

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: «Розрахунок випарника теплонасосної установки
типу «повітря-вода»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Виконавець роботи _____ Верещук Андріан Богданович

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

Керівник роботи _____
(підпис)

Мелейчук С. С.,

(прізвище, ініціали)

к.т.н., доцент 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)

ЗМІСТ

С.

1. ЗАГАЛЬНЕ УЯВЛЕННЯ ПРО ТЕПЛОНАСОСНІ УСТАНОВКИ.....	3
2. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ ТЕПЛОНАСОСНОЇ УСТАНОВКИ	11
2.1. Вихідні дані.....	11
2.2. Принципова схема системи гарячого водопостачання типу «повітря- вода»	11
2.3. Розрахунок циклу та інтегральних параметрів ТНУ	14
2.4. Випарник повітряного типу	19
3. Охорона праці.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ					
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Розрахунок випарника теплонасосної установки типу «повітря-вода»			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Верещук						2	27	
Перевір.		Мелейчук						ХКдн-84др		
Н. контр.										
Затв.		Ванесв								

1. ЗАГАЛЬНЕ УЯВЛЕННЯ ПРО ТЕПЛОНАСОСНІ 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.

Джерела низькопотенційної теплової енергії:

- Повітря
- Вода
- Ґрунт.

Повітря.

Зовнішнє повітря, будучи абсолютно безкоштовним і загальнодоступним, є джерелом тепла. Проте теплові насоси, що застосовують саме повітря, мають фактор сезонного навантаження (SPF) в середньому нижче на 10-30% порівняно з водяними тепловими насосами. Це пояснюється такими обставинами:

- швидким зниженням потужності та продуктивності з падінням зовнішньої температури;
- відносно великою різницею температур конденсації та випаровування в період мінімальних зимових температур, що загалом знижує ефективність процесу;
- енерговитратами на розморожування випарної батареї та функціонування відповідних вентиляторів.

В умовах теплового та вологого клімату на поверхні випарника в діапазоні від 0 до 6 ° С утворюється мряка, що веде до зниження потужності та продуктивності теплового насоса. Інші зменшують площу вільної поверхні та перешкоджають проходженню повітря. Як наслідок, знижується температура випаровування, що, у свою чергу, сприяє наростанню інею та подальшому неухильному зниженню продуктивності аж до можливої повної зупинки

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

агрегату внаслідок спрацьовування контрольного датчика низького тиску, якщо раніше не буде усунуто зледеніння.

Розморожування батареї здійснюється шляхом інверсії охолоджуючого циклу чи іншими, хоч і менш ефективними способами.

Енергоспоживання має тенденцію до зростання. Загальний коефіцієнт продуктивності COP скорочується із збільшенням частоти розморожування. Застосування спеціальної системи контролю, що забезпечує розморожування на вимогу (тобто коли воно фактично необхідне), а не періодичне, може суттєво підвищити загальну ефективність.

Ще одне джерело тепла в житлових і торговельно-адміністративних спорудах - вентиляційне повітря, що відводиться. Тепловий насос регенерує тепло з повітря, що відводиться і забезпечує приготування гарячої води або теплого повітря для опалення приміщень. У цьому випадку, однак, потрібне постійне вентилявання протягом усього опалювального сезону або навіть цілого року, якщо передбачено кондиціонування приміщень у літній період. Існують апарати, в яких конструктивно спочатку закладена можливість використання і відведеного вентиляційного, і зовнішнього повітря. У деяких випадках теплові насоси, що застосовують повітря, що відводиться, використовуються в комбінації з рекуператорами "повітря-повітря".

Повітря як універсальний теплоносій використовують у великих установках цілорічного кондиціонування. Він має низькі значення коефіцієнтів тепловіддачі, тому для зменшення поверхні випарника доводиться знижувати температуру кипіння робочого тіла, внаслідок цього зменшується ступінь досконалості теплонасосної установки. Дані випробування таких установок, що використовують повітря як джерело тепла, свідчать, що середній коефіцієнт η за опалювальний сезон не перевищує 2 - 2,5. У періоди пік, тобто при епізодично низьких температурах зовнішнього повітря, включають запасні електронагрівачі. Найкращим способом боротьби з інеєм є його автоматичне розморожування, що проводиться періодично.

