

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра технічної теплофізики

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій ВАНЄЄВ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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: Розроблення горизонтального кожухотрубчастого випарника аміачної  
холодильної машини холодопродуктивністю 25кВт.

Здобувача групи ХК01/1оп \_\_\_\_\_ Салімова Євгена Олеговича

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

\_\_\_\_\_ Євген САЛІМОВ \_\_\_\_\_

Керівник     доцент, к.т.н. Вадим БАГА

Суми – 2024

## ЗМІСТ

	С.
1. ВСТУП.....	3
2. Вихідні дані.....	7
3.Схема аміачної холодильної машини.....	8
4. Розрахунок циклу та інтегральних параметрів ГКВ.....	10
5. Теплообмінні апарати.....	14
5.1 Класифікація та основні конструкції.....	14
5.2 Рівняння теплового балансу теплообмінного апарату.....	18
5.3 Використання теплообмінного обладнання для аміачних холодильних установок.....	21
6. Розрахунок горизонтального кожухотрубного випарника.....	37
6.1 Тепловий розрахунок.....	37
6.2 Конструктивний розрахунок.....	41
6.3 Гідравлічний розрахунок.....	42
6.4 Міцністний розрахунок.....	42
6.4.1 Розрахунок обичайки.....	43
7. Охорона праці.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

						Б142 03.00.00.00 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Салімов				Розроблення горизонтального кожухотрубчастого випарника аміачної холодильної машини холодопродуктивністю 25кВт	Лист	Лист	Листів
Перевірив	Бага					2	51	
Реценз.						СумДУ ХК01/1оп		
Н. Контр.	Бага							
Затверд.								

## 1. ВСТУП

Холодильне обладнання - це сукупність взаємозв'язаних технічних засобів, призначених для створення, розподілу і використання штучного холоду. При цьому слід розрізняти безпосередньо холодильні системи і холодильне технологічне обладнання.

Холодильні системи - це комплекс холодильного обладнання (один або декілька компресорів, конденсаторів, різного роду випарників, ресиверів і ін.), в якому циркулює холодильний агент, безпосередньо відтворюючий штучний холод. Такі комплекси називають холодильними машинами. З декількох типів холодильних машин, які принципово відрізняються один від одного.

Холодильне технологічне обладнання призначене для охолодження, заморожування і холодильного зберігання швидкопсувних харчових продуктів (ШХП). За характером дії на ШХП розрізняють холодильне технологічне обладнання для охолодження і для заморожування продуктів. Охолодження (пониження температури не нижче криоскопічної). як правило, здійснюється в камерах охолодження (окрім рідких ШХП). Заморожування (пониження температури значно нижче криоскопічної) може здійснюватися або в камерах заморожування (камерних морозилках), або в спеціальних пристроях - швидко-морозильних апаратах. [1]

Випарник аміачної холодильної машини – це пристрій, в якому відбувається випаровування рідкого аміаку для поглинання тепла з охолоджуваного середовища. У процесі випаровування рідкий аміак переходить у газоподібний стан, поглинаючи при цьому теплоту з навколишнього середовища, газоподібний аміак після випаровування продовжує свій шлях по системі до компресора, де він стискається, а потім надходить у конденсатор для повторного охолодження та конденсації. Випарник є ключовим компонентом холодильного циклу, оскільки саме в ньому відбувається основний процес теплообміну, який забезпечує охолодження.

Перевагами такого випарника є: висока ефективність – аміак має високі термодинамічні властивості, що робить його ефективним холодоагентом, низькі

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційні витрати – аміак дешевший у порівнянні з деякими іншими холодоагентами та екологічність – він не сприяє руйнуванню озонового шару і має нульовий потенціал глобального потепління. До недоліків можна віднести: токсичність – аміак є токсичним і має характерний різкий запах, тому необхідно дотримуватися заходів безпеки при його використанні, а також корозійність – його використання може викликати корозію деяких матеріалів, тому для його використання необхідні спеціальні конструкційні матеріали.

Випарники аміачних холодильних машин використовуються в різних галузях: по-перше промислове охолодження – у харчовій промисловості для зберігання та обробки продуктів, по-друге системи кондиціонування – для охолодження великих приміщень, таких як торгові центри та виробничі цехи, по третє хімічна промисловість – у процесах, де необхідне низькотемпературне охолодження.

Парокомпресорні холодильні машини є основний тип машин, які використовуються для охолодження до  $-1000\text{C}$ . Фізичним процесом, в результаті якого одержують холод, являється фазовий перехід робочого тіла з рідкого у газоподібний стан. Як робоче тіло (холодильний агент) використовуються чисті речовини: аміак, фреони, вуглеводні (етан, пропан), або суміші чистих речовин. В парокомпресорних машинах механічна енергія перетворюється в компресорі на внутрішню енергію стиснутої пари.

В хімічній технології знаходять застосування холодильні машини з поршневіми, ротаційними, гвинтовими та відцентровими компресорами. Для створення холодильних машин малої та середньої продуктивності до 400 кВт використовуються поршневі та ротаційні компресори, гвинтові машини перспективні в діапазоні від 100 до 1000 кВт, крупні агрегати з продуктивністю 1000 кВт комплектуються виключно відцентровими компресорами. В залежності від температурного режиму роботи, типу компресора та властивостей робочого тіла в ПКХМ застосовуються різні варіанти зворотніх термодинамічних циклів та схем: одно, двох, багатоступінчасті та каскадні з внутрішньою регенерацією тепла і т. д. [2]

									Арк.
									4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Б142 03.00.00.00 ПЗ				

В наш час актуальною темою є покращення характеристик кожухотрубчастих випарників. Багато вітчизняних та закордонних вчених, з різних точок світу досліджують дану тематику.

Наприклад у статті [3] запропоновано нову металеву пінопластову трубку (тобто пінопласт, вбудований поза трубкою) для покращення теплопередачі залитих випарників. Досліди проводили на горизонтальному трубному пучку зі шаховим розташуванням. Крім того, продуктивність холодоагентів з низьким потенціалом глобального потепління (R-1234yf і R-1234ze(E)) порівнюється з R-134a як для простих труб, так і для труб із металевої піни з пористістю 81%, 75% і 62%. Результати показали, що пінометалева труба з пористістю 62% показала підвищення максимального коефіцієнта теплопередачі (НТС) на 291% порівняно зі звичайною трубою.

Складна конструкція випарного охолоджувача точки роси (DPEC) є найбільшою перешкодою для глобалізації такої високопродуктивної системи. Тому в статті [4] представлено новий дизайн для DPEC, який усуває бар'єр складності та значно покращує продуктивність системи. Нова конструкція складається з однієї оболонки і групи трубок. Одна оболонка працює як робочий канал, тоді як труби працюють як первинні канали.

У статті [5] досліджено рівняння теплопередачі та рівняння теплового балансу кожухотрубного випарника побудована точна математична модель для випарника і отримане рівняння, що включає детальні та точні методи розрахунку для всіх коефіцієнтів теплопередачі, таких як коефіцієнт теплопередачі на стороні холодоагенту, коефіцієнт теплопередачі на стороні води, кінематична в'язкість холодоагенту, густина та питома ентальпія. Застосування цього підходу передбачає підгонку співвідношень між густиною, теплопровідністю, кінематичною в'язкістю та ентальпією холодоагентів R134a у станах насиченої пари та рідини. В роботі [6] було розроблено програмне забезпечення для моделювання продуктивності відцентрового холодильного агрегату, яке об'єднує розрахунок теплопередачі кожухотрубного теплообмінника, розрахунок продуктивності відцентрового

										Арк.
										5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Б142 03.00.00.00 ПЗ					

компресора та прогнозування перенапруги. Точність імітаційної моделі перевірено за результатами випробувань.

У [7] документі повідомляється про експериментальну роботу з тестування охолодження електронного обладнання з використанням технології подвійного охолоджувача в новому апараті, який використовує метод охолодження природної конвекції з кожухотрубним теплообмінником у випарнику та пластинчасто-трубним теплообмінником у конденсаторі.

Робота [8] була спрямована на порівняння ексергетичної стійкості та ексергогенних характеристик докритичного (SUBORC) і надкритичного (SUPERORC) установок органічного циклу Ренкіна (ORC) для рекуперації відпрацьованого тепла від двигуна морського судна. Для відновлення теплової енергії вихлопних газів двигуна використовувався кожухотрубний рідинно-газовий теплообмінник.

В роботі [9] розглянуто використання системи теплового насоса з повітряним джерелом, для побутового використання, і їй сьогодні віддають перевагу через його високу ефективність та екологічність. Ця система досліджувалась експериментально та аналітично вплив заправки холодоагентом на вбудовану посудомийну машину з енергозберігаючим повітряним тепловим насосом. Єдина відмінність вбудованої посудомийної машини з повітряним тепловим насосом полягає в тому, що замість елемента електричного водонагрівача посудомийна машина інтегрована з системою повітряного теплового насоса, яка працює з холодоагентом R600a через його низький потенціал глобального потепління (GWP). Крім того, перевірка експериментів щодо значень енергоспоживання здійснюється шляхом порівняння аналітичних результатів із виміряними значеннями з системи збору даних.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Вихідні дані

Теплове навантаження на випарник

$$Q_0 = 25 \text{ кВт}$$

Робочий агент

аміак

Система охолодження

розсольна

Холодильна установка

одноступенева

Температура розсолу на виході з випарника

$$t_{s2} = 6^\circ\text{C}$$

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

### 3.Схема аміачної холодильної машини

Холодильні установки, що працюють на холодоагентах, відбирають тепло від завантажених в них продуктів і камер охолодження, поступово знижуючи їхню температуру. Холодоагенти безперервно циркулюють в системі, змінюючи свій агрегатний стан: спочатку випаровуючись при поглинанні тепла, а потім конденсуючись під час віддачі цього тепла.

Аміак застосовується в холодильних машинах (ХМ) при температурі конденсації не вище  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  і температурі кипіння до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  у випадку використання одноступеневих циклів, і до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  для двоступеневих. Потужність використовуваних аміачних ХМ знаходиться в діапазоні від кількох десятків кВт до кількох МВт.

Схема аміачної холодильної машини одноступеневого типу показана на рисунку 2.1.

