

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»  
за освітньо-професійною програмою «Холодильні машини і установки»

на тему «Проектування конденсатора пластинчато-ребристого  
типу парокompресійної холодильної машини  
холодопродуктивністю 100 кВт»

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Виконавець роботи \_\_\_\_\_ Яцків Олег Андрійович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис здобувача)

*В роботі не виявлено текстових,  
ілюстративних та інших запозичень  
без коректного на них посилання*

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Козін В. М. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

к.т.н., доцент, ст. викладач кафедри ТТФ  
(науковий ступінь, звання, посада)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Ванєєв С. М. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)  
к.т.н., доцент, зав. кафедри ТТФ  
(науковий ступінь, звання, посада)

Суми 2022

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	3
Вихідні дані.....	6
1 Тепловий розрахунок одноступеневої парокompресійної холодильної машини.....	7
2 Розрахунок конденсатора холодильної машини.....	11
2.1 Принцип дії, конструктивні особливості, призначення пластинчасто-ребристого теплообмінника.....	11
2.2 Розрахунок пластинчасто-ребристого теплообмінника.....	17
2.3 Тепловий розрахунок конденсатора.....	19
2.4 Конструктивний розрахунок апарату.....	25
2.5 Геометричні характеристики конденсатора.....	30
2.6 Гідравлічний розрахунок конденсатора.....	32
2.7 Міцнісний розрахунок конденсатора.....	33
3 Охорона праці.....	38
3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.....	38
3.2 Заходи запобігання небезпечним та шкідливим виробничим факторам холодильного виробництва.....	40
3.3 Виробнича гігієна та санітарія.....	42
3.4 Техніка безпеки при роботі з ПЕОМ.....	45
Висновки.....	48
Список літератури.....	49

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Яцків			Проектування конденсатора пластинчасто-ребристого типу парокomp- пресійної холодильної машини холодоп- родуктивністю 100 кВт. Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перев.		Козін					2	49
Н. контр.		Козін				СумДУ, гр. ХКдн-84др		
Затв.		Ванєєв						

## Вступ

В основі конструкції пластинчасто-ребристих апаратів лежить ідея про застосування двостороннього високоефективного оребрення з боку прямого та зворотного потоків. Внаслідок цього апарати мають прямокутні оребрені канали. Основні елементи, що визначають конструкцію цих апаратів: розділові пластини; ребра, розташовані між пластинами та мають гарний тепловий контакт з останніми; бічні проставки. Ці апарати конструктивно виконуються протитечійними, перехреснотечійними та прямотечійними. За масово-габаритними та експлуатаційними показниками ці апарати відносять до ефективних компактних теплообмінників. Компактність поверхні у яких  $1000 - 3000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Є поверхні, компактність яких досягає  $6000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ .

Перевага пластинчасто-ребристих теплообмінників у тому, що конструктивно їх легко виконати багатопотоковими. При цьому завдяки високій теплопровідності, суцільнопаяній конструкції в поперечному напрямку досягається гарний тепловий контакт між потоками та вирівнювання температур теплоносіїв за перерізом.

Для виготовлення пластинчасто-ребристих теплообмінників застосовують латуні, алюмінієві сплави, корозійностійкі сталі. Найбільш раціонально виготовляти апарати з алюмінієвих сплавів, що мають низьку густину та високу теплопровідність, наприклад АМц, АД1 та ін. Низька маса апарату дозволяє скоротити пускові періоди низькотемпературних установок, а висока теплопровідність – підвищити ефективність апарату. Корозійностійку сталь застосовують, коли від апарата потрібна підвищена міцність або коли з метою досягнення дуже високої компактності поверхні (до  $6000 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ) ребра виконують з дуже тонкого листа ( $\delta = 0,05 \text{ мм}$ ).

Істотно обмежує застосування пластинчасто-ребристих теплообмінників у криогенних установках невеликий тиск (до  $1 \text{ МПа}$ ), який встановлюють за умовою міцності. Відомі також апарати, що працюють при тиску одного з

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						3
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

потоків до 40 МПа, але пластинчасто-ребристі теплообмінники застосовують при меншому тиску. Технологія виробництва пластинчасто-ребристих теплообмінників нині відпрацьована та освоєна. Конструкція апаратів дозволяє механізувати та автоматизувати процеси виготовлення основних елементів та апарату в цілому. Конструкції ребра в пластинчасто-ребристих теплообмінниках відрізняються великою різноманітністю. Це пов'язано з пошуками та відпрацюванням найбільш технологічних конструкцій та прагненням покращити теплопередавальні та гідродинамічні характеристики апаратів.

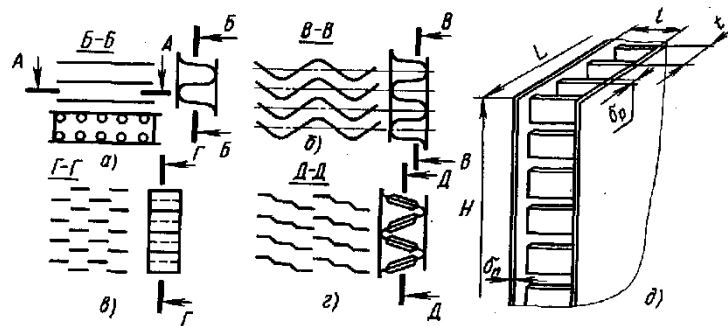


Рисунок 1 – Пластинчасто-ребристі поверхні різних типів:

- а) з перфорованими ребрами; б) з хвилястими безперервними ребрами;
- в) з уривчастими ребрами; г) з лускатими (жалюзійними) ребрами;
- д) елемент ребрення

Серед кількох десятків досліджених пластинчасто-ребристих поверхонь можна виділити кілька типів основних поверхонь, що застосовуються в теплообмінниках низькотемпературних установок. Найбільш ефективні поверхні з хвилястими безперервними ребрами (рис. 1, б), з короткими або уривчастими ребрами (рис. 1, в), з лускатими (жалюзійними) ребрами (рис. 1, г), а також з довгими прямими перфорованими ребрами (рис. 1, а). Виготовляють і найпростіші поверхні з прямими гладкими неперфорованими ребрами, а також поверхні зі стрижневими ребрами, які можуть бути виготовлені з дроту.

Основні розміри, що характеризують геометричні параметри елементів поверхонь, наведені нижче (рис. 1, д): ширина секції (довжина ребер)

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						4
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$l = 2-15$  мм; крок розташування ребер  $t = 1,5-5$  мм; товщина ребер  $\delta_p = 0,05-0,5$  мм; товщина розділових пластин  $\delta_n = 0,1-1,0$  мм. Такі розміри як висота  $H$  та довжина  $L$  секції, а також їх число визначаються не геометричними параметрами поверхонь, а тепловим та гідродинамічний розрахунками апарату.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

## Вихідні дані

Виконати термодинамічний розрахунок циклу одноступеневої пароконпресійної холодильної машини відповідно до вихідних даних, поданих в таблиці. За результатами розрахунку циклу виконати тепловий, гідравлічний і міцнісний розрахунки пластинчасто-ребристого конденсатора розрахованої холодильної машини.

У розділі «Охорона праці» проаналізувати основні небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час роботи пароконпресійних холодильних машин та методи захисту від їхнього впливу. Також описати небезпечні та шкідливі фактори під час роботи персоналу, що експлуатує холодильну машину.

Таблиця – Вихідні дані

Холодопродуктивність $Q_0$ , кВт	100
Температура, °C	
– конденсації, $t_k$	30
– кипіння, $t_0$	-20
– охолоджуючої води, $t_{e1}$	17
Холодильний агент	R600a

# 1 Тепловий розрахунок одноступеневої парокompресійної холодильної машини

На рис. 1.1 представлена принципова схема та цикл у  $p, h$  – координатах одноступінчастої парокompресійної холодильної машини.

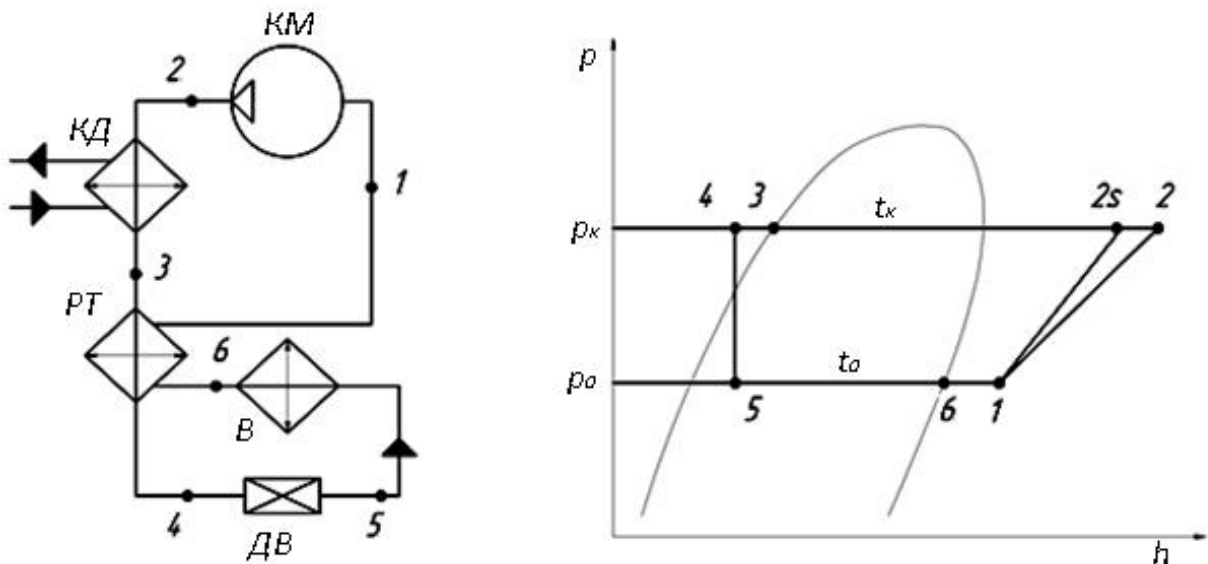


Рисунок 1.1 – Принципова схема та цикл у  $p, h$  – координатах одноступеневої парокompресійної холодильної машини (ПКХМ)