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Тепловий насос призначений для використання енергії, яка отримується від джерела тепла низької температури. Теплові, енергетичні та економічні характеристики теплових насосів тісно взаємопов'язані з характеристиками джерел, у тому числі насоси беруть тепло. Ідеальне джерело тепла має давати стабільну високу температуру протягом опалювального сезону, не бути корозійним та забруднюючим, мати сприятливі теплофізичні характеристики, не вимагати суттєвих інвестицій та витрат на обслуговування. Найчастіше наявне джерело тепла є ключовим фактором, що визначає експлуатаційні характеристики теплового насоса.

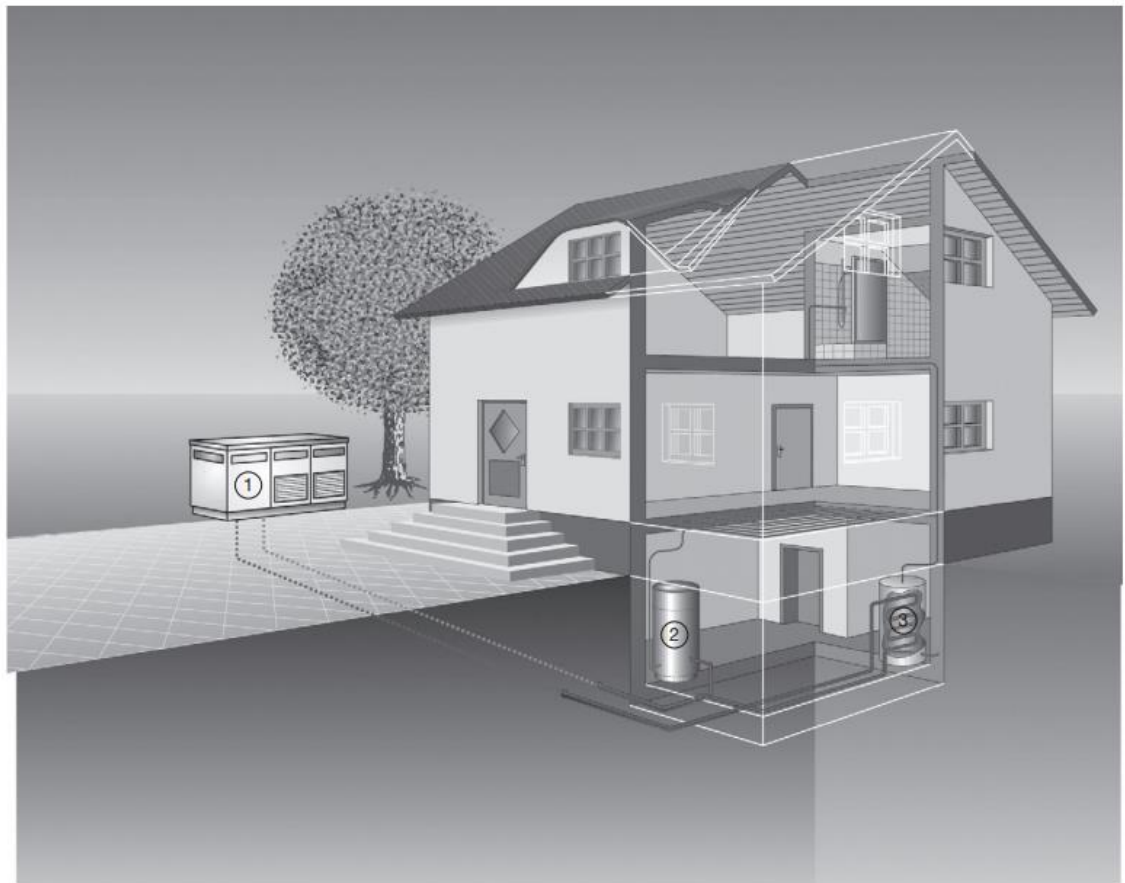


Рисунок 1.1 – Умовна схема теплонасосної установки типу повітря-вода,

1 – зовнішній теплообмінний блок, 2 – силова установка теплового насосу, 3 – бак-акумулятор

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

Теплові насоси повітря-вода або повітряні теплові насоси втілюють найсучасніші технології, найбільш перспективні для застосування і розвитку зараз і в майбутньому. Невичерпним джерелом тепла для них є необмежений повітряний простір, вони безпечні для екології і не виробляють шкідливі речовини в атмосферу. Існують різні типи теплових насосів, але зараз зупинимося саме на установках «повітря-вода».

Джерелом низькопотенційного тепла для них є навколишнє повітря. Використовуючи для роботи приводу 1 кВт електроенергії з мережі, повітряний тепловий насос «виготовляє» до 5 кВт теплової енергії для обігріву будинку та нагрівання води.