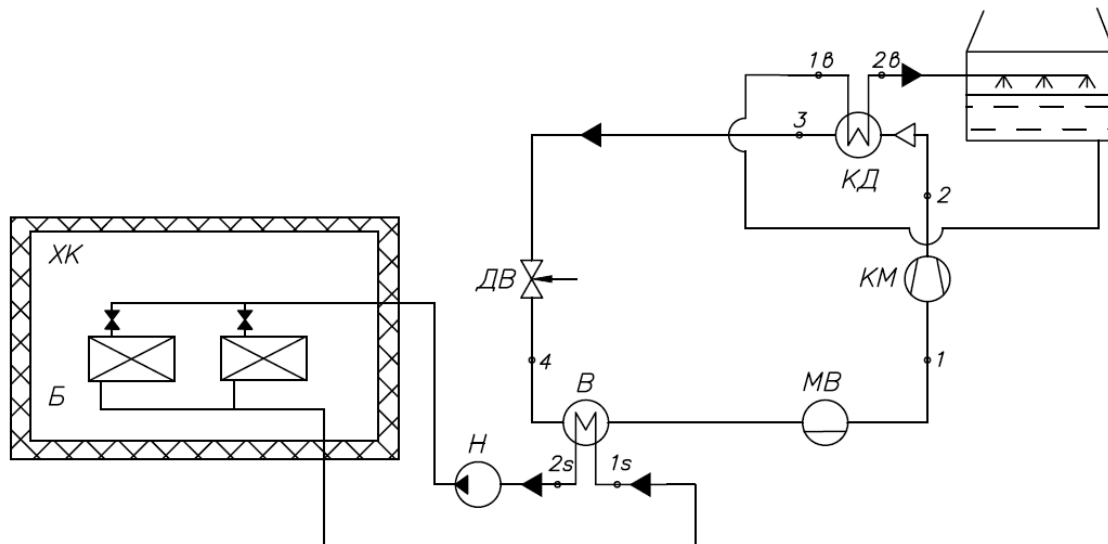


Рисунок 3.1 – Схема холодильної установки.

KM- компресор, KD-конденсатор, B-випрник, DV-дросельний вентиль, H-насос, B-батарея, XK-холодильна камера.



Принцип дії наведеної вище холодильної установки.

Пара холодоагенту стискається в компресорі, після чого надходить у конденсатор, де відбувається фазове перетворення пари в рідину. Для конденсації пари в конденсатор подається вода, яка потім охолоджується в градирні. У дросельному вентилі (ДВ) відбувається різке зниження тиску, що сприяє зниженню температури холодоагенту. У випарнику (В) тепло відбирається з розсолу, дозволяючи рідині холодоагенту перетворитися на пару. Охолоджений у випарнику розсіл надходить до батарей (Б) холодильної камери (ХК). В системі також є масловіддільник (МВ), який відділяє масло, що потрапило в холодоагент, захищаючи компресор від попадання масла всередину. Після цього цикл повторюється.

Цикл одноступеневої аміачної холодильної машини в координатах  $p, h$  і  $T, S$  показаний на рисунку 2.2.

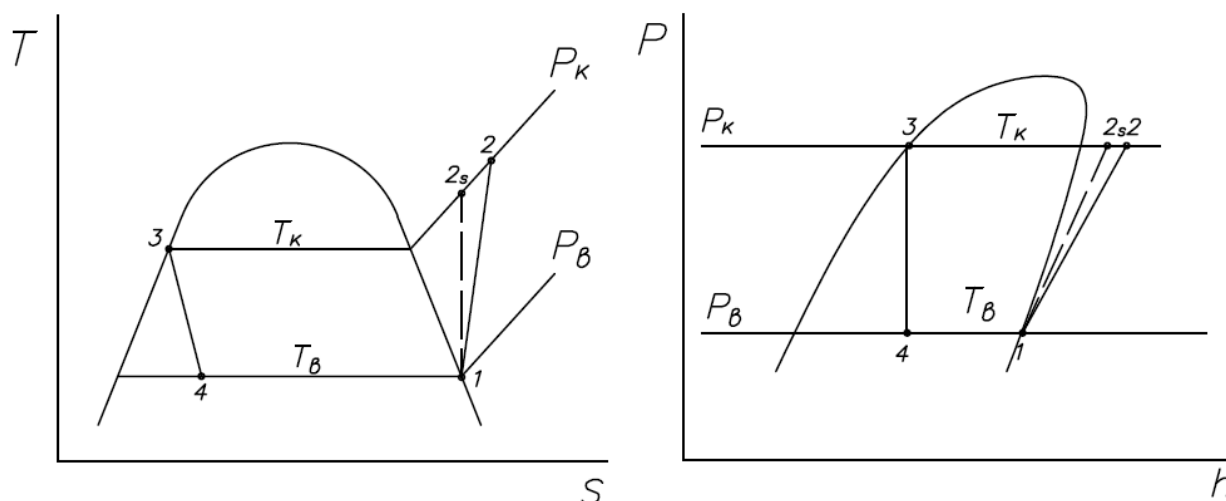


Рисунок 3.2 демонструє цикл одноступеневої аміачної холодильної машини в координатах  $p, h$  та  $T, S$ .

Лінія 1-2s відображає ізоентропне (ідеальне) стиснення холодоагенту в компресорі, а лінія 1-2 показує реальне стиснення в компресорі. Процес фазового переходу пари в рідину в конденсаторі зображений лінією 2-3, процес дроселювання в дросельному вентилі — лінією 3-4, а процес фазового переходу в випарнику з рідини в пароподібний стан — лінією 4-1.

#### 4. Розрахунок циклу та інтегральних параметрів ГКВ

Розрахунок циклу ГКВ проводимо для схеми одноступеневого фреонового парокомпресійного випарника (рис. 4.1).

Вихідні дані:

Теплопродуктивність	$\dot{Q}_B = 25 \text{ кВт}$
Середовище системи опалення	мережева санітарна вода
Температура повітря на вході в випарник	$t_{П1} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
Зміна температури повітря у випарнику	$\Delta t_B = 3 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура недорекуперації у випарнику	$\Delta t_{НЕДОРВ} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
Утилізоване середовище	атмосферне повітря навколишнього середовища
Відносна вологість атмосферного повітря	60 %

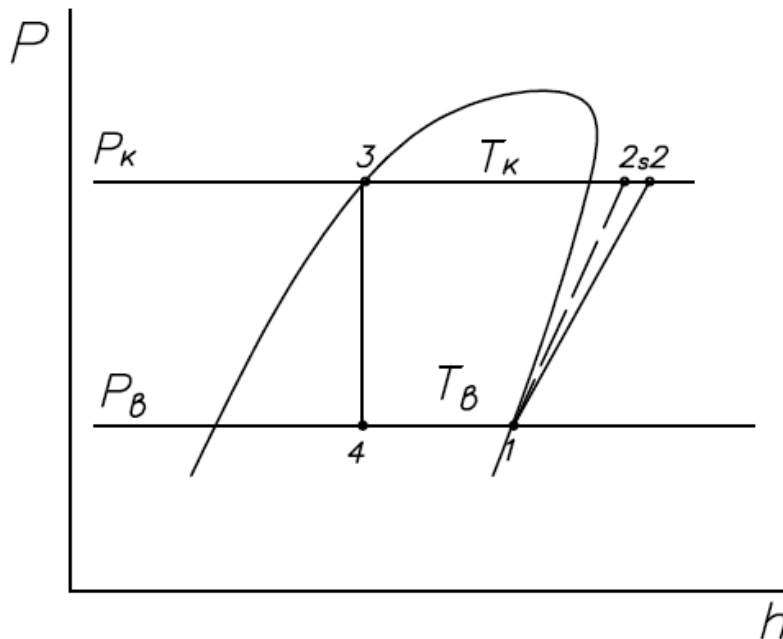


Рисунок 4.1 – Цикл одноступеневої ГКВ в  $p,h$ -координатах

### Визначення розрахункових температур:

Температура у випарнику визначається за рахунок недорекуперації в теплообміннику на рівні  $\Delta t_{II} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$\text{Тобто. } t_6 = t_{II3} - \Delta t_B = 6 - 5 = 1^\circ\text{C}$$

Із випарника виходить суха насичена пара (точка 6 знаходиться на правій примежовій кривій).

Температура конденсації в конденсаторі стала і визначається температурними параметрами мережі системи гарячого водопостачання:

$$t_K = t_{B2} + \Delta t_K = 25 + 5 = 30^\circ\text{C}$$

Температура пари холодоагенту на вході до компресора  $t_1 = t_B + 10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

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

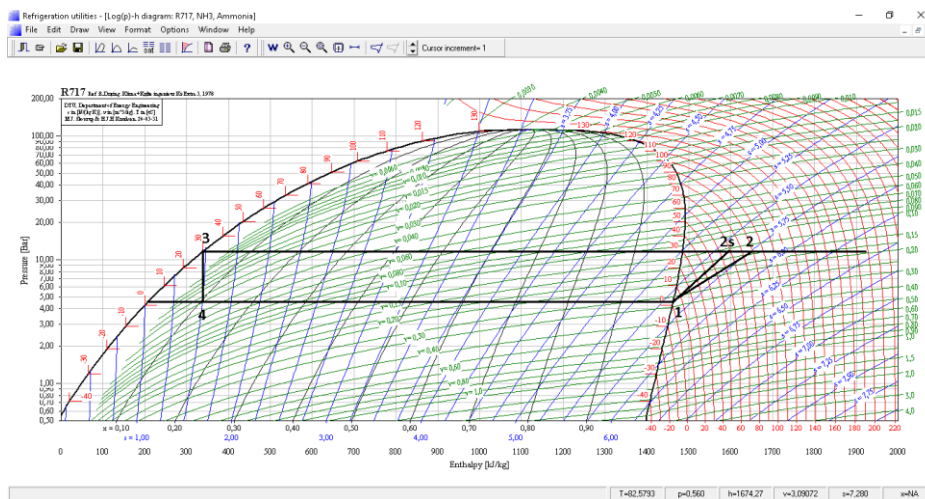
Звідки визначається ентальпія  $h_4 = h_3 + h_6 - h_1$ .

Температура холодильного агента на виході із компресора:

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

$$h_2 = 1440 + \frac{1590 - 1440}{0,75} = 1640 \text{ кДж/кг}$$

Розрахунки проводимо за допомогою *ph-діаграми* для холодильного агента R717.



									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Рисунок 4.2– *ph*-діаграмі для холодильного агенту R717.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Питомі параметри у характерних точках циклу

Параметр	Точки				
	1	2s	2	3	4
$t, ^\circ\text{C}$	1	65	95	30	1
$p, \text{бар}$	5	12	12	12	5
$h, \text{кДж/кг}$	1440	1590	1640	340	340

За результатами вищенаведених табличних даних розраховуються питомі параметри ТНУ.