Умовні позначення елементів, що подані на рис. 1.1:

$KM$  – компресор;  $KД$  – конденсатор;  $PT$  – регенеративний теплообмінник;  $ДВ$  – дросельний вентиль;  $B$  – випарник

Термодинамічні процеси, що утворюють цикл одноступінчастої ПКХМ:

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

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

$2-3$  – ізобарне відведення теплоти в конденсаторі  $KД$  при тиску  $p_k$ ;

$3-4$  – переохолодження холодильного агента при тиску  $p_k$  у  $PT$ ;

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		7

4-5 – дроселювання холодильного агента у *ДВ* від тиску  $p_k$  до  $p_0$ ;

5-6 – ізобарне підведення теплоти у випарнику *B* холодильної машини при тиску  $p_0$ ;

6-1 – перегрівання пари холодильного агента у *РТ*.

### Розрахунок холодильного циклу для R600a

Розглянемо регенеративний теплообмінник *РТ*.

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

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

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

$$h_4 = 271 - (551 - 528) = 248 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Дійсні параметри у точці 2:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2s} - h_1}{\eta_s} = 551 + \frac{618 - 551}{0,8} = 635 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Параметри у вузлових точках наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри у вузлових точках ПКХМ

Параметри	1	2s	2	3	4	5	6
$t, ^\circ\text{C}$	-5	43	52	30	22	-20	-20
$p, \text{МПа}$	0,072	0,405	0,405	0,405	0,405	0,072	0,072
$h, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	551	618	635	271	247	247	528
$x$	–	–	–	0	–		1,0



Питома холодопродуктивність

$$q_0 = h_6 - h_5 = 528 - 247 = 281 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_K = h_2 - h_3 = 635 - 271 = 364 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Питоме теплове навантаження на РТ

$$q_{РТ} = h_3 - h_4 = 271 - 248 = 23 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Холодопродуктивність

$$\dot{Q}_0 = 100 \text{ кВт}.$$

Масова витрата холодильного агента

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{Q}_0}{q_0} = \frac{100}{281} = 0,356 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{КД} = q_K \cdot \dot{m}_a = 364 \cdot 0,356 = 129,9 \text{ кВт}.$$

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

Теплове навантаження на РТ

$$\dot{Q}_{РТ} = q_{РТ} \cdot \dot{m}_a = 23 \cdot 0,356 = 8,2 \text{ кВт}.$$

Питома робота компресора

$$l_K = h_2 - h_1 = 635 - 551 = 84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Потужність компресора

$$N_{KM} = l_{KM} \cdot \dot{m}_a = 84 \cdot 0,356 = 29,9 \text{ кВт}.$$

Коефіцієнт термотрансформації циклу ПКХМ

$$COP = \frac{\dot{Q}_0}{N_{KM}} = \frac{100}{29,9} = 3,34.$$

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

## 2 Розрахунок конденсатора холодильної машини

### 2.1 Принцип дії, конструктивні особливості, призначення пластинчасто-ребристого теплообмінника

Найбільші коефіцієнти теплопередачі, використання маси, об'єму та компактності серед рекуперативних теплообмінників мають пластинчасто-ребристі теплообмінники (ПРТ). ПРТ є паяною шаруватою конструкцією з тонкого листового металу (рис. 2.1) в якій чергуються канали для охолоджувального та охолоджуючого середовища. У довгих, вузьких каналах переміщається середовище, що охолоджується, а в перпендикулярно розташованих широких каналах переміщується вентилятором, що нагнітається, охолоджуюче повітря.

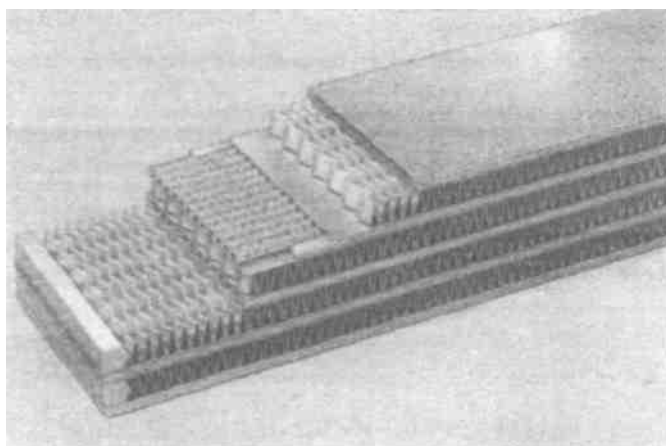


Рисунок 2.1 – Схема ПРТ

Конструкція ПРТ відрізняється насамперед будовою робочих каналів. Основні різновиди робочих каналів такі.

Робочі канали формують плоскими, про проставковими листами і брусками, розташованими на периферії листів (рис.2.1). Між брусками та листами розташована гофрована стрічка (насадка), що утворює теплообмінну поверхню.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

Сполучений за допомогою паяння набір перерахованих деталей утворює серцевину теплообмінника – пластинчасто-ребристий елемент (ПРЕ).

Робочі канали формують із штампованих листів, що утворюють у поєднанні між собою або з плоским листом робочий канал без брусків. В цьому випадку бруски встановлюють лише для утворення каналів для охолоджуючого повітря (холодних каналів).

Робочі канали формують із штампованих листів, у яких передбачені отвори для утворення вбудованих колекторів. Торці каналів та периметр навколо отворів герметизують за допомогою штампованих деталей – скоб або кілець. Колектор утворюється при паянні ПРЕ.

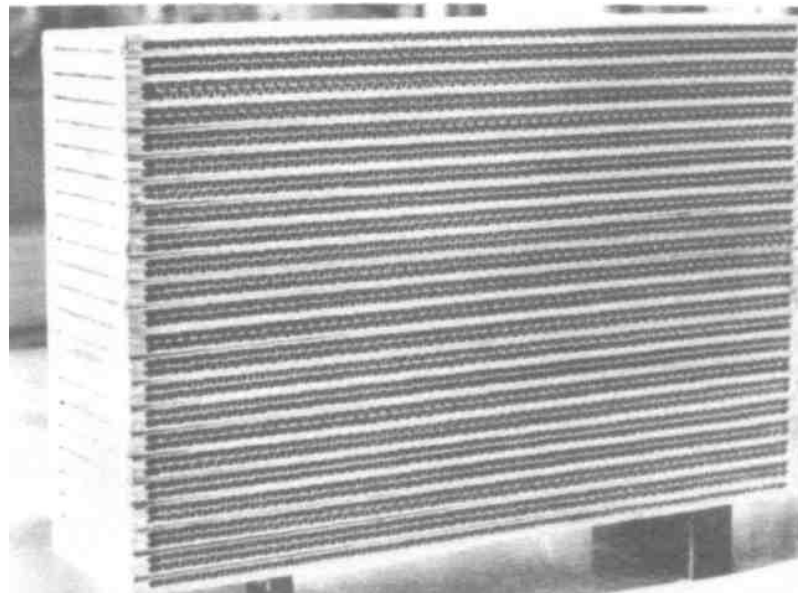


Рисунок 2.2 – Алюмінієвий паяний ПРЕ з брусками на периферії каналів

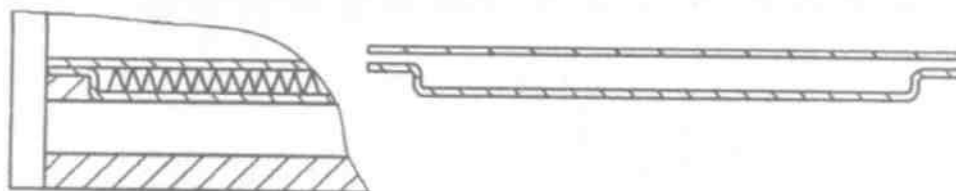


Рисунок 2.3 – Схема робочого каналу ПРЕ зі штампованого проставкового листа

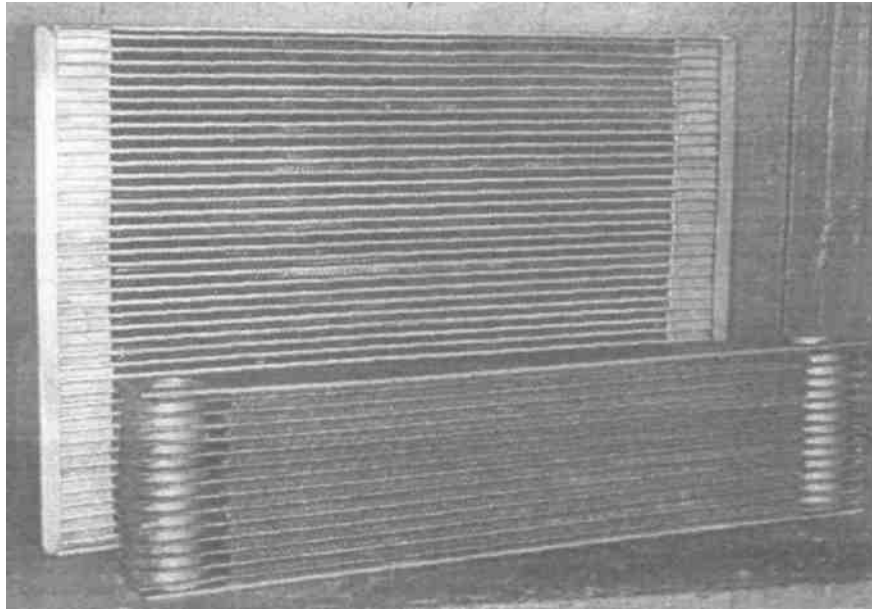


Рисунок 2.4 – Сталеві ПРТ із штампованих проставкових листів із вбудованими колекторами

Робочі канали формують із штампованих листів з отворами, відбортовками по периметру та кільцевими виступами навколо отворів, які при складанні та пайці утворюють вбудовані колектори та забезпечують герметичність всіх з'єднань.

