряним охолодженням,
- випарні конденсатори.

Поширені типи конденсаторів холодоагенту з водяним і повітряним охолодженням для комерційного холодильного обладнання використання є:

- кожухотрубний,
- корпус і зміювик,
- труба в трубі.

Вибір типу конденсатора багато в чому залежить від таких міркувань:

- розмір охолоджувального навантаження,
- використовуваний холод,
- якість і температура доступної охолоджувальної води (за наявності),
- кількість води, яка може циркулювати.

Найбільш розповсюджені типи теплообмінних апаратів холодильних установок, представлено на рисунку 1.2:

- Кожухотрубчасті з фазовим перетворенням в середині труб (рис. 1.2а);
- Кожухотрубчасті з фазовим перетворенням в середині труб і протіканням робочої речовини у міжтрубному просторі (рис. 1.2б);
- Занурювальні теплообмінні апарати з панелями (рис. 1.2в);
- Кожухотрубчасті апарати з вертикальним розташуванням труб з конденсацією у міжтрубному просторі (рис. 1.2г);
- Випарникові конденсатори (рис. 1.2д);
- Конденсатори повітряного типу (рис. 1.2е);
- Контактні форсуночні повітреохолоджувачі (рис. 1.2ж);
- Пластинчасті конденсатори та випарники (рис. 1.2з);

					<i>Б142д 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		8





- забезпечення морозозахистними речовинами та інструментами для зимової експлуатації.

*Конденсатори з повітряним охолодженням.* Конденсатори з повітряним охолодженням знаходять застосування в домашньому, комерційному та промисловому холодильному обладнанні, системи охолодження, заморожування та кондиціонування повітря загальною місткістю 20-120 т. (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Повітряні конденсатори промислових холодильних машин.

Особливо виділяються відцентрові вентиляторні конденсатори повітряного охолодження, використовується для рекуперації тепла та допоміжної вентиляції.

Перевагами конденсаторів з повітряним охолодженням :

- відсутність потреби у воді,
- стандартна зовнішня установка,
- усунення проблем замерзання, накипу та корозії,
- ліквідація водопроводу, циркуляційних насосів та очищення води,
- низька вартість установки,
- низькі вимоги до обслуговування та обслуговування.



*Градирні.* Градирні (рис. 1.4) схожі на випарні конденсатори, які працюють за принципом охолодження шляхом випаровування води в рухомий потік повітря. Ефективність цього процесу випарного охолодження залежить від температури вологого термометра повітря, що надходить у пристрій, обсягу повітряного потоку та ефективність інтерфейсу повітря або води. Як згадувалося вище, градирні - це, по суті, великі випарні охолоджувачі, де відбувається охолодження вода циркулює до віддаленого кожухотрубного конденсатора холодоагенту.

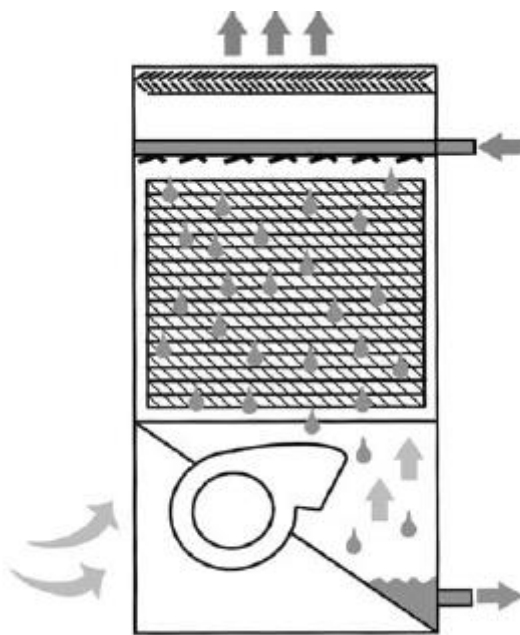


Рисунок 1.4 – Градирня

Обсяг води, що використовується градирнями, значний. Вода не тільки випаровується щоб відводити тепло, але його також потрібно додати, щоб уникнути накопичення розчинених твердих речовин у басейнах градирні. Якщо ці тверді речовини накопичуються настільки, що забруднюють поверхні конденсатора, продуктивність пристрою може бути значно знижена.

## 1.4 Основні типи випарників холодильних машин

Випарник можна розглядати як точку уловлювання тепла в системі охолодження і забезпечує охолоджуючий ефект, необхідний для будь-якого конкретного застосування. Існує майже стільки ж різних видів випарників, оскільки є застосування теплообмінників [5-6].

Однак випарники діляться на дві категорії:

- випарники прямого охолодження, які охолоджують повітря, яке, у свою чергу, охолоджує продукт;
- непрямі охолоджуючі випарники, які охолоджують рідину, таку як сольовий розчин, який, у свою чергу, охолоджує продукт.

Зазвичай відповідний випарник постачається разом із системою. Однак може бути, що під час проектування системи необхідно визначити вимоги та вибрати відповідний випарник.

На практиці такі випарники зазвичай використовуються для:

- охолоджувачі рідини,
- повітроохолоджувачі та/або газоохолоджувачі,

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13



проходить через трубки. І навпаки, у випарнику прямого розширення вода переноситься в кожух і холодоагент кип'ятиться всередині трубок. Швидкість потоку холодоагенту обмежена лише для того, щоб забезпечити це холодоагент виходить із випарника. Найбільше мідних трубок, встановлених у корпусі з вуглецевої сталі звичайна конструкція, яка використовується для випарників охолодженої води.

*Охолоджувачі повітря та газу.* Ці охолоджувачі зазвичай називаються зміювиками прямого розширення і складаються з серії трубок, по яким тече холодоагент (рисунок 1.6). Трубки, оребрені для збільшення швидкості теплопередачі від середовища, яке потрібно охолодити (наприклад, повітря) до точки кипіння, зазвичай розташовуються в ряд паралельних контурів, що живляться від одного дросельного клапана. Гаряча пара холодоагенту накопичується в вихідний (всмоктувальний) газовий колектор. Ці котушки прямого розширення використовуються тільки в об'ємних компресорних систем, завдяки досить низьким коефіцієнтам тиску.



Рисунок 1.6 – Охолоджувачі повітря

Подібно рідинним охолоджувачам, ці охолоджувачі також поділяються на:

					<i>B142d 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		15

- затоплені
- сухі.

У затопленому змійовику для підтримки попереднього налаштування використовується поплавковий клапан рівень у змійовику, що означає, що змійовик випарника майже заповнений рідким холодоагентом. Цей повний контакт рідини зі стінками труб забезпечує високу швидкість тепловіддачі. У практичних застосуваннях, випарники затопленого типу не є кращими, оскільки вони потребують великої кількості холодоагенту. А сухий змійовик потребує лише невеликої кількості холодоагенту, і це зменшує вартість холодоагенту.

Дроселюючі пристрої. На практиці для зменшення тиску конденсації холодоагенту до тиску випаровування та регулювання потоку рідкого холодоагенту до випарника відповідно до обладнання і характеристики навантаження. Ці пристрої призначені для розподілу швидкості, з якою холодоагент надходить в змійовик охолодження до швидкості випаровування рідкого холодоагенту в змійовику.

Найбільший поширені дроселювальні пристрої:

- термостатичні розширювальні вентилі (рисунок 1.7),
- розширювальні клапани постійного тиску,
- поплавкові клапани, а
- капілярні трубки.