Питоме навантаження на конденсатор:

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

$$q_{\text{кд}} = 1640 - 340 = 1300 \text{кДж/кг}$$

Питома адіабатна робота компресора:

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

$$l_s = 1590 - 1440 = 150 \text{кДж/кг}$$

Питома дійсна робота компресора:

$$l = h_2 - h_1, \text{кДж/кг}.$$

$$l = 1640 - 1440 = 200 \text{кДж/кг}$$

Теплове навантаження на конденсатор:

$$\dot{Q}_{\text{кд}} = \dot{Q}_T, \text{кВт}.$$

Масова продуктивність холодильного агенту:

$$m_a = \frac{\dot{Q}_{KD}}{q_{kd}}, \text{ кг/с}.$$

$$m_a = \frac{25}{1300} = 0,02 \text{ кг/с}$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_s = m_a \cdot l_s, \text{ кВт}.$$

$$N_s = 0,02 \cdot 150 = 3 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність компресора:

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

$$N_e = 0,02 \cdot (1640 - 1440) = 4 \text{ кВт}$$

Споживана потужність приводного двигуна:

$$N_{np} = \frac{N_e}{\eta_{пер} \cdot \eta_{дв}}, \text{ кВт}.$$

де  $\eta_{пер} = 0,99$  - к.к.д. передачі від двигуна до компресора,  $\eta_{дв} = 0,85$  – к.к.д. двигуна компресора.

$$N_{np} = \frac{4}{0,99 \cdot 0,85} = 4,75 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт перетворення холодильної установки (холодильний коефіцієнт):

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

$$\varepsilon = \frac{25}{4,75} = 5,26$$

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## 5. Теплообмінні апарати

### 5.1 Класифікація та основні конструкції

Теплообмінний апарат — це пристрій, в основу роботи закладена передача теплоти від одного середовища до іншого. Прикладами таких апаратів є паровий котел і конденсатор паросилової установки, випарник і конденсатор холодильного обладнання, а також багато інших пристроїв, що використовуються в теплоенергетиці, холодильній і криогенній техніці, хімічній, харчовій та інших галузях промисловості. Речовини (робочі середовища, потоки), що беруть участь у теплообміні, можуть знаходитися в рідкому або газоподібному стані або бути сумішшю рідини з паром, яка називається двофазним потоком.

Теплообмінні апарати зазвичай мають внутрішні канали або поверхні, через які протікає теплоносій. Ці канали можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як метал, пластик або кераміка, залежно від умов експлуатації та вимог ефективності.

Основні принципи роботи теплообмінних апаратів полягають у створенні великої поверхні контакту між робочими середовищами для максимального теплообміну. Це може бути досягнуто за допомогою різних конструкцій і конфігурацій, таких як ламельні пластини, трубчасті елементи або пластинчаті елементи. Їхнє використання допомагає забезпечити ефективне управління температурою та оптимізувати енергоспоживання.

Основні сфери застосування теплообмінних апаратів:

- системи опалення;
- металургія;
- енергетика;
- теплові пункти;
- хімічна та харчова промисловості;
- системи кондиціонування та вентиляції повітря;

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



гарячого потоку до холодного, підвищуючи температуру останнього і ефективно використовуючи тепло, що вже було витрачено на нагрівання першого потоку.

Рекуперативні теплообмінники широко використовуються в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також в промислових процесах, де потрібно ефективно використовувати тепло і знижувати енерговитрати.

Теплообмінники регенеративного типу відрізняються від інших типів теплообмінників тим, що одна й та сама поверхня нагріву по чергово піддається впливу гарячої та холодної рідини. Основні особливості та принципи роботи регенеративних теплообмінників полягають у наступному:

Регенеративний теплообмінник має 2 принципи роботи. Перший – чергування потоків, тепло передається через накопичувач тепла, який по черзі контактує з гарячою та холодною рідинами, спочатку гаряча рідина проходить через теплообмінник і нагріває накопичувач тепла, потім подача гарячої рідини припиняється, і через накопичувач починає проходити холодна рідина, яка поглинає накопичене тепло. Друга – накопичення тепла, матеріал накопичувача тепла (зазвичай це металеві елементи або спеціальні керамічні матеріали) здатний накопичувати та зберігати значну кількість тепла, цей матеріал нагрівається під час контакту з гарячою рідиною та охолоджується під час контакту з холодною рідиною, забезпечуючи передачу тепла від одного потоку до іншого.

Конструкційно поділяються на регенератори з обертовим колесом, які містять обертове колесо з матеріалом, який накопичує тепло. Колесо по черзі проходить через зону гарячої та холодної рідини, забезпечуючи безперервний процес передачі тепла. А також бувають фіксовані регенератори, які складаються з набору теплопередавальних елементів, які по чергово піддаються впливу гарячої та холодної рідини, яка проходить через теплообмінник у різні проміжки часу, використовуючи накопичувальні властивості матеріалу.

До переваг цього регенератора можна віднести його енергоефективність - велика частина тепла утилізується, що знижує потребу у додатковій енергії для нагріву або

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



охолодження, а також високий коефіцієнт теплопередачі, що забезпечує ефективну передачу тепла між рідинами різної температури.

Режим роботи рекуперативних апаратів здебільшого стаціонарний, тоді як у регенеративних апаратах він є нестаціонарним. Оскільки в обох типах апаратів теплота передається через поверхню твердого тіла, їх також називають поверхневими теплообмінниками.

Теплообмінники змішувального типу, також відомі як контактні теплообмінники, відрізняються від рекуперативних та регенеративних теплообмінників тим, що тепло передається безпосередньо між рідинами через їх змішування. У теплообмінниках гаряча та холодна рідини вступають у безпосередній контакт одна з одною, під час змішування відбувається обмін теплом, і гаряча рідина передає теплоту холодній. Частіше використовують барботажні колони у яких рідини змішуються у вертикальних колонах, де одна рідина барботує через іншу, забезпечуючи ефективний обмін теплом, але також бувають сприскувальні камери, принципом роботи яких є розпилування рідин у спеціальних камерах, де відбувається їх змішування та теплопередача.

Перевагою цього теплообмінника є простота конструкція, яка має відсутність складних поверхонь для теплопередачі, що знижує вартість виробництва та обслуговування. Недоліком є обмежене застосування, бо використовується тільки там, де змішування рідин є прийнятним і не викликає небажаних хімічних реакцій.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

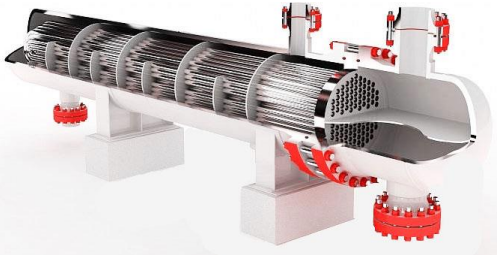
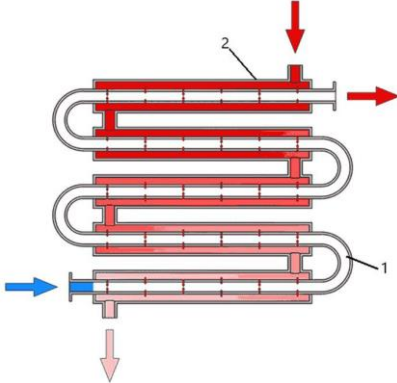
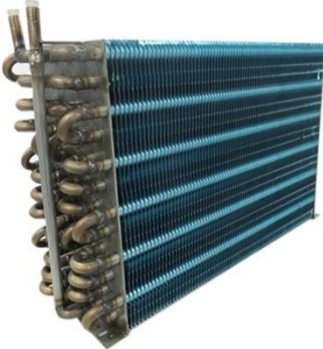

	
<p>а) кожухотрубчастий</p>	<p>б) двотрубний змійовиковий</p>
	
<p>в) трубчасто-ребристий</p>	<p>г) пластинчасто-ребристий</p>

Рисунок 5.2 – Типи теплообмінних апаратів

## 5.2 Рівняння теплового балансу теплообмінного апарату

Для рекуперативного апарату

$$dQ = mdh \quad (5.1)$$

За відсутності втрат гарячий потік повністю передає тепло холодному

$$dQ = -m_1 dh_1 = m_2 dh_2$$

$$Q = m_1(h'_1 - h''_1) = m_2(h''_2 - h'_2) \quad (5.2)$$

Індексом 1 позначено більш нагріте (тепле) середовище, індексом 2 – менш нагріте

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



пластини). Якщо умови обтікання поверхні кожним із середовищ не змінюються, то значення  $a_1$  і  $a_2$  можна вважати постійними для всього апарату. При цьому, вплив температури рідини на коефіцієнт тепловіддачі враховують, відносячи  $a_1$  і  $a_2$  відповідно до середньої температури  $t_{1cp}$  і  $t_{2cp}$ . Якщо умови обтікання в різних частинах апарату відрізняються, наприклад, у верхній частині відбувається подовжнє обтікання, а в нижній - поперечне, або якщо необхідно враховувати вплив зміни температури рідини на коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$ , то поверхню апарату розділяють на ряд ділянок з відповідними площами  $F_1, F_2, F_3$  і т. д., для кожного з яких можна вважати  $k = \text{const}$ . Середній для всього апарату коефіцієнт теплопередачі за незначної зміни температурного натиску за поверхнею знаходять з рівняння

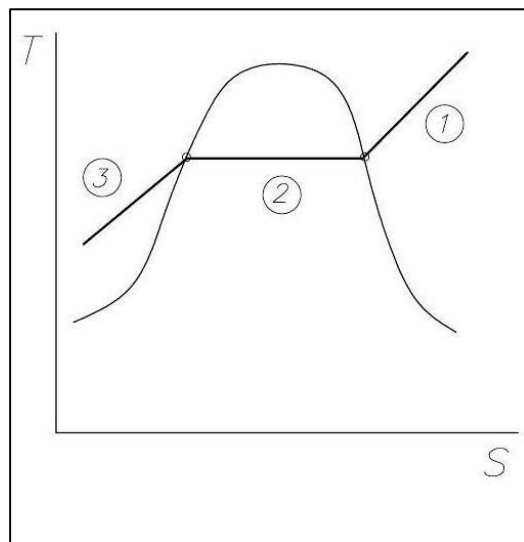


Рисунок 5.5 – Умовна реалізація теплообміну в конденсаторі

*Зона 1 – охолодження, зона 2 – фазовий перехід, зона 3 – переохолодження*

Середній коефіцієнт теплопередачі з врахуванням зон розраховується наступним чином:

$$k_{cp} = \frac{k_1 F_1 + k_2 F_2 + k_3 F_3 + \dots}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots}$$

(5,6)

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

### 5.3 Використання теплообмінного обладнання для аміачних холодильних установок

Використання теплообмінного обладнання у аміачних холодильних установках відіграє ключову роль у процесі охолодження. Аміак ( $\text{NH}_3$ ) є одним з найбільш ефективних і широко використовуваних холодильних речовин, особливо в промислових і комерційних застосуваннях, через його відмінні теплофізичні властивості та екологічну безпечність.

Одним з ключових компонентів аміачної холодильної установки є конденсатор, який відіграє роль у відведенні тепла, що видається під час стиснення аміаку. Конденсатори можуть мати різні конструкції, включаючи повітряні охолоджувачі, водяні конденсатори або охолоджувачі з іншими теплоносіями, такими як гліколь.

Другим важливим елементом є евапоратор, де аміак розширюється, вбираючи тепло з оточуючого середовища і охолоджуючи його. Евапоратори зазвичай розташовані у холодильних камерах або приміщеннях, які потрібно охолодити.

Теплообмінники також використовуються для передачі тепла між аміаком і іншими теплоносіями, такими як вода або гліколь, для контролю температури і оптимізації енергоефективності системи.

В цілому, теплообмінне обладнання для аміачних холодильних установок допомагає забезпечити ефективне видалення тепла з системи, знижуючи температуру і забезпечуючи необхідні умови для зберігання продуктів або обробки матеріалів у промислових процесах.