Приклад роботи теплового насосу «повітря вода».

В основі роботи повітряного теплового насоса лежить процес акумуляції низькопотенційного тепла повітря при випаровуванні, що циркулює в замкнутому контурі холодоагенту, та подальшому перенесенні тепла в опалювальну систему при конденсації холодоагенту.

Зовнішнє повітря прямує вентилятором на теплообмінник випарника теплового насоса. У теплообміннику знаходиться рідкий холодоагент, температура якого завжди нижча від зовнішнього повітря. При надходженні низькопотенційного тепла зовнішнього повітря холодоагент закипає і переходить у стан розігрітої пари.

Після цього холодоагент у газоподібному стані надходить у компресор, де піддається сильному стиску. При стисканні тиск холодоагенту, а, отже, і температура середовища ще більше зростає. Механічна енергія компресора перетворюється на теплову енергію.

Холодоагент в сильно розігрітому і стиснутому стані надходить на теплообмінник конденсатора, де охолоджується і віддає тепло системі опалення. При цьому холодоагент конденсується і переходить у суміш рідини та пари.

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

Для ще більшого охолодження суміш рідкого холодоагенту пропускається через розширювальний клапан, після чого тиск падає до початкового значення і рідкий холодоагент знову надходить у випарник. Цикл повторюється.

Комплект обладнання повітряного теплового насоса складається з:

- зовнішнього моноблока або двох блоків (внутрішнього та зовнішнього – спліт система),
- бака для гарячої води або бойлера з вбудованим ТЕНом (при роботі в парі з додатковим електронагрівачем – у бівалентному режимі),
- системи розподілу тепла (теплі підлоги, фанкойли, конвектори або радіатори),
- автоматики керування (датчики, термостати керування, контролери).

Завдяки доступності джерела тепла – зовнішнього повітря застосування повітряних теплових насосів дуже різноманітно.

Повітряні теплові насоси встановлюють:

- для систем опалення приватних будинків, особняків, багатоквартирних будинків, адміністративних будівель чи установ;
- для нагрівання води у басейнах;
- для опалення теплиць та фермерських господарств;
- для опалення виробничих будівель;
- для влаштування систем опалення в нових будинках;
- для покращення або заміни газових та інших котелень у вже давно збудованих будинках.

Переваги теплових насосів «повітря-вода»

- Найбільш економічно вигідний тип теплових насосів – з мінімальними капіталовкладеннями та низькими експлуатаційними витратами.

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

- Універсальна функціональність для найкращого комфорту: робота на опалення, опалення та кондиціонування, нагрівання води.
- Є високотемпературні та середньотемпературні моделі для роботи з радіаторами, конвекторами, теплою підлогою та фанкойлами (для кондиціонування).
- Висока енергоефективність повітряного теплового насоса, високий коефіцієнт перетворення енергії: COP - до 5,0.
- Клас енергоефективності дуже високий: A+++.
- Широкий модельний ряд, можливість встановлення у каскаді.
- Живлення від однофазної чи трифазної мережі.
- Можлива робота в автономному режимі або в комплексі із котлом.
- Погодозалежне керування, програмовані режими роботи, керування через інтернет.
- Управління кількома контурами опалення, регулювання температури нагрівання води для побутових потреб, продуктивне нагрівання води для басейну.
- Можливість керування додатковими джерелами тепла: баком-акумулятором, електронагрівачем або сонячними колекторами.
- Легкий монтаж та просте обслуговування.
- Максимальна економія витрат під час оформлення тарифу на електроопалення.

Особливості застосування повітряних теплових насосів

З урахуванням зниження теплопродуктивності повітряного теплового насоса за дуже низьких температур повітря, починаючи з певної температури (-7...-11°C), рекомендується підключення додаткового нагрівача (котла, електронагрівача та ін. джерела тепла). Тим самим знімається пікове навантаження з теплового насоса, і максимальна проектна потужність, а відтак і вартість усієї системи, значно знижується. Такий бівалентний режим

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

роботи теплового насоса за допомогою додаткового нагрівача вважається найбільш економічно виправданим і забезпечує найшвидшу окупність вкладених коштів.

Монтаж повітряних теплових насосів не вимагає спеціальних дозволів або дорогих земляних робіт, не потрібне місце для буріння свердловин або велика ділянка для теплового колектора. Зовнішній блок може бути вилучений на деяку відстань від будинку, кріпитися на стіну або на доріжку біля будинку. Внутрішній блок зазвичай навісний, має компактні розміри.