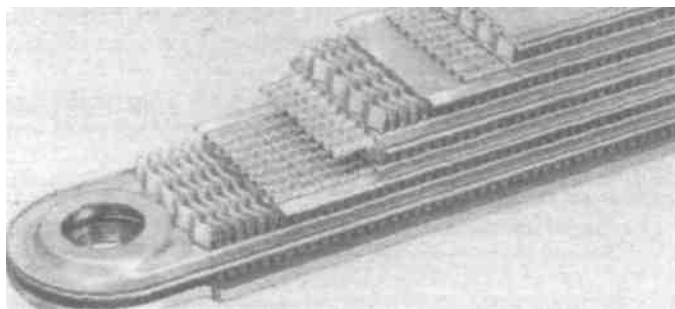


Рисунок 2.5 – Схема ПРТ зі штампованими проставковими листами для формування вбудованого колектора

Робочі канали формують, згортаючи металеву стрічку для утворення плоскої трубки, де розміщується насадка гарячого каналу. Поздовжній шов плоскої трубки утворюється паяним з'єднанням. Кінці плоских трубок розміщуються в пазах колекторної штампованої пластини. Схема ПРЕ з такими каналами показано на рис. 2.5, а зовнішній вигляд на рис. 2.6. Висота каналів  $T$  таких ПРТ знаходиться в межах 2-4 мм, ширина  $D$  до 80 мм; довжина каналів 500-600мм; висота ПРТ  $W$ -300-400 мм.

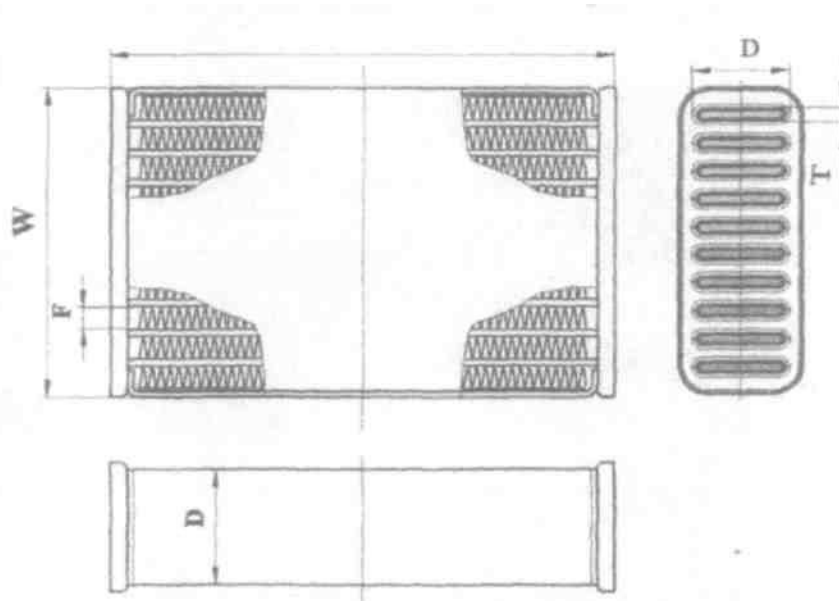


Рисунок 2.6 – Схема ПРЕ з плоскими трубами, сформованими з тонкої стрічки

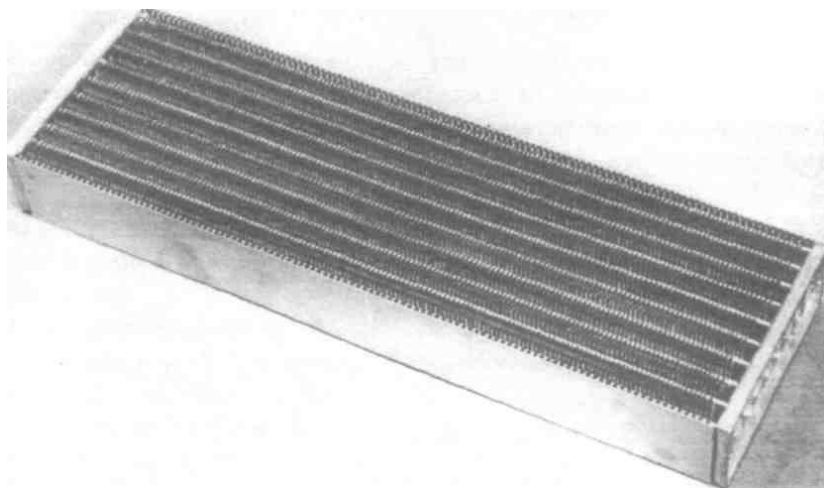


Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд ПРЕ з плоскими трубами як робочими каналами, сформованими з тонкої стрічки

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		14

Робочі канали формують із плоских алюмінієвих трубок. У середині трубки для забезпечення міцності мають поздовжні ребра. Такі трубки виготовляють екструзією. Кінці трубок розміщуються в пазах колекторних штампованих пластин.



Рисунок 2.8 – Алюмінієвий паяний ребристий теплообмінник з плоскими ребристими трубами

Вибір конструкції робочого каналу для середовища, що охолоджується, залежить від призначення ПРТ, робочого тиску, теплової потужності і технологічних можливостей виробництва. Для формування робочих каналів застосовують металеві стрічки та листи завтовшки 0,25 – 1 мм, а теплообмінну гофровану насадку виготовляють зі стрічки завтовшки 0,15 – 0,3 мм. Розміри ПРЕ знаходяться в межах (50...150) x (200...600) x (400... 1200) мм і залежать від теплової потужності ПРТ та розмірів робочої камери застосовуваної для паяння печі.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

У тих випадках, коли за умови паяння формується тільки серцевина теплообмінника – ПРЕ, до нього за допомогою зварювання з боку каналів для середовища, що охолоджується, приєднують колектори (кришки).

За необхідності ПРЕ за допомогою зварювання можна з'єднати в блоки збільшення розмірів ПРТ.

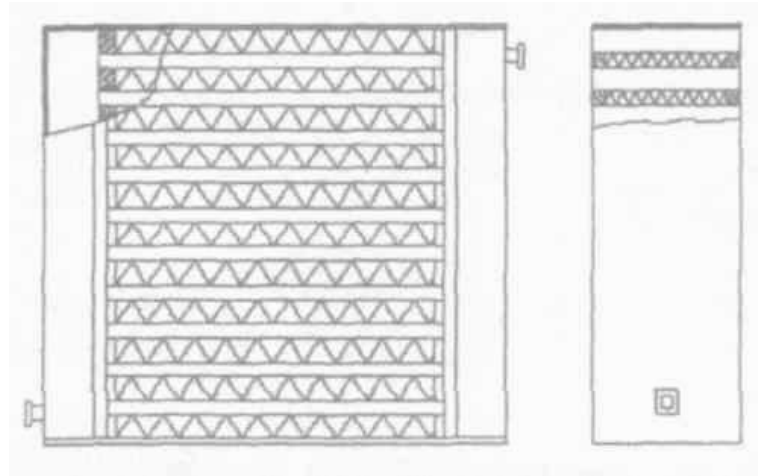


Рисунок 2.9 – Схема ПРТ із привареними колекторами

Основним вузлом ПРТ є його серцевина – ПРЕ. Багатошаровий пакет, зібраний з тонкостінних деталей, з'єднується у вузол ПРЕ за допомогою високотемпературного паяння. При цьому паяння є єдиним можливим способом виготовлення ПРЕ, тому що майже всі з'єднання ПРЕ є геметичними. Управління та візуальний контроль за утворенням з'єднань є недоступним. Ця обставина вимагає високої точності виконання всіх технологічних операцій під час складання та дотримання режимів процесу паяння. ПРЕ розміром 150x400x850 мм, що складається з робочих каналів висотою 3 мм і прилеглих до нього холодних каналів висотою 11 мм, з'єднується 12500 паяними швами. Довжина паяних швів становить 2258 м, площа паяних швів становить 33075 см<sup>2</sup>. Якщо врахувати те, що паяння є груповим способом обробки і в камері печі при пайці одночасно знаходяться десятки ПРЕ, то за продуктивністю з цим процесом не може зрівнятися жоден спосіб зварювання. Важли-

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		



вою є ще одна перевага паяння. У ПРЕ переважають таврові з'єднання. Відомо, що жолобник у таврі не є концентратором напруження при співвідношенні  $R > 2s$ , де  $R$  – радіус жолобника,  $s$  – товщина стінки тавра. У зв'язку з тим, що таврові з'єднання в ПРЕ утворені стрічкою товщиною 0,15...0,3 мм, а радіус галтелі, сформований розплавленим припоєм під дією капілярних сил дорівнює 0,3...0,5 мм, то ПРЕ є надійною конструкцією, що не руйнується навіть за умови впливу вібрації.