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		16





Рисунок 1.7 – Електронний розширювальний вентиль

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17

## 2. Термодинамічний розрахунок циклу холодильної установки

### 2.1. Вихідні дані

Розрахунок параметрів холодильної установки передбачає отримання питомих, а також інтегральних характеристик теплових навантажень основних елементів установки: компресор, конденсатор, випарник, регенеративний теплообмінник та допоміжне обладнання.

- середовище охолодження – атмосферне повітря;
- температура повітря  $t_{\text{п}} = 25^{\circ}\text{C}$ ;
- холодопродуктивність холодильної установки  $Q_0 = 20\text{кВт}$ ;
- холодильний агент R134a;
- температура в холодильній камері  $t_{\text{кам}} = -10^{\circ}\text{C}$ ;
- адіабатна ефективність компресора  $\eta_s = 0,75$
- ефективність механічної передачі  $\eta_{\text{пер}} = 0,99$
- ефективність електродвигуна  $\eta_{\text{де}} = 0,85$

### 2.2. Розрахунок циклу холодильної машини

Для розрахунку циклу одноступеневої фреонової холодильної машини обираємо цикл з регенеративним теплообмінником, що дозволяє додатково регенерувати тепло після випарника, а також переохолоджувати холодоносій після конденсатора.

Принципова схема холодильної машини представлена на рисунку 2.1

					Б142д 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

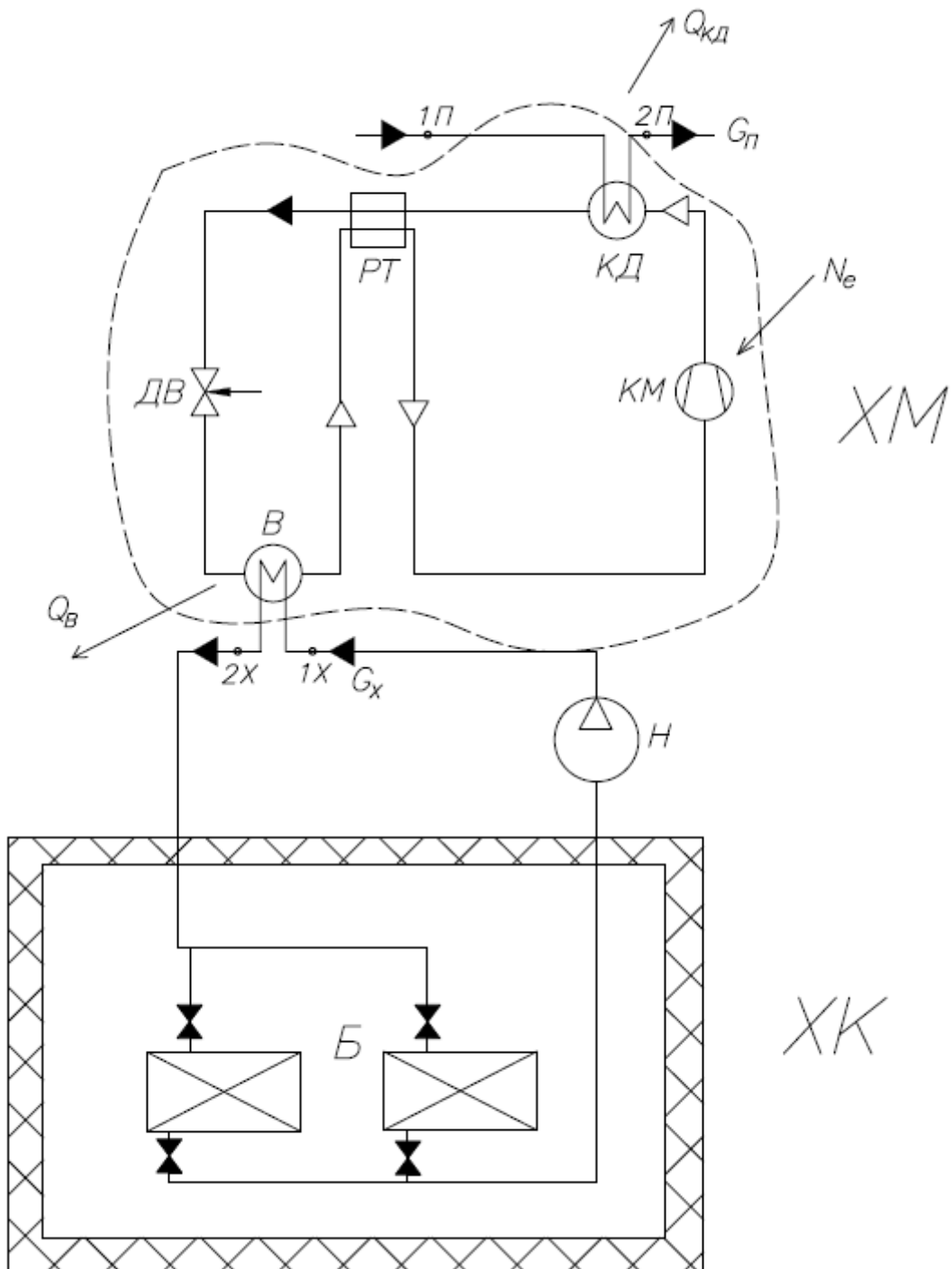


Рисунок 2.1 – Принципова схема холодильної машини:

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

*ХК* – холодильна камера  
*Н* – циркуляційний насос;  
*Б* – батареї охолодження

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142д 02.00.00.00 ПЗ

Арк.

19



відбором тепла від продуктів 5-6, додатковий перегрів у регенеративному теплообміннику 6-1.

### Розрахунок параметрів циклу

1. Температура конденсації:

Враховуючи термодинамічні втрати тепла у повітряному теплообміннику порядку  $10^0 C$  розрахункова температура конденсації складає:

$$t_K = t_n + 10$$

$$t_K = 25 + 10 = 35^0 C$$

2. Температура випаровування холодильного агенту:

Враховуючи термодинамічні втрати у батареях охолодження  $5^0 C$  розрахункова температура випаровування складає:

$$t_B = t_{кам} - 5;$$

$$t_B = -10 - 5 = -15^0 C$$

Подальший розрахунок циклу проводимо після отримання параметрів у вузлових точках з використанням діаграми холодильного агенту R134a.

Розрахункові параметри у вузлових точках заносимо до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Питомі параметри у характерних точках циклу

Параметр	Точки						
	1	2s	2	3	4	5	6
$p$ , бар	1,6	8,8	8,8	8,8	8,8	1,6	1,6
$t$ , °C	-5	50	62	35	30	-15	-15
$h$ , кДж/кг	397	435	447	249	240	240	388

3. Температура пари холодоагенту на вході до компресора

$$t_1 = t_B + 10^0 C.$$

$$t_1 = -15 + 10 = -5^\circ\text{C}$$

4. Стан холодоагента в точці 4 визначають із теплового балансу регенеративного теплообмінника РТ:  $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$ .

Звідки визначається ентальпія  $h_4 = h_3 + h_6 - h_1$ .

$$h_4 = 249 + 388 - 397 = 240 \text{ кДж/кг}$$

5. Ентальпія холодильного агента на виході із компресора з врахуванням ізоентропного ккд:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_s}$$

$$h_2 = 397 + \frac{435 - 397}{0,75} = 447 \text{ кДж/кг}$$

Результати розрахунку заносимо у таблицю.