Завдяки інноваційним енергозберігаючим технологіям теплові насоси Hitachi повітря-вода показують сезонну ефективність вищого класу, тому залишаються найпопулярнішими і затребуваними на ринку теплотехнічного обладнання. Повітря-вода - теплові насоси, які зможуть забезпечити комфорт та економію на довгі роки!

Охолодження за допомогою теплового насоса

Кожен тепловий насос має особливість, яка відрізняє його від інших котлів або опалювальних агрегатів: він має як холодна, так і гаряча сторона. Для обігріву використовується гаряча сторона, а можна використовувати холодну для охолодження. Оскільки все більше будинків утеплюються, охолодження стає ефективнішим. Ізоляція захищає як від надмірної спеки, так і від надмірного холоду. Охолоджувальні стелі практичні там, де охолодження має бути особливо ефективним. А ідеальне поєднання теплої підлоги та охолоджуючої стелі. Обидва можна використовувати для опалення або охолодити. Оскільки це поверхні, обидві переважно нагрівають або охолоджують за допомогою випромінювання. Підіймається тепло, робить теплу підлогу найбільш ефективним як засіб обігріву, а холодні раковини, тому охолодження найбільш ефективно за допомогою охолоджуючої стелі.

Поєднання системи теплового насоса з контрольованою аерацією та вентиляцією житлових приміщень використання утилізації тепла може підвищити комфорт проживання. Виготовляє систему вентиляції більш

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

ефективне охолодження приміщень за допомогою аерації. Ефективність можна підвищити подальше використання геотермального ґрунтового теплообмінника. Охолодження стає все більш важливим, особливо для комерційного використання (наприклад, в офісі, будівлі та готелі тощо). Охолодження також важливе для великих систем теплових насосів і тепла насоси в житлових кварталах.

Існує два способи охолодження:

1) Холодна сторона використовується безпосередньо для охолодження, без включення теплового насоса. Це є те, що називається «вільним конвективним охолодженням».

2) Тепловий насос працює в зворотному порядку, що називається «активним оборотним охолодженням».

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		10

2. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ ТЕПЛОАСОСНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Вихідні дані

Вихідні дані для розрахунку теплоасосної установки полягають у визначенні температурних режимів та навантажень на систему гарячого водопостачання з визначенням інтегральних параметрів теплообмінника та його послідуєчого розрахунку. Теплоасосна установка прийнята типу «повітря-вода», тобто визначальним при розрахунку будуть параметри повітря та тип схемної реалізації випарника.

- середня температура повітря довкілля в найбільш холодні місяці року експлуатації теплоасосної установки $t_{СПП} = -15^{\circ}C$;
- температура санітарної води на вході в систему ГВП $t_{B1} = 15^{\circ}C$;
- температура санітарної води на виході з системи ГВП $t_{B2} = 45^{\circ}C$;
- норма витрати води $V_B = 30 \text{ л/особа}$;
- кількість працівників $n = 100 \text{ осіб}$;
- тривалість робочої зміни $\tau = 8 \text{ год}$;
- кількість робочих змін на добу $w = 3$

2.2. Принципова схема системи гарячого водопостачання типу «повітря-вода»