Випарник є ключовим компонентом холодильної системи, відповідальним за охолодження простору або середовища, що потребує охолодження. Випарник функціонує на принципі випаровування рідини для відбирання тепла з оточуючого середовища, в ньому робоча речовина перетворюється у парову форму за рахунок тепла, що надходить від джерела зниженої температури.

Принцип роботи випарника полягає в наступному: рідина (зазвичай холодильний агент, такий як аміак, фреон або хладагент іншого типу) знаходиться у

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випарному резервуарі, де вона випаровується за рахунок тепла, яке вона вбирає з навколишнього середовища або простору, що потребує охолодження. Після випарування рідина переходить у газоподібний стан і проходить у випарний конденсатор.

Випарники можуть мати різні конструкції, включаючи трубчасті, пластинчасті або спіральні обмінники тепла, які забезпечують максимальний контакт між холодильним агентом і середовищем, що охолоджується. Це дозволяє ефективно відбирати тепло з простору та швидко охолоджувати його.

Випарники використовуються у різних галузях, включаючи холодильні системи для приміщень, холодильні камери, морозильні камери, системи кондиціонування повітря, а також у промислових процесах, де потрібно забезпечити охолодження або знизити температуру. Вони є невід'ємною частиною будь-якої холодильної системи, забезпечуючи необхідний процес випарування рефрижеранту і охолодження середовища.

В залежності від основних принципів дії випарники можуть бути класифіковані на наступні категорії:

1) За джерелом охолодження:

- випарники для охолодження рідких холодоносіїв;
- випарники для охолодження повітря;
- випарники для охолодження твердих середовищ;
- випарники-конденсатори.

2) За умовами циркуляції охолоджуваної рідини:

- з закритою системою циркуляції охолоджуваної рідини (такі як кожухотрубні і кожухозміювикові);
- з відкритим рівнем охолоджуваної рідини (наприклад, вертикально-трубні, панельні).

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) За типом заповнення робочою речовиною:

- затоплені;
- незатоплені (такі як зрошувальний, кожухотрубний з кипінням у трубах, змієвиковий з верхнім поданням рідини).

### **Випарники для охолодження рідких теплоносіїв**

Випарники для охолодження рідких теплоносіїв використовуються для передачі тепла від рідкого теплоносія, такого як вода або гліколь, до оточуючого середовища або простору, що потребує охолодження. Ці випарники є ключовою складовою в системах кондиціонування повітря, системах охолодження рідин та інших промислових застосуваннях, де потрібно відводити тепло від рідкого теплоносія.

Принцип роботи випарника для охолодження рідких теплоносіїв полягає в тому, що рідкий теплоносій подається до випарника, де він піддається випаруванню за рахунок тепла, яке він вбирає з навколишнього середовища. Після випарування рідина переходить у газоподібний стан і проходить у випарний конденсатор для подальшого охолодження або рециркуляції в систему.

Ці випарники можуть мати різні конструкції і форми, включаючи трубчасті, пластинчасті, або інші обмінники тепла, які забезпечують ефективний контакт між рідким теплоносієм і оточуючим середовищем. Вони можуть бути встановлені як у приміщеннях, так і у відкритих просторах, залежно від конкретних потреб системи охолодження.

Випарники для охолодження рідких теплоносіїв грають важливу роль у забезпеченні ефективного охолодження в різних галузях, від комерційного кондиціонування повітря до промислових процесів, де необхідно знизити температуру рідин.

Кожухотрубні випарники затопленого типу є найбільш поширеними та застосовуються в машинах середньої і великої продуктивності. У цих випарниках

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робоча речовина кипить на зовнішній поверхні труб, тоді як розсіл охолоджується при русі всередині них. Принцип роботи аміачних кожухотрубних випарників і тих, що працюють на хладонах, схожий.

Кожухотрубний випарник має горизонтально розташований циліндричний барабан, до якого приварені плоскі трубні грати з отворами. У цих отворах розташовані труби, що формують теплообмінну поверхню. Крім того, на барабані є штуцери для манометрів та приладів автоматики. У випарниках для аміачних холодильних машин до верхньої частини барабана приварений сухопарник, а до нижньої - масловідстійник. Пучок труб заповнює барабан не повністю, а його верхня частина залишається вільною.

У випарниках з відцентровими компресорами теплопередаюча поверхня зібрана в щільний шаховий пучок зі зменшеними перемичками між трубами, що займає приблизно половину обсягу барабана. Вільна частина барабана виконує функції сухопарника для осушення і перегріву пари. Для зменшення виносу крапель робочої речовини над пучком встановлюються сепаратори. Рівномірність підведення парорідинної суміші забезпечується спеціальним розподільником, що поліпшує процес теплопередачі та турбулізує потік.

Випарний охолоджувач точки роси - це пристрій, призначений для зниження температури повітря до точки роси, що спричиняє конденсацію водяної пари і утворення вологи. Його основна функція полягає в видаленні вологоутворення з повітря, що може бути корисним для контролю вологоутворення в приміщеннях, зокрема в холодильних камерах, складських приміщеннях або інших місцях, де вологість може бути проблемою.

Принцип роботи полягає в тому, що повітря проходить через охолоджувальну поверхню, де температура знижується до або нижче точки роси. Це призводить до конденсації водяної пари, яка потім відводиться з пристрою. Такий процес дозволяє підтримувати оптимальний рівень вологоутворення в приміщенні.

На рисунку 5.6 показаний загальний вигляд фреонового кожухотрубного випарника, а рисунку 5.7 - загальний вигляд аміачного кожухотрубного випарника.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24





Рисунок 5.6 – Фреоновий кожухотрубчастий випарник

Фреоновий кожухотрубчастий випарник складається з рідинного колектору, обичайки, перегородки, двох штуцерів для введення і відведення розсолу, запобіжного клапану, показника рівня, манометра, кранів для спуску - повітря, розсолу, вентиль для спуску масла, двох штуцерів для виходу і входу хладагенту та кришки.



Рисунок 5.7 – Аміачний кожухотрубчастий випарник

Аміачний кожухотрубчастий випарник складається з двох кришок, сухопарника, манометра, труби, трубної решітки, вентиля для випуску повітря, двох штуцерів для введення і відведення розсолу, злива розсолу, корпусу, масловідстійника, крану для видалення мастила, патрубку для входу рідкого аміаку.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## Випарники з кипінням робочої речовини усередині труб

Випарники з кипінням робочої речовини усередині труб - це тип випарників, які використовуються для відбирання тепла з оточуючого середовища шляхом кипіння робочої речовини, яка циркулює усередині труб або контейнера. Цей процес відбувається при певному тиску та температурі, де робоча речовина переходить з рідкого в газоподібний стан, відбираючи тепло з навколишнього середовища.

Принцип роботи випарника з кипінням полягає в тому, що робоча речовина, зазвичай вода або інший рідкий холодоносіє, подається у випарний обмінник тепла. При підвищенні тиску і температури робоча речовина переходить у газоподібний стан, киплячи усередині труб або контейнера випарника. Під час кипіння речовина відбирає тепло з оточуючого середовища, що призводить до охолодження цього середовища.

Такі випарники можуть мати різні конструкції, такі як вертикальні або горизонтальні трубчасті елементи, пластинчасті конструкції або інші форми, які забезпечують максимальну ефективність теплообміну. Вони використовуються в різних галузях, включаючи промислові процеси, системи кондиціонування повітря та холодильні установки, де необхідно ефективно охолоджувати рідини або гази. Важливою перевагою випарників з кипінням є їхній високий коефіцієнт теплопередачі, що дозволяє швидко і ефективно відводити тепло і забезпечувати необхідний рівень охолодження. Рисунок 5.8 показує конструкцію випарника з U-подібними трубками. На рисунку 5.9 показано конструкцію кожухотрубного випарника з кипінням робочого тіла всередині прямих труб. Для забезпечення достатньої швидкості руху теплоносія всередині кожуха встановлені вертикальні перегородки. Швидкість охолоджуваної рідини становить  $w_s = 0,3 - 0,8$  м/с.

Трубки можуть бути гладкими або ребристими (зовні і зсередини). Відсутність холодоносія в трубках дозволяє використовувати кожухотрубчасті випарники з внутрішньотрубним кипінням для досягнення низьких кінцевих температур холодоносія, який у відсутності не замерзає і не пошкоджує трубки. Це особливо важливо при охолодженні води.

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Б142 03.00.00.00 ПЗ				

Великою перевагою цих випарників, особливо при використанні внутрішньоперебраних труб, є малий об'єм холодоагенту. Проте, малий об'єм також пов'язаний з низькою інерційністю апарату, що ускладнює регулювання живлення випарника.



Рисунок 5.8 – Випарник з кипінням робочої речовини усередині U- подібних труб

Випарник з кипінням робочої речовини усередині U-подібних труб має такі компоненти: підведення і відведення холодоагенту, кришка, підведення і відведення розсолу, теплообмінні труби, поперечні перегородки для розсолу, кран для випуску повітря, обичайка, вентиль для зливу розсолу

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рисунок 5.9 – Випарник з кипінням робочої речовини усередині прямих труб.

Випарник з кипінням робочої речовини усередині прямих труб має такі компоненти: вхід і вихід холодоагенту, кришка, вхід і вихід розсолу, поперечні перегородки для розсолу, теплообмінні труби, кран для спуску повітря, трубна дошка, вентиль для зливу розсолу.

Найбільш поширеними є поверхневі апарати, де повітря віддає тепло робочій речовині, яка кипить всередині труб, або розсолу, що тече через них. Пристрої, де кипить холодильний агент, називаються повітроохолоджувачами безпосереднього охолодження, а апарати, де тепло відводиться розсалом або водою, називають повітроохолоджувачами водяного або розсольного охолодження. У контактних повітроохолоджувачах тепло від повітря відводиться через прямий контакт з водою або розсалом. Такі охолоджувачі можуть бути обладнані форсунками або зрошуваною насадкою. В апаратах змішаного типу тепло від повітря відводиться як шляхом кипіння робочої речовини в трубках, так і через контакт з розсалом, що охолоджується на поверхні трубок шляхом їх зрошування.

Поверхневі повітроохолоджувачі зазвичай виготовляються у вигляді пучка ребристих труб, розташованих у кожусі. Гладкі труби використовуються рідко, зазвичай у випадках, коли потрібно осушити повітря під час його охолодження.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Циркуляція повітря через апарат здійснюється примусово за допомогою вентиляторів. Довжина одного змійовика (від рідинного до парового колектора) становить 5-15 метрів, а у великих апаратах - до 20-25 метрів.

### **Панельні випарники**

Панельні випарники відрізняються високою ефективністю теплопередачі та компактною конструкцією, що робить їх зручними для використання в різних промислових і побутових застосуваннях. Панельні випарники складаються з металевих пластин (панелей), виготовлених з матеріалів з високою теплопровідністю, таких як алюміній або мідь. Ці панелі можуть мати ребра для збільшення площі теплопередачі. Трубки, розташовані між панелями, через які циркулює холодоагент, можуть бути гладкими або ребристими для поліпшення теплопередачі. Вхідні і вихідні колектори забезпечують підведення і відведення холодоагенту, а кріплення служать для монтажу випарника в системі.