1. Питоме навантаження на конденсатор:

$$q_{\text{кд}} = h_2 - h_3, \text{ кДж/кг.}$$

$$q_{\text{кд}} = 447 - 249 = 198 \text{ кДж/кг}$$

2. Питоме навантаження на випарник:

$$q_B = h_6 - h_5, \text{ кДж/кг.}$$

$$q_B = 388 - 240 = 148 \text{ кДж/кг}$$

3. Масова продуктивність холодильного агента:

$$m_a = \frac{\dot{Q}_B}{q_B}, \text{ кг/с.}$$

$$m_a = \frac{20}{148} = 0,14 \text{ кг/с}$$

					Б142д 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

4. Питоме навантаження на регенеративний теплообмінник:

$$q_{PT} = h_1 - h_6, \text{ кДж/кг}.$$

$$q_{PT} = 397 - 388 = 9 \text{ кДж/кг}$$

5. Питома адіабатна робота компресора:

$$l_s = h_{2s} - h_1, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$l_s = 435 - 397 = 38 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

6. Питома дійсна робота компресора:

$$l = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}.$$

$$l = 447 - 397 = 50 \text{ кДж/кг}$$

7. Теплове навантаження на конденсатор:

$$\dot{Q}_{КД} = m_a q_{КД}, \text{ кВт}$$

$$\dot{Q}_{КД} = 0,14 \cdot 198 = 27,7 \text{ кВт}$$

8. Теплове навантаження на регенеративний теплообмінник:

$$Q_{PT} = m_a \cdot q_{PT}, \text{ кВт}.$$

$$Q_{PT} = 0,14 \cdot 9 = 1,3 \text{ кВт}$$

9. Адіабатна потужність компресора:

$$N_s = m_a \cdot l_s, \text{ кВт}.$$

$$N_s = 0,14 \cdot 33 = 4,6 \text{ кВт}$$

10. Ефективна потужність компресора:

$$N_e = m_a (h_2 - h_1), \text{ кВт}.$$

$$N_e = 0,14(447 - 397) = 7,0 \text{ кВт}$$

11. Споживана потужність приводного двигуна:

					Б142δ 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		23

$$N_{np} = \frac{N_e}{\eta_{nep} \cdot \eta_{об}}, \text{ кВт.}$$

$$N_{np} = \frac{7}{0,99 \cdot 0,85} = 8,3 \text{ кВт}$$

12. Холодильний коефіцієнт циклу:

$$\varepsilon = \frac{Q_B}{N_{np}}.$$

$$\varepsilon = \frac{20}{8,3} = 2,4$$

14. Холодильний коефіцієнт ідеального циклу:

$$\varepsilon_{id} = \frac{T_K}{T_K - T_B}.$$

$$\varepsilon_{id} = \frac{308}{308 - 258} = 6,1$$

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		24





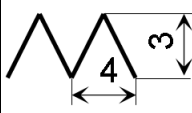
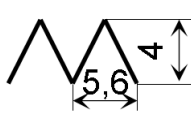
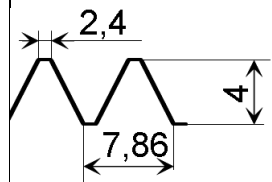
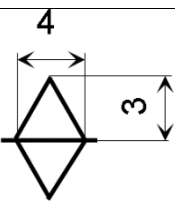
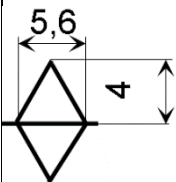
виконання всіх технологічних операцій під час складання та дотримання режимів процесу паяння.

Значимість процесу паяння у створенні ПРЕ можна проілюструвати таким прикладом. ПРЕ розміром 150x400x850 мм, що складається з робочих каналів висотою 3 мм і прилеглих до них холодних каналів висотою 11 мм, має 12500 паяних швів. Довжина цих швів становить 2258 м, а площа - 33075 см<sup>2</sup>. Паяння є груповим методом обробки, і в камері печі одночасно можуть перебувати десятки ПРЕ, що робить цей процес надзвичайно продуктивним у порівнянні з будь-яким способом зварювання. Ще однією важливою перевагою паяння є те, що в ПРЕ переважають таврові з'єднання.

У таблиці 2.2 наведено характеристики насадки, гофрування якої створюється під час проходження стрічки через пару профільних роликів. Збільшення параметра, що характеризує компактність насадки, підвищує ефективність теплообміну. Компактність збільшується при зменшенні відстані між гофрованими поверхнями. Однак, при формуванні насадки з металевої стрічки методом прокатки, відстань між однаковими піками обмежується допустимими розмірами профілю зубчиків. Параметри зубчиків біля основи роликів встановлюються з урахуванням міцності металу роликів на розтягування. Тому зазвичай відстань між однаковими висотами насадки більша за висоту гофр. Крім того, форма профілю насадки, виготовленої прокаткою, може бути лише трикутною або евольвентною

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

Таблиця 2.2 – Характеристика насадок

Тип насадки	Трикутна	Трикутна	Евольвентна	Двошарова трикутна	Двошарова трикутна
Геометрич. розміри, мм					
Компактність поверхні, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	1813	1342	1021	1813	1342
Еквівалентний діаметр, м	0,00192	0,0027	0,00362	0,00192	0,0027

Для торгового холодильного обладнання з вбудованими агрегатами передбачені температурні межі навколишнього повітря від 12 до 40 °С і відносна вологість від 40 до 80%. У випадку з виносними конденсаторами, діапазон температур повітря є значно ширшим - від -30 до +45 °С, а максимальна відносна вологість може досягати 95%. Зниження атмосферного тиску призводить до зменшення щільності повітря, що знижує продуктивність вентилятора та коефіцієнт теплопередачі конденсатора. Розрахунки показують, що вплив тиску є незначним, оскільки зниження коефіцієнта теплопередачі становить лише близько 1,5-2%. Набагато більший вплив має температура повітря. У діапазоні від -40 до +50 °С щільність повітря змінюється приблизно в 1,5 раза, теплопровідність та в'язкість - в 1,3-1,4 раза, а теплоємність залишається майже незмінною. У результаті коефіцієнт теплопередачі знижується на 6-8%.

У вбудованих холодильних агрегатах нагрівання повітря в конденсаторі становить 4-8 °С, а зміна вологості повітря може знизити коефіцієнт теплопередачі не більше ніж на 0,5-0,7%.

										Арк.
										27
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						



Проводимо розрахунки по параметрам холодного теплоносія (повітря) та гарячого теплоносія, що конденсується (холодильний агент) [2, 4].

