

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

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Сергій ВАНЄЄВ
(підпис)

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»,
освітньо-професійної програми «Опалення, вентиляція, кондиціонування повітря та штучний холод»
на тему: «Проектування випарника теплонасосної установки пластинчасто-ребристого типу»

Здобувач групи ХКдн-04др

Чорний Василь Олегович

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

_____ Чорний Василь
(підпис)

Керівник

к.т.н., доцент Станіслав МЕЛЕЙЧУК

(підпис)

Суми 2024

ЗМІСТ

С.

1. ПРИНЦИП РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	3
2. РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	10
2.1. Вихідні дані.....	10
2.2. Принципова схема системи подачі гарячої води.....	10
2.3. Розрахунок циклу теплового насосу.....	14
2.4. Розрахунок випарника повітряного типу.....	19
3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51

					<i>Б142д 05.00.00.00 ПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата				
Розроб.		Чорний			Проектування випарника теплонасосної установки пластинчасто-ребристого типу	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Мелейчук					2	
Н. контр.						ХКдн-04др		
Затв.		Ванєєв						

1. ПРИНЦИП РОБОТИ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

Одним з перспективних напрямів в області заощадження енергоресурсів, як в рамках національної економіки, так і в межах енергоспоживання окремих підприємств, є застосування теплонасосних систем.

Принцип роботи теплового насоса полягає у виконанні циклу холодильної машини чи теплового насоса з поглинанням тепла середовища (грунт, вода, повітря) та генерацією тепла для споживача (опалення, гаряче водопостачання, система кондиціонування) [1-3].

Принциповий цикл теплового насоса зображено на рисунку 1.1

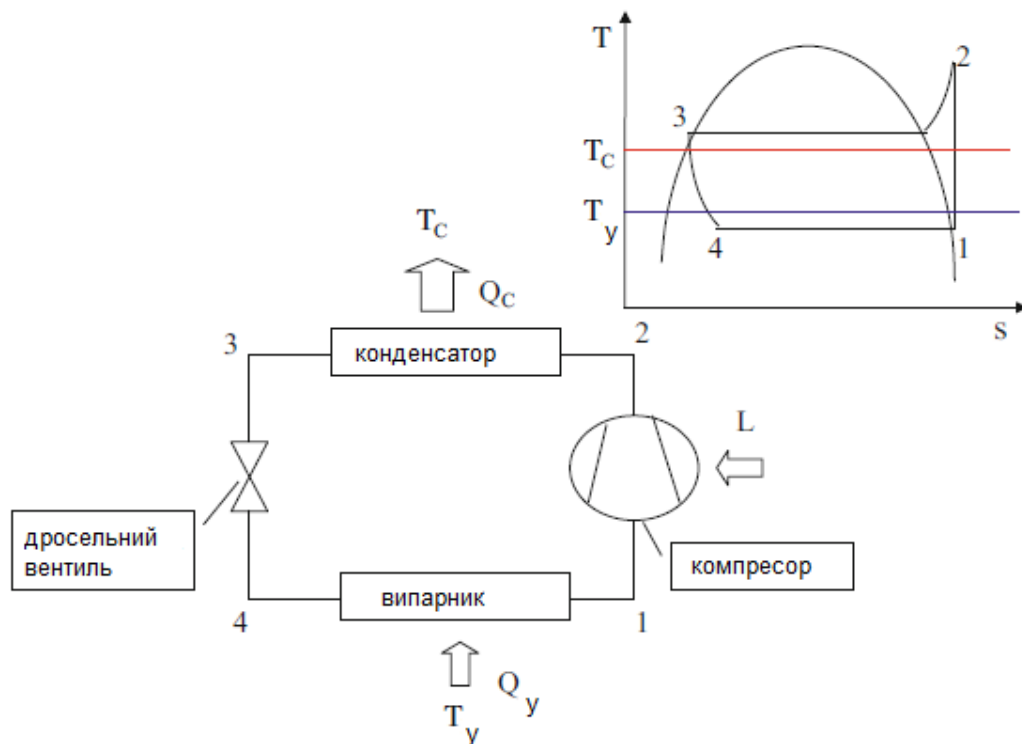


Рисунок 1.1 – Принциповий цикл теплового насоса (параметри з індексом «С» - параметри споживача, з індексом «У» – утилізованого навколишнього середовища).

На рисунку 1.2 зображено принципова модель роботи теплового насосу.

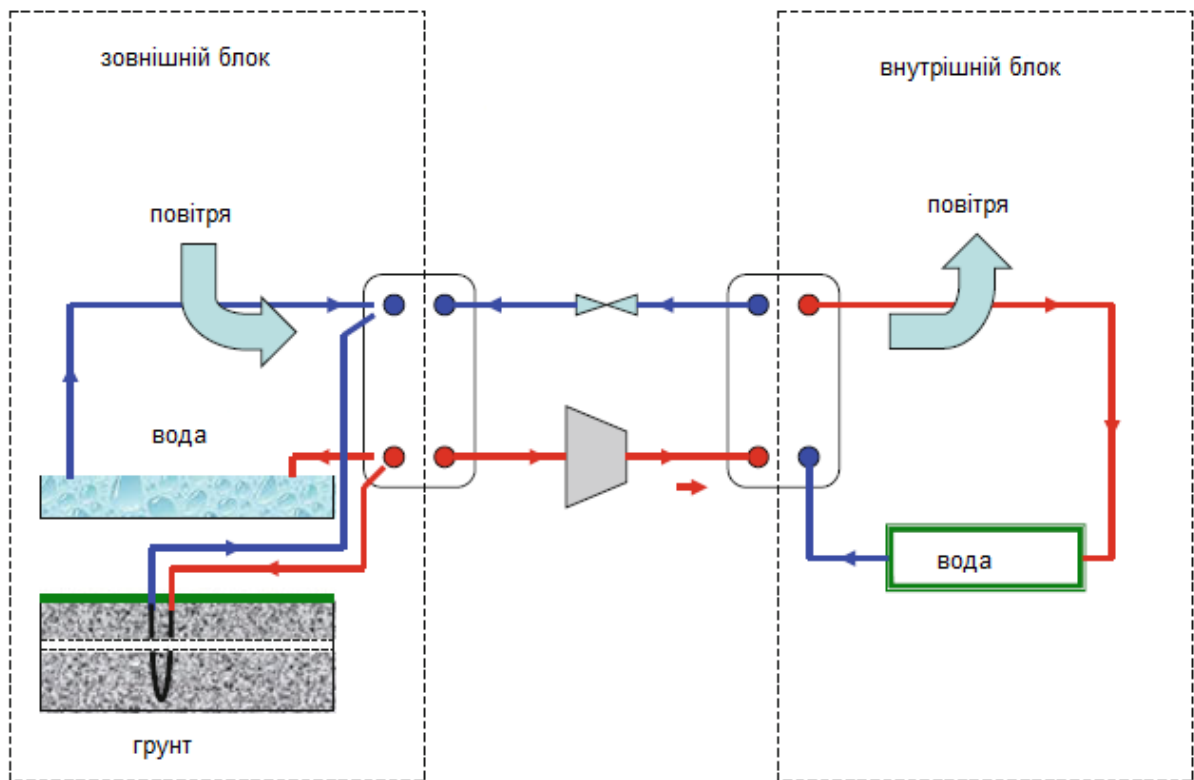


Рисунок 1.2 – Принципова модель роботи теплового насосу.

Зовнішній блок теплового насосу споживає енергію з довкілля та розташований на зовнішній стороні будинку (приміщення), а внутрішній блок генерує корисну теплоту через підігрів повітря чи води всередині приміщення.

Джерелами теплової енергії для зовнішнього блоку може бути:

- Повітря
- Вода
- Грунт.

Повітря.

Зовнішнє повітря, яке є безкоштовним і загальнодоступним джерелом тепла, використовується в теплових насосах. Проте ефективність таких насосів, вимірювана сезонним коефіцієнтом продуктивності, зазвичай на 10-30% нижча, ніж у водяних теплових насосів. Це зумовлено кількома причинами:

- зниженням потужності та продуктивності при зниженні зовнішньої температури;
- значною різницею температур конденсації та випаровування під час мінімальних зимових температур, що загалом знижує ефективність процесу;
- витратами енергії на розморожування випарної батареї та роботу вентиляторів.

Інше джерело тепла в житлових і торговельно-адміністративних будівлях - це вентиляційне повітря, що відводиться. Тепловий насос регенерує тепло з цього повітря, забезпечуючи приготування гарячої води або нагрівання повітря для опалення приміщень. Однак для цього потрібне постійне вентиляування протягом усього опалювального сезону або навіть цілого року, якщо передбачено кондиціонування приміщень влітку. Існують апарати, які спочатку розроблені з можливістю використання як відведеного вентиляційного, так і зовнішнього повітря. У деяких випадках теплові насоси, що використовують повітря, що відводиться, застосовуються в комбінації з рекуператорами "повітря-повітря".

Тепловий насос призначений для використання енергії, що отримується від джерела тепла з низькою температурою. Теплові, енергетичні та економічні характеристики теплових насосів тісно пов'язані з властивостями джерел тепла, які вони використовують. Ідеальне джерело тепла повинно забезпечувати стабільну високу температуру протягом усього опалювального сезону, не бути корозійним та забруднюючим, мати сприятливі теплофізичні характеристики, а також не вимагати значних інвестицій та витрат на обслуговування. Найчастіше доступне джерело тепла є ключовим фактором, що визначає експлуатаційні характеристики теплового насоса.

Грунтова вода.

Використовується звичайна система використання води полягає в одній або кількох свердловинах для відбору та повторного закачування, а не

					<i>Б142д 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

обов'язково в той самий водоносний горизонт. Ці колодязі повинні бути розміщені у відповідних місцях взаємні відстані та вимагають постійного обслуговування, що може сильно вплинути витрати на управління. Щоб уникнути повторного нагнітання свердловин, можна або направляти воду у водні шляхи або використовувати її для водопостачання. Це останнє рішення сильно залежить від фізико-хімічних характеристик рідини. У будь-якому випадку, проектувальники повинні ретельно враховувати збіднення водоносних горизонтів і фактична сприйнятливність водних шляхів разом із спричиненими змінами температури подальшим закачуванням води.

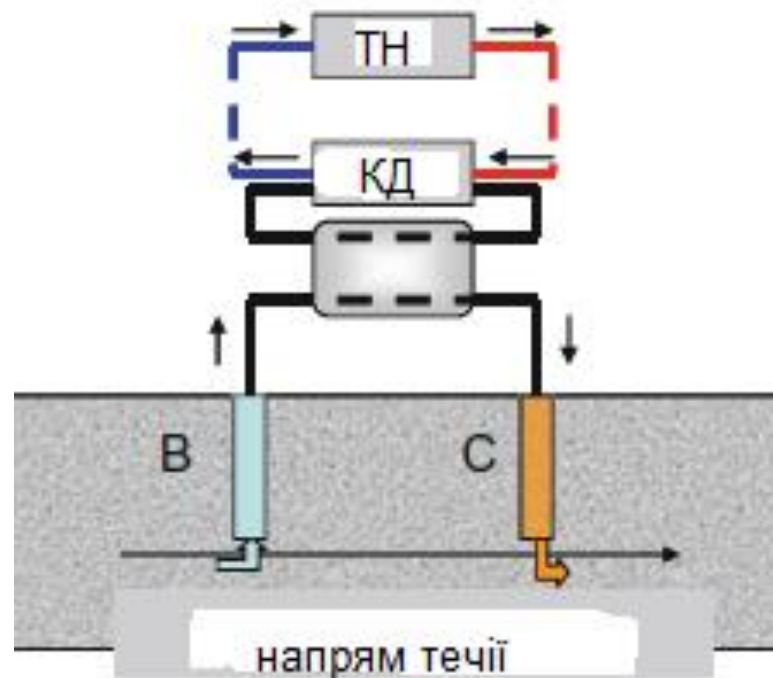


Рисунок 1.3 – Свердловина для забору ґрунтової води

Через свердловину В відбирається вода, яка надходить в конденсатор теплового насосу, потім відпрацьована вода зливається у свердловину С. Відбирається зі свердловини лише необхідна для роботи теплового насосу кількість води.