Принципова схема системи гарячого водопостачання представлена на рисунку 2.1

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		11

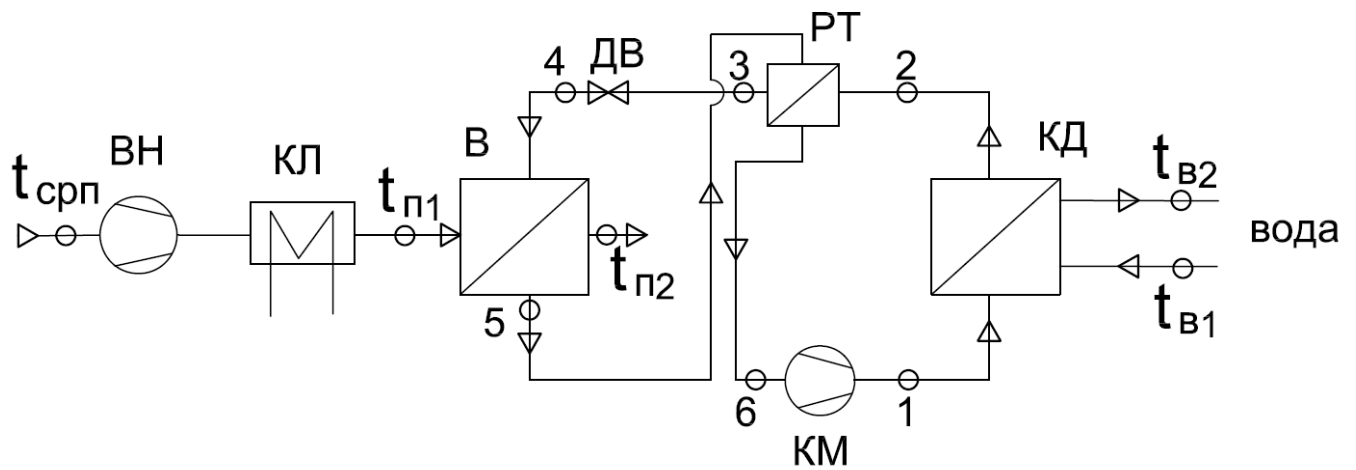


Рисунок 2.1 – Принципова схема ТНУ типу «повітря-вода»:

КМ – компресор ТНУ;

КЛ – калорифер

КД – конденсатор;

ВН – вентилятор;

РТ – регенеративний теплообмінник;

ДВ – дросельний вентиль;

Вузол випарника теплонасосної установки типу «повітря-вода» представлено на рисунку 2.2 схема А.

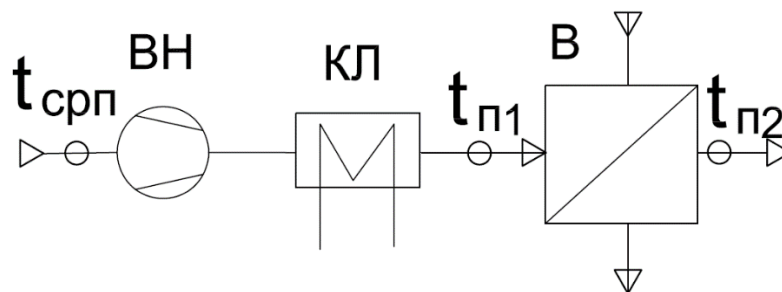


Рисунок 2.2 – Вузол випарника теплонасосної установки

Враховуючи, що випарник повітряного типу, що застосовується в ТНУ не може працювати при від'ємних температурах докільля через утворення конденсату, необхідно передбачити попереднє підігрівання та підготовку. Для реалізації цієї мети передбачений калорифер, у якому підігрівається повітря навколишнього середовища до робочої температури на вході у

випарник. Повітря нагнітається за допомогою вентилятора, підігрів повітря у якому значно менший та цим параметром можна знехтувати.

Зміна температури в калорифері:

$$\Delta t_K = 20^0 C$$

Температура повітря на вході в випарник:

$$t_{П1} = t_{СРК} + \Delta t_K = -15 + 20 = 5^0 C;$$

Температура санітарної води на вході в систему ГВП $t_{B1} = 15^0 C$;

Температура санітарної води на виході з системи ГВП $t_{B2} = 45^0 C$;

Враховуючи недорукування у теплообмінному апараті $\Delta t_{НЕДОУК} = 5^0 C$ розрахункова температура конденсації складає:

$$t_K = t_{B2} + t_{НЕДОУК} = 45 + 5 = 50^0 C .$$

Теплове навантаження на конденсатор:

$$\dot{Q}_{КД} = m_B c_P (t_{B2} - t_{B1}), \text{ кВт},$$

де m_B – масова витрата санітарної води, кг/с

c_P – ізобарна теплоємність води, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

Масова продуктивність води:

$$m_B = \frac{V_B \cdot n \cdot 3600}{\rho_B \cdot W \cdot \tau} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 3600}{998 \cdot 3 \cdot 24} = 0,46 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Теплове навантаження на конденсатор

$$\dot{Q}_{КД} = 0,46 \cdot 4,19 (45 - 15) = 57,8 \text{ кВт}$$

Вихідними даними для розрахунку циклу ТНУ з послідуочим визначенням теплового навантаження на випарник є $\dot{Q}_{КД} = 57,8 \text{ кВт}$

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		13

2.3. Розрахунок циклу та інтегральних параметрів ТНУ

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

Вихідні дані:

Теплопродуктивність	$\dot{Q}_{кД} = 57,8 \text{ кВт}$
Середовище системи опалення	мережева санітарна вода
Температура повітря на вході в випарник	$t_{П1} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
Зміна температури повітря у випарнику	$\Delta t_B = 3 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура недорекуперації у випарнику	$\Delta t_{НЕДОРВ} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
Утилізоване середовище	атмосферне повітря навколишнього середовища
Відносна вологість атмосферного повітря	60 %