Принцип роботи панельних випарників полягає в циркуляції холодоагенту через трубки, поглинаючи тепло від панелей. Тепло передається від охолоджуваного середовища (наприклад, повітря) через панелі до холодоагенту, який кипить всередині трубок. Охолоджуване середовище (повітря або рідина) проходить через випарник, віддаючи тепло панелям і охолоджуючись в процесі.

Основні переваги панельних випарників включають високу ефективність теплопередачі завдяки великій площі панелей і ребристій структурі, компактність, легку інтеграцію в різні системи охолодження, а також гнучкість у використанні, що робить їх придатними для різних умов експлуатації та типів середовищ. Проте вони мають і певні недоліки, зокрема складність очищення через накопичення бруду і пилу на панелях та ребрах, а також чутливість до корозії, що вимагає використання антикорозійних матеріалів або покриттів.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Панельні випарники використовуються в промислових системах охолодження для охолодження технологічних процесів, у системах кондиціонування для забезпечення комфортного мікроклімату, у холодильних установках (холодильниках, морозильних камерах) та в агро-промислових комплексах для охолодження продуктів харчування і зберігання овочів і фруктів. Вони є ефективним і компактним рішенням для систем охолодження та кондиціонування повітря, однак для забезпечення довготривалої та ефективної роботи необхідно враховувати можливі проблеми з очищенням і корозією.



Рисунок 5.10 – Панельний аміачний випарник

Панельний аміачний випарник має такі компоненти: віддільник рідини, патрубок для відведення парів аміаку, збірний і розподільний колектори, патрубок для введення рідкого аміаку, перелив розсолу, патрубок для відведення розсолу, злив розсолу, ізоляція, вентиль для зливання мастила, запобіжний клапан.

### Кожухотрубчасті зрошувальні випарники.

Конструкція випарника аналогічна до кожухотрубного випарника з міжтрубним кипінням холодоагенту. Відмінні особливості:

- У верхній частині корпусу випарника над трубним пучком встановлено кілька розподільчих колекторів з форсунками.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

- Колектори з'єднані трубопроводами з нагнітальною стороною насоса холодоагенту.

Насос розташований у нижній частині випарника. За конструкцією та принципом дії насоси можуть бути відцентровими, плунжерними, шестеренчастими тощо. Привід насоса розміщено у верхній паровій частині випарника.

Випарник належить до випарників незаповненого типу. Рівень рідкого холодоагенту підтримується нижче найнижчого ряду теплообмінних труб.

Нагрітий холодоносієм надходить у нижню частину передньої кришки через вхідний патрубок. Проходячи кілька ходів по внутрішньому об'єму теплообмінних труб, холодоносієм охолоджується на 3-5 °С і виходить з випарника через верхній патрубок передньої кришки.

Холодоагент після дроселювання надходить у нижню частину випарника до насоса холодоагенту. Насос подає рідкий холодоагент у трубопровід, а потім у розподільчі колектори. Із розподільчих колекторів за допомогою форсунок рідина розпилюється по внутрішньому об'єму корпусу. Рідкий холодоагент осідає на зовнішній поверхні теплообмінних труб тонкою плівкою. За рахунок теплообміну з теплими трубами рідина кипить (випаровується). Невипарована рідина стікає з трубки на трубку в нижню частину випарника. Ця рідина змішується з холодоагентом після дроселювання і знову всмоктується насосом.

### **Камерні прилади тихого охолодження.**

Камерні прилади тихого охолодження являють собою теплообмінні апарати у вигляді батарей, призначені для охолодження повітря в спеціальних охолоджуваних приміщеннях. Усередині цих батарей циркулює розсіл або відбувається кипіння робочої речовини, яка поглинає тепло від повітря. Охолодження повітря здійснюється за рахунок його природної циркуляції навколо батарей, що дозволяє ефективно знижувати температуру в приміщенні. Ці прилади забезпечують стабільне і рівномірне охолодження, створюючи комфортні умови в охолоджуваних приміщеннях.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

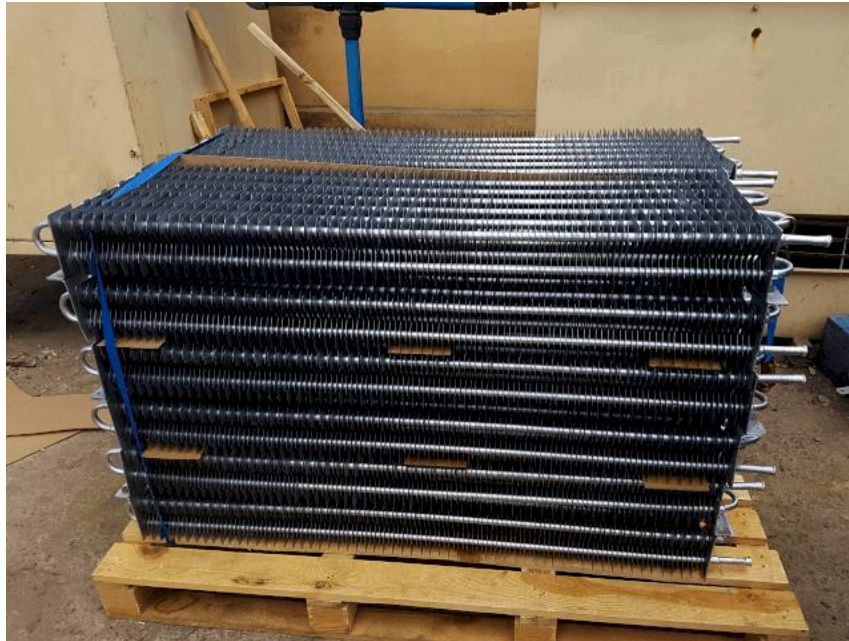


Рисунок 5.11 – Пристінна ребриста батарея

Пристінна ребриста батарея тихого охолодження є ефективним та безшумним засобом охолодження приміщень. Завдяки своїй конструкції, яка забезпечує високу теплопередачу та природну конвекцію, вона є ідеальним рішенням для місць, де важлива тиша та комфорт. Регулярне обслуговування і використання якісних матеріалів сприяють довговічності та ефективності роботи таких батарей.

Повітроохолоджувачі безпосереднього охолодження, природно, можуть бути тільки сухі. В приміщення холодне повітря подають по воздуховодам або нагнітають безпосередньо через насадку, встановлену на нагнітальному патрубку вентилятора. Для кращої і більш рівномірної циркуляції повітря на нагнітальний патрубок насаджують одне або кілька сопел, створюють струминне повітрерозподілення.

Принцип роботи полягає у циркуляції розсолу через трубки, які проходять через охолоджуване середовище. Тепло від середовища передається через стінки трубок до розсолу, який поглинає тепло і відводить його від системи. Ребра збільшують площу теплопередачі, підвищуючи ефективність охолодження.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



Розсольні батареї мають високу ефективність теплопередачі, гнучкість у використанні, компактність і надійність завдяки стійкості до корозії та зносу. Однак вони можуть бути складними в очищенні через накопичення бруду і пилу на ребрах, що знижує ефективність роботи, і вимагають регулярного технічного обслуговування.

Охолоджувальні батареї можуть бути різних типів: стельові, пристінні (одно- і дворядні), гладкотрубні та ребристі, колекторні й змієвикові тощо. Основні компоненти охолоджувальних батарей включають теплообмінні трубки з високою теплопровідністю, такі як мідь або алюміній, ребра для збільшення площі теплопередачі, корпус для захисту внутрішніх компонентів, вхідні і вихідні патрубки для циркуляції охолоджуючої рідини і кріплення для монтажу в системі. Принцип роботи охолоджувальних батарей полягає у циркуляції охолоджуючої рідини через трубки, що проходять через охолоджуване середовище. Тепло від середовища передається через стінки трубок до охолоджуючої рідини, яка поглинає тепло і відводить його від системи. Ребра збільшують площу теплопередачі, підвищуючи ефективність охолодження.

Такі конструкції забезпечують ефективне і рівномірне охолодження повітря в приміщенні. Стельові батареї розміщуються під стелею, забезпечуючи рівномірне розподілення холодного повітря по всьому об'єму приміщення. Пристінні батареї встановлюються уздовж стін і можуть бути одно- або дворядними, що дозволяє оптимізувати простір і підвищити ефективність охолодження. Гладкотрубні і ребристі варіанти батарей вибираються залежно від конкретних вимог до теплообміну і конструктивних особливостей приміщення.

### **Обреблення труб**

Обреблення поверхні гладкої труби є ефективним методом, який дозволяє збільшити площу теплообміну в 7-20 разів, в залежності від методу обреблення. Існує кілька відомих способів обреблення зовнішньої поверхні труби. Основні способи обреблення зображені на рисунку 5.12.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