Використання цього типу джерела, як зазвичай, має переваги і недоліки.

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Серед переваг – висока енергоефективність, вища, ніж у кілька інших систем, завдяки рівню і сталості температури джерела, і можливість не використовувати проміжний теплоносій - етиленглицоль.

Серед недоліків слід виділити нагальну необхідність виконання а ретельне техніко-економічне обґрунтування, принаймні з гідрогеологічного, економічного та нормативного точки зору.

Грунт.

Теплові насоси, що використовують ґрунтові або глибокі води (ґрунтові води), є звичайними називаються геотермальними тепловими насосами. Ті, що обмінюються теплом із землею, цього не роблять вимагають будь-якого дренажу води, але використовують землю як теплоємність через різні типи теплообмінників.

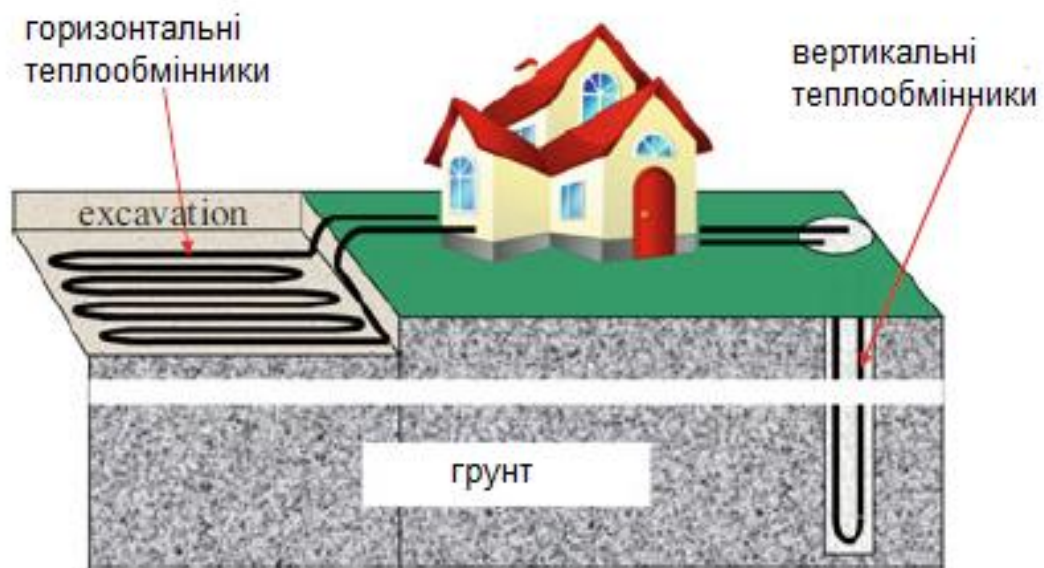


Рисунок 1.4 – Принципова схема роботи теплового насосу з ґрунтовими теплообмінниками.

Особливістю пристрою геотермальних теплових насосів є так зване геотермальний теплообмінник, що з'єднує землю та теплообмінник теплового насоса. Є два основних класи геотермальних джерел теплообмінники:

- вертикальні
- горизонтальні

Вертикальний теплообмінник складається з U-подібної труби, по якій тече теплоносій. Він вставляється всередину а вертикальний колодязь діаметром порядку 20-30 см і глибиною від 80 до 200 м. Горизонтальний тип являє собою систему трубопроводів, прокладену на певній глибині від 70 до 200 см, мають різну форму (наприклад, серпантин) і займають землю поверхні в залежності від вимог користувача до потужності.

Що стосується внутрішнього джерела тепла, то ним може бути як навколишнє повітря, так і вода. Перший випадок відноситься до системи прямого розширення, тобто системи, в якій знаходиться холодоагент прямий тепловий контакт з охолодженим або нагрітим. Це відбувається в так званій спліт системі. В останньому теплообмін відбувається між холодоагентом і водою будь-якої гідравлічної системи.

В таблиці 1.1 представлено типи існуючих систем теплового насосу в залежності від варіантів теплової взаємодії ресурсів внутрішнього та зовнішнього блоків.

Таблиця 1.1 – Класифікація типів теплових установок

Джерело зовнішнього блоку	Джерело внутрішнього блоку	Тип теплового насосу
Повітря	Повітря	Повітря-Повітря
Повітря	Вода	Повітря-Вода
Вода	Повітря	Вода- Повітря
Вода	Вода	Вода-Вода
Ґрунт	Вода	Геотермальний

Типи спліт систем представлено на рисунку 1.3.

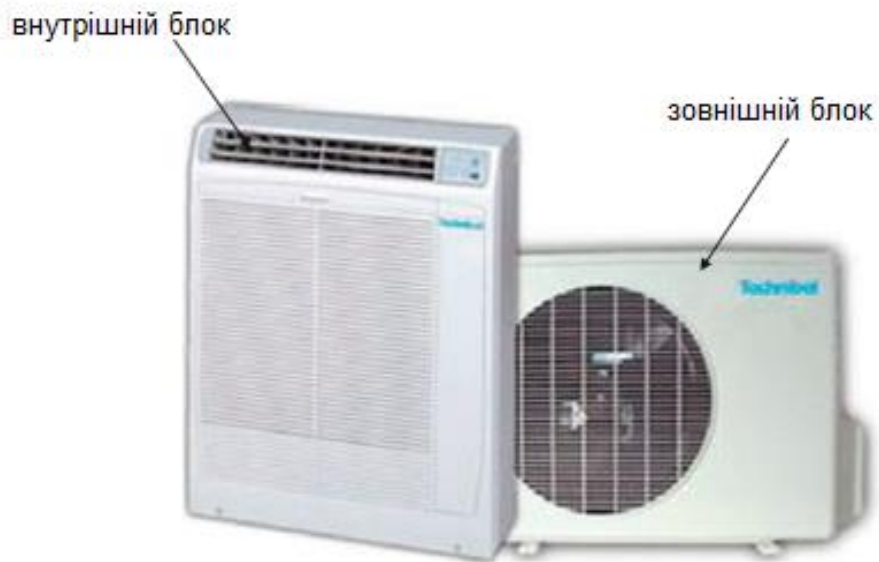


Рисунок 1.3 – Типи спліт систем

Внутрішні та зовнішні блоки виготовляються різних типів і залежать від умов експлуатації, необхідного теплового навантаження та наявної площі для монтажу обладнання [1-3].

					<i>Б142д 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		9

2. РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ ТЕПЛОАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунку теплонасоної установки полягають у визначенні температурних режимів та навантажень на систему гарячого водопостачання з визначенням інтегральних параметрів теплообмінника та його послідуочого розрахунку. Теплонасосна установка прийнята типу «повітря-вода» у відповідності до характеристик таблиці 1.1, тобто визначальним при розрахунку будуть параметри повітря та тип випарника.

Розрахувати систему підготовки та подачі гарячої води для працівників промислового підприємства.

Вихідні дані для розрахунку циклу:

- середня температура повітря навколишнього середовища $t_{II} = 5^{\circ}C$;
- температура мережевої води на вході в систему подачі гарячої води $t_{B1} = 15^{\circ}C$;
- температура мережевої води на виході із систему подачі гарячої води $t_{B2} = 45^{\circ}C$;
- норма витрати води $V_B = 30 \text{ л/особа}$;
- кількість працівників $n = 300 \text{ осіб}$;
- тривалість робочої зміни працівників $\tau = 8 \text{ год}$;
- кількість робочих змін на добу $w = 3$

2.2. Принципова схема системи подачі гарячої води

Принципова схема системи гарячого водопостачання представлена на рисунку 2.1

					Б142д 05.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		10

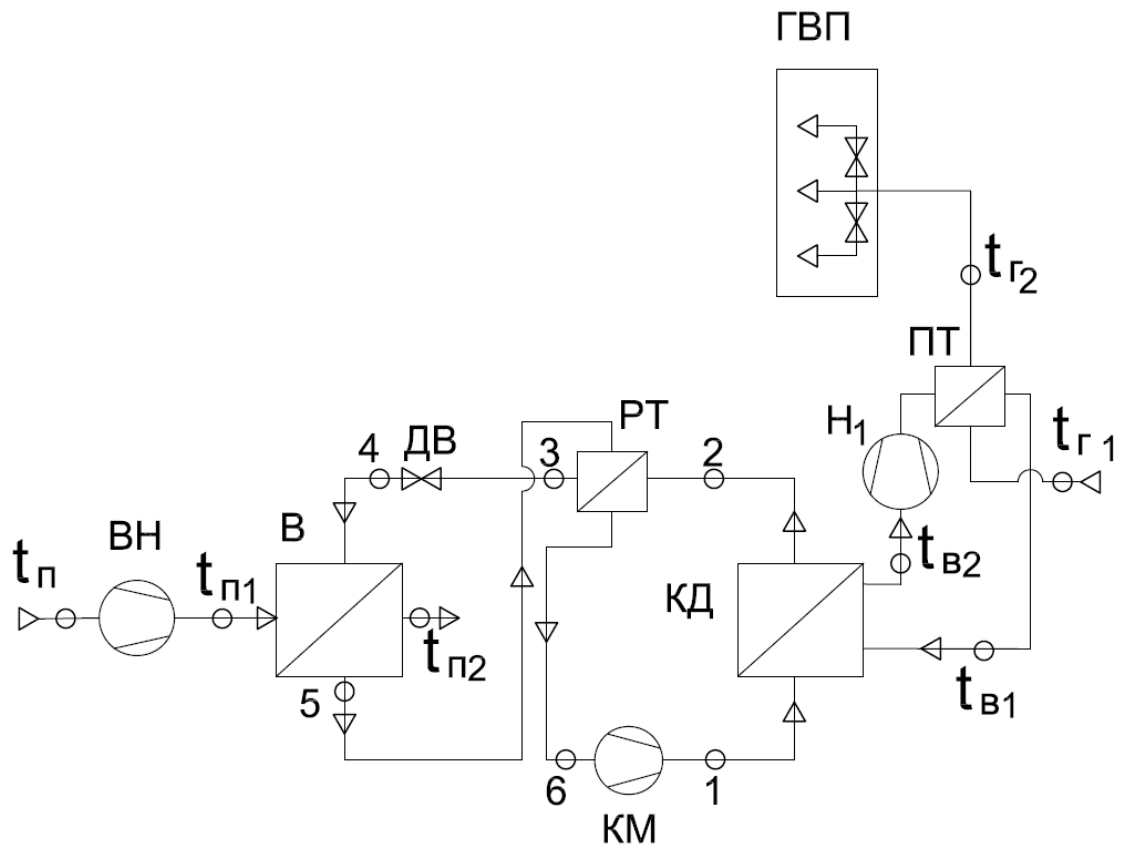


Рисунок 2.1 – Принципова схема ТНУ типу «повітря-вода»:

КМ – компресор ТНУ;

КД – конденсатор;

РТ – регенеративний теплообмінник;

ДВ – дросельний вентиль;

ВН – вентилятор;

ПТ – проміжний теплообмінник;

ГВП – система постачання гарячої води;

Н1 – насос

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142δ 05.00.00.00 ПЗ

Арк.