## 2.2 Розрахунок пластинчасто-ребристого теплообмінника

Як конденсатор парів холодоагенту застосовують пластинчасто-ребристий теплообмінник з алюмінієвих сплавів, який характеризується компактністю та ефективністю конструкції. При цьому використовуються найпростіші за конструкцією одноходові теплообмінники з ребрами у вигляді безперервних гофрів. Сконструйовано теплообмінні поверхні високої компактності (площа поверхні в одиниці вільного об'єму).

Таблиця 2.1 – Геометричні характеристики конденсатора

Найменування параметру	Значення
1	2
Характеристика конденсатора	
Тип конденсатора	ПРТ
Коефіцієнт збільшення поверхні $\varphi$	3,1
Розміри елемента, м:	
довжина	1,44
ширина	0,158
висота	0,398
Матеріал теплообмінної поверхні	алюміній

Продовження таблиці 2.1

Найменування параметру	Значення
1	2
Товщина проставкового листа, $\delta_n, м$	$10^{-3}$
Товщина ребра, $\delta_p, м$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Теплопровідність ребра $\lambda_p, Вт/(м \cdot К)$	180
Крок ребер $t, м$	$3,92 \cdot 10^{-3}$
Компактність апарату $S_{cv}, м^2/м^3$	4000
Коефіцієнт затиснення $\gamma$	0,1
Сторона холодильного агенту	
Площа поверхні теплообміну $F_a, м^2$	8,75
Площа поверхні ребер $F_{p,a}, м^2$	4,46
Довжина каналу $L_{ка}, м$	0,6
Еквівалентний діаметр, $d_e, м$	$3,62 \cdot 10^{-3}$
Довжина ребра, $l_{pa}, м$	$5,09 \cdot 10^{-3}$
Сторона охолоджуючого теплоносія	
Площа поверхні теплообміну, $F_x, м^2$	27,3
Площа поверхні ребер, $F_{px}, м^2$	22,6
Довжина каналу, $L_{кx}, м$	0,15
Еквівалентний діаметр, $d_e, м$	$2,44 \cdot 10^{-3}$
Довжина ребра, $l_{px}, м$	$4,85 \cdot 10^{-3}$

### 2.2.1 Вихідні дані

Теплоносій: R600a (ізобутан);

Охолодження: водяне;

Температура конденсації:  $t_k=30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Температура води на вході у конденсатор:  $t_{w1}=17 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Теплове навантаження на конденсатор:  $Q_k=129,9 \text{ кВт}$ ;

Масова витрата фреону:  $m_a=0,356 \text{ кг/с}$ ;

Масова витрата води:  $m_w=3,637 \text{ кг/с}$ .

## 2.3 Тепловий розрахунок конденсатора

Температура води на виході із конденсатора, °С

$$t_{w2} = t_{w1} + \Delta t_x,$$

де  $\Delta t_x = 8^\circ \text{C}$  – перепад температур на вході та виході конденсатора (задається);

$$t_{w2} = 17 + 8 = 25^\circ \text{C}.$$

### 2.3.1 Зона охолодження пари

#### 2.3.1.1 Сторона пари

Параметри пари беруться за середньої температури, °С, яка дорівнює

$$t_{n.cp} = \frac{t_2 + t_k}{2} = \frac{51 + 30}{2} = 40,5^\circ \text{C}.$$

З [8] знаходимо:

- коефіцієнт теплопровідності пари  $\lambda_n = 17,02 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/(м·К)}$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_n = 78,32 \cdot 10^{-7} \text{ Па·с}$ ;
- критерій Прандтля  $\text{Pr}_n = 0,788$ ;
- густина пари  $\rho_n = 13,0 \text{ кг/м}^3$ ;
- теплоємність пари  $c_n = 1,713 \text{ кДж/(кг·К)}$ .

Попередня величина площі поверхні теплообміну у зоні охолодження

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$F'_{\text{охол}} = \frac{\dot{Q}_n}{K'_n \cdot \theta_n},$$

де  $K'_n = 10-20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт теплопередачі (задаємося).

Тепловий потік, що відводиться при охолодженні пари

$$\dot{Q}_n = \dot{m}_a \cdot (h_2 - h'') = 0,356 \cdot (635 - 595) = 14,2 \text{ кВт},$$

де  $h''$  – питома ентальпія сухої насиченої пари за тиску  $p_k$ .

Середня логарифмічна різниця температур у зоні охолодження,  $^{\circ}\text{C}$

$$\theta_n = \frac{(t_2 - t_{w2}) - (t_k - t_{w2})}{\ln \frac{t_2 - t_{w2}}{t_k - t_{w2}}};$$

$$\theta_n = \frac{(51 - 25) - (30 - 25)}{\ln \frac{51 - 25}{30 - 25}} = 12,74^{\circ}\text{C};$$

$$F'_{\text{охол}} = \frac{14200}{20 \cdot 12,74} = 55,7 \text{ м}^2.$$

Площа вільного перерізу конденсатора,  $\text{м}^2$

$$F_{\text{віль.в}} = F_{\text{віль.а}} = \frac{\dot{m}_a}{\rho_n \cdot w_n},$$

					ХМД 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

де  $w_n = 8-10 \text{ м/с}$  – швидкість пари в апараті (задаємося)

$$F_{\text{вил.}w} = F_{\text{вил.}a} = \frac{0,356}{13 \cdot 10} = 0,0027 \text{ м}^2.$$

Число Рейнольдса парового потоку

$$\text{Re}_n = \frac{w_n \cdot 2L_{\text{ка}} \cdot \rho_n}{\mu_n},$$

де  $2L_{\text{ка}}$  – характерний розмір каналу насадки

$$\text{Re}_n = \frac{10 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 13}{78,32 \cdot 10^{-7}} = 20 \cdot 10^6.$$

Визначаємо число Нусельта за турбулентного режиму

$$\text{Nu}_n = 0,02 \cdot \text{Re}_n^{0,8} \cdot \text{Pr}_n^{0,33};$$

$$\text{Nu}_n = 0,02 \cdot (20 \cdot 10^6)^{0,8} \cdot 0,788^{0,33} = 12815.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку пари,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\alpha_n = \frac{\text{Nu}_n \cdot \lambda_n}{2L_{\text{ка}}};$$

$$\alpha_n = \frac{12815 \cdot 17,02 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,6} = 182 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

					ХМД 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

### 2.3.1.2 Сторона води

Визначаються теплофізичні властивості води за її середньої температури

$$t_{wcep} = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2};$$

$$t_{xcep} = \frac{17 + 25}{2} = 21^\circ C.$$

З [6] знаходимо:

- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_g = 60,28 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_g = 963,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- критерій Прандтля  $Pr_B = 6,7$ ;
- густина води  $\rho_g = 997,7 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,
- теплоємність води  $c_{pw} = 4,183 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Швидкість холодного теплоносія

$$w_g = \frac{m_w}{\rho_g \cdot F_{вил. w}};$$

$$w_g = \frac{3,637}{997,7 \cdot 0,0027} = 1,35 \text{ м} / \text{с}.$$

Число Рейнольдса водяного потоку

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		22

$$\text{Re}_\epsilon = \frac{w_\epsilon \cdot L_{\text{кх}} \cdot \rho_\epsilon}{\mu_\epsilon};$$

$$\text{Re}_\epsilon = \frac{1,35 \cdot 0,15 \cdot 997,7}{963,5 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^5.$$

Для турбулентного режиму визначаємо число Нусельта

$$\text{Nu}_\epsilon = 0,02 \cdot \text{Re}_\epsilon^{0,8} \cdot \text{Pr}_\epsilon^{0,33};$$

$$\text{Nu}_\epsilon = 0,02 \cdot (2 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 6,7^{0,33} = 652.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку води

$$\alpha_\epsilon = \frac{\text{Nu}_\epsilon \cdot \lambda_\epsilon}{2L_{\text{кх}}};$$

$$\alpha_\epsilon = \frac{652 \cdot 60,28 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 2620 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

Уточнене значення коефіцієнта теплопередачі в зоні охолодження пари  
холодильного агента,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$K_n = \left( \frac{1}{\alpha_n \cdot \eta_1} + \frac{\varphi}{\alpha_\epsilon \cdot \eta_2} \right)^{-1},$$

де коефіцієнти корисної дії апарату по гарячому та холодному потоках:

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$\eta_1 = 1 - \left( \frac{F_{p.a}}{F_a} \right) \cdot (1 - \eta_{p1});$$

$$\eta_2 = 1 - \left( \frac{F_{p.x}}{F_x} \right) \cdot (1 - \eta_{p2}).$$

Коефіцієнти корисної дії ребра по гарячому та холодному потоку:

$$\eta_{p1} = \frac{\text{th} \left( m_1 \cdot \frac{l_{pa}}{2} \right)}{m_1 \cdot l_{pa}} = \frac{e^{2 \cdot m_1 \cdot \frac{l_{pa}}{2}} - 1}{e^{2 \cdot m_1 \cdot \frac{l_{pa}}{2}} + 1} \cdot \frac{1}{m_1 \cdot l_{pa}};$$

$$\eta_{p2} = \frac{\text{th} \left( m_2 \cdot \frac{l_{px}}{2} \right)}{m_2 \cdot l_{px}} = \frac{e^{2 \cdot m_2 \cdot \frac{l_{px}}{2}} - 1}{e^{2 \cdot m_2 \cdot \frac{l_{px}}{2}} + 1} \cdot \frac{1}{m_2 \cdot l_{px}},$$

де  $m_1$  и  $m_2$  – параметри ребра

$$m_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_n}{\lambda_p \cdot \delta_p}},$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_g}{\lambda_p \cdot \delta_p}},$$

де  $\lambda_p = 180 \text{ Вт/(м·К)}$  – коефіцієнт теплопровідності алюмінієвого ребра насадки апарату

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		



$$m_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 182}{180 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}} = 116 \text{ м}^{-1};$$

$$m_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 2620}{180 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}} = 440 \text{ м}^{-1};$$

$$\eta_{p1} = \frac{e^{\frac{2 \cdot 116 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3}}{2}} - 1}{e^{\frac{2 \cdot 116 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3}}{2}} + 1} \cdot \frac{1}{116 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3}} = \frac{1,8 - 1}{1,8 + 1} \cdot \frac{1}{0,59} = 0,48;$$

$$\eta_{p2} = \frac{e^{\frac{2 \cdot 440 \cdot 4,85 \cdot 10^{-3}}{2}} - 1}{e^{\frac{2 \cdot 440 \cdot 4,85 \cdot 10^{-3}}{2}} + 1} \cdot \frac{1}{440 \cdot 4,85 \cdot 10^{-3}} = \frac{8,4 - 1}{8,4 + 1} \cdot \frac{1}{2,134} = 0,37;$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{4,46}{8,75} (1 - 0,48) = 0,73;$$

$$\eta_2 = 1 - \left( \frac{22,6}{27,3} \right) (1 - 0,37) = 0,48;$$

$$K_n = \left( \frac{1}{182 \cdot 0,73} + \frac{3,1}{2620 \cdot 0,37} \right)^{-1} = 93 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}.$$

## 2.4 Конструктивний розрахунок апарату

### 2.4.1 Зона охолодження пари холодоагенту

Уточнена величина необхідної площі поверхні теплообміну в зоні охолодження пари

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$F_{\text{охол}} = \frac{\dot{Q}_n}{K_n \cdot \theta_n};$$

$$F_{\text{охол}} = \frac{14200}{93 \cdot 12,74} = 12 \text{ м}^2.$$

Вільний об'єм каналів за паровим потоком

$$V_{\text{віль.н}} = \frac{F_{\text{охол}}}{S_{\text{віль}}};$$

$$V_{\text{віль.н}} = \frac{12}{4000} = 0,003 \text{ м}^3.$$

Попередня величина довжини теплообмінного апарату, м

$$L' = \frac{V_{\text{віль.н}}}{S_{\text{np}}},$$

де  $S_{\text{np}}$  – площа поперечного перерізу каналів,  $\text{м}^2$

$$S_{\text{np}} = \frac{\dot{m}_a}{\varepsilon_{\text{віль}} \cdot w_n \cdot \rho_n}.$$

Частина вільного перерізу каналів апарату

$$\varepsilon_{\text{віль}} = \frac{(l_p - \delta_p) \cdot (t - \delta_p)}{t \cdot (l_p + \delta_{\text{II}})};$$

					ХМД 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$\varepsilon_{\text{вн}} = \frac{(5,09 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-4}) \cdot (3,92 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-4})}{3,92 \cdot 10^{-3} \cdot (5,09 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-4})} = 0,91;$$

$$S_{np} = \frac{0,356}{0,91 \cdot 10 \cdot 13} = 0,003 \text{ м}^2;$$

$$L' = \frac{0,003}{0,003} = 1,0 \text{ м}.$$

## 2.4.2 Зона конденсації

### 2.4.2.1 Сторона конденсату

Параметри рідкого холодоагенту знаходяться при температурі конденсації  $t_k = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  [7]:

- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_p = 16,24 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості  $\mu_p = 0,142 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ ;
- густина рідкого холодильного агента  $\rho_p = 544,8 \text{ кг/м}^3$ ;
- теплоємність рідини  $c_p = 240 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ ;
- питома теплота конденсації  $r = 324 \text{ кДж/кг}$ .

Теплове навантаження на конденсатор у зоні конденсації,  $\text{Вт}$

$$\dot{Q}_{\text{конд}} = r \cdot \dot{m}_a;$$

$$\dot{Q}_{\text{конд}} = 324 \cdot 0,356 = 115,7 \text{ кВт},$$

де  $r$  – питома теплота конденсації холодильного агента за тиску  $p_k$ .

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

Середня логарифмічна різниця температур у зоні конденсації, °C

$$\theta_{\text{конд}} = \frac{(t_k - t_{w1}) - (t_k - t_{w2})}{\ln \frac{t_k - t_{w1}}{t_k - t_{w2}}};$$

$$\theta_{\text{конд}} = \frac{(30 - 17) - (30 - 25)}{\ln \frac{30 - 17}{30 - 25}} = 8,37 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Попередня величина площі теплообмінної поверхні для зони конденсації, м<sup>2</sup>

$$F'_{\text{конд}} = \frac{\dot{Q}_{\text{конд}}}{K'_{\text{конд}} \cdot \theta_{\text{конд}}},$$

де  $K'_{\text{конд}} = 100\text{--}200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  – коефіцієнт теплопередачі (задаємося).

$$F'_{\text{конд}} = \frac{115700}{100 \cdot 8,37} = 138,2 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку рідкого холодоагенту,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$\alpha_p = 1,4 \cdot \left( \frac{r \cdot \rho_p^2 \cdot \lambda_p^3}{\mu_p \cdot \theta_a \cdot d_e} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{d_e}{L'} \right)^{0,125},$$

де  $\theta_a = 3\text{--}5 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температурний напір між рідким холодоагентом та стінкою каналу (задаємося)

					ХМД 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$\alpha_p = 1,4 \cdot \left( \frac{324900 \cdot 544,8^2 \cdot (16,24 \cdot 10^{-3})^3}{0,142 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 3,62 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} \cdot \left( \frac{3,62 \cdot 10^{-3}}{8,9} \right)^{0,125} = 334 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

#### 2.4.2.2 Сторона води

Розрахунки виконуються за аналогічними залежностями, що використовувалися в розділі 2.1.2.

Уточнене значення коефіцієнта теплопередачі у зоні конденсації,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

$$K_{\text{конд}} = \left( \frac{1}{\alpha_p \cdot \eta'_1} + \frac{\varphi}{\alpha_g \cdot \eta_2} \right)^{-1}.$$

Коефіцієнт корисної дії апарату гарячого потоку

$$\eta'_1 = 1 - \left( \frac{F_{p,a}}{F_a} \right) \cdot (1 - \eta'_{p1}).$$

Коефіцієнт корисної дії ребра по гарячому потоку

$$\eta'_{p1} = \frac{\text{th} \left( m'_1 \cdot \frac{l_{pa}}{2} \right)}{m'_1 \cdot l_{pa}} = \frac{e^{2 \cdot m'_1 \cdot \frac{l_{pa}}{2}} - 1}{e^{2 \cdot m'_1 \cdot \frac{l_{pa}}{2}} + 1} \cdot \frac{1}{m'_1 \cdot l_{pa}},$$

де  $m'_1 = \sqrt{\frac{2\alpha_p}{\lambda_p \cdot \delta_p}}$  – параметр ребра.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$m_1' = \sqrt{\frac{2 \cdot 334}{180 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4}}} = 157 \text{ м}^{-1};$$

$$\eta_{p1}' = \frac{e^{\frac{2 \cdot 157 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3}}{2}} - 1}{e^{\frac{2 \cdot 157 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3}}{2}} + 1} \cdot \frac{1}{157 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3}} = \frac{2,2 - 1}{2,2 + 1} \cdot \frac{1}{0,8} = 0,47;$$

$$\eta_1' = 1 - \frac{4,46}{8,75} \cdot (1 - 0,47) = 0,73;$$

$$K_{\text{конд}} = \left( \frac{1}{334 \cdot 0,73} + \frac{3,1}{2620 \cdot 0,37} \right)^{-1} = 137 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коефіцієнт корисної дії апарата по холодному потоку беремо таким самим, як і в розділі 2.1.2.