**Сторона гарячого холодильного агента (сторона конденсації R134a)**

Питома теплоємність –  $c_1 = 1,002 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$ ;

Густина –  $\rho_1 = 1190 \text{ кг / м}^3$ ;

Кінематична в'язкість –  $\nu_1 = 0,335 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ ;

Коефіцієнт теплопровідності –  $\lambda_1 = 0,0139 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$ ;

Число Прандтля  $Pr=0,92$

Средня температура –  $t_w = 35^\circ \text{С}$ ;

Питома теплота пароутворення –  $r = 172,8 \text{ кДж/кг}$

- 1) Температура стінки приймається на  $2^\circ\text{С}$  вище температури конденсації:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{к}} + 2 = 308 + 2 = 310 \text{ К.}$$

- 2) Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_a d_{\text{экв}}}{\nu}$$

де  $w_a = 5 \text{ м / с}$

$$Re_a = \frac{5 \cdot 3,62 \cdot 10^{-3}}{0,335 \cdot 10^{-6}} = 54027.$$

- 3) З критеріального рівняння знаходимо число Нусельта:

$$Nu_a = 0,116 \left( \frac{\delta_p}{d_{ea}} \right)^{0,1} \left( \frac{L_{ka}}{d_{ea}} \right)^{0,48} Re_a^{0,85} \left( \frac{L_{ka}}{d_{ea}} \right)^{-0,1},$$

$$Nu_1 = 0,116 \left( \frac{0,15}{3,62} \right)^{0,1} \left( \frac{0,6}{3,62} \right)^{0,48} 54027^{0,85} \left( \frac{0,6}{3,62} \right)^{-0,1} = 442,3$$

- 4) Коефіцієнт тепловіддачі:

									Арк.
									29
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

$$\alpha_a = \frac{Nu \lambda_a}{d_{\varepsilon,a}},$$

$$\alpha_a = \frac{442,3 \cdot 0,0139}{3,62 \cdot 10^{-3}} = 1697 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

5) Коефіцієнт для визначення ефективності ребер:

$$m_u = 0,5 l_{p,a} \sqrt{\frac{2\alpha_a}{\delta_p \cdot \lambda_p}};$$

$$m_u = 0,5 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1697}{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 180}} = 0,91.$$

6) Коефіцієнт ефективності ребер:

$$\mu_{p,a} = \frac{e^{m_u} - e^{-m_u}}{e^{m_u} + e^{-m_u}} / m_u;$$

$$\mu_{p,a} = \frac{e^{0,91} - e^{-0,91}}{e^{0,91} + e^{-0,91}} / 0,91 = 0,86.$$

7) Коефіцієнт ефективності всієї поверхні:

$$\mu_{o,a} = 1 - \frac{F_{p,a}}{F_a} (1 - \mu_{p,a});$$

$$\mu_{o,a} = 1 - \frac{4,46}{8,75} (1 - 0,86) = 0,93.$$

### Сторона охолоджуючого теплоносія (сторона повітря)

Параметри повітря розраховуємо при визначальній температурі

$$\bar{t} = \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{к}}}{2} = \frac{35 + 25}{2} = 30^{\circ}\text{C};$$

Питома теплоємність –  $c_2 = 1,005 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К};$

Густина –  $\rho_2 = 1,164 \text{ кг / м}^3;$

Кінематична в'язкість –  $\nu_2 = 16,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с};$

Коефіцієнт температуропровідності –  $a_2 = 1,4595 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с};$

Коефіцієнт теплопровідності –  $\lambda_2 = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ Вт / м} \cdot \text{К};$

Середня температура –  $t_w = 30^{\circ}\text{C};$

Швидкість повітря  $w_2 = 10 \text{ м / с}$

										Арк.
										30
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 02.00.00.00 ПЗ					

1) Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_x = \frac{w_x \cdot d_{ex}}{\nu_x};$$
$$\text{Re}_x = \frac{10 \cdot 2,44 \cdot 10^{-2}}{16,01 \cdot 10^{-6}} = 15250.$$

2) Число Нусельта знаходимо через критеріальне рівняння:

$$\text{Nu}_x = 0,116 \left( \frac{\delta_p}{d_{ex}} \right)^{0,1} \left( \frac{L_{кк}}{d_{ex}} \right)^{0,48} \text{Re}_x^{0,85} \left( \frac{L_{кк}}{d_{ex}} \right)^{-0,1},$$
$$\text{Nu}_x = 0,116 \left( \frac{0,15}{2,44} \right)^{0,1} \left( \frac{0,15}{2,44} \right)^{0,48} 15250^{0,85} \left( \frac{0,15}{2,44} \right)^{-0,1} = 107,2.$$

3) Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_x = \frac{\text{Nu}_x \lambda_x}{d_{э.х}};$$
$$\alpha_x = \frac{107,2 \cdot 0,026}{2,44 \cdot 10^{-3}} = 1142 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

4) Коефіцієнт для визначення ефективності ребер:

$$m_u = 0,5 l'_{p.x} \sqrt{\frac{2\alpha_x}{\delta_p \cdot \lambda_p}},$$

де,  $l'_{p.x}$  - довжина ребра з урахуванням того, що по потоку води дві насадки

$$l'_{p.о} = 2l_{p.x} + (z-1) \frac{\delta_p \tau}{\delta_l};$$
$$l'_{p.x} = 2 \cdot 4,85 \cdot 10^{-3} + (2-1) \frac{0,00015 \cdot 0,002}{0,001} = 0,01 \text{ м};$$

$$m_x = 0,5 l'_{p.x} \sqrt{\frac{2\alpha_x}{\delta_p \cdot \lambda_p}}$$

$$m_u = 0,5 \cdot 0,01 \sqrt{\frac{2 \cdot 1142}{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 180}} = 1,4.$$

5) Коефіцієнт ефективності ребра:

									Арк.
									31
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

$$\mu_{p.x} = \frac{e^{m_u} - e^{-m_u}}{e^{m_u} + e^{-m_u}} / m_u$$

$$\mu_{p.x} = \frac{e^{1,4} - e^{-1,4}}{e^{1,4} + e^{-1,4}} / 1,4 = 0,7.$$

б) Коефіцієнт ефективності всієї поверхні:

$$\mu_{o.x} = 1 - \frac{F_{p.x}}{F_x} (1 - \mu_{p.x}),$$

$$\mu_{o.x} = 1 - \frac{22,6}{27,3} (1 - 0,7) = 0,75.$$

### Вихідні параметри

1) Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_x \mu_{o.x}} + \frac{\phi}{\alpha_a \mu_{o.a}}};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{1142 \cdot 0,75} + \frac{3,1}{1697 \cdot 0,93}} = 556 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

2) Середньологарифмічний температурний напір:

$$\Delta T_{cp} = \frac{T_{x1} - T_{x2}}{\ln \frac{T_{\kappa} - T_{x2}}{T_{\kappa} - T_{x1}}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{cp} = \frac{(30 - 25)}{\ln \left[ \frac{35 - 25}{35 - 30} \right]} = 7,2$$

3) Необхідна площа поверхні теплообміну в зоні випаровування пара:

$$F_H = \frac{Q_{KD}}{k \cdot \Delta T_{cp}}, \text{ м}^2,$$

де

$$F_H = \frac{27,7 \cdot 10^3}{556 \cdot 7,2} = 6,9 \text{ м}^2$$

					Б142д 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		32



Необхідно взяти запас на забруднення та перегрів 20% від номінальної площі

$$F_H = 6,9 + 6,9 \cdot 0,2 = 8,3 \text{ м}^2$$

4) Число елементів в ПРТ :

$$n = \frac{F_H}{F_a} = \frac{8,2}{8,75} = 0,93 \text{ приймається 1 стандартний елемент}$$

пластинчасто-ребристий.