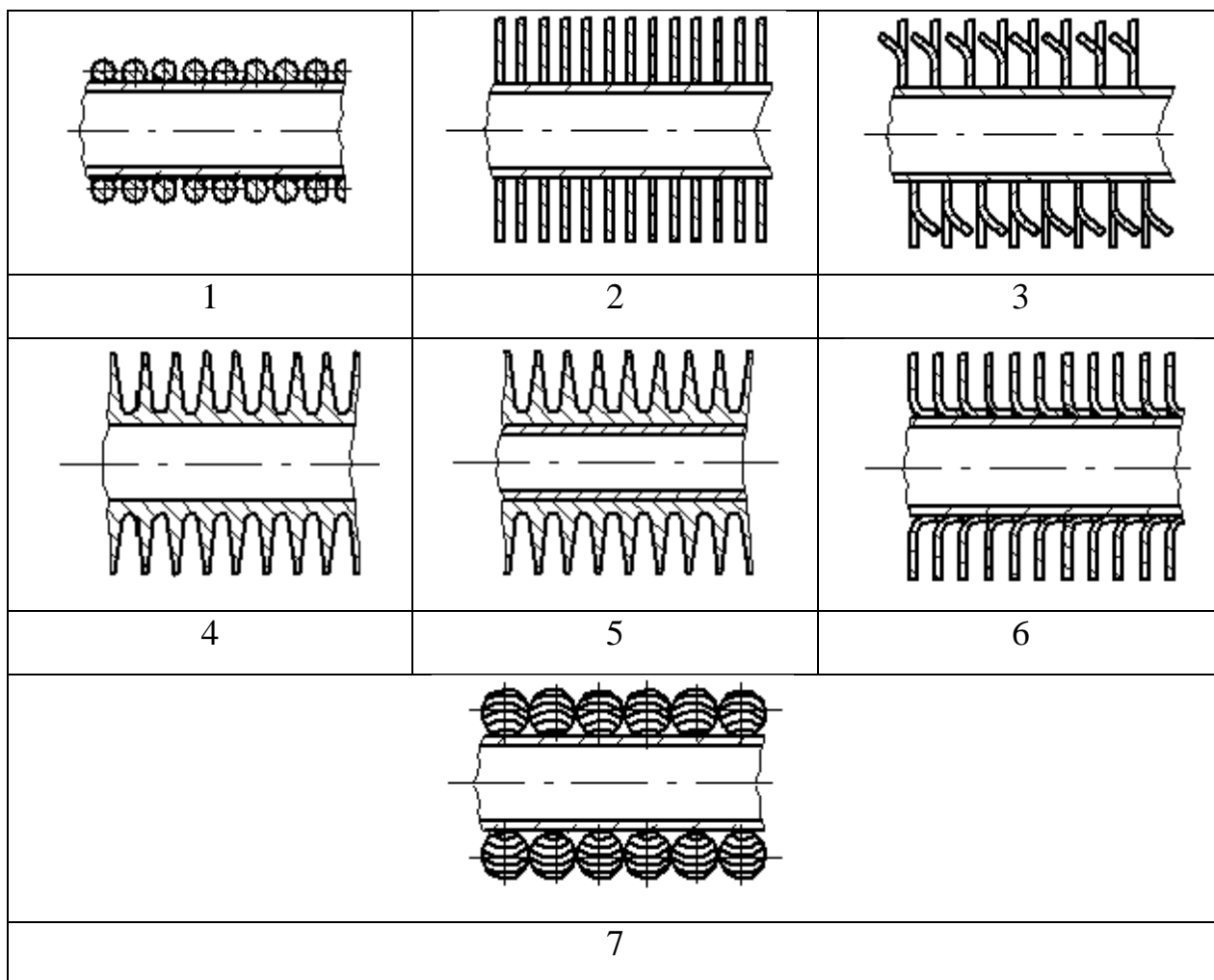


Рисунок 5.12 – Схеми обребрення труб

Накатка ребер у стінці монолітної або біметалічної труби є найпродуктивнішим способом обребрення. Існують два види накатки ребер: низьке та високе обребрення. При низькому обребренні висота ребер не перевищує 2-3 мм. Цей метод використовується для накатки ребер на мідних і алюмінієвих трубах. На рисунку 5.13 показана схема обребреної труби з алюмінієвого сплаву АД1. На трубі діаметром  $\text{Ø}18 \times 3$  накатують ребра до досягнення зовнішнього діаметра  $\text{Ø}21$  мм.

Для експлуатації в тропічних умовах застосовується анодування обребреної труби, що підвищує корозійну стійкість алюмінію.



тепловіддачі на 20-35%. Однак, таке обребрення ефективно працює тільки при чистому теплоносії; за наявності пари олії та пилу розрізи заростають, і ефективність теплообміну значно знижується.

Інші способи обребрення вимагають застосування пайки для утворення металевого зв'язку між трубою і обребренням. Стрічку на сталевій або мідній трубі після навивки закріплюють за допомогою пайки олов'яно-свинцевими припоями марки ПОССу, що містять сурму для усунення крихкості припою при низьких температурах. Пайку здійснюють зануренням обребреної труби в розплав припою або нагрівом в печі до температури ліквідусу припою з попереднім лудінням труби і стрічки.

Варто зазначити, що всі перелічені способи обребрення застосовуються для труб діаметром більше 16 мм, що перешкоджає створенню малогабаритних компактних трубчастих теплообмінників з труб малого діаметру. Обребрення, утворене накаткою, приварюванням або пайкою гладкої стрічки, формує ламінарні прикордонні шари теплоносія, що знижує коефіцієнт теплообміну.

Такого недоліку не мають труби зі спіральним обребренням дротяною спіраллю. Авторами розроблена технологія виготовлення труб з таким обребренням із застосуванням високотемпературної пайки у вакуумі. Потік теплоносія, переміщуючись в лабіринті дротяного обребрення, багаторазово розривається, турбулізується, що значно інтенсифікує теплообмін.

Коефіцієнт теплопередачі залежить від ряду факторів: матеріалу і діаметру дроту, діаметру дротяної спіралі, кроку навивки спіралі, кроку навивки спіралі на трубу. Це дає можливість раціонального конструювання обребрення залежно від призначення теплообмінника. Вплив матеріалу дроту та геометричних розмірів спірального дротяного обребрення на теплопередачу в теплообмінниках з різними діаметрами труб були визначені теплотехнічними розрахунками для повітроохолоджувача.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6. Розрахунок горизонтального кожухотрубного випарника

### 6.1 Тепловий розрахунок

При принятій температурі охолодження розсолу у випарнику  $\Delta t_s = 40^\circ\text{C}$   
температура розсолу при вході у випарник  $T_{s1} = T_{s2} + \Delta t_s = 6 + 4 = 10^\circ\text{C}$

Температура кипіння при різниці температур на холодному кінці випарника:

$$t_0 = \frac{6 + 10}{4} - 7 = 1^\circ\text{C}$$

Средня логарифмічна різниця температур:

$$\theta_m = \frac{\Delta t_s}{\ln \frac{t_{s1} - t_0}{t_{s2} - t_0}} = \frac{4}{\ln \frac{283 - 274}{279 - 274}} = 6,8$$

При температурі кипіння  $T_0 = 274 \text{ K}$  прийнята температура замерзання розсолу  
 $T_{\text{ЗАМ}} = T_0 - 10 = 274 - 10 = 264$

Приймаємо розчин  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$  у якості розсолу для холодильної установки.

Властивості розсолу при середній температурі 264К

- масова доля  $\xi=23,8\%$
- густина  $\rho=1136 \text{ кг/м}^3$
- питома теплоємність  $c=2,25 \text{ кДж/кгК}$
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda=0,237 \text{ Вт/мК}$
- коефіцієнт кінематичної в'язкості  $\nu=137,98 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu=0,15 \text{ Па}\cdot\text{с}$
- число Прандтля  $\text{Pr}=1486$

Основні параметри, що характеризують теплопередаючу поверхню: труби  
сталеві цільнотянуті гладкі, з внутрішнім діаметром  $d_{\text{ВН}}=13\text{мм}$ ,

Зовнішній діаметр труби  $d_{\text{Н}}=16\text{мм}$

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Б142 03.00.00.00 ПЗ				

При прийнятій швидкості розсолу в трубах випарника  $w=1,5\text{м/с}$  число труб в одному ході

$$n_1 = \frac{4Q_0}{w\pi d_{\text{ВН}}^2 \rho \Delta t}$$
$$n_1 = \frac{4 \cdot 25}{1,5 \cdot 3,14 \cdot 0,013^2 \cdot 2,91 \cdot 1232 \cdot 4} = 12,2$$

Приймаємо число труб в одному ході 12

При прийнятому числі труб в одному ході перераховуємо швидкість розсолу

$$w = \frac{4Q_0}{n_1 \pi d_{\text{ВН}}^2 \rho \Delta t}$$
$$w = \frac{4 \cdot 25}{9 \cdot 3,14 \cdot 0,013^2 \cdot 2,91 \cdot 1232 \cdot 4} = 1,53$$

Число Рейнольдса

$$Re_\rho = \frac{w d_{\text{ВН}}}{\nu}$$
$$Re_\rho = \frac{1,46 \cdot 0,013}{4,125 \cdot 10^{-6}} = 144$$

Даний режим течії являється ламінарним [10], с.298.

Число Нусельта для перехідного режиму

$$Nu_p = 0,021 \cdot Re_p^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \varepsilon_T$$

де  $\varepsilon_T=0,928$  – поправка на перехідний режим течії при розрахуноковому режимі

Рейнольдса

$$Nu_p = 0,021 \cdot 4601^{0,8} \cdot 30,5^{0,43} \cdot 0,928 = 71,4$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку розсолу

$$a_{\text{сВН}} = \frac{Nu_p \cdot \lambda}{d_{\text{ВН}}}$$

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_{свн} = \frac{71,4 \cdot 0,485}{0,013} = 2664 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$$

Густина теплового потоку з боку розсолу

$$q_{F_s} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{\alpha_{свн}} + \sum \frac{\delta}{\lambda}}$$

Де  $\sum \frac{\delta}{\lambda} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\text{К} / \text{Вт}$  – прийнятий термічний опір стінки й забруднень

$$q_{F_s} = \frac{\theta_s}{\frac{1}{2664} + 0,8 \cdot 10^{-3}} = 850\theta_s$$

Густина теплового потоку з боку робочої речовини

$$q_{F_a} = 711,6\theta_a^{1,667} \frac{F_H}{F_{ВН}}$$

$$q_{F_a} = 711,6\theta_a^{1,667} 1,51 = \theta_a^{1,667} 1074$$

Вирішуємо систум рівнянь, що складена по балансу двох густин теплового потоку.

Для вирішення цього рівняння використовуємо графічний спосіб визначення залежностей, що предсталено на рисунку 6.1.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

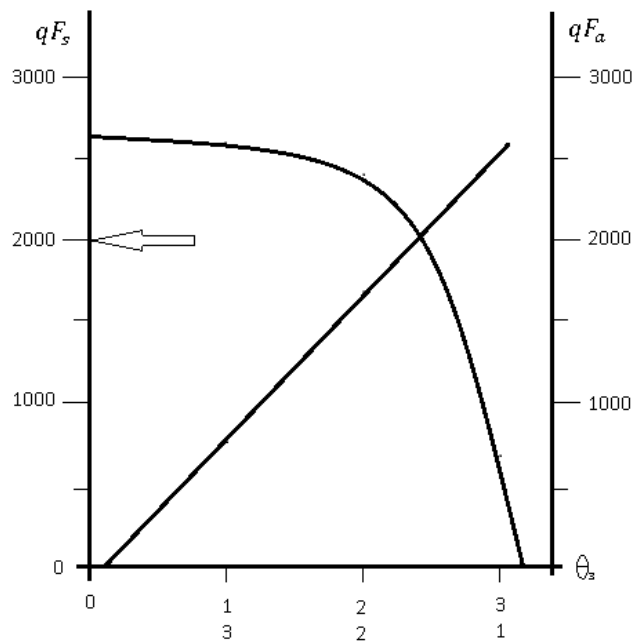


Рисунок 6.1 – Графік залежності вирішення системи рівнянь визначення густини теплового топоку.