## 2.5 Геометричні характеристики конденсатора

Уточнена величина площі поверхні, яка потрібна для теплообміну в зоні конденсації,  $\text{м}^2$

$$F_{\text{конд}} = \frac{\dot{Q}_{\text{конд}}}{K_{\text{конд}} \cdot \theta_{\text{конд}}};$$

$$F_{\text{конд}} = \frac{115700}{137 \cdot 8,37} = 100,9 \text{ м}^2.$$

Сумарна необхідна площа поверхні теплообміну конденсатора,  $\text{м}^2$

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$F_{КД} = F_{охол} + F_{конд};$$

$$F_{КД} = 100,9 + 12 = 112,9 \text{ м}^2.$$

Вільний об'єм каналів гарячого потоку,  $\text{м}^3$

$$V_{віль.Г} = \frac{F_{КД}}{S_{віль}};$$

$$V_{віль.Г} = \frac{112,9}{4000} = 0,0282 \text{ м}^3.$$

Повна площа поперечного перерізу апарата (без урахування товщини розділових пластин),  $\text{м}^2$

$$F = \frac{2 \cdot F_{КД}}{1 - \gamma};$$

$$F = \frac{2 \cdot 112,9}{1 - 0,1} = 250,9 \text{ м}^2.$$

Уточнена довжина конденсатора,  $\text{м}$

$$L = \frac{V_{віль.Г}}{S_{пр}},$$

де  $S_{пр} = 0,003 \text{ м}^2$  – площа поперечного перерізу каналів;

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$L = \frac{0,0282}{0,003} = 9,4 \text{ м.}$$

Число каналів (округлюємо до цілого числа)

$$n = \frac{V_{\text{вл.Г}}}{L \cdot B \cdot (l_p + \delta_p)};$$

$$n = \frac{0,0282}{9,4 \cdot 0,158 \cdot (5,09 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-4})} = 3,62 \approx 4.$$

## 2.6 Гідравлічний розрахунок конденсатора

Знаходимо фактор тертя під час руху води в конденсаторі за формулою:

$$f = \frac{0,08}{\text{Re}_e^{0,25}};$$

$$f = \frac{0,08}{(2 \cdot 10^5)^{0,25}} = 0,0038.$$

Втрати тиску води у конденсаторі, Па

$$\Delta p_e = \frac{\rho_e w_e^2}{2} \cdot \frac{1 - f \cdot \frac{F}{F_k}}{2};$$

$$\Delta p_e = \frac{997,7 \cdot 1,35^2}{2} \cdot \frac{1 - 0,0038 \cdot \frac{250,9}{112,9}}{2} = 451 \text{ Па.}$$

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		



## 2.6 Міцнісний розрахунок конденсатора

### 2.6.1 Розрахунок міцності проставкової пластини

Зварний корпус та кришки конденсатора розраховуються на міцність за методикою, яка викладена у [5].

Товщина проставкової пластини з розмірами  $L \times B$  і товщиною  $\delta_n$  визначається з її розрахунків на міцність при навантаженні надмірним тиском  $p_0$  як прямокутної пластини, яка жорстко закріплена по всьому периметру.

Задаємося для алюмінію модуль пружності  $E = 0,71 \cdot 10^5$  МПа, допустиме напруження  $[\sigma] = 50$  МПа.

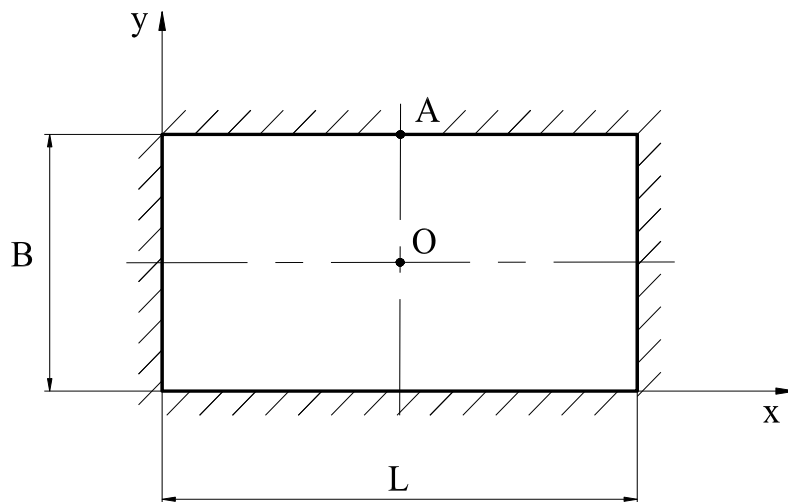


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема проставкової пластини

Небезпечними є точки  $O$  і  $A$ , у яких визначається напруження від прогинання.

Для точки  $O$  напруження, МПа

$$\sigma_{xO} = C_2 \cdot \Delta p \cdot \left( \frac{B}{\delta_n} \right)^2 ;$$

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

$$\sigma_{yO} = C_3 \cdot \Delta p \cdot \left( \frac{B}{\delta_{II}} \right)^2.$$

Для точки *A* напруження, МПа

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

де коефіцієнти  $C_2, C_3, C_4$  визначаються залежно від відношення  $\frac{L}{B}$  [2, табл. 6, с. 217];

$\Delta p$  – надлишковий тиск,  $\Delta p = p_k - p_{н.с} = 0,405 - 0,1 = 0,305$  МПа;

$p_{н.с}$  – тиск навколишнього середовища.

З умови міцності ця напруження не повинне перевищувати величину допустимого значення  $[\sigma]$

$$\sigma_{x0} = 0,42 \cdot 0,305 \cdot \left( \frac{0,158}{10^{-3}} \right)^2 = 3,2 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{yO} = 0,8 \cdot 0,305 \cdot \left( \frac{0,158}{10^{-3}} \right)^2 = 6,1 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{xA} = 0,38 \cdot 0,305 \cdot \left( \frac{0,158}{10^{-3}} \right)^2 = 2,9 \text{ МПа}.$$

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

Отримані значення не перевищують допустиме напруження  $[\sigma] = 50 \text{ МПа}$ , тому товщини проставкового листа достатньо.

Максимальне прогинання у точці  $O f_o$  не повинно перевищувати величину

$$[f] = \frac{L}{300}, \text{ м} [2]$$

$$[f] = \frac{L}{300} = \frac{9,4}{300} = 0,0313 \text{ м}.$$

Значення  $f_o$ , м, визначається за формулою:

$$f_o = C_1 \cdot \frac{\Delta p \cdot B^4}{E \cdot \delta_{II}^3},$$

де коефіцієнт  $C_1$  беремо залежно від відношення  $\frac{L}{B}$  [2, табл. 6, с. 217]

$$f_o = 2,84 \cdot \frac{0,305 \cdot 0,158^4}{0,71 \cdot 10^5 \cdot (10^{-3})^3} = 0,0076 \text{ м}.$$

Умова  $f_o = 0,0076 \text{ м} < [f]$  виконується. Отже, пластина є надійною.

### 2.7.2 Міцнісний розрахунок насадки

Насадка виконана із алюмінієвої стрічки за розмірами, що наведені у вихідних даних. Вона являє собою рифлений лист, який опирається на проставковий лист. Під дією потоку води його верхня частина буде вигинатися, а нижня частина має опиратися на шарніри  $A$  і  $D$ . Оскільки нахил бокових ре-

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		35

бер  $AB$  і  $CD$  до вертикалі становить  $22^\circ$ , то можна в першому наближенні взяти їх вертикальними, а горизонтальна ділянка  $BC'$  буде мати довжину, яка дорівнює  $BC' = \frac{BC + AD}{2} = t$ . У результаті отримаємо розрахункову схему П-подібної рами висотою  $h = l_p \cdot \cos 22^\circ$  з поперечним прямокутним перерізом  $\delta_p \times B$  (рис. 2.11).

Рама на ділянці  $BC'$  навантажена розподіленим навантаженням  $q = \Delta p \cdot B$ ,  $H/мм$ .

Максимальний момент на ділянці  $BC'$ , який дає прогин,  $H \cdot м$ , дорівнює

$$M_{\max} = (1 + 2 \cdot \kappa) \cdot \frac{q \cdot t^2}{8 \cdot n},$$

де коефіцієнти  $\kappa$  і  $n$  визначаються за виразами, наведеними в [2]:

$$\kappa = \frac{I_{AB}}{I_{CD}} \cdot \frac{h}{t} = \frac{h}{t}, \text{ тому що } I_{AB} = I_{CD} - \text{моменти інерції ділянок } AB \text{ і } CD,$$

$$n = 3 + 2\kappa.$$

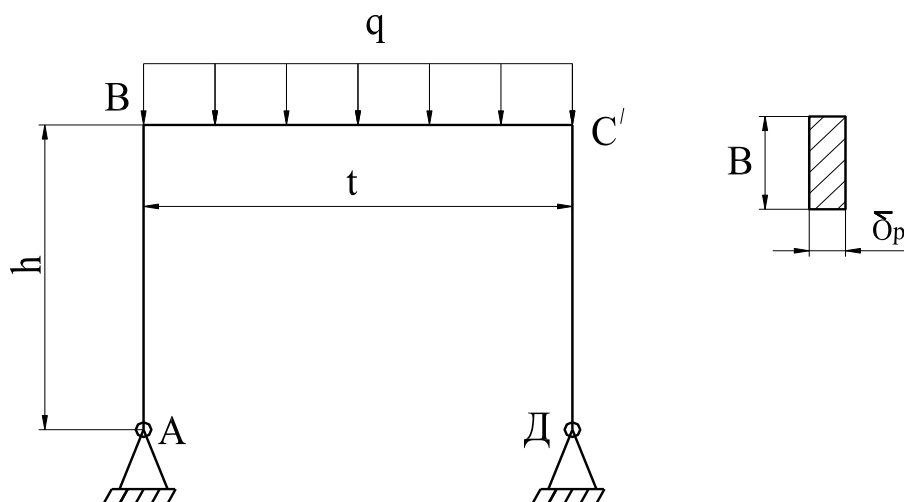


Рисунок 2.11 – Розрахункова схема насадки

Отже,

$$h = l_p \cdot \cos 22^\circ = 4,85 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 22^\circ = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$\kappa = \frac{h}{t} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{3,92 \cdot 10^{-3}} = 1,147;$$

$$n = 3 + 2 \cdot \kappa = 3 + 2 \cdot 1,147 = 5,295;$$

$$q = \Delta p \cdot B = 0,305 \cdot 0,158 = 0,0482 \text{ МН / м};$$

$$M_{\max} = (1 + 2 \cdot \kappa) \cdot \frac{q \cdot t^2}{8 \cdot n} = (1 + 2 \cdot 1,147) \cdot \frac{0,0482 \cdot 10^6 \cdot (3,92 \cdot 10^{-3})^2}{8 \cdot 5,295} = 0,0576 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент опору прямокутного поперечного перерізу рами дорівнює

$$W = \frac{B \cdot \delta_p^2}{6} = \frac{0,158 \cdot (1,5 \cdot 10^{-4})^2}{6} = 5,92 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3.$$