11

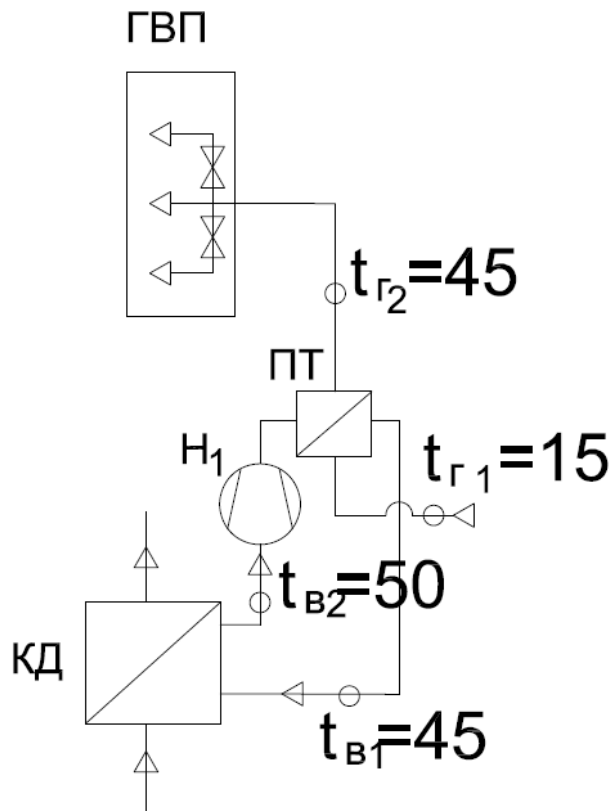


Рисунок 2.2 – Розподіл температури в конденсаторному вузлі

Температура мережевої води на вході в систему ГВП $t_{Г1} = 15^{\circ}C$;

Температура мережевої води на виході з системи ГВП $t_{Г2} = 45^{\circ}C$;

Температура води в проміжному контурі теплообміну $t_{В1} = 45^{\circ}C$, нагрів води у проміжному теплообміннику відбувається на $5^{\circ}C$.

Температура води в проміжному контурі теплообміну $t_{В2} = 50^{\circ}C$,

Враховуючи втрати тепла у теплообмінному апараті $\Delta t = 5^{\circ}C$ розрахункова температура конденсації складає:

$$t_K = t_{B2} + \Delta t = 50 + 5 = 55^{\circ}C.$$

Теплове навантаження на конденсатор:

$$\dot{Q}_{КД} = m_B c_P (t_{Г2} - t_{Г1}), \text{ кВт},$$

де m_B – масова витрата санітарної води, кг/с

c_p – ізобарна теплоємність води при середній розрахунковій температурі, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Масова продуктивність води:

$$m_B = \frac{V_B \cdot n \cdot 3600}{\rho_B \cdot W \cdot \tau} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot 3600}{998 \cdot 3 \cdot 24} = 0,45 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{\text{КД}} = 0,45 \cdot 4,17(45 - 15) = 56,4 \text{ кВт}$$

Вихідними даними для розрахунку циклу ТНУ з послідуочим визначенням теплового навантаження на випарник є $\dot{Q}_{\text{КД}} = 56,4 \text{ кВт}$

					<i>Б142д 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

2.3. Розрахунок циклу теплового насосу

Розрахунок циклу ТНУ проводимо для схеми одноступеневої фреонового парокомпресійного теплового насосу з регенеративним теплообмінником (рис. 2.3).

Вихідні дані:

Теплопродуктивність	$\dot{Q}_{кд} = 56,4 \text{ кВт}$
Середовище системи опалення	мережева санітарна вода
Температура повітря на вході в випарник	$t_{пл} = 5^\circ\text{C}$
Зміна температури повітря у випарнику	$\Delta t_B = 3^\circ\text{C}$
Температура недорекуперації у випарнику	$\Delta t_{НЕДОРВ} = 5^\circ\text{C}$
Утилізоване середовище	атмосферне повітря навколишнього середовища
Температура конденсації	$t_K = 55^\circ\text{C}$
Відносна вологість атмосферного повітря	60 %

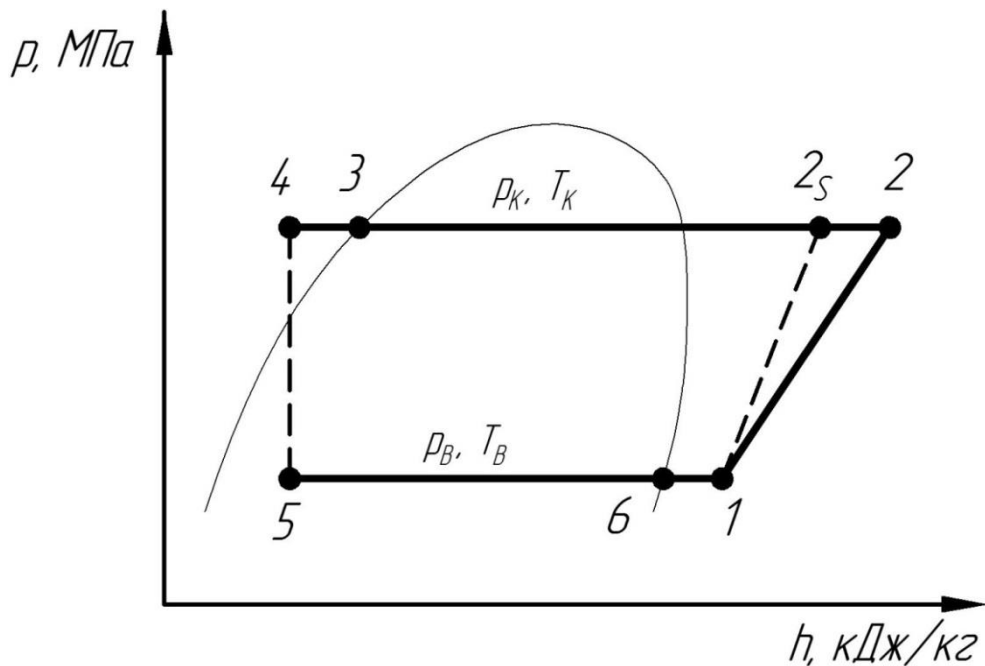


Рисунок 2.3 – Цикл одноступеневої ТНУ в p, h -координатах

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

Б142д 05.00.00.00 ПЗ

Арк.

14

Визначення розрахункових температур:

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

$$\text{Тобто } t_B = (t_{III} - \Delta t_B) - \Delta t_{НЕДОКВ} = (5 - 3) - 5 = -3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

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

$$t_K = t_{B2} + \Delta t_K = 50 + 5 = 55 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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:

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

$$h_2 = 435 + \frac{475 - 435}{0,75} = 489 \text{ кДж / кг}$$

Розрахунки проводимо за допомогою *ph-діаграми* для холодильного агента R410a, як найбільш розповсюдженого для теплонососних установок даного температурного діапазону роботи.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.1.

					<i>B142d 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		15

Таблиця 2.1 – Питомі параметри у характерних точках циклу

Параметр	Точки						
	1	2s	2	3	4	5	6
p , бар	7	33	33	33	33	7	7
t , °C	7	81	104	55	43	-3	-3
h , кДж/кг	442	475	489	285	273	273	430

За результатами вищенаведених табличних даних розраховуються питомі параметри ТНУ.

Питоме навантаження на конденсатор:

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

$$q_{кд} = 489 - 285 = 204 \text{ кДж/кг}$$

Питоме навантаження на випарник:

$$q_B = h_6 - h_5, \text{ кДж/кг}.$$

$$q_B = 430 - 273 = 157 \text{ кДж/кг}$$

Питоме навантаження на регенеративний теплообмінник:

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

$$q_{PT} = 442 - 430 = 12 \text{ кДж/кг}$$

Питома адіабатна робота компресора:

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

$$l_s = 475 - 442 = 33 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Питома дійсна робота компресора:

$$l = h_2 - h_1, \text{ кДж/кг}.$$

$$l = 489 - 442 = 47 \text{ кДж/кг}$$

Теплове навантаження на конденсатор:

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

Масова продуктивність холодильного агента:

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

$$m_a = \frac{56,4}{204} = 0,276 \text{ кг/с}$$

Теплове навантаження на регенеративний теплообмінник:

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

$$Q_{\text{РТ}} = 12 \cdot 0,276 = 3,3 \text{ кВт}$$

Теплове навантаження на випарник:

$$Q_B = m_a \cdot q_B, \text{ кВт}.$$

$$Q_B = 0,276 \cdot 157 = 43 \text{ кВт}$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_S = m_a \cdot l_S, \text{ кВт}.$$

$$N_S = 0,276 \cdot 33 = 9,1 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність компресора:

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

$$N_e = 0,276(489 - 442) = 12,9 \text{ кВт}$$

Споживана потужність приводного двигуна:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_e}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{об}}}, \text{ кВт}.$$

$$N_{\text{пр}} = \frac{12,9}{0,99 \cdot 0,85} = 15,3 \text{ кВт}$$

					Б142д 05.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17

Коефіцієнт перетворення ТНУ:

$$COP = \frac{Q_{кД}}{N_{np}}.$$

$$COP = \frac{56,4}{15,3} = 3,7$$

Коефіцієнт перетворення ТНУ, що працює за циклом Карно:

$$COP_{i0} = \frac{T_K}{T_K - T_B}.$$

$$COP_{i0} = \frac{328}{328 - 270} = 5,6$$

К.К.Д. ТНУ:

$$\eta_t = \frac{COP}{COP_{i0}}.$$

$$\eta_t = \frac{3,7}{5,6} = 0,65$$

					<i>Б1420 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

2.4. Розрахунок випарника повітряного типу

Як теплообмінний апарат для випаровування пари холодильного агента в теплових насосних установках використовується пластинчасто-ребристий теплообмінник. Цей тип апарату має теплообмінну поверхню, яка утворена набором тонких штампованих пластин з гофрованою поверхнею. Пластинчасто-ребристий теплообмінник є унікальним пристроєм, який успішно застосовується в широкому діапазоні температур від -270 до $+200$ °С. Вони зазвичай встановлюються в різних криокамерах, на хімічних заводах, нафтопереробних та компресорних установках, а також використовуються в авіа-, авто- та космічній галузях. Пластинчасто-ребристі теплообмінники займають перше місце за своїми теплопередаючими властивостями серед усіх відомих пристроїв. Це стало можливим завдяки поєднанню двох технологій – пластинчастих апаратів та гофрованої поверхні теплообміну, що дозволило багаторазово збільшити корисну площу для передачі тепла. Придбання такого пристрою є правильним рішенням для якісної утилізації тепла та підвищення ККД процесу чи технології [3, 4].

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, 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, охолоджувальне повітря (рисунок 2.4).