### Гідравлічний розрахунок пластинчасто-ребристого теплообмінника

1) Фактор тертя при русі повітря :

$$f = \frac{0,08}{\text{Re}_x^{0,25}} = \frac{0,08}{15250^{0,25}} = 0,0072;$$

2) Втрати тиску повітря :

$$\Delta p_x = \frac{\rho_x v_x^2}{2} \cdot \frac{1 - f \cdot \frac{F}{F_k}}{2},$$

де,  $\rho_x$  - густина води

3) Масова продуктивність повітря через випарник:

$$G_x = \frac{Q_k}{c_x \cdot \Delta t_x} = \frac{27,7}{1,005 \cdot 5} = 5,5 \text{ кг/с},$$

$F = 6,9 \text{ м}^2$  – повна площа поперечного розрізу апарата;

$F_k = (6,9 + 27,3) = 34,2 \text{ м}^2$  - сумарна необхідна площа поверхні теплообміну конденсатора.

$$\Delta p_x = \frac{1,2 \cdot 10^2}{2} \cdot \frac{1 - 0,0072 \cdot \frac{17,5}{72,1}}{2} = 29,9 \text{ Па},$$

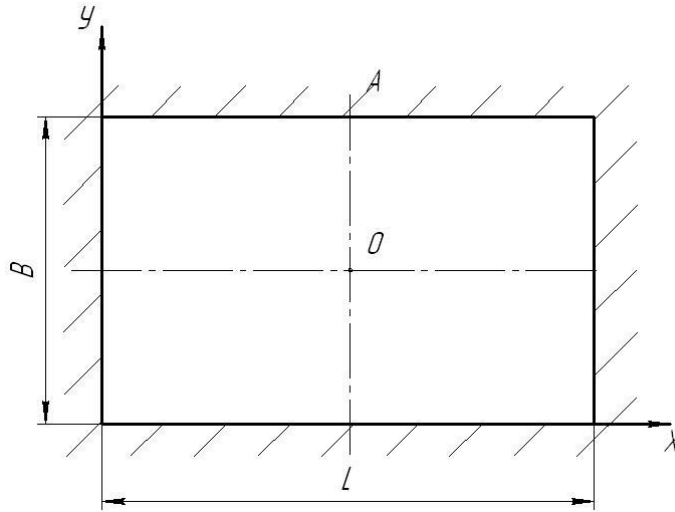
Висновок: Аеродинамічні втрати опору через теплообмінник знаходять в межах допустимих показників.

									Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					33

## Міцнісний розрахунок

### Міцнісний розрахунок проставної пластини

Небезпечними є точки О і А, в яких визначається напруження від прогину.



1) Для точки О напруження:

$$\sigma_{xo} = C_2 \cdot p_u \cdot \left( \frac{B}{\delta_{II}} \right)^2$$
$$\sigma_{yo} = C_3 \cdot p_u \cdot \left( \frac{B}{\delta_{II}} \right)^2,$$

2) Для точки А напруження:

$$\sigma_{xA} = C_4 \cdot p_u \cdot \left( \frac{B}{\delta_{II}} \right)^2.$$

де  $C_2, C_3, C_4$  - коефіцієнти [5], табл. 6, с. 217.

$$\sigma_{xo} = 0,16 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{0,4}{1 \cdot 10^{-3}} \right)^2 = 5,1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{yo} = C_3 \cdot p_u \cdot \left( \frac{B}{\delta_{II}} \right)^2$$

$$\sigma_{xA} = C_4 \cdot p_u \cdot \left( \frac{B}{\delta_{II}} \right)^2$$

									Арк.
									34
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

Б142д 02.00.00.00 ПЗ

Умови міцності виконуються.

3) Максимальний прогин в точці О  $f_0 \leq \frac{L}{300}$

$$f_0 = C_1 \cdot \frac{p_u \cdot B^4}{E \cdot \delta_{II}^3},$$

де  $C_1$  - коефіцієнт [7].

### Міцнісний розрахунок насадки

Насадка виконана з алюмінієвої стрічки. Вона являє собою рифлений лист, який спирається на проставочний лист.

1) Під дією потоку його верхня частина буде вигинатися, а нижня частина буде спиратися на шарніри А і Д. Так як нахил бічних ребер АВ і СД до вертикалі становить, то можна в першому наближенні взяти їх вертикальними, а горизонтальний ділянку буде:

$$BC' = \frac{BC + AD}{2} = t$$

В результаті отримаємо розрахункову схему П - подібної рами висотою  $h = l_p \cdot \cos 22^\circ = 5,09 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 22^\circ = 0,0047 \text{ м}$

2) Рама на ділянці  $BC'$  навантажена розподіленим навантаженням:

$$q = p_u \cdot B, \quad H / \text{мм}$$

3) Максимальний момент на ділянці  $BC'$ , який дає прогиб:

$$M_{\max} = (1 + 2k) \frac{qt^2}{8n}, \quad H \cdot \text{м},$$

де,  $k$  і  $n$  - коефіцієнти

$k = \frac{I_{AB}}{I_{CD}} \cdot \frac{h}{t} = \frac{h}{t}$ , т.к.  $I_{AB} = I_{CD}$  - моменти інерцій ділянок АВ і СД;

$$k = \frac{I_{AB}}{I_{CD}} \cdot \frac{h}{t} = \frac{h}{t}$$

$$n = 3 + 2k$$

									Арк.
									35
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

4) Момент опору прямокутного перерізу рами:

$$W = \frac{B \cdot \delta_P^2}{6}, \text{ м}^3$$

5) Максимальне напруження прогиба в рамі:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, \text{ Па}$$

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] = 50 \text{ МПа}$$

					<i>Б142д 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		36

### 3. Охорона праці

Небезпечні та шкідливі для працівників фактори, що впливають на оточуючих при роботі енергетичного обладнання [3, 9].

#### *Експлуатація судин, що працюють під тиском*

Спеціальні правила та інструкції поширюються на наступні посудини: посудини, що працюють під тиском понад 0,07 МПа; цистерни і бочки для перевезення зріджених газів, тиск парів яких при температурі до 50 ° С перевищує 0,07 МПа; посудини, цистерни для перевезення, зберігання зріджених газів, рідин і сипучих тіл без тиску, але випорожнюються під тиском понад 0,07 МПа; балони, призначені для зберігання, перевезення стиснутих, зріджених і розчинених газів під тиском понад 0,07 МПа.

Основні вимоги до конструкції посудини такі: надійність, безпека в експлуатації, можливість проведення оглядів, очищення, промивання та ремонту. Внутрішні пристрої в судинах (змійовики, перегородки, тарілки тощо) виготовляють, як правило, знімними.

Усі судини, які працюють під тиском, до їхнього пуску в роботу мають бути зареєстровані в відповідних реєстрах.

Реєстрації не підлягають судини:

- працюючі під тиском неїдких, неотруйних та невибухонебезпечних середовищ при температурі стінки не вище 200°C, у яких твір  $p_v$  не перевищує 106 Па/м<sup>3</sup>;
- працюючі під тиском їдких, отруйних та вибухонебезпечних середовищ при температурі стінки не вище 200°C, у яких твір  $p_v$  не перевищує 5-104 Па-м<sup>3</sup>;
- судини холодильних установок.
- балони для зберігання та транспортування стислих, зріджених та розчинених газів місткістю до 0,1 м<sup>3</sup> та деякі інші спеціальні судини.

									Арк.
									37
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142δ 02.00.00.00 ПЗ				

Підприємства, що експлуатують судини, що працюють під тиском, враховують їх у спеціальному журналі.