Максимальна напруга прогину в рамі дорівнює

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{0,0576}{5,92 \cdot 10^{-10}} = 9,73 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9,73 \text{ МПа}.$$

Умова міцності  $\sigma_{\max} \leq [\sigma] = 50 \text{ МПа}$  виконується.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		37

## 3 Охорона праці

Цілком безпечних та нешкідливих виробництв не існує. Завдання охорони праці – звести до мінімуму ймовірність ураження або захворювання працюючого, з одночасним забезпеченням комфорту за максимальної продуктивності праці.

Поліпшення умов праці, підвищення її безпеки має велике економічне значення. Воно впливає на економічні результати: на продуктивність праці, якість і собівартість продукції, що випускається. Знижується виробничий травматизм, професійні захворювання, інвалідність, що зберігає здоров'я працівників і одночасно призводить до зменшення витрат на оплату пільг та компенсацій за роботу у несприятливих умовах праці, на лікування працівників.

### 3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні.

Компресор, що працює на фреоні R600a у складі холодильної машини. Усі режими робіт холодильного агрегату виконуються автоматично та не вимагають стороннього контролю з боку обслуговуючого персоналу.

Живлення компресора, приладів автоматики здійснюється від мережі змінного струму напругою 220–240 В.

Під час експлуатації та ремонту холодильника на обслуговуючий персонал та покупців можуть впливати фізичні та хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

### **3.1.1 Фізичні небезпечні та шкідливі фактори**

При експлуатації та ремонті холодильної машини людина може зіткнутися з такими фізично небезпечними та шкідливими виробничими факторами:

- підвищеним рівнем шуму, вібрації;
- ураженням електричним струмом.

Перераховані вище фактори за певних умов можуть призвести до травми та погіршення здоров'я.

### **Заходи щодо усунення та зниження небезпечних та шкідливих факторів**

- Для зниження рівня вібрації під час роботи компресора застосовуються віброізолюючі опори, на які встановлюють компресор. Використання віброізолюючих опор також знижує рівень шуму від вібрації компресора. Для забезпечення електробезпеки застосовуються такі заходи захисту:

- розташування струмоведучих частин у недоступних для випадкового дотику місцях;
- подвійна ізоляція дротів;
- захисне заземлення, яке усуває небезпеку ураження людей електричним струмом під час замикання на корпус;
- захисне відключення, що забезпечує автоматичне відключення електроустановки у разі виникнення у ній небезпеки ураження струмом.

### **3.1.2 Хімічні шкідливі виробничі фактори (шкідливі речовини)**

Шкідливі виробничі фактори при виготовленні та експлуатації зумовлені насамперед властивостями матеріалів, що входять до складу холодильного агрегату, а також допоміжних матеріалів, що використовуються під час

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		39

здійснення технологічних процесів. Такими матеріалами є різні технологічні рідини.

### **3.2 Заходи запобігання небезпечним та шкідливим виробничим факторам холодильного виробництва**

Збільшення електричної безпеки в установках досягається за допомогою захисних систем заземлення, захисного відключення та інших способів захисту, включаючи безпечні та попереджувальні плакати та написи.

#### **Основні правила техніки безпеки під час проведення складальних робіт**

До роботи допускаються особи, які пройшли інструктаж та перевірку знань щодо безпечних методів роботи безпосередньо на робочому місці.

На кожну операцію технологічного процесу має бути складена інструкція з технічного обслуговування обладнання та інструкція з техніки безпеки, що відображають специфічні особливості кожної операції та найбільш небезпечні моменти у роботі.

#### **Захист від впливу шумових джерел**

Під час організації робіт на заводі необхідно передбачити захист від шуму.

Для зниження шуму необхідно:

- послабити шум джерел, зокрема, передбачити застосування в їх конструкції звукоізолюючих та звукопоглинальних екранів, кожухів тощо;
- знизити ефект сумарного на робочі місця відбитих звукових хвиль з допомогою поглинання їх поверхнями огорожуючих конструкцій;

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		



- застосовувати раціональне розміщення обладнання (джерела шуму поміщати в окремих приміщеннях);
  - використовувати архітектурно-планувальні та технологічні рішення.
- Зокрема, посилити звукоізоляцію стін, віконних та дверних отворів.

### **Заходи щодо забезпечення комфортних умов праці**

У створенні найсприятливіших умов праці на підприємстві важливу роль грає планування робочого місця.

Практика показує, що планування робочого місця має задовольняти вимогам зручності виконання робіт, економії енергії та часу робочого, раціонального використання виробничих площ та зручності обслуговування обладнання, дотримання правил техніки безпеки.

Виробниче середовище, що є предметним оточенням людини, має поєднувати в собі раціональне архітектурно-планувальне рішення, оптимальні санітарно-гігієнічні умови (мікроклімат, освітлення, вентиляція тощо), науково обґрунтоване колірне забарвлення та створення високоякісних інтер'єрів.

Приміщення цехів, розміри (площа, кубатура) повинні насамперед відповідати кількості працюючих і комплексу технічних засобів, що розміщуються в них. Вони передбачають відповідні параметри температури, освітлення, чистоти повітря, забезпечують ізоляцію від виробничих шумів тощо.

Для забезпечення нормальних умов праці санітарні норми СП 45-71 встановлюють одного працюючого об'єм виробничого приміщення щонайменше 15 м<sup>3</sup>. Площа приміщення огороженого стінами не менше ніж 4,5 м<sup>2</sup>. Висота машинної зали над технологічною підлогою до підвісної стелі має бути 3–3.5 м. Висоту підпільного простору беруть такою, що дорівнює 0,2–0,6 м (за умови прокладання зовнішніх повітроводів – не менше 0,3 м, а за наявності лише кабелів – не менше 0,15 – 0,2 м).

Приміщення цехів, розміри (площа, кубатура) повинні насамперед від-

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

повідати кількості працюючих і комплексу технічних засобів, що розміщується в них. Вони передбачають відповідні параметри температури, освітлення, чистоти повітря, забезпечують ізоляцію від виробничих шумів тощо.

Під час роботи часто виникають ситуації, в яких робітник повинен прийняти правильне рішення. Для успішної праці в таких умовах необхідне раціонально організоване довкілля, що захищає працівника від впливу сторонніх подразників, якими можуть бути неправильне розміщення робочого місця, незручне розташування сигналізації, клавіш керування тощо. Тому всіма засобами необхідно знижувати втому та напруження працюючого персоналу, створювати обстановку виробничого комфорту.

Велике значення має раціональне розташування на пультах управління засобів сигналізації та контрольних приладів. Кнопки для ввімкнення та вимикання, перемикачів, а також всілякі ручки управління повинні забезпечувати мінімальні витрати м'язової та нервової енергії та відповідати естетичним вимогам.

Під час організації робочого місця треба брати до уваги дані антропометрії. Рухи працівника необхідно сконцентрувати так, щоб групи його м'язів були навантажені рівномірно, а зайві непродуктивні рухи усунуті.

### **3.3 Виробнича гігієна та санітарія**

#### **3.3.1 Освітлення**

Комфортність умов праці значно залежить від освітлення. Неминучим наслідком поганого висвітлення виявляється зниження продуктивності праці. Дослідним шляхом доведено можливість підвищення продуктивності праці внаслідок покращення освітленості.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		42

### 3.3.2 Мікроклімат

У приміщеннях повинні забезпечуватись оптимальні параметри мікроклімату:

- температура повітря 18–25 °C;
- відносна вологість повітря – 40–60 %;
- швидкість руху повітря трохи більше 0,2 м/с;
- кількість іонів в 1 см<sup>3</sup> повітря – 50000.

Оптимальна температура і вологість повітря в приміщенні підтримується за допомогою вентиляторів. Взимку приміщення обігрівається центральним паровим опаленням.

### 3.3.3 Пожежна безпека

Джерелом пожежі на робочому місці можуть виявитися електронні схеми, освітлювальна апаратура, легкозаймисті речовини тощо.

Додаткову пожежонебезпеку являють собою системи вентиляції та кондиціонування, які служать для відведення надлишкової теплоти. У разі пожежі вони забезпечуватимуть подачу кисню та швидко поширюють вогонь по всіх приміщеннях.

Напруга до електроустановок подається по кабельних лініях. Наявність паливної ізоляції, можливих джерел запалення як іскор і дуг, розгалуженість і важкодоступність роблять їх небезпечними у пожежному відношенні. Більшість великих пожеж на обчислювальних центрах сталася з цієї причини.