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		19

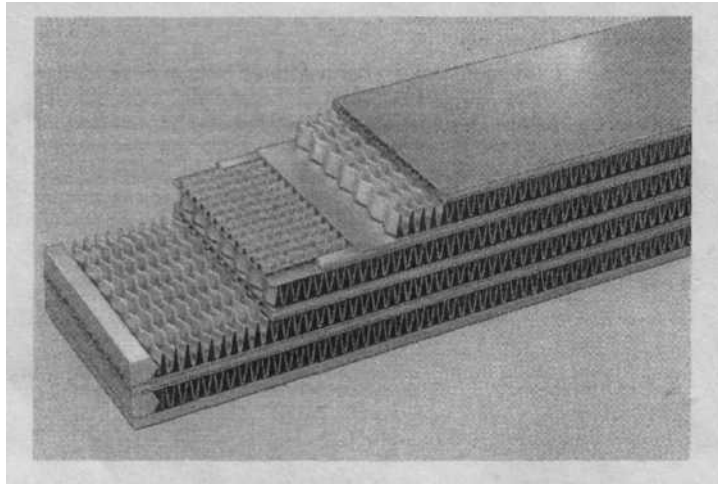


Рисунок 2.4 – Схема ПРТ

Основним компонентом пластинчасто-ребристого теплообмінника (ПРТ) є його серцевина - пластинчасто-ребристий елемент (ПРЕ). Цей багатошаровий пакет з тонкостінних деталей з'єднується в єдиний вузол ПРЕ за допомогою високотемпературного паяння. Паяння є єдиним можливим способом виготовлення ПРЕ, оскільки більшість його з'єднань закриті і не піддаються візуальному контролю. Це вимагає високої точності виконання всіх технологічних операцій під час складання та дотримання режимів паяння. Важливість процесу паяння можна оцінити на прикладі ПРЕ розміром 150x400x850 мм, який має робочі канали висотою 3 мм і холодні канали висотою 11 мм, з'єднані 12 500 паяними швами. Довжина цих швів становить 2258 м, а їх площа - 33 075 см². Паяння, як груповий спосіб обробки, дозволяє одночасно обробляти десятки ПРЕ в камері печі, що робить цей процес набагато продуктивнішим, ніж будь-який спосіб зварювання. Крім того, у ПРЕ переважають таврові сполуки, що є важливою перевагою.

Теплову ефективність ПРТ забезпечує розвинена теплообмінна поверхня із гофрованої металеві стрічки (насадка), припаяна до листів гарячих та холодних каналів (рис.2.5).

									Арк.
									20
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

Б142д 05.00.00.00 ПЗ

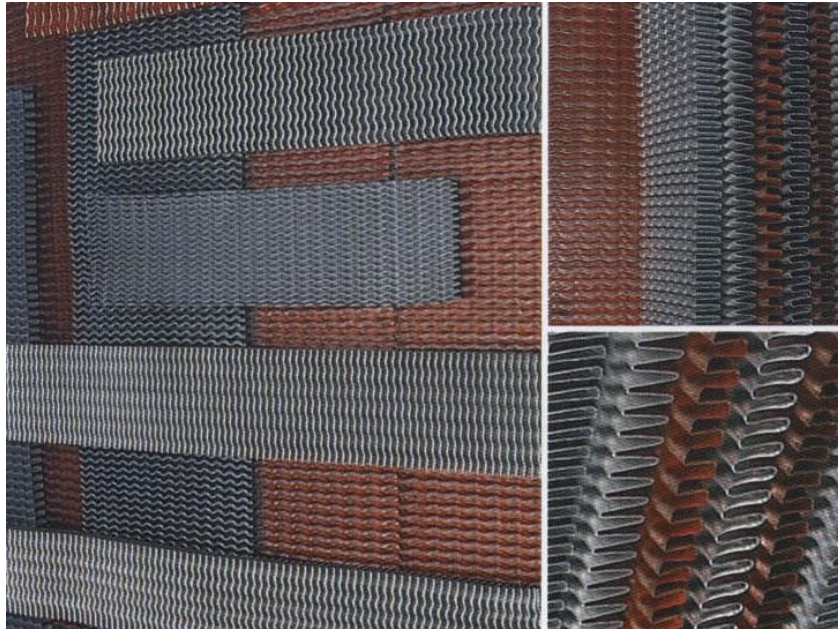


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд насадки

Концепція показана на рисунку 2.6. Між плоскими пластинами розміщені гофровані металеві ребра. Конструкція з'єднується пайкою (див. далі). Ребра мають подвійне призначення: утримувати пластини разом, таким чином утримуючи тиск, і утворювати вторинну (ребристу) поверхню для передачі тепла. По краях пластин розташовані бруски, які містять кожну рідину в просторі між сусідніми пластинами.

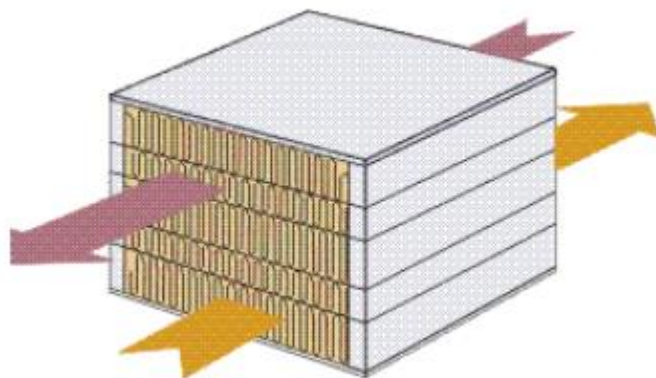


Рисунок 2.6 – Принципова схема ПРТ

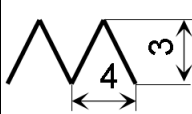
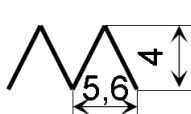
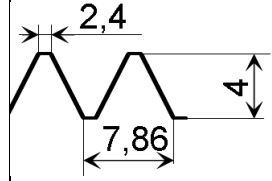
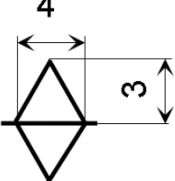
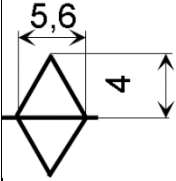
Висота гофрів і планок може відрізнятися між плитами, як показано. Для потоку рідини ми можемо використовувати низьку висоту гофрування,

поєднуючи високий коефіцієнт теплопередачі з меншою площею поверхні, у той час як для потоку низького тиску ми можемо використовувати високу висоту гофрування, поєднуючи низький коефіцієнт з більшою площею поверхні, але також забезпечуючи більшу наскрізну площу для досягнення менший перепад тиску. Промислова одиниця містить приблизно 1000 м² поверхні на кубічний метр.

У табл.2.2. наведено характеристики насадки, гофрування якої виконується під час переміщення стрічки через пару профільних роликів.

Підвищення компактності насадки збільшує ефективність теплообміну. Це досягається шляхом зменшення відстані між гофрами. Однак при формуванні насадки із металеві стрічки методом прокатки роликками крок накатки обмежується допустимими розмірами профілю зубів роликів. Розмір зубів біля основи роликів встановлюється з урахуванням втомної міцності металу роликів. Через це, зазвичай, крок гофр насадки перевищує висоту гофр. Додатково, форма профілю насадки, сформованої прокаткою, може бути лише трикутною або евольвентною.

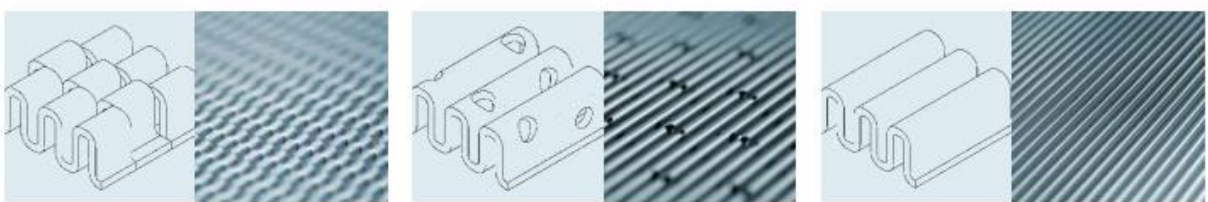
Таблиця 2.2 – Характеристика насадки сформованою прокаткою роликками.

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

При переміщенні теплоносіїв у каналах насадки, виготовленої з металеві стрічки методом прокатки роликками або штампуванням, утворюються стійкі ламінарні потоки. Теплообмін у ділянках, що прилягають до поверхні насадки, з ядром потоку здійснюється через теплопровідність теплоносія. У робочих (гарячих) каналах ПРТ, де переміщається теплоносій із низькою теплопровідністю, насадка з гладкою поверхнею знижує ефективність теплообміну. Розрив ламінарного контактного шару значно підвищує ефективність теплообміну.

Технологія та обладнання для виготовлення ПРТ.

Різні типи ребер означають, що ми можемо оптимізувати теплову та гідравлічну продуктивність відповідно до потреб клієнтів. Ми охоплюємо весь спектр від звичайних через перфоровані до зубчастих ребер і від автономних PFHE через колекторні вузли до Yook-in-shell і холодних боксів. Це гарантує, що ми можемо ідеально відповідати вимогам додатків, потребам продуктивності та бюджетним обмеженням кожного клієнта. Клієнти також можуть розраховувати на консультаційну підтримку наших експертів, щоб оптимізувати загальну конструкцію системи та допомогти зменшити експлуатаційні витрати.



а)

б)

в)

Рисунок 2.7 – типи ребер: а) зубчасті, б) перфоровані, в) звичайні

Блоки в корпусі

Блоки складаються з одного або кількох елементів, встановлених у сталевій оболонці (рисунок 2.8).

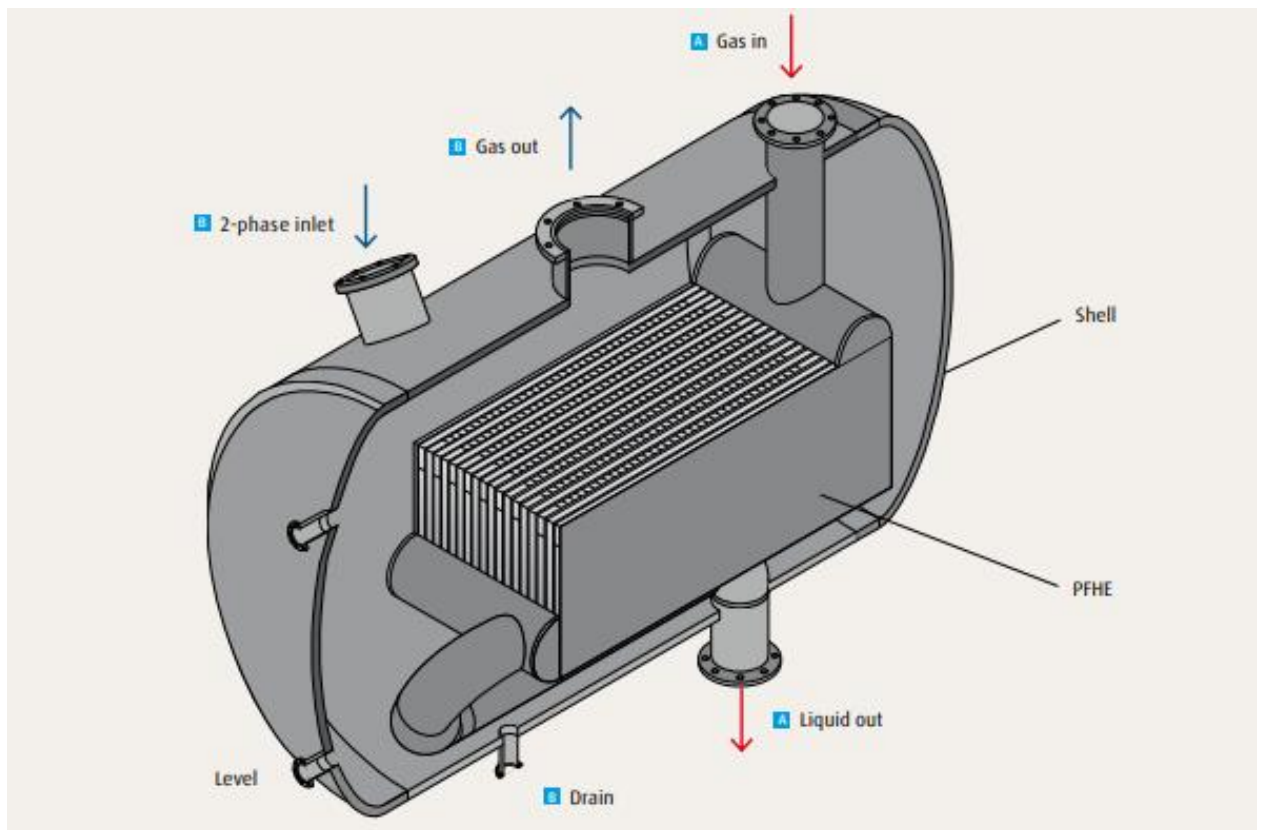


Рисунок 2.8 – Блоки ПРТ

Поєднуючись з обслуговуванням кожухотрубних теплообмінників, ці агрегати мають ряд переваг:

- Підхід до зниженої температури (менше 1 К), що призводить до економії енергії.
- До десяти разів більша площа теплопередачі на одиницю.
- Менший розмір, вага та площа.
- Менші витрати на встановлення.