На судинах холодильних установок гідравлічні випробування дозволяється замінювати пневматичними на пробний тиск. Внутрішній огляд судин холодильних установок через їх конструкції замінюється пневматичними випробуваннями. Про проведені випробування роблять запис у паспорт судини.

На судини, що знаходяться в експлуатації, наносять фарбою (або прикріплюють табличку) такі дані: реєстраційний номер, дозволений тиск, дата (місяць та рік) наступного внутрішнього огляду та гідравлічного випробування.

Після виготовлення всі посудини повинні пройти гідравлічне випробування пробним тиском. Час витримки під цим тиском залежить від товщини стінки судини: для стінок товщиною до 50 мм це 10 хвилин, для стінок товщиною 50-100 мм - 20 хвилин, і для стінок понад 100 мм - 30 хвилин. Литі посудини, незалежно від товщини стінки, випробовуються протягом 60 хвилин. Посудина вважається такою, що успішно пройшла випробування, якщо не виявлено ознак розривів, течі, слізок у зварних з'єднаннях та основному металі, а також видимих залишкових деформацій.

Балони, що знаходяться в експлуатації, піддають огляду один раз на п'ять років. Балони, призначені для заповнення газами, що викликають корозію (хлор, фосген, сірководень та ін.), а також балони для зріджених і стислих газів, що застосовуються як паливо для автомобілів, піддають огляду не рідше одного разу на два роки. Огляд балона складається з огляду внутрішньої та зовнішньої поверхні, перевірки маси та місткості балона, гідравлічного випробування. Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях хладонових та аміачних них балонів складає 3,0 МПа, вуглекислотних, кисневих, стиснутого повітря - 22,5 МПа.

Балони фарбуються в спеціальний колір у відповідності до таблиці 3.1

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.1 – Колір балонів

Газ	Фарбування балону	Текст	Колір надпису	Колір полоси
Азот	Чорна	Азот	Жовтий	Коричневий
Аміак	Жовтий	Аміак	Чорний	-
Повітря	Чорний	Повітря	Білий	-
Кисень	Блакитний	Кисень	Чорний	-
CO <sub>2</sub>	Чорний	Діоксид вуглецю	Жовтий	-
R22	Сірий	R22	Чорний	2 жовті полоси

Зберігання аміаку в компресорному цеху, а також в інших приміщеннях, які не є спеціальними складами аміаку, забороняється. При короткочасному зберіганні балонів з аміаком поза складом їх не слід розміщувати біля опалювальних пристроїв та приладів, парових труб або зберігати на сонці. Балони з насадженими на них черевиками зберігають у вертикальному положенні у спеціально обладнаних гніздах або клітинах для запобігання їх падінню. Балони без черевиків можна зберігати у горизонтальному положенні на дерев'яних рамках або стелажах. Висота штабеля балонів, що горизонтально зберігаються, не повинна перевищувати 1,5 м; вентиля балонів захищають ковпаками та звертають в один бік, ковпаки на балонах пломбують. Між рядами балонів у штабелях укладають дерев'яні прокладки з виїмками для попередження скочування балонів.

Технічний огляд апаратів холодильних установок проводять для перевірки їх міцності та щільності та своєчасного виявлення можливих дефектів.

Склад та періодичність огляду. Технічний огляд апарату включає в себе внутрішній огляд та пневматичне випробування.

Внутрішній огляд апарату проводять не рідше одного разу на два роки. Якщо внутрішній огляд неможливий через конструктивні особливості апарату (наявність трубних решіток, малий діаметр тощо), його замінюють пневматичним випробуванням, проведеним у терміни, передбачені для внутрішнього огляду.

Пневматичне випробування апарату, доступного для внутрішнього огляду, проводять не рідше одного разу на 8 років. Апарати аміачних установок випробовують на міцність і щільність, апарати установок хладону - тільки на щільність.

Проведення технічного огляду. Роботи з проведення огляду відносять до особливо небезпечних, оскільки при розтині апарату перед внутрішнім оглядом може статися витік холодоагенту, а при пневматичному випробуванні розрив апарату.

Проведення пневматичних випробувань. Тиск в апаратах аміачних холодильних установок створюють повітрям за допомогою спеціального компресора, в установках хладону - осушеним повітрям або сухим інертним газом (азот, діоксид вуглецю) з балонів з точкою роси не вище  $-50^{\circ}\text{C}$ . Перед випробуванням апаратів на міцність заглушують їх запобіжні клапани.

Тиск в апараті підвищують поступово з витримкою та перевіркою щільності з'єднань та видимих деформацій при досягненні половини робочого тиску та при робочому тиску (час підвищення в апараті тиску до 0,1 МПа має становити 15-20 хв, а до половини робочого тиску – 60-90 хв).

Під тиском випробування на міцність апарат перебуває протягом 5 хв, після чого тиск в апараті знижують до тиску випробування на густину (робочого тиску). При робочому тиску проводять огляд апарату та перевіряють герметичність зварних швів та роз'ємних з'єднань мильною емульсією. Через 3-4 години після вирівнювання температури повітря в апараті і температури навколишнього повітря, підвищують тиск в апараті до робочого, від'єднують трубопровід подачі повітря, між трубопроводом і запірним вентилем

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		40



встановлюють заглушку і приступають до перевірки герметичності апарату за величиною падіння тиску.

#### *Експлуатація холодильних установок*

Планові огляди та ревізії холодильних установок повинні проводитись відповідно до затвердженого графіка, складеного з урахуванням рекомендацій та умов експлуатації кожної установки. Проходи поблизу машин та апаратів повинні бути завжди вільні, а підлога проходів - у справному стані. Доступ до рухомих частин машини дозволяється тільки після повної зупинки та вжиття всіх заходів проти запуску машин сторонніми особами. Забороняється експлуатація холодильної установки з несправними приладами захисної автоматики. Куріння та користування відкритим полум'ям у машинних відділеннях (а також в інших приміщеннях, де встановлено холодильне обладнання) забороняється.

Пуск холодильної установки після її зупинки на тривалий час (понад 24 години) може бути здійснений тільки після перевірки справності установки та з дозволу особи, відповідальної за безпечну експлуатацію. Експлуатація холодильної установки має бути відображена у добовому журналі її роботи. При обслуговуванні холодильної установки повинен проводитись візуальний огляд обладнання, перевірка його герметичності, очищення поверхні обладнання від бруду та пилу. Усі помічені дефекти повинні заноситись до журналу із зазначенням заходів щодо їх усунення.

Для виявлення місця витoku хладону дозволяється користуватися галоїдними та іншими течешукачами, мильною піною, полімерними індикаторами герметичності. Наявність слідів олії в роз'ємних з'єднаннях, бульбашок при обмилюванні зварних з'єднань, зміна кольору полум'я вказують на витік хладону. При виявленні витoku хладону компресор необхідно зупинити, перекрити запірною арматурою пошкоджену ділянку, увімкнути витяжну вентиляцію і, відкривши вікна та двері, негайно усунути витік. Розкривати компресори, апарати та трубопроводи дозволяється лише

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		41

після того, як тиск хладону буде знижений до атмосферного та залишається постійним протягом 20 хв. Забороняється розкривати апарати з температурою стін менше 35°C. . Концентрація розсолу, що проходить усередині труб випарників, повинна бути такою, щоб температура замерзання розсолу була на 8°C нижче температури кипіння хладону за робочих умов.