У відповідності до рисунку 6.1 графік перетину  $q_{F_s}$  та  $q_{F_a}$  відповідає значенню теплового потоку.  $q_{BH} = 2000 \text{ Вт/м}^2$

Площа внутрішньої поверхні теплообму

$$F_{BH} = \frac{Q_K}{q_{BH}}$$

$$F_{BH} = \frac{25000}{2000} = 12,5 \text{ м}^2$$



## 6.2 Конструктивний розрахунок

Для визначення конструктивних параметрів приймаємо:

крок труб:

$$S = 1,75d_n ;$$

$$S = 1,75 \cdot 0,016 = 0,028 \text{ м}$$

відношення довжини труби до діаметру трубної решітки  $k=5$ ;

Параметр  $m$ :

$$m = 0,75 \sqrt[3]{\frac{F_{\text{вн}}}{d_{\text{вн}} k S}} ;$$

$$m = 0,75 \sqrt[3]{\frac{12,5}{0,013 \cdot 5 \cdot 0,028}} = 14,2$$

Приймаємо

$$m = 14$$

Діаметр трубної решітки:

$$D = mS ;$$

$$D = 14 \cdot 0,028 = 0,392 \approx 0,4 \text{ м}$$

Довжина труби у випарнику:

$$l = kD ;$$

$$l = 5 \cdot 0,4 = 2,25 \text{ м}$$

Кількість труб в пучку

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$n = \frac{F_{BH}}{\pi d_{BH} l}$$

$$n = \frac{12,5}{3,14 \cdot 0,013 \cdot 2,25} = 136,09 \approx 136$$

Кількість ходів

$$Z = \frac{n}{n_1} = \frac{136}{5} = 27,2 \approx 27$$

### 6.3 Гідравлічний розрахунок

Визначаємо гідравлічний опір протіканню води в трубах випарника:

$$\Delta p = \left\{ \frac{0,042 \cdot E_{ш}}{\left[ (w \cdot d_{вн})^{0,25} \cdot (t_w + 40)^{0,35} \right]} \cdot \left( \frac{l}{d_{вн}} \right) + 1,75 \right\} \cdot \left( \frac{z \cdot w^2 \cdot \rho_w}{2} \right)$$

$$\Delta p = \left\{ \frac{0,042 \cdot 1}{\left[ 1,57 \cdot (0,0132)^{0,25} \cdot (20 + 40)^{0,35} \right]} \cdot \left( \frac{2,25}{0,013} \right) + 1,75 \right\} \cdot \left( \frac{27 \cdot 1,57^2 \cdot 1232}{2} \right) =$$

$$= 205698 \text{ Па} \approx 0,206 \text{ МПа}$$

де  $E_{ш}$  — коефіцієнт, що враховує вплив шорсткості поверхні труб. Для тсальних труб  $E_{ш} = 1$ .

### 6.4 Міцністний розрахунок

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

### 6.4.1 Розрахунок обичайки

Розрахунок на міцність горизонтального випарника поршневої аміачної холодильної машини. Матеріал обичайки кожуха, еліптичних днищ, трубних решіток і фланців - ВСтЗсп, теплообмінних труб – сталь 20, болтів (шпильок) – сталь 35, гайок – сталь 30, прокладок – поранит.

Обичайка виготовляється з листової сталі, зварюванням, продовжній стиковий шов двостороній, виконаний ручною електродуговою сваркою. Коефіцієнт міцності сварного з'єднання  $\psi = 0,9$ .

Допустиме напруження: нормативне для сталі ВСтЗсп при  $T = 303K$

$$\sigma^* = 140 \text{ МПа}$$

Для робочого стану  $[\sigma] = \eta_3 \cdot \eta \cdot \sigma^* = 1 \cdot 1 \cdot 140 \text{ МПа}$ .

при гідравлічних випробувань  $[\sigma]_u = \frac{\sigma_{n20}}{1,1} = \frac{220}{1,1} = 200 \text{ МПа}$ .

Розрахуноквий тиск  $P_p = 3 \text{ МПа}$ .

Тиск випробувань  $P_v = P_p = 1,73 \text{ МПа}$ .

Виконана товщина  $\delta$  стінки обечайки:

$$\delta = \delta_p + \Sigma_c = \frac{P_p \cdot D_{\text{вн}}}{(2 \cdot \phi \cdot [\sigma] - P_p) + c_1 + c_2 + c_3};$$

$$\delta = \delta_p + \Sigma_c = \frac{3 \cdot 0,4}{(2 \cdot 0,9 \cdot 140 - 3) + 0,0005} = 0,0045 \approx 5 \text{ мм},$$

де  $\Sigma_c$  - сума всіх прибавок до товщини обечайки  $\Sigma_c = 0,0005 \text{ мм}$ .

Рівняння використання формули для розрахунку:

$$\frac{(\delta - \Sigma_c)}{D_{\text{вн}}} = \frac{5 - 0,5}{400} = 0,011 \ll 1$$

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також

$$\frac{\delta}{D_{\text{вн}}} = \frac{5}{400} = 0,0125 < 0,1$$

т.е. формула для тонкостінних судів прийнятна.

Допустимий тиск у робочому стані:

$$[P]_д = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (\delta \cdot \Sigma_c)}{(D_{\text{вн}} + \delta - \Sigma_c)} ;$$

$$[P]_д = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 140 \cdot (0,005 - 0,0005)}{(0,4 + 0,005 - 0,0005)} = 2,8 \text{ МПа} < P_p = 3 \text{ МПа}$$

Допустимий тиск при гідравлічному випробуванні:

$$[P]_{\text{и.Г}} = \frac{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{\text{и}} \cdot (\delta \cdot \Sigma_c)}{(D_{\text{вн}} + \delta - \Sigma_c)} ;$$

$$[P]_{\text{и.Г}} = \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot (0,005 - 0,0005)}{(0,4 + 0,005 - 0,0005)} = 4 \text{ МПа} > P_p = 2 \text{ МПа}$$

#### 4.4.2 Розрахунок еліптичного днища

Розрахунковий тиск  $P_{\text{тр}} = 1,6$  МПа, температура  $T = 274$  К.

В днищі наявні два отвори діаметром  $d = 50$  мм для входу і виходу розсолу та води, що розташовані симетрично відносно центру днища.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Коефіцієнт ослаблення днища отворами:

$$\varphi_0 = \frac{(D_{\text{вн}} - 2d)}{D_{\text{вн}}} ;$$

$$\varphi_0 = \frac{(400 - 2 \cdot 50)}{50} = 0,6$$

де  $D_{\text{вн}} = 0,400\text{м}$  – внутрішній діаметр днища.

Виконану товщину еліптичного днища (кришки) визначаємо за формулою:

$$\delta_{\text{дн}} = \frac{P_{\text{тп}} \cdot D_{\text{вн}}}{(2 \cdot \varphi_0 \cdot [\sigma] - 0,5 \cdot P_{\text{тп}})} + \Sigma_c ;$$

В нашому випадку перший член праворуч дає малу величину. По технологічним міркуванням вибираємо товщину днища  $\delta_{\text{дн}} = 4$  мм, тобто рівною товщині обечайки. Інший глухий отвір еліптичного днища виготовляють з матеріала ВСтЗ и  $\delta_{\text{дн}} = 4$  мм.

Допустимий тиск в камері в робочому стані:

$$[P]_{\text{д}} = \frac{2 \cdot \varphi_0 \cdot [\sigma] \cdot (\delta_{\text{дн}} \cdot \Sigma_c)}{(D_{\text{вн}} + 0,5(\delta_{\text{дн}} - \Sigma_c))} ;$$

$$[P]_{\text{д}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 140 \cdot (0,005 - 0,0005)}{(0,4 + 0,5(0,005 - 0,0005))} = 1,89 \text{ МПа} > 1,6$$

Допустимий тиск в камері при гідравлічних випробуваннях:

$$[P]_{\text{уз}} = \frac{2 \cdot \varphi_0 \cdot [\sigma]_{\text{уз}} \cdot (\delta_{\text{дн}} \cdot \Sigma_c)}{(D_{\text{вн}} + 0,5(\delta_{\text{дн}} - \Sigma_c))}$$

$$[P]_{\text{уз}} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 200 \cdot 0,0045}{(0,4 + 0,5 \cdot 0,0045)} = 2,68$$

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У відповідності до ГОСТ 26 – 1185 – 81 передбачаються конструкції теплообмінних апаратів з нерухомими трубними решітками, компенсаторами, рухомою головкою, в якій закріплена одна з решіток (зі сторони глухого днища).

Найбільш простою є жорстка конструкція кожуха апарата з нерухомими трубними решітками. Можливості такої конструкції необхідно підтвердити розрахунком.

Площа поперечного перетину обечайки при товщині стінки  $\delta = 0,004\text{м}$ :

$$F_K = \pi(D_{\text{вн}} + \delta) \cdot \delta$$

$$F_K = 3,14(0,4 + 0,005) \cdot 0,005 = 6,36 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Площа поперечного перетину труб при товщині стінки  $\delta_T = 0,0025\text{м}$

$$F_T = \pi(d_H - \delta_T) \cdot \delta_T \cdot n;$$

$$F_T = 3,14(0,0182 - 0,0025) \cdot 0,0025 \cdot 192 = 23,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

При жорсткому з'єднанні кожуха з трубами (через кріплення трубної решітки) сила їх взаємодії внаслідок температурних деформацій складе:

$$P_t = \frac{(\alpha_K \cdot (T_K - 293) - \alpha_T (T_T - 293))}{(1(E_K \cdot F_K) + 1(E_T \cdot F_T))};$$

$$P_t = \frac{(11,95 \cdot 10^{-6} \cdot (T_K - 293) - 16,42 \cdot 10^{-6} (T_T - 293))}{(1 \cdot (1,99 \cdot 10^5 \cdot 6,36 \cdot 10^{-3}) + 1 \cdot (1,235 \cdot 10^5 \cdot 23,6 \cdot 10^{-3}))} = 0,028 \text{ МН},$$

де  $\alpha_K = 11,95 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  – коефіцієнт лінійного розширення сталі ВСт3 при середній температурі стінки кожуха  $T_K = 303 \text{ К}$ ;

$\alpha_T = 16,42 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  – коефіцієнт лінійного розширення сталі 20 при  $T_T = 293 \text{ К}$ ;

$E_K = 1,99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  и  $E_T = 1,235 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  – модулі повздовжньої пружності при вказаних температурах ВСт3 і сталі 20 відповідно.

Розрахунок дозволяє зробити висновок що виконання випарника з нерухомо закріпленими трубами в трубній решітці найбільш раціонально.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

## 7. Охорона праці

Згідно з ГОСТ 12.0.002-80, охорона праці – це комплекс законодавчих актів, заходів та засобів, призначених для забезпечення безпеки, здоров'я та працездатності людини в ході робочого процесу.

### Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Виробництва, які б були абсолютно безпечними та нешкідливими для здоров'я працівників, не існують. Завдання охорони праці полягає у мінімізації ймовірності ураження або захворювання людини та забезпеченні комфорту робочого процесу. Деякі реальні виробничі умови супроводжуються небезпеками та шкідливостями.

**Виробнича небезпека** – це загроза впливу на працівників небезпечних або шкідливих виробничих чинників. Виробнича шкідливість – дія на працівників шкідливих виробничих факторів.

Згідно з ГОСТ 12.0.002-80, небезпечний виробничий чинник – це фактор, що впливає на працівника і може призвести до травми або раптового погіршення стану здоров'я.