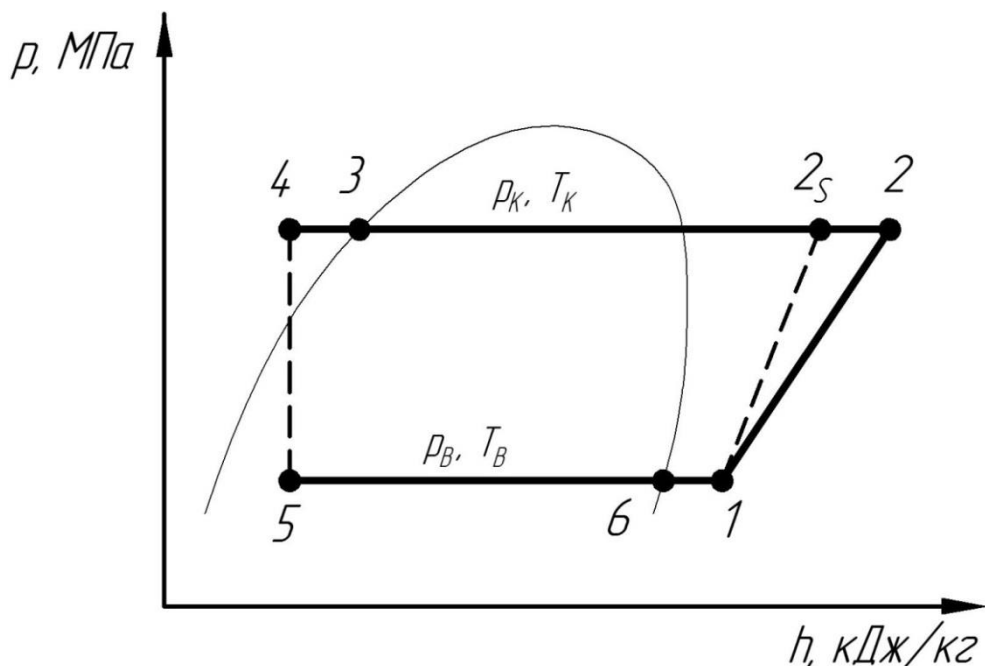


Рисунок 2.3 – Цикл одноступеневої ТНУ в p,h -координатах

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ХМд 02.00.00.00 ПЗ

Арк.

14

Визначення розрахункових температур:

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

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

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:

$$t_K = t_{B2} + \Delta t_K = 45 + 5 = 50 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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: $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$.

$$\text{Звідки визначається ентальпія } h_4 = h_3 + h_6 - h_1.$$

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 агенту R410a, як найбільш розповсюдженого для теплоносних установок даного температурного діапазону роботи.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.1.

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	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	30	30	30	30	7	7
t , °C	7	81	92	50	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:

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

$$m_a = \frac{57,8}{204} = 0,283 \text{ кг/с}$$

Теплове навантаження на регенеративний теплообмінник:

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

$$Q_{\text{РТ}} = 12 \cdot 0,283 = 3,3 \text{ кВт}$$

Теплове навантаження на випарник:

$$Q_B = m_a \cdot q_B, \text{ кВт}.$$

$$Q_B = 0,283 \cdot 157 = 43 \text{ кВт}$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_S = m_a \cdot l_S, \text{ кВт}.$$

$$N_S = 0,283 \cdot 33 = 9,1 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність компресора:

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

$$N_e = 0,283(489 - 442) = 12,9 \text{ кВт}$$

Споживана потужність приводного двигуна:

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

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

					ХМД 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		17

Коефіцієнт перетворення ТНУ:

$$COP = \frac{Q_{кД}}{N_{np}}.$$

$$COP = \frac{57,8}{15,3} = 3,7$$

Коефіцієнт перетворення ТНУ, що працює за циклом Карно:

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

$$COP_{i0} = \frac{323}{323 - 270} = 6,2$$

К.К.Д. ТНУ:

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

$$\eta_t = \frac{3,7}{6,2} = 0,6$$

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

2.4. Випарник повітряного типу

У якості теплообмінного апарату, що слугує для випаровування пари холодильного агента в теплонасих установках використовується апарат пластинчасто-ребристого типу.