2.5 Тепловий та конструктивний розрахунок пластинчасто-ребристого випарника

В якості випарника парів холодоагенту застосовують пластинчасто-ребристий теплообмінник з алюмінієвих сплавів, який характеризується компактністю і ефективністю конструкції. Пластинчасто-ребристий елемент, як складова основа ПРТ має наступні геометричні характеристики (таблиця 2.3) [4].

Розподіл температури в вузлі випарника теплового насоса представлено на рисунку 2.9.

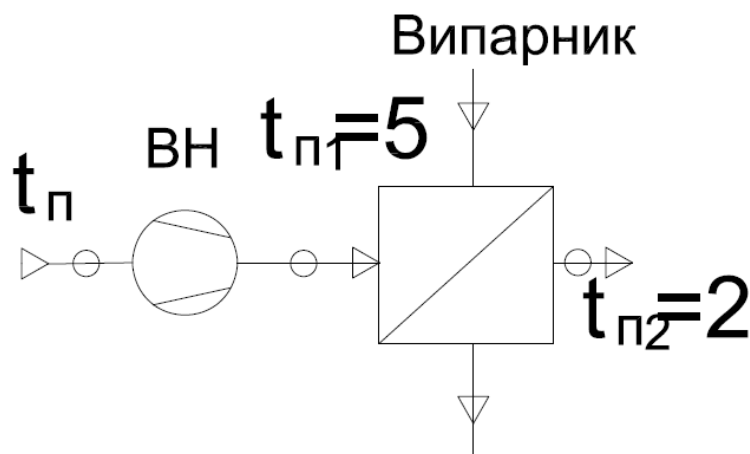


Рисунок 2.9 – Розподіл температури в вузлі випарника

Таблиця 2.3 - Геометричні характеристики конденсатора

Найменування параметрів	Значення
<u>Характеристика конденсатора</u>	
Тип конденсатора	ПРТ
Коефіцієнт збільшення поверхні	3,1
Розміри елемента, м:	
довжина	0,604
ширина	0,154
висота	0,4
Матеріал теплообмінної поверхні	алюміній
Товщина проставного листа, $\delta_{л,м}$	$1 \cdot 10^{-3}$
Товщина ребра, $\delta_{р,м}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Теплопровідність ребра $\lambda_{р, Вт/м \cdot К}$	180
<u>Сторона холодоагента</u>	
Площа поверхні теплообміну $F_{а, м^2}$	8,75
Площа поверхні ребер $F_{р,а, м^2}$	4,46
Довжина каналу $L_{ка, м}$	0,6
Еквівалентний діаметр $d_{за, м}$	$3,62 \cdot 10^{-3}$
Довжина ребра $l_{ра, м}$	$5,09 \cdot 10^{-3}$
Сторона охолоджуючого теплоносія	
Площа поверхні теплообміну $F_{х, м^2}$	27,3
Площа поверхні ребер $F_{р,х, м^2}$	22,6
Довжина каналу $L_{кх, м}$	0,15
Еквівалентний діаметр $d_{эх, м}$	$2,44 \cdot 10^{-3}$
Довжина ребра $l_{рх, м}$	$4,85 \cdot 10^{-3}$

Сторона випаровування холодильного агента (фреон)

Питома теплоємність – $c_1 = 1,395 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$;

Густина – $\rho_1 = 1085 \text{ кг / м}^3$;

Кінематична в'язкість – $\nu_1 = 1,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$;

Коефіцієнт теплопровідності – $\lambda_1 = 0,0714 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$;

Средня температура – $t_w = -3^\circ \text{С}$;

Питома теплота пароутворення – $r = 233,5 \text{ кДж/кг}$

- 1) Температура стінки приймається на 2°С нижче температури випаровування:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{к}} - 2 = 270 - 2 = 268 \text{ К.}$$

- 2) Число Рейнольдса:

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

де $w_a = 8 \text{ м / с}$

$$Re = \frac{8 \cdot 3,62 \cdot 10^{-3}}{1,94 \cdot 10^{-6}} = 14928.$$

- 3) Число Нусельта:

$$Nu = 0,02 \cdot Re_a^{0,8} \cdot Pr_a^{0,33},$$
$$Nu = 0,02 \cdot 14928^{0,8} \cdot 4,1^{0,33} = 70$$

- 4) Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_a = \frac{Nu \lambda_a}{d_{\text{э.а}}},$$
$$\alpha_a = \frac{70 \cdot 0,0714}{3,62 \cdot 10^{-3}} = 1381 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}.$$

- 5) Коефіцієнт для визначення ефективності ребер:

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

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

Б142д 05.00.00.00 ПЗ

$$m_u = 0,5 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1381}{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 180}} = 0,814.$$

6) Коефіцієнт ефективності ребер:

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

$$\mu_{p.a} = \frac{e^{0,814} - e^{-0,814}}{e^{0,814} + e^{-0,814}} / 0,814 = 0,825.$$

7) Коефіцієнт ефективності всієї поверхні:

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

$$\mu_{o.a} = 1 - \frac{4,46}{8,75} (1 - 0,825) = 0,91.$$

Сторона охолоджуючого теплоносія (повітря)

Питома теплоємність – $c_2 = 1,005$ кДж / кг · К;

Густина – $\rho_2 = 1,293$ кг / м³;

Кінематична в'язкість – $\nu_2 = 13,28 \cdot 10^{-6}$ м² / с;

Коефіцієнт температуропровідності – $a_2 = 1,4595 \cdot 10^{-6}$ м² / с;

Коефіцієнт теплопровідності – $\lambda_2 = 2,44 \cdot 10^{-2}$ Вт / м · К;

Середня температура – $t_w = 3,5$ °С;

Швидкість повітря $w_2 = 5$ м / с

1) Число Рейнольдса:

$$Re_x = \frac{w_x \cdot d_{\text{эx}}}{\nu_x};$$

$$Re_x = \frac{10 \cdot 2,44 \cdot 10^{-3}}{9,055 \cdot 10^{-7}} = 13450.$$

2) Число Нусельта:

$$Nu_x = 0,03 Re_x^{0,813} \cdot \left(\frac{d_{\text{эx}}}{L_{\text{кx}}} \right)^{0,2};$$

									Арк.
									28
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 05.00.00.00 ПЗ				

$$Nu_x = 0,03 \cdot 13450^{0,813} \cdot \left(\frac{2,44 \cdot 10^{-3}}{0,15} \right)^{0,2} = 8,098.$$

3) Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \lambda_x}{d_{\rho,x}};$$

$$\alpha_x = \frac{8,098 \cdot 0,5995}{2,44 \cdot 10^{-3}} = 1989 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

4) Коефіцієнт для визначення ефективності ребер:

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

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

$$l'_{p,\omega} = 2l_{p,x} + (z-1) \frac{\delta_p \tau}{\delta_n};$$

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

$$m_u = 0,5 \cdot 0,01 \sqrt{\frac{2 \cdot 1989}{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 180}} = 1,919.$$

5) Коефіцієнт ефективності ребра:

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

$$\mu_{p,x} = \frac{e^{1,919} - e^{-1,919}}{e^{1,919} + e^{-1,919}} / 1,919 = 0,5.$$

6) Коефіцієнт ефективності всієї поверхні:

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

$$\mu_{o,x} = 1 - \frac{22,6}{27,3} (1 - 0,5) = 0,586.$$

Вихідні параметри

1) Коефіцієнт теплопередачі:

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						29
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

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

$$k = \frac{1}{\frac{1}{1989 \cdot 0,586} + \frac{3,1}{1381 \cdot 0,91}} = 605 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

2) Середньологарифмічний температурний напір:

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

$$\Delta T_{cp} = \frac{(5 - (-3)) - (2 - (-3))}{\ln \frac{5 - (-3)}{2 - (-3)}} = 6,4$$

3) Необхідна площа поверхні теплообміну в зоні випаровування пара:

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

де

$$F_H = \frac{56,4 \cdot 10^3}{605 \cdot 6,4} = 14,5 \text{ м}^2$$

4) Число елементів в ПРТ :

$$n = \frac{F_H}{F_a} = \frac{14,5}{8,75} = 1,7 \text{ приймається 2 шт.}$$

Гідравлічний розрахунок ПРТ

1) Фактор тертя при русі повітря :

$$f = \frac{0,08}{\text{Re}_x^{0,25}} = \frac{0,08}{2695^{0,25}} = 0,0111;$$

2) Втрати тиску повітря :

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

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

де, ρ_x - густина води

3) Масова продуктивність повітря через випарник:

$$G_x = \frac{Q_k}{c_x \cdot \Delta t_x} = \frac{56,4}{1,005 \cdot 5} = 11,3 \text{ кг/с},$$

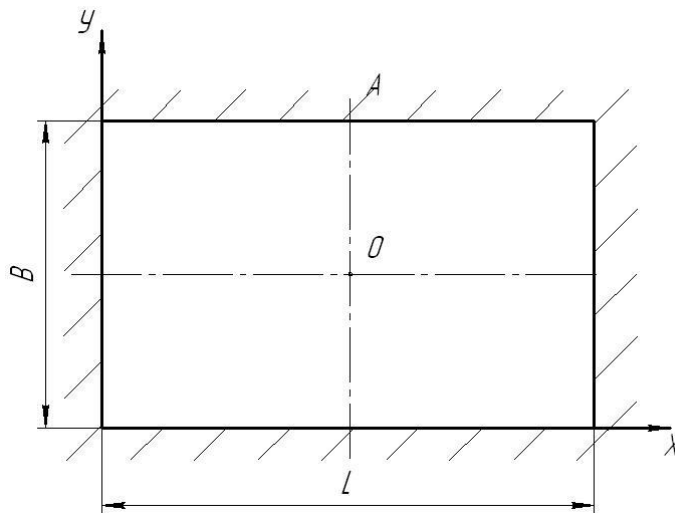
$F = 8,75 + 8,75 = 17,5 \text{ м}^2$ – повна площа поперечного розрізу апарата;

$F_k = (8,75 + 27,3) \cdot 2 = 72,1 \text{ м}^2$ - сумарна необхідна площа поверхні теплообміну конденсатора.

$$\Delta p_x = \frac{997,05 \cdot 1^2}{2} \cdot \frac{1 - 0,0111 \cdot \frac{17,5}{72,1}}{2} = 249 \text{ Па},$$

Міцнісний розрахунок проставної пластини

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



1) Для точки О напруження:

$$\sigma_{x0} = C_2 \cdot p_u \cdot \left(\frac{B}{\delta_{II}} \right)^2$$

$$\sigma_{y0} = C_3 \cdot p_u \cdot \left(\frac{B}{\delta_{II}} \right)^2,$$

2) Для точки А напруження:

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

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

$$\sigma_{x_0} = 0,16 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,4}{1 \cdot 10^{-3}} \right)^2 = 5,1 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{y_0} = C_3 \cdot p_u \cdot \left(\frac{B}{\delta_{II}} \right)^2$$

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

Умови міцності виконуються.