Приклади виробничих небезпек включають:

- Рухомі деталі машин та механізмів
- Відкриті частини устаткування, що проводять струм
- Тіла з дуже високою температурою, які викликають термічні опіки
- Хімічні речовини

Виробничі шкідливості виникають через незадовільні санітарно-гігієнічні умови на виробництві, такі як:

- Наявність несприятливого мікроклімату
- Шкідливі домішки в повітрі
- Променисте тепло
- Погане освітлення
- Вібрація

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Шум
- Ультразвук
- Іонізуючі випромінювання
- Електромагнітні поля

Якщо на працівника вплинув небезпечний виробничий фактор під час виконання трудових обов'язків або завдань керівника, це вважається нещасним випадком на виробництві. Основні шкідливі фактори, що мають місце на підприємстві, включають:

Фізичні фактори:

- Підвищена запиленість (наприклад, при зварюванні поза зварювального поста)
- Підвищена вологість
- Підвищений рівень шуму (наприклад, на дільниці демонтажу автошин, металообробній дільниці, при роботі на деревообробних верстатах)

Хімічні фактори:

- Токсичний вплив рідин та сумішей (наприклад, ґрунтовка, шпаклівка, фарба, розчинник) через органи дихання, шкіру, очі

Для попередження нещасних випадків та підтримання здорових і безпечних умов праці, кожен робітник повинен знати і виконувати посадові інструкції, інструкції з охорони праці, нормативні акти трудового законодавства, а також особисто сприяти створенню безпечних умов праці на своїх робочих місцях, в підрозділах та на підприємстві в цілому. Це має знизити виробничий травматизм і професійні захворювання.

Тривалий вплив одного шкідливого виробничого фактора може призвести до розвитку професійного захворювання. Для попередження або зменшення впливу небезпечних і шкідливих факторів умов праці необхідно використовувати:

Коллективні засоби захисту:

- Кондиціонери
- Вентиляційні та опалювальні установки
- Засоби боротьби з шумом та вібрацією

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Засоби індивідуального захисту:

- Респіратори, протигази, маски, щитки
- Спецодяг, спецвзуття, рукавиці, перчатки, пояси, навушники
- Захисні пасти

Засоби індивідуального захисту видаються відповідно до встановлених галузевих норм і переліку, який додається до колективного договору та переглядається щорічно.

### **Правила безпечної експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій і теплових мереж [11]:**

Усі трубопроводи та теплообмінні апарати повинні бути оснащені у верхніх точках повітряними клапанами, а в нижніх точках і застійних зонах - дренажними пристроями, що з'єднуються безпосередньо з атмосферою. Заборонено під час роботи теплообмінного апарата проводити його ремонт або виконувати роботи, пов'язані з ліквідацією нещільностей з'єднань окремих елементів апарата, що перебувають під тиском, за винятком випадків, зазначених у пункті 4.11.14 цих Правил. Справність запобіжних клапанів, манометрів та іншої арматури теплообмінного апарата повинні перевіряти працівники, що їх обслуговують, відповідно до інструкції з обслуговування теплообмінних апаратів. Теплообмінний апарат або ділянку трубопроводу, що підлягають ремонту, необхідно перекрити як з боку суміжних теплопроводів і обладнання, так і з боку дренажних і обвідних ліній, - щоб уникнути попадання в них пари або гарячої води.

Дренажні лінії і повітряні клапани, що сполучаються безпосередньо з атмосферою, повинні бути відкриті. Виводити з роботи для ремонту або для внутрішнього огляду теплообмінні апарати і ділянки трубопроводу, що від'єднується від діючого обладнання, необхідно двома послідовно установленими засувками, між якими повинен бути дренажний пристрій, що сполучається безпосередньо з атмосферою. Дозволяється однією засувкою виводити з дії теплообмінний апарат або ділянку трубопроводу з тиском до 6 МПа (60 кгс/см<sup>2</sup>); у цьому разі не повинно бути виходу пари в атмосферу крізь дренаж, який відкрито на час ремонту або внутрішнього огляду на виведеній з роботи ділянці. У разі проведення робіт усередині

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплообмінного апарата або трубопроводу і якщо арматура трубопроводу, що виводиться з дії, фланцева, необхідно обов'язково перекрити арматуру й установити заглушку. Товщина заглушки повинна відповідати параметрам робочого середовища. Для полегшення перевірки.

Під час випробовування і прогрівання трубопроводів пари і води дозволяється підтягувати болти фланцевих з'єднань та сальники сталевих компенсаторів та арматури за визначених умов. Болти фланцевих з'єднань можна підтягувати за надлишкового тиску до 0,5 МПа, а сальники - за тиску до 1,2 МПа. Якщо використовуються спеціальні пристосування, сальники можна підтягувати при тиску до 6 МПа за відповідним дозволом. Добивання сальників компенсаторів та арматури дозволяється при надлишковому тиску до 0,02 МПа і температурі до плюс 45 °С, а заміну сальникової набивки можна виконати тільки після повного спорожнення трубопроводу.

Підтягування нарізного з'єднання сальника арматури або фланцевого з'єднання рекомендується виконувати поступово з діаметрально протилежних боків, забезпечуючи безпеку працівників. Ремонт арматури заборонено, якщо трубопровід не має чіткої технологічної нумерації. Підтягування штуцерів контрольно-виміральної апаратури можна проводити при певних умовах, уникаючи застосування непридатних інструментів. Прогрівання і пуск паропроводів слід виконувати згідно з інструкцією, з урахуванням безпекових заходів, забезпечуючи надійність і ефективність роботи системи.

**Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок[11]:**

9.15. Заборонено перебувати всередині резервуара чи підземної споруди за температури повітря понад +50°С (температура повітря вимірюється на відстані 0,7 м від стінки резервуара (підземної споруди)), а також за наявності в них води, нагрітої до температури понад +45°С. За температури води менше +45°С рівень води над підлогою не повинен перевищувати 200 мм. За наявності пари в резервуарі чи підземній споруді працівники повинні перебувати в них у шланговому або

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

киснеізолювальному протигазі, рятувальному поясі з рятувальною мотузкою. 9.16. Для виконання робіт усередині газонебезпечного резервуара (приміщення, підземної споруди тощо) повинна призначатись бригада не менше ніж з трьох працівників, які заздалегідь мають бути проінструктовані про порядок проведення роботи та можливу небезпеку під час її виконання, а також має бути перевірена правильність їхніх дій на робочому місці. Один з членів бригади повинен працювати всередині резервуара, а двоє інших членів бригади (наглядачі) повинні стояти зверху біля люка або дверей газонебезпечного приміщення і стежити за роботою працівника, який виконує роботу всередині резервуара, і за станом повітрязбірного патрубка шлангового протигаза.

Під час проведення робіт у глибокій і довгій підземній споруді, коли зоровий нагляд за працівником, який виконує в ній роботу, підтримувати неможливо, з ним необхідно організувати радіозв'язок, зв'язок по телефону або за допомогою загальноприйнятих сигналів. У разі потреби до потерпілого може спуститись лише один з наглядачів у попередньо надягнених протигазі та рятувальному поясі. Кінець рятувальної мотузки передається іншому наглядачеві, який повинен залишитись біля люка або дверей газонебезпечного резервуара чи підземної споруди. Один з наглядачів повинен тримати в руках кінець рятувальної мотузки, а другий її кінець має бути прикріплений до рятувального пояса працівника, який перебуває всередині резервуара. Наглядач повинен відпускати або натягувати рятувальну мотузку і шланг лише за сигналом працівника, який виконує роботу в резервуарі. Другий наглядач повинен бути з надягненим рятувальним поясом і мати при собі шланговий протигаз у положенні «наготові». Якщо в діях працівника, який виконує роботу всередині резервуара, з'явилися ознаки нездужання, намагання зняти протигаз тощо, а також у разі виникнення інших небезпечних непередбачених обставин роботу потрібно негайно припинити, а працівника з резервуара евакуювати.

### **Заходи захисту від ураження електричним струмом**

Вибір, розміщення та встановлення електроустаткування відбуваються відповідно до державних стандартів та правил експлуатації електроустановок, як визначено в НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

споживачів». Заходи захисту від дії електричного струму розглядають загальні принципи.

Ізоляція відіграє ключову роль у захисті від електричного струму. Вона перешкоджає появі струму на неструмопровідних частинах установки, протіканню на землю, і забезпечує безпеку людини від ураження. Розрізняють кілька видів ізоляції, включаючи робочу, допоміжну, подвійну та посилену.

Робоча ізоляція забезпечує електричну ізоляцію струмопровідних частин, необхідну для нормальної роботи та захисту від ураження струмом. Допоміжна ізоляція використовується як додатковий захист у разі пошкодження робочої ізоляції. Подвійна і посилена ізоляція також забезпечують високий рівень захисту від електричного струму. Важливо постійно контролювати стан ізоляції, оскільки її погіршення може призвести до зменшення безпеки експлуатації та систем електропостачання.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Холодильное оборудование предприятий пищевой промышленности. О.С. Титлов, С.Ф.Горикін: НТБ ВНТУ, 2012. – 285 с.
2. Конспект лекцій з курсу “Основні процеси та апарати хімічної технології”. Розділ “Штучне охолодження” для студентів усіх спеціальностей / Укл.: П.Г. Сорока, Т.П. Єльцова, Т.Ю. Гіріч, О.С. Смірнова, О.П.Суслова. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2008. – 51 с.
3. Muneeshwaran M. Yang, Cheng-Min, Cakmak, Ercan Nawaz, Kashif Pool boiling heat transfer characteristics of low-GWP refrigerants in a horizontal tube bundle configuration. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2024.123202.
4. Sulaiman, Mohammed A. Benim, Ali C. Anjal, Hassan A. Performance analysis of novel dew point evaporative cooler with shell and tube design through different air-water flow configurations.
5. He, Zhibin<sup>a</sup>Zhang, Qi Wei, Zhenghao Liao, Xingzhe Wu, Xiaoyu Zhang, Jundong. Modeling Method for Overheated Zone and Two-Phase Zone of Dry Shell-and-Tube Evaporator in Ship Air Conditioning. DOI10.3390/pr12020379
6. Luo, Zhang, Libiao; Hang, Bingbing; Gong, Chengcheng. Simulation of the Performance of a Centrifugal Chiller. DOI 10.3969/j.issn.0253-4339.2023.03.074
7. Saini, Dharamraj Kishnani, Himanshu Khatri, Neha Krishnan A.S Experimental study on cooling of electronic equipment using dual coolant technology in natural convection mode. DOI 10.1063/5.0146091
8. Oyekale, Joseph Okewale, Akindele. Comparative exergetic sustainability analysis of subcritical and supercritical organic Rankine cycle plants for a waste heat recovery application. DOI 10.1177/09576509221144107
9. Taghizadehalvandi, Mahyar Atayılmaz, Şevket Özgür Experimental and Analytical Investigation of Refrigerant Charge Impact on the Performance of a Novel Heat Pump Integrated Dishwasher. DOI 10.11159/htff23.208.

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- 10.Саун И.А. Холодильні машини / под.ред. И.А. Сауна.-Л.: Машинобудівництво, 1985.-510 с.
- 11.Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок [електронний ресурс] Режим посилання: <https://dnaop.com/html/33680/doc-pravilaohoroni-praci-pid-chas-jekspluataciji-teplomehanichnogo-obladnannya-jelektrostanacij-teplovih-merezh-i-teplovikoristovuval>

					Б142 03.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54