Пластинчасто-ребристі теплообмінники представляють собою апарати, теплообмінна поверхня яких утворена набором тонких штампованих пластин з гофрованою поверхнею.

Пластинчасто-ребристий теплообмінник - унікальний пристрій, який успішно застосовується в широкому діапазоні температур - від -270 до +200 оС. Як правило, такі апарати встановлюються в різних кріокамерах, на хімічних заводах, на нафтопереробних та компресорних установках, застосовуються в авіа-, авто- та космічній будові. На сьогоднішній день серед усіх відомих пристроїв пластинчасто-ребристі теплообмінники стоять на першому місці за своїми теплопередаючими властивостями. Це стало можливим завдяки використанню двох технологій – пластинчастих апаратів у поєднанні з гофрованою поверхнею теплообміну, що дозволило багаторазово збільшити корисну площу, якою передається тепло. Купити такий пристрій – правильне рішення, якщо стоїть завдання якісної утилізації тепла для загального підвищення ККД процесу чи технології.

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).

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		19

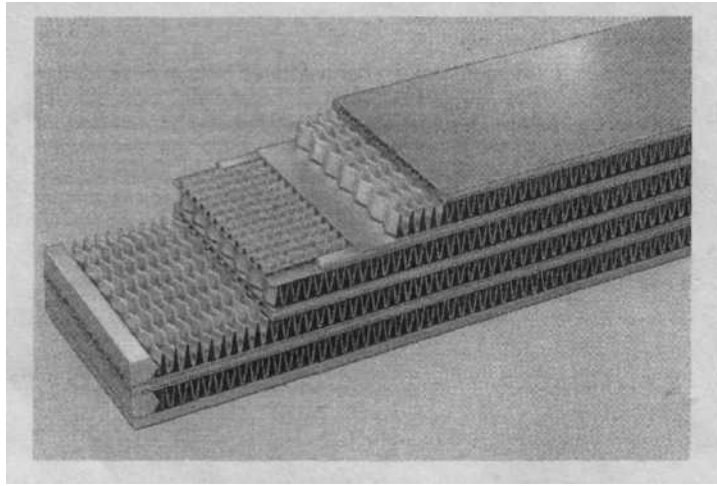


Рисунок 2.4 – Схема ПРТ

Основним вузлом ПРТ є його серцевина, пластинчасто-ребристий елемент (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, так як майже всі сполуки ПРЕ є закритими. 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. Значимість процесу паяння у створенні ПРЕ можна оцінити таким прикладом. ПРЕ розміром 150x400x850 мм, що складається з робочих каналів заввишки 3 мм і прилеглих до нього холодних каналів заввишки 11 мм, з'єднується 12500 паяними швами. Довжина паяних швів становить 2258 м, площа паяних швів становить 33 075 см². Якщо врахувати те, що паяння є груповим способом обробки та в камері печі при пайці одночасно знаходяться десятки ПРЕ, то за продуктивністю з цим процесом не може зрівнятися жоден спосіб зварювання. Важливою є ще одна перевага паяння. У ПРЕ переважають таврові сполуки.