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

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

де C_1 - коефіцієнт [7].

Міцнісний розрахунок насадки

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

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

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

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

2) Рама на ділянці BC' навантажена розподіленим навантаженням:

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

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

									Арк.
									32
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Б142д 05.00.00.00 ПЗ				

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

де, k і n - коефіцієнти

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

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

$$n = 3 + 2k$$

4) Момент опору прямокутного перерізу рами:

$$W = \frac{B \cdot \delta_p^2}{6}, m^3$$

5) Максимальне напруження прогину в рамі:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, Pa$$

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

2.6 Розрахунок змієвикового теплообмінника

У якості проміжного теплообмінника для нагріву води системи гарячого водопостачання використовується змієвиковий теплообмінник, що має гарні властивості по роботі із забрудненими середовищем та ефективні показники теплообміну

Вихідні дані:

Теплопродуктивність ТН - $Q_{\text{ТН}} = 56,4 \text{ кВт}$;

Вхідна температура гріючого теплоносія - $t_{\text{В1}} = 45^\circ \text{C}$

Вихідна температура гріючого теплоносія - $t_{\text{В2}} = 50^\circ \text{C}$;

Вхідна температура теплоносія, що нагрівається, - $t_{\text{Г1}} = 15^\circ \text{C}$;

Вихідна температура теплоносія, що нагрівається, - $t_{\text{Г2}} = 45^\circ \text{C}$;

Термічний опір забруднень по гріючому теплоносію -
 $R_{\text{Г1}} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

Термічний опір забруднень по теплоносію, що нагрівається, -
 $R_{\text{Г2}} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

Теплофізичні властивості води по гріючому контуру при
 $t_{\text{В}} = \frac{45+50}{2} = 47^\circ \text{C}$:

Питома теплоємність - $c_1 = 4,174 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$;

Густина - $\rho_1 = 990 \text{ кг} / \text{м}^3$;

Кінематична в'язкість - $\nu_1 = 0,607 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$;

Коефіцієнт температуропровідності - $a_1 = 1,548 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$;

Коефіцієнт теплопровідності - $\lambda_1 = 0,64 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$;

Середня температура- $t_{\text{w}} = 47^\circ \text{C}$;

Теплофізичні властивості теплоносія (води) по контуру, що нагрівається, визначальна температура $t_{\text{Г}} = 30^\circ \text{C}$:

Питома теплоємність - $c_2 = 4,177 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$;

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		34

Густина - $\rho_2 = 995,2 \text{ кг / м}^3$;

Кінематична в'язкість - $\nu_2 = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$;

Коефіцієнт температуропровідності - $a_2 = 1,48 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$;

Коефіцієнт теплопровідності - $\lambda_2 = 0,618 \text{ Вт / м} \cdot \text{К}$;

Середня температура- $t_w = 30^\circ \text{С}$.

Задаємося конструктивними розмірами теплообмінного апарату:

Кожух виконаний з суцільнотягнутої сталеві труби із сталі 20 зовнішнім діаметром $D_n = 0,680 \text{ м}$ і завтовшки стінок $\delta_{до} = 0,016 \text{ м}$. Змійовик виконано із сталеві трубки із зовнішнім діаметром $d_n = 0,076 \text{ м}$ і завтовшки стінок $\delta_{зм} = 0,004 \text{ м}$. Сердечник, на який монтується змійовик, виконаний із сталеві труби із зовнішнім діаметром $D_{сн} = 0,438 \text{ м}$ з товщиною стінок $\delta_3 = 0,012 \text{ м}$. Товщина дистанційної планки між сердечником і змійовиком приймається рівною $S = 0,008 \text{ м}$. Висота кришки кожуха $h_{крышка} = 0,15 \text{ м}$.

1) Середньологаріфмічна різниці температур

$$\Delta t_{\ln} = \frac{(t_{B2} - t_{B1}) - (t_{Г1} - t_{Г2})}{\ln \frac{t_{B2} - t_{B1}}{t_{Г2} - t_{Г1}}} = \frac{(50 - 45) - (45 - 15)}{\ln \left[\frac{50 - 45}{45 - 15} \right]} = 19,5^\circ \text{С} ;$$

2) Площа проходження трубки змієвика

Внутрішній діаметр дорівнює $d_{вн} = d_n - 2\delta_{зм} = 0,076 - 2 \cdot 0,004 = 0,068 \text{ м}$.

$$F_{зм} = \frac{\pi d_{вн}^2}{4} = 0,785 \cdot 0,068^2 = 0,00363 \text{ м}^2$$

3) Швидкість рідини в трубі приймаємо 1 м/с

4) Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{эжк}}{\nu} ;$$

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

$$Re_1 = \frac{\omega_1 \cdot d_{вн}}{\nu_1} = \frac{1 \cdot 0,068}{0,607 \cdot 10^{-6}} = 1,1 \cdot 10^5$$

- 5) Знаходимо радіус закруглення змійовика по осьовій лінії труби сердечника :

$$R_{зм} = 0,5 \cdot D_{сн} + S + 0,5 \cdot d_{н} = 0,5 \cdot 0,438 + 0,008 + 0,5 \cdot 0,076 = 0,265 \text{ м}$$

- 6) Критичне число Рейнольдса, що відповідає ламінарному режиму течії в трубці змійовика, рівне:

$$Re_{кр.лам} = \frac{16,4}{\sqrt{d_{вн}/R_{зм}}} = \frac{16,4}{\sqrt{0,034/0,1325}} = 32,3$$

- 7) Критичне число Рейнольдса, що відповідає турбулентному режиму течії в трубці змійовика рівно

$$Re_{кр.турб} = 18500 \left(\frac{d_{вн}}{2R_{зм}} \right)^{0,28} = 18500 \left(\frac{0,034}{2 \cdot 0,1325} \right)^{0,28} = 10400 \text{ - турбулентний}$$

режим.

- 8) Число Прандтля $Pr_1 = 4$;
9) Число Нуссельта для турбулентного режиму течії в трубці змійовика рівне:

$$Nu_1 = 0,4 \cdot Re_1^{0,6} \cdot Pr_1^{0,36} \cdot \varepsilon_{уз2}$$

$$\varepsilon_{уз2} = 1 + 1,77 \frac{d_{вн}}{R_{зм}} = 1 + 1,77 \frac{0,068}{0,265} = 1,455 \text{ де - поправка, що враховує вплив}$$

відцентрового ефекту на процес тепловіддачі з боку води по гріючому контуру

$$Nu_1 = 0,4 \cdot (1,1 \cdot 10^5)^{0,6} \cdot 4^{0,36} \cdot 1,455 = 1007$$

- 10) Коефіцієнт тепловіддачі з боку води по гріючому контуру рівний:

					Б142д 05.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		36

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d};$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda_1}{d_{вн}} = \frac{1007 \cdot 0,64}{0,068} = 9479 \frac{Вт}{м^2К}$$

Коефіцієнт тепловіддачі, що визначається з боку води по контуру, що нагрівається.

11) Внутрішній діаметр кожуха ТО рівний:

$$D_{вн} = D_n - 2 \cdot \delta_k = 0,680 - 2 \cdot 0,016 = 0,648 м$$

12) Площа міжтрубного простору по поперечному перерізу ТО рівна:

$$F_{мтр} = \frac{\pi}{4} (D_{вн}^2 - D_{сн}^2) - 2\pi R_{зм} d_n = \frac{\pi}{4} (0,648^2 - 0,438^2) - 2\pi \cdot 0,265 \cdot 0,076 = 0,0525 м^2$$

13) Швидкість води в міжтрубному просторі ТО приймається рівною 1 м/с

14) Знаходимо критерій Рейнольдса :

$$Re_2 = \frac{\omega_2 \cdot d_{вн}}{v_2} = \frac{1 \cdot 0,068}{0,805 \cdot 10^{-6}} = 0,84 \cdot 10^5,$$

тобто режим руху пари в міжтрубному просторі є турбулентним.

15) Число Прандтля $Pr_2 = 3,2$

16) Число Нуссельта для турбулентного режиму течії води в міжтрубному просторі дорівнює :

$$Nu_2 = 0,008 \cdot Re_2^{0,9} \cdot Pr_2^{0,433} = 0,008 \cdot (0,84 \cdot 10^5)^{0,9} \cdot 3,2^{0,433} = 360$$

17) Коефіцієнт тепловіддачі з боку води по коонтуру, що нагрівається, рівний:

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		37

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_2}{d_H} = \frac{360 \cdot 0,618}{0,076} = 2927 \frac{Вт}{м^2 К}$$

18) Коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + R_f + \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{d_H}{d_{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{2927} + 2,7 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{9479} \cdot \frac{0,076}{0,068}} = 1374 \frac{Вт}{м^2 К}$$

19) Площа теплообмінної поверхні ТО рівна:

$$F_p = \frac{Q_{ТО}}{K \cdot \theta_t} = \frac{56,4 \cdot 10^3}{1327 \cdot 19,5} = 2,2 \text{ м}^2$$

20) З урахуванням 20% запасу приймаємо площу теплообмінної поверхні ТО, рівної :

$$F_{пр} = 1,2 F_p = 2,6 \text{ м}^2$$

21) Довжина труби зміювика ТО:

$$L = \frac{F_{пр}}{\pi \cdot d_{вн}} = \frac{2,6}{3,14 \cdot 0,068} = 12,2 \text{ м}$$

22) Число витків зміювика ТО:

$$n = \frac{L}{2\pi R_{зм}} = \frac{12,2}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,265} = 7,3 \approx 8$$

23) Задаємося кроком навивки зміювика на сердечника $t = 0,05 \text{ м}$

Довжина зміювика ТО рівна:

$$L_{зм} = n \cdot t = 8 \cdot 0,05 = 0,4 \text{ м}$$

24) Задаємо односторонній припуск по довжині труби зміювика рівним $l=0,4 \text{ м}$

25) Довжина теплообмінної змієвикової труби з урахуванням припусків на вхідному і вихідному її ділянці рівна:

$$L_1 = L + 2 \cdot l = 12,2 + 2 \cdot 0,4 = 13 \text{ м}$$

26) Довжина кожуха

$$L_k = L_{зм} \cdot 1,1 + 2 \cdot h_{кръшки} = 0,4 \cdot 1,1 + 2 \cdot 0,15 = 0,74 \text{ м}$$

										Арк.
										38
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

При роботі енергетичного обладнання працівники можуть зазнавати впливу ряду небезпечних і шкідливих факторів, які можуть вплинути на їхнє здоров'я і безпеку. Основні з них включають [7]:

1. Ризики ураження електрикою
2. Механічні пошкодження від роботи судів під тиском
3. Вибухонебезпечні властивості холодоагентів та пожежна небезпека
4. Вплив шуму та вібрації
5. Вплив низьких температур

Ураження електрикою.