Температура охолоджувальної води на виході із сорочок циліндрів компресора не повинна бути більше 45°C. .Забороняється видалення інею механічним способом з батареї безпосереднього охолодження (допускається обмітання інею). При видаленні снігової шуби з охолоджувальних пристроїв шляхом їх нагрівання тиск в батареях і охолоджувачах повітря не повинен перевищувати тиску випробування на щільність для апаратів (судин) боку низького тиску.

Механічна очистка від водяного каменю трубок кожухотрубних апаратів (конденсаторів та випарників з міжтрубним гасінням) повинна проводитись тільки після звільнення їх від хладону під безпосереднім наглядом особи, відповідальної за безпечну експлуатацію установки.

Застосування зварювання та паяння при ремонті фреонових машин, апаратів та трубопроводів на діючих установках повинно проводитись під надглядом старшого технічного персоналу та наявності письмового дозволу особи, відповідальної на підприємстві за справний стан, правильну та безпечну експлуатацію холодильних установок.

#### *Забезпечення пожежо- та вибухобезпеки*

Пожежна небезпека – можливість появи необхідних та достатніх умов виникнення пожежі. Горючі гази та пари можуть вибухати лише тоді, коли вони перебувають у суміші з повітрям у певних межах. Найменша кількість пар, газів або пилу в суміші з повітрям, яке здатне дати вибух від джерела займання (нижче цієї кількості суміш не вибухає), називається нижньою

					Б142δ 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		42

межею вибуху. Найбільша кількість пар, газу або пилу в суміші з повітрям, яке здатне дати вибух від джерела займання (вище цієї кількості суміш не вибухає), називається верхньою межею вибуху.

Пожежонебезпечність речовин характеризується багатьма параметрами, зокрема: температурами займання, спалаху, самозаймання, концентраційними межами займання та інші.

Основними причинами виникнення пожеж є:

необережне поводження з вогнем (наприклад, кинуті незагашені недопалки та сірники; відігрівання замерзлих водопровідних труб паяльними лампами, смолоскипами; розведення багать для спалювання сміття на території підприємства); неправильний пристрій та експлуатація електрообладнання, тобто перевантаження в мережі, недостатнє переріз проводів, необґрунтований підбір електродвигунів, світильників, вимикачів, пускатетей, запобіжників, приладів автоматики; порушення технологічного процесу та експлуатації несправного технологічного обладнання;

іскри, що летять, від виробничого обладнання та транспорту; несправність систем опалення та порушення правил їх експлуатації; самозаймання та самозаймання горючих матеріалів під час зберігання; розряди статичної електрики; грозові розряди за відсутності або несправності блискавковідводів: порушення правил газоелектро-зварювання; визначення ж місця витоку горючих газів.

Таблиця 3.2 – Класифікація робочих речовин за класами небезпеки.

Клас	Вид
A	Горючі газы, легкозаймісті рідини з температурою спалаху не більше 28 °С у такій кількості, що можуть утворюватися вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші,



Вода та водні розчини – найбільш поширені та ефективні засоби боротьби з пожежами. У тонкорозпиленому стані вода припиняє горіння твердих матеріалів та речовин та горючих рідин. При горінні кам'яного вугілля, вугільного пилу, вовни, бавовни та інших волокнистих матеріалів застосовують воду з додаванням 2% розчину натрієвої або амонієвої солі. Введення у воду цих розчинів значно збільшує змочуваність та проникнення води всередину перерахованих речовин та матеріалів.

Піна застосовується при гасінні нафтопродуктів, що горять. За своїм складом або способом одержання розрізняють хімічну та повітряно-механічну піну.

Хімічну піну одержують у піноутворювальній апаратурі з піногенераторних порошків. Гасіння засноване на тому, що на поверхні піна розтікається щільним шаром і ізолює нафтопродукти, що горять, від повітря.

Повітряно-механічна піна виходить у спеціальних піногенераторах типу ГПВ-600 та інших і складається з повітря (90%), води (9,6%) та піноутворювачів (0,4%). Повітряно-механічна піна значно дешевша за хімічну.

Під кратністю піни розуміють збільшення обсягу проти обсягом вихідних речовин. Високократну піну одержують у піногенераторах при застосуванні піноутворювачів типу ПО-1, ПО-1А, ПО-1Д.

Високократну повітряно-механічну піну використовують при гасінні пожеж у закритих приміщеннях (підвалах), паливних танках, трюмах суден тощо.

Водяна пара застосовується при гасінні пожеж у закритих приміщеннях найчастіше на нафтоналивних суднах.

Діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) використовують для гасіння пожеж у закритих приміщеннях об'ємом до 1000 м<sup>3</sup>. Діоксид вуглецю не проводить електричний струм.

### *Забезпечення електробезпеки*

					Б142δ 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		45

Електричні травми. Пошкодження організму людини, викликане впливом електричного тока або електричної дуги, називається електротравмою. Розрізняють такі види електротравм: опіки, знаки на тілі, металізація шкіри, електричні удари, ураження очей, механічні пошкодження тіла, електричний шок.

Опіки завдають електричної дуги, температура якої сягає кілька тисяч градусів, а також електричний струм при безпосередньому контакті тіла з струмоводом. Опіки становлять дві третини всіх електротравм. При напрузі до 1000 В переважно обгорає шкіра в місці контакту з струмопровідною частиною. Опіки струмом та електричною дугою проникають глибоко у тканини п можуть спричинити тяжку опікову хворобу.

Електричні знаки з'являються на шкірі у місцях проходження електричного струму. Вони мають вигляд плям сірого або блідо-жовтого кольору, які згодом тверднуть через омертвіння шкіри.

Металізація шкіри з'являється при ураженні електричною дугою внаслідок проникнення у шкіру найдрібніших частинок розплавленого металу. Часто металізація супроводжується опіком.

Електричні удари - досить частий вид ураження, особливо в електроустановках напругою до 1000 В (більше третини всіх електротравм); характеризуються збудженням усіх систем організму людини, судомними скороченнями м'язів тіла. Результат електричного удару може обмежитися відчуттям страху, судомою та прискореним серцебиттям без серйозних наслідків. Найчастіше бувають тяжкі наслідки, а нерідко й смерть. У всіх випадках виникає загроза ураження серця, тому що воно дуже чутливе і найбільш уразливе для електричного струму. Загроза особливо сильна, коли вплив струму зазнала ліва половина тіла.

Поразка під впливом крокового напруги. Напруга, яка виникає, якщо ноги людини опиняються на поверхні з різними потенціалами, називається

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		46

кроковим. При значній величині різниці потенціалів струм, що йде через тіло людини, може викликати важкі електричні травми.

Крокова напруга виникає у місцях падіння на землю проводів під напругою, пробою ізоляції підземних кабелів (рис. 24). Величина крокової напруги залежить від джерела струму, стану ґрунту та довжини кроку людини. Найбільш небезпечною можна вважати зону в радіусі 20-30 м від місця падіння дроту, пробою ізоляції кабелю. Для захисту від ураження кроковою напругою застосовують діелектричні матеріали, діелектричне взуття. До усунення небезпеки зону захищають.