Експлуатація заводського обладнання пов'язана із необхідністю проведення профілактичних робіт. При цьому використовують різні мастильні речовини, легкозаймисті рідини. Виникає додаткова пожежна небезпека.

Важливу роль при проєктуванні будівель відіграє необхідність дотримуватися заходів пожежної безпеки. Для виготовлення будівельних констру-

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		43

кцій використовується цегла, залізобетон, скло, метал та інші негорючі матеріали. У заводських приміщеннях влаштовують вогнетривкі протипожежні перегородки. Підпільні простори поділяють вогнетривкими діафрагмами на відсіки площею трохи більше 50 м<sup>2</sup>. Стіни, підлога повинні бути покриті негорючими матеріалами. Потрібна присутність на робочих місцях або поблизу їх засобів пожежогасіння.

При гасінні пожеж у приміщенні працівників розумової праці найбільш прийнятним є механічний зрив полум'я (приміщення категорії Д) вуглекислотними вогнегасниками, порошковими вогнегасниками (ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8, ОУ-10). У середині виробничого приміщення прокладання водопроводів та встановлення пожежних кранів не допускається.

У випадку виникнення пожежі треба негайно повідомити про це чергову пожежну частину та керівництво заводу. Не чекаючи прибуття пожежного підрозділу розпочати ліквідацію пожежі, попередньо знеструмивши установку.

У великих цехах для швидкого виявлення та усунення вогнища пожежі необхідно встановлювати установки пожежної сигналізації та автоматичного пожежогасіння. Установки пожежної сигналізації можуть складатися з теплових, світлових та реагуючих на дим датчиків.

Застосування автоматичних засобів виявлення пожеж є однією з основних умов забезпечення пожежної безпеки. У приміщенні, де знаходиться робоче місце персоналу, що управляє, доцільно застосовувати диференціальні теплові сповіщувачі, що мають достатню чутливість. Можливе застосування теплових випромінювачів максимальної дії. Як пожежний сповіщувач рекомендується застосування недорогого та надійного автоматичного сповіщувача типу ДТЛ, який включається послідовно з датчиками охоронної сигналізації.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

### **3.4 Техніка безпеки при роботі з ПЕОМ**

До безпосередньої роботи з ПЕОМ допускаються чоловіки та жінки, які не мають медичних протипоказань, визнані придатними після медичного огляду.

Відповідно до БНіП П 2-80 кількість евакуаційних виходів із будинків та приміщень визначається розрахунками, але має становити не менше двох.

Під час роботи дотримуватись Правил трудового розпорядку.

#### **3.4.1 Вимоги безпеки перед початком роботи**

Перед початком роботи оглянути робоче місце, прибрати сторонні предмети, переконатися у справності обладнання. Екран відеомоніторів повинен знаходитись від очей користувача на оптимальній відстані 700 мм, але не ближче 500 мм.

Кожен працівник, який помітив несправності ПЕОМ, повинен негайно повідомити свого безпосереднього керівника, а самому вжити відповідних заходів, аж до відключення обладнання від мережі.

При пожежі для гасіння електроустановок застосовувати вогнегасники ОПУ-2 (порошкові уніфіковані) ТУ 22-6098-85.

При отриманні травм усунути вплив травмуючого фактора, викликати медичну допомогу.

#### **3.4.2 Вимоги до виконання режимів праці та відпочинку**

Забезпечення роботи холодильної машини на даний час для експлуатаційного персоналу пов'язана з постійним контролем основних параметрів машини, значення яких виводяться на дисплей персонального комп'ютера (ПЕОМ). Тому далі розглянемо вимоги з техніки безпеки охорони праці під

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		45

час роботи з ПЕОМ.

Сумарний час безпосередньої роботи з персональним комп'ютером не може перевищувати 6 годин. Через кожні 1,5–2 години має встановлюватися регламентована перерва 15 хвилин. Під час перерв з метою зниження нерво-во-емоційного напруження, втоми зорового аналізатора доцільно виконувати вправи для очей. Тривалість безперервної роботи з ПЕОМ має перевищувати 2 годин.

### **3.4.3 Вимоги виробничої санітарії**

У приміщеннях з ПЕОМ щодня має проводитися вологе прибирання.

Приміщення з ПЕОМ повинні мати природне та штучне висвітлення.

Розташування робочих місць з ПЕОМ у цокольних та підвальних приміщеннях не допускається.

Площа одного робочого місця з ПЕОМ має становити щонайменше  $6,0 \text{ м}^2$ , а об'єм – щонайменше  $20,0 \text{ м}^3$ .

Виробничі приміщення, в яких для роботи використовуються переважно ПЕОМ, не повинні межувати з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують нормовані значення. Фоновий рівень шуму у виробничих приміщеннях з ПЕОМ має перевищувати  $40 \text{ дБ}(A)$ .

Приміщення з ПЕОМ повинні обладнатися системами опалення, кондиціювання повітря або ефективною вентиляцією.

Поверхня підлоги в приміщеннях експлуатації ПЕОМ повинна бути зручною для очищення і вологого прибирання, володіти антистатичними властивостями.

### **3.4.4 Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць з ПЕОМ**

Штучне освітлення має забезпечувати рівень освітленості не менше:

– екран –  $200 \text{ лк}$ ;

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		46

- клавиатура – 400 лк;
- документ – 500 лк;
- стіл – 500 лк.

Як джерела світла при штучному освітленні повинні застосовуватися переважно люмінесцентні лампи.

### **3.4.5 Вимоги до організації та обладнання робочих місць з ПЕОМ**

Робочі місця з ПЕОМ повинні розташовуватися від стін з віконними прорізами на відстані не менше 1,5 м, відстань між робочими столами з ПЕОМ повинні бути не менше 1,5 м. Робочі місця з ПЕОМ відносно до світлових прорізів повинні розташовуватися так, щоб природне світло падало переважно ліворуч.

Шумне обладнання (матричні принтери тощо) треба розміщувати поза приміщеннями з використанням ПЕОМ.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		

## Висновки

В результаті виконання кваліфікаційної випускної роботи, було виконано термодинамічний розрахунок одноступінчастої парокомпресійної холодильної машини, що працює на фреоні R600a (ізобутан) та має холодопродуктивність  $\dot{Q}_0 = 100 \text{ кВт}$ . В результаті розрахунку було отримано коефіцієнт термотрансформації, який склав  $COP = 3,34$ .

Після виконання розрахунку холодильної машини за отриманим значенням теплового навантаження на конденсатор, що склало  $\dot{Q}_{КД} = 129,9 \text{ кВт}$ , був виконаний тепловий, конструктивний, гідравлічний та розрахунки міцності конденсатора пластинчасто-ребристого типу. Даний тип теплообмінних апаратів є висококомпактним, низькометалоємним, надійним і довговічним, що дозволяє отримати високі значення коефіцієнтів тепловіддачі за рахунок турбулізації потоку при русі в каналах.

Перед тепловим розрахунком був описаний процес виготовлення пластинчасто-ребристих теплообмінників та їх основної складової – пластинчасто-ребристого елемента ПРЕ.

В результаті теплового розрахунку апарату було отримано значення площі теплообміну  $112,9 \text{ м}^2$ , яка включає  $100,9 \text{ м}^2$  зони конденсації та  $12,0 \text{ м}^2$  для зони зняття перегріву пари.

В результаті гідравлічного розрахунку апарату було розраховано втрати тиску води в конденсаторі, які склали  $\Delta p_g = 451 \text{ Па}$ .

В результаті виконання міцного розрахунку була розрахована проставкова пластина та насадки апарату як найбільш навантажених елементів теплообмінного апарату, що розглядається.

У розділі «Охорона праці» було проаналізовано основні небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час роботи парокомпресійних холодильних машин та методи захисту від їхнього впливу. Описано небезпечні та шкідливі фактори при роботі персоналу, що експлуатує холодильну машину.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		48



## Список літератури

1. 4110 Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи бакалаврів професійного напрямку підготовки 6.050604 «Енергомашинобудування» [Текст] : для студ. напрямів підготовки 6.05060405 «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка», 6.05060403 «Холодильні машини і установки» денної та заочної форм навчання / В. М. Арсеньєв, Ю. М. Вертепов. – Суми : СумДУ, 2016. – 15 с.
2. Краткий справочник машиностроителя/ Под ред. С. А. Чернавского. – Москва : Машиностроение, 1966. – 788 с.
3. Писаренко Г. С. Справочник по сопротивлению материалов / Г. С. Писаренко и др.. – Киев: Наукова думка, 1988. – 734 с.
4. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування «Пластинчасто-ребристый конденсатор з повітряним охолодженням парокompресійної холодильної машини» з курсу «Холодильні установки» / укладачі: Ю. М. Вертепов і С. С. Мелейчук – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 18 с.
5. Данилова Г. Н. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова и др. – Ленинград : Машиностроение, 1986. – 303 с.
6. Богданов С. Н. Холодильная техника. Свойства веществ: Справочник / С. Н. Богданов и др.. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 208 с.
7. Явнель Б. К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – Москва : Агропромиздат, 1989. – 223 с.
8. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей : справочник / Н. Б. Варгафтик. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Гос. изд-во физико-матем. л-ры, 1972. – 720 с.

					ХМд 07.00.00.00 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Лист	№ документа	Підп.	Дата		