Згідно з Правилами пристрою електроустановок, всі електричні установки діляться на дві групи залежно від напруги: до 1000 В і понад 1000 В. На підприємствах холодної промисловості, а також у харчовій промисловості та торгівлі знаходяться в експлуатації установки лише першої групи.

Виробничі приміщення всіх видів в залежності від ступеня небезпеки ураження електричним струмом поділяються на три категорії:

- приміщення без підвищеної небезпеки - сухі, з підлогами з струмопровідних матеріалів, без струмопровідного пилю та без великої кількості заземлених металевих предметів (адміністративні, конторські, навчальні приміщення);
- приміщення з підвищеною небезпекою - сирі, із відносною вологістю повітря понад 75%, температурою повітря понад 30°C; з підлогами з струмопровідних матеріалів (металеві, цегляні, бетонні), з можливістю одночасного дотику до металевих корпусів електрообладнання та заземлених металоконструкцій (вентиляційні камери, механічні майстерні, камери холодильників та ін.);
- особливо небезпечні приміщення - особливо сирі, з відносною вологістю повітря, близькою до 100%, наявністю хімічно активного

									Арк.
									39
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

Б142д 05.00.00.00 ПЗ

середовища та двох і більше ознак, що характеризують приміщення з підвищеною кислотністю.

Машинні та апаратні зали аміачних холодильних установок належать до цієї категорії. Обслуговування електродвигунів холодильних установок. На електродвигунах і механізмах, що наводяться ними, повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрям обертання механізму і двигуна.

При кнопковому включенні та відключенні обладнання кнопки включення повинні бути заглиблені на 3-5 мм за габарити пускової коробки. На вимикачах, контакторах, магнітних пускачах, запобіжниках тощо повинні бути написи, що вказують, до якого електродвигуна вони відносяться.

Плавкі вставки запобіжників застосовуються лише каліброваними із зазначенням на клеймі номінального струму вставки. Клеймо ставиться заводом-виробником чи електричною лабораторією.

Засоби захисту від ураження електричним струмом розділяють на:

- Заземлення
- Занулення
- Захисне відключення

Заземлення – мета захисного заземлення створити надійний електричний контакт між металевими, нетоконесучими частинами електроустановок і землею. Пристрій заземлення необхідний: при напрузі 500 В і вище постійного та змінного струму - у всіх випадках; при напрузі вище 36 В змінного струму та 110 В постійного струму - у приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та у зовнішніх установках; при всіх напругах змінного та постійного струму - у вибухонебезпечних приміщеннях.

Заземленню підлягають корпуси електричних машин, апаратів, світильників; корпуси машин і механізмів, що рухаються електродвигуном; каркаси розподільчих пристроїв, пультів керування щитів; металеві

					<i>Б142д 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		40

конструкції розподільних пристроїв, металеві оболонки та броня кабелів, сталеві труби електропроводки.

Заземлювачі можуть бути природними та штучними. Як природні заземлювачі можна використовувати металеві конструкції, надійно з'єднані із землею. Природні заземлювачі зв'язуються з заземлюючою мережею не менш ніж у двох місцях. Як штучні заземлювачі використовують сталеві труби діаметром 50-70 мм, заглиблені на 2,5-3,0 м.

У приміщеннях промислових підприємств зазвичай по периметру стін прокладають заземлювальний контур, виконаний із сталеві смуги. Заземлюючий контур не менше ніж у двох місцях з'єднується із заземлювачем. Всі під'єднання до заземлювача і заземлювального контуру здійснюють за допомогою зварювання, а до корпусів машин і апаратів - зварюванням або надійним болтовим з'єднанням з установкою пружинних шайб для запобігання самовідкручування.

Занулення – з'єднання металевих частин електроустановки, що не знаходяться під струмом, із заземленим нульовим дротом (рис. 25, б) називають зануленням. Його застосовують у чотирипровідних електричних ланцюгах із наглухо заземленим нейтральним проводом. У ланцюзі нульового дроту, що використовується як ланцюг заземлення, не дозволяється встановлення запобіжників та роз'єднуючих пристроїв.

Захисне відключення. Систему захисту, що автоматично відключає електроустановку від мережі при виникненні небезпеки ураження людини електричним струмом, називають захисним відключенням [(рис. 25, в). При виникненні напруги на корпусі електродвигуна отримує живлення котушка електромагнітного реле, її сердечник втягується, і розмикається електричний ланцюг, що живить електродвигун.

Робота судів під тиском

Найчастішими причинами аварій та вибухів судин, що працюють під тиском, є перевищення гранично допустимого тиску, порушення температурного режиму, втрата посудиною механічної міцності, порушення технологічного режиму роботи, недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу та відсутність необхідного технічного нагляду.

При експлуатації балонів, крім перерахованих, причинами вибухів можуть бути удари, переповнення зрідженими газами, помилкове використання балонів не за призначенням, потрапляння олії на вентиль кисневого балона, швидке наповнення балонів із різким підвищенням температури.

Як правило, судини виготовляють звареними. До зварювання судин і будь-яких їх елементів допускаються зварювальники, які мають спеціальні посвідчення, видані кваліфікаційною комісією Держгіртехнагляду. Якість зварних з'єднань контролюється на заводі-виробнику із застосуванням ультразвукової дефектоскопії, просвічуванням рентгенівськими або гамма-променями, механічних випробувань, металографічного дослідження.

Після виготовлення всі судини підлягають гідравлічному випробуванню пробним тиском. Час витримки судини під пробним тиском залежить від товщини стінки судини: до 50 мм-10 хв, 50-100 мм -20 хв, понад 100 мм -30 хв. Литі судини незалежно від товщини стінки витримують під пробним тиском 60 хв. Посудина вважається таким, що витримав випробування, якщо не виявлено ознак розривів, течі, слізок у зварних з'єднаннях та основному металі, видимих залишкових деформацій.

Зварювальні роботи при монтажі, у тому числі й виконання прихваток, повинні проводитися зварювальниками, які мають посвідчення на право провадження зварювальних робіт на судинах, що працюють під тиском. За

					Б142δ 05.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		42

несприятливих атмосферних умов під час монтажу (дощ, вітер, снігопад) зварювальні роботи проводять при надійному захисті зварювальних робіт.

Таблиця 3.1 – Тиск при гідравлічному випробуванні

Тип посудини	Робочий тиск, МПа	Пробний тиск, МПа
Всі крім литих	0,5	Більше в 1,5 рази
Всі крім литих	0,5 і вище	Більше 1,25 рази
Литі	Всі тиски	Більше 1,5 рази

Балони з газом, що знаходяться на тривалому складському зберіганні, після закінчення терміну огляду піддають вибірковому огляду: 5 шт. із партії 100 балонів, 10 шт. з партії до 500 балонів та 20 шт. із партії понад 500 балонів. За задовільних результатів вибіркового огляду дозволяється продовжити термін зберігання, але не більше ніж на 2 роки. При незадовільних результатах огляду газ з балонів видаляють і кожен балон оглядають.

Заповнюють балони на наповнювальних станціях відповідно до норм, наведених у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Норми наповнення балонів з холодильним агентом

Газ	Маса на 1 л об'єму, кг	Місткість балону на 1 кг газу, л
Аміак	0,5	1,76
R11	1,2	0,836
R12	1,1	0,9
R13	0,6	1,67
R22	1,8	1,0

Забороняється наповнювати балони в наступних випадках: якщо закінчився термін періодичного освідчення балонів; відсутні встановлені

Правилами пристрою та безпечної експлуатації судин, що працюють під тиском тавра; несправні вентиля; пошкоджено корпус; забарвлення та написи не відповідають правилам. Будь-який ремонт балона повинен проводитись на наповнювальних станціях або у спеціалізованих майстернях.

Зберігання та перевезення балонів. Склад для зберігання аміаку місткістю до 10 т (500 сорокалітрових балонів) видаляють від складських та виробничих будівель на відстань не менше 20 м, від житлових приміщень – на 50 і від громадських будівель на 100 м. Склад роблять одноповерховим покриттям, стіни та покриття виконують з вогнетривких матеріалів; двері повинні відчинятися назовні. Висота складу не менше 3,25 м від підлоги до нижніх виступаючих частин покриття. Приміщення складів повинні мати природну або штучну вентиляцію, температура у складі не повинна перевищувати 35 °С; склад обладнають охолодними приладами. До складу для зберігання аміачних балонів дозволяється входити лише з протигазом.

Вибухонебезпечні властивості холодоагентів та пожежна безпека

Найбільш небезпечними властивостями аміаку є його токсичність та вибухонебезпечність. Перебування людини протягом декількох хвилин у приміщенні з об'ємною часткою аміаку в повітрі - 0,5-1% призводить до смертельного результату або сильного отруєння. Температура самозаймання аміаку 630 °С. При об'ємній частці повітря понад 11 % і наявності відкритого полум'я аміак починає горіти.

Суміш пари аміаку з повітрям при об'ємній частці 15-28% вибухонебезпечна. Максимальний тиск вибуху суміші становить близько 0,45 МПа. Аміак починає розкладатись при температурі вище 250 °С.

Газоподібний аміак має сильну подразнюючу дію на слизові оболонки очей і верхніх дихальних шляхів, на спітнілі ділянки шкіри. Високі концентрації аміаку викликають опіки очей, носової порожнини, горла. При важких

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		44

отруєннях аміаком спостерігаються утруднене дихання, сильний кашель, ядуха, спазми голосової щілини.

Хладон-22 токсичніший, ніж хладон-12. При об'ємній частці R22 у повітрі більше 30% може настати задуху. У присутності заліза починає розкладатися при 550°C з утворенням водню фтористого, хлористого водню і невеликої кількості фторфосгену. Не горить, у суміші з повітрям не спалахує і не вибухає. Симптоми отруєння при вдиханні повітря з високими концентраціями хладонів чи продуктів розкладання проявляються через 30—60 хв. З'являються головний біль, слабкість, почастищення пульсу та дихання, можуть спостерігатися нудота і блювання.

Токсичність холодоагентів. Відповідно до стандартної класифікації шкідливих речовин, встановлені чотири класи небезпеки залежно від семи показників токсичного впливу, включаючи середню смертельну концентрацію для піддослідних тварин та гранично допустиму концентрацію (ГДК) у повітрі робочої зони. У порівнянні з іншими показниками ГДК найбільш повно представляє токсичні властивості холодоагентів, однак одного цього параметра недостатньо для оцінки реальної небезпеки роботи з холодоагентом в умовах експлуатації.

Основний вид впливу холодоагенту на організм людини – інгаляційний вплив його пари. У разі розгерметизації обладнання масова частка холодоагенту в повітрі за інших рівних умов пропорційна тиску і щільності його пари, тобто при однакових ГДК і одній і тій же температурі холодоагент з більш високим тиском насиченої пари і щільністю потрапляє в повітря робочої зони швидше і представляє більшу небезпеку, ніж холодоагент з низьким тиском насиченої пари та щільністю.