Поразка під впливом статичного електрики. При терті деяких тіл одне одного на їх поверхні можуть виникати електричні заряди, звані електростатичними. Такі заряди можуть виникати при дотику або терті твердих матеріалів, подрібнення або пересипання. У виробництвах із вибухота пожежонебезпечними середовищами (водень, метан, природний газ тощо) електричний заряд може спричинити пожежу або вибух. Захист від статичної електрики підлягають усі споруди, об'єкти, обладнання, на яких за умовами технологічного процесу утворюються електричні заряди. Основними заходами від накопичення електричних зарядів є: заземлення металевих частин устаткування, трубопроводів, вентиляційних труб тощо; будову підлог з підвищеною електропровідністю та електропровідними заземленими зонами; іонізація повітря чи середовища (всередині закритих ємностей); заземлення фільтрів (сітки у вентиляційних каналах, призначених для транспортування газів, пар та пилоповітряних сумішей); застосування струмоведучих мазей у ремінних передачах.

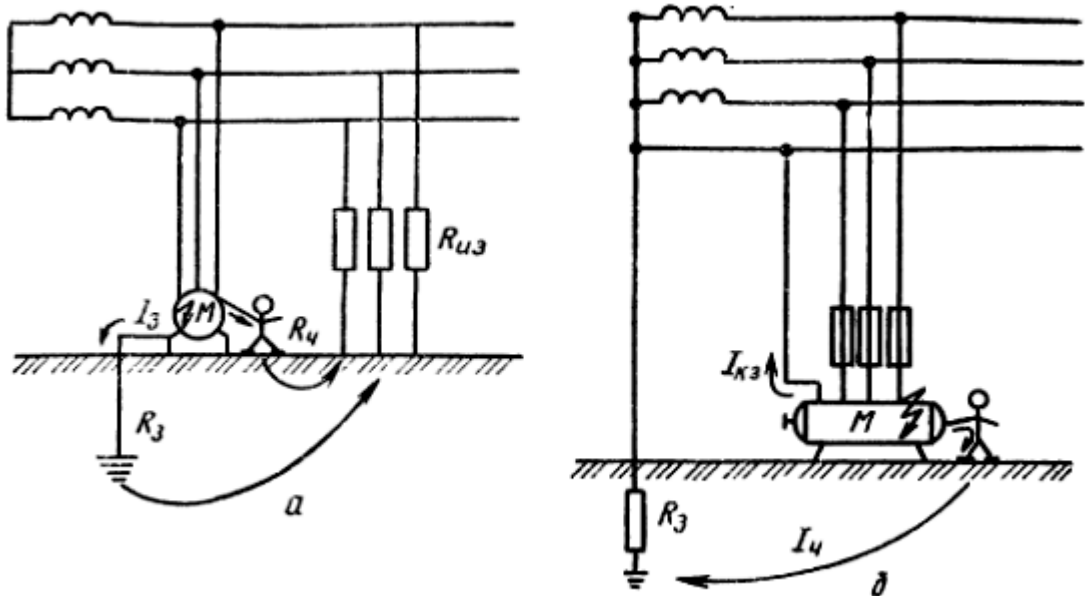
На електродвигунах і пов'язаних з ними механізмах повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрямок їх обертання. Кнопки включення обладнання повинні бути заглиблені на 3-5 мм всередину пускової коробки, щоб уникнути випадкового натискання. На вимикачах, контакторах, магнітних пускачах і запобіжниках мають бути чіткі позначення, які вказують,

					<i>Б142δ 02.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		47

до якого електродвигуна вони відносяться. Плавкі вставки запобіжників повинні бути лише калібровані, з чітким позначенням номінального струму, нанесеним виробником або сертифікованою електричною лабораторією.

#### Захисні засоби по ураженню електричним струмом

Технічні засоби захисту. Захист від ураження електричним струмом здійснюється шляхом нанесення ізоляції на струмонесучі частини, пристроєм заземлення, занулення та захисного відключення. В електроустановках з напругою до 1000 В опір ізоляції має бути не менше 0,5 МОм. Опір ізоляції перевіряють мегомметром у приміщеннях без підвищеної небезпеки не рідше одного разу на рік, у приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних — не рідше двох разів на рік. Якщо опір ізоляції знижується більш ніж на 50% від початкової, її замінюють.



Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142д 02.00.00.00 ПЗ

Арк.

48



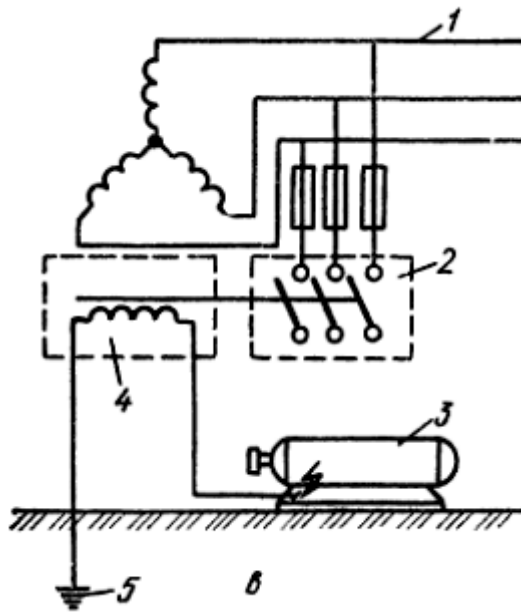


Рисунок 3.1 – Технічні засоби захисту від ураження електричним струмом: а – захисне заземлення; б - захисне занулення; в - захисне відключення.

Для визначення технічного стану заземлювальних пристроїв проводять огляди, при яких перевіряють наявність електричного ланцюга між заземленим обладнанням та заземлювачем та вимірюють опір заземлювальних пристроїв. У цехових установках вимірювання проводять не рідше одного разу на рік. Гранично допустимий опір заземлювального пристрою в установках з напругою до 1000 не перевищує 4 Ом. (Значення опору вибрано з того розрахунку, що електричний опір тіла людини у багато разів більший.) При випадковому дотику до частини електроустановки, що знаходиться під напругою та заземленою, через тіло людини пройде струм безпечної величини.

## Список використаних інформаційних джерел

1. Refrigeration systems and applications. Second Edition. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 2010. – 484 p.
2. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування «Розрахунок теплообмінників пластинчасто-ребристого типу з повітряним охолодженням» курсу «Холодильні установки»/ укладачі: С. О. Шарапов, Ю. М. Вертепов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 24 с.
3. Охорона праці: Конспект лекцій/ Укладач А.Ф. Денисенко.– Суми: Вид-во СумДУ, 2007.– Ч.2.– 130с.
4. М. І. Шиляєв, Є. М. Хромова, Ю. М. Дорошенко. Типові приклади розрахунку опалення, вентиляції і кондиціонування повітря: Учб. Посібник. – Видавництво ТГАСУ, 2012. -288с.
5. Чумак В. Р. та ін. Холодильні установки/Чумак В. Р., Чепурненко В. П., Чуклин Ц. Р. 2-е видав. Перероб і дод. – М.: Легка харчова пром-сть, 1981. -344с.
6. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Студия «Негоциант», 2006. – 712 с.
7. Низькопотенційна енергетика: навчальний посібник / А. О. Редько та ін.; Під ред. Академіка НАНУ А. А. Долинського. – Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2016.– 412 с.
8. Дубровська В.В. Шкляр В.І. Термодинаміка та тепломасообмін. Навчальний посібник. - Київ, НТУ КПІ, 2016. - 152 с.
9. Пожарова О. В. Охорона праці : навчальний посібник / О. В. Пожарова. - Одеса, 2022. - 86 с.

					Б142д 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		50