Водні розчини NaCl та CaCl₂ (розсоли) впливають головним чином на шкіру людини. Пил хлористого кальцію викликає подразнення слизових оболонок очей, верхніх дихальних шляхів. Розсоли мають сильну корозійну дію на метали. Для захисту систем та апаратів від корозії в розсоли додають

					<i>B142d 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		45

інгібітори (сповільнювачі корозії). Як інгібітори використовують хромати натрію Na_2CrO_4 , калію K_2CrO_4 , біхромат натрію $\text{NaCrO}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ з їдким натром NaOH , двометалевий фосфат натрію $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Їдкий натр має зневоднювальну властивість. При попаданні його на шкіру можуть утворитися альбумінати і стягуючі рубці. Біхромат натрію токсичний і виявляє роз'їдає дію на шкіру людини. Приготування розсолів та додавання в розчин інгібіторів виробляють у спецодязі, рукавичках та захисних окулярах.

Етиленгліколь – сиропоподібна безбарвна прозора рідина. Хімічно активний, для зниження його корозійної дії розчин додають триетаноламінфосфат. Етиленгліколь горючий і токсичний. Температура спалаху пари етиленгліколю $120\text{ }^\circ\text{C}$, температура самозаймання $380\text{ }^\circ\text{C}$, концентраційні межі займання пари повітря 3,8—6,4 %. При потраплянні до організму рідкий етиленгліколь викликає отруєння, діючи на судини, нервову систему, нирки. Пара етиленгліколю при вдиханні небезпечного отруєння не створює. При попаданні на шкіру шкідливої дії не чинить.

При роботі з етиленгліколем необхідне суворе дотримання заходів пожежної безпеки. Приміщення, в яких працюють із етиленгліколем, обладнають системою припливно-витяжної вентиляції.

Вплив шуму та вібрації

Виробничий шум. Виробничі процеси супроводжуються шумом і вібрацією, джерелами виникнення яких є машини з нерівноваженими масами, що обертаються, технологічні системи, установки і апарати, в яких переміщення рідин і газів відбувається з великими швидкостями і супроводжується пульсацією, що пульсують електромагнітні поля.

Виробничий шум є поєднанням безладних неприємних для сприйняття звуків різної інтенсивності та частоти.

Орган слуху людини сприймає звукові хвилі із частотою від 16 до 20 000 Гц. Змінний надлишковий тиск, що виникає у повітряному середовищі від звукових хвиль, називають звуковим тиском p . Поширення звукових хвиль

									Арк.
									46
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

супроводжується перенесенням енергії, що характеризується інтенсивністю звуку. Мінімальні значення звукового тиску p_0 і інтенсивності звуку, що розрізняються вухом людини, називають пороговими.

Вібрація. Механічні коливання обладнання та його вузлів, комунікацій та споруд при дозвукових та частково звукових частотах називають вібрацією.

Розрізняють локальну (місцеву) вібрацію, що передається через руки, та загальну вібрацію, що передається через опорні поверхні на тіло людини.

Локальна вібрація, що супроводжує роботу з ручним механізованим інструментом, може викликати м'язові та кісткові деформації, порушення кровопостачання та чутливості шкіри, а в окремих випадках – вібраційну хворобу.

Загальна вібрація може викликати суттєві порушення функцій організму, а за великої інтенсивності у певному діапазоні частот — розрив тканин, струс мозку, порушення серцевої діяльності та нервової системи.

Вплив низьких температур

Аміачні холодильні установки. До індивідуальних засобів захисту на аміачних холодильних установках відносять фільтруючі протигази типу КД, апарати стисненого повітря типу АСВ або ізолюючі протигази типу ІІІ, газонепроникні костюми, гумові рукавички та чоботи, захисні окуляри.

Протигази типу КД використовують три вміст у повітрі приміщення не менше 18% вільного кисню (за обсягом) і не більше 0,5% аміаку. Протигаз складається з маски, гофрованої трубки і коробки, що фільтрує.

Входити до приміщення, загазованого аміаком, без протигазу забороняється. Якщо під час роботи в протигазі з'являється навіть незначний запах аміаку, необхідно негайно вийти із загазованого приміщення та замінити фільтруючу коробку на нову.

При значних витоках аміаку виходи з компресорного цеху перегороджуються зоною аміачно-повітряної суміші, яку подолати без індивідуальних засобів захисту неможливо. Під час роботи обслуговуючий

									Арк.
									47
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата					

Б142δ 05.00.00.00 ПЗ

персонал компресорного цеху повинен мати протигази при собі і негайно надягати їх при підвищенні концентрації пари аміаку, раптових порушеннях у роботі установки, при зливі аміаку з цистерни в систему, а також при проведенні робіт, пов'язаних з небезпекою виходу пароподібного або рідкого аміаку, за вказівкою особи, відповідальної за безпечну експлуатацію установки.

Холодовий стрес та робота на холоді. Холодовий стрес може виявлятися у багатьох різних формах, впливаючи на тепловий баланс всього тіла, а також на локальний тепловий баланс кінцівок, шкіри та легень. Тип і природа стресу докладно описані в інших розділах цього розділу. Природним засобом боротьби з холодним стресом є поведінкові дії, зокрема зміна та припасування одягу. Достатній захист запобігає охолодженню. Однак сам захист може спричинити небажані несприятливі наслідки (рисунки 3.1).

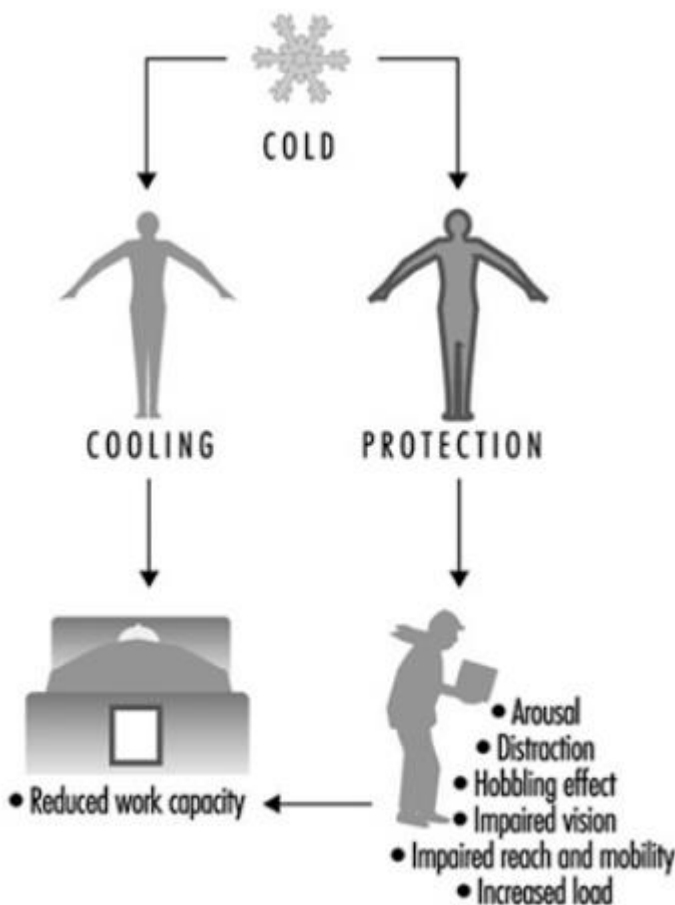


Рисунок 3.1 – Вплив холоду на людину

Охолодження всього тіла або його частин призводить до дискомфорту, порушення сенсорної і нервово-м'язової функції і, в кінцевому рахунку, до холодової травми. Дискомфорт від холоду, як правило, є сильним стимулом до поведінкових дій, зменшуючи або усуваючи ефект. Запобігання переохолодженню шляхом носіння теплозахисного одягу, взуття, рукавичок і головного убору знижує рухливість і спритність робітника. Існує «ціна захисту» в тому сенсі, що рухи стають обмеженими і більш стомлюючими. Постійна необхідність регулювання обладнання для підтримки високого рівня захисту вимагає уваги і оцінки і може поставити під загрозу такі фактори, як пильність і час реакції. Однією з найважливіших завдань досліджень в області ергономіки є поліпшення функціональності одягу при збереженні захисту від холоду.

При дії холоду поведінкові заходи знижують ефект, що охолоджує, і, в кінцевому рахунку, дозволяють підтримувати нормальний тепловий баланс і комфорт. Недостатні заходи викликають терморегуляторні, фізіологічно компенсаторні реакції (вазоконстрикцію та озноб). Спільна дія поведінкових та фізіологічних пристроїв визначає результируючий ефект даного холодового стресу. Вони поділяються на гострі ефекти (що виникають протягом хвилин або годин), довготривалі ефекти (дні або навіть роки) та інші ефекти (не пов'язані безпосередньо з реакціями, що охолоджують). сам по собі).

Гострі ефекти охолодження

Найбільш очевидним та прямим наслідком холодового стресу є негайне охолодження шкіри та верхніх дихальних шляхів. Реагують теплові рецептори та ініціюється послідовність терморегуляторних реакцій. Тип і величина реакції визначаються насамперед видом та ступенем охолодження. Як згадувалося раніше, периферичні вазоконстрикції та тремтіння є основними захисними механізмами. Обидва сприяють збереженню тепла тіла та внутрішньої температури, але порушують серцево-судинні та нервово-м'язові функції.

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		49

Однак психологічні ефекти впливу холоду також змінюють фізіологічні реакції складним і почасти невідомим чином. Холодне середовище викликає відволікання тому, що вимагає підвищених розумових зусиль, щоб упоратися з новими чинниками стресу (уникати охолодження, вживати захисних заходів тощо. буд.). З іншого боку, холод також викликає збудження тому, що підвищений рівень стресу підвищує симпатичну нервову активність і, тим самим, готовність до дії. У нормальних умовах люди використовують лише незначну частину своїх можливостей, тим самим зберігаючи велику буферну ємність для непередбачених чи складних умов.

Холодні Травми

Серйозні травми холодним повітрям у більшості випадків можна запобігти, а в цивільному житті вони трапляються лише спорадично. З іншого боку, ці травми часто мають велике значення на війні та катаклізмах. Тим не менш, багато працівників ризикують отримати холодові травми у своїй повсякденній діяльності. Робота на відкритому повітрі у суворих кліматичних умовах (наприклад, в арктичних та субарктичних районах, наприклад, рибальство, сільське господарство, будівництво, розвідка нафти та газу та оленярство), а також робота в холодних умовах (наприклад, у харчовій чи складській промисловості) пов'язані з небезпекою обмороження.

Холодові травми може бути як системними, і локальними. Місцеві ушкодження, які найчастіше передують системній гіпотермії, є дві клінічно різні нозології: обмороження та незамерзання.

					<i>Б142δ 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		50

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теплонасосна технологія енергозбереження : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв. – Суми : СумДУ, 2011. – 283 с.
2. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2018. – 364 с.
3. Heat pump fundamentals and applications / Walter Grassi. University of Pisa, Italy. 2018. – 180 p.
4. Методичні вказівки з курсового і дипломного проектування «Розрахунок теплообмінників пластинчасто-ребристого типу з повітряним охолодженням» курсу «Холодильні установки»/ укладачі: С. О. Шарапов, Ю. М. Вертепов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 24 с.
5. Энергоэффективные технологии в отоплении и вентиляции. Каталог – Mitsubishi Electric, 2015.
6. Кліматичні системи 2019. Каталог – Mitsubishi Electric, 2019.
7. Пожарова О. В. Охорона праці : навчальний посібник / О. В. Пожарова. - Одеса, 2022. - 86 с.

					<i>Б142д 05.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		51