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

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

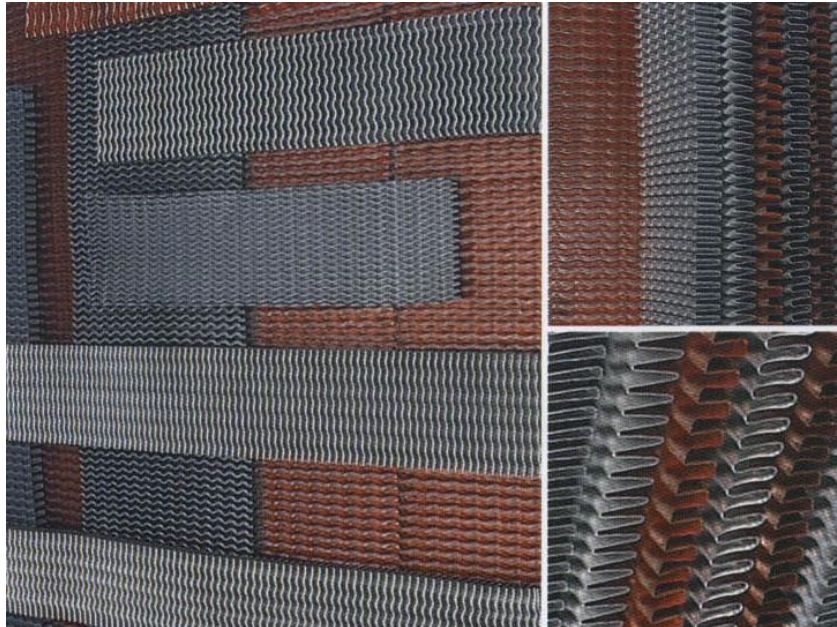


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд насадки

Висота каналів ПРТ майже знаходиться в межах 3 - 12 мм, а еквівалентний діаметр відповідно 2 - 5 мм. Оптимальний переріз каналів вибирається з умови забезпечення максимального теплотривання за фіксованих втрат на опір. Для довгих каналів ($L/D > 100$) значення числа Нуссельта Nu близьке до мінімального. Для ПРТ компресорних установок, що охолоджують гази та масло, опір невеликий. У цих випадках число Nu практично не залежить від швидкості. Тому визначальним фактором при виборі оптимального перерізу каналу є інтенсивність теплообміну незалежно від відповідного коефіцієнта опору, оскільки перепад тиску завжди можна збалансувати за рахунок зменшення швидкості потоку, якщо немає особливих вимог.

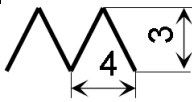
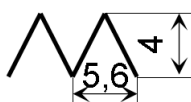
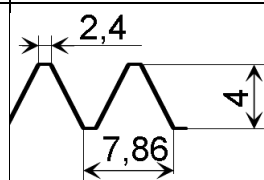
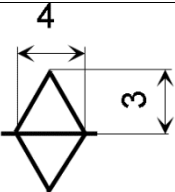
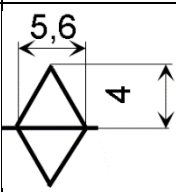
Гофрування стрічки виконується двома способами – прокаткою між профільними роликками та штампуванням.

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

Підвищення компактності насадки підвищує ефективність теплообміну. Компактність підвищується при зменшенні відстані між гофраами. Однак при формуванні насадки із металевої стрічки прокаткою

роликами крок накатки обмежується допустимими розмірами профілю їх зубів. Розмір зубів біля основи роликів встановлюється з урахуванням втомної міцності металу роликів. Тому, зазвичай, крок гофр насадки більше висоти гофр. Крім того, форма профілю насадки, сформованої прокаткою, може бути лише трикутною або евольвентною.

Таблиця 2.2 – Характеристика насадки сформованою прокаткою роликами.

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

Таблиця 2.3 – Характеристика насадки, сформованою прокаткою роликками з ущільнення та деформацією гофр

Тип насадки	Трикутна хвильова	Трикутна з перетисканням
Геометрична характеристика, мм		
Форма гофр		
Компактність поверхні, м ² /м ³	883	1813
Еквивалентный діаметр, м	0,0042	0,00192

Таблиця 2.4 – Характеристика штампованої насадки

Тип насадки	Трикутна	Трикутна	Трикутна	Прямокутна	Прямокутна
Геометрич. характерист. мм					
Компактність поверхні, м ² /м ³	2178	1963	1675	1450	1300
Еквівалентний діаметр, м	0,00155	0,00174	0,00207	0,00244	0,00275

Для каналів охолодного середовища (холодних каналів) необхідна насадка з висотою гофр понад 10 мм. У цьому випадку застосовують кілька пар роликів для ущільнення гофр насадки. На спеціальних станах перша пара роликів, зібрана із профільованих зубчастих дисків, забезпечує геометрію гофр. Гофрам можна надати хвилястість, на поверхнях гофр можна сформувати сфероїдальні виступи. Наступні дві або три пари роликів за рахунок різниці кроків зубів виробляють ступінчасте зсув гофр до необхідного розміру кроку. При наявності опуклих ділянок у каналах хвилястої насадки утворюються аеродинамічні профілі, що управляють потоком повітря. Простішу аеродинамічну форму каналів отримують при перетискання гребенів гофр. Таку форму насадки отримують при прокатуванні однією парою профільованих роликів.

Ущільнення кроку насадки з невеликою висотою гофр за допомогою роликів утруднено. Ущільнену насадку формують штампуванням. На спеціальному пресі за допомогою штампів крок за кроком формують трикутну, прямокутну та трапецеїдальну формою насадку. У штампованій насадці формують крок із розміром менше висоти гофр. Цим досягається максимальна компактність. При штампуванні можливе формування насадки з прямокутним профілем, що дозволяє підвищити інтенсивність теплообміну.

При переміщенні теплоносіїв у каналах насадки, виготовленої із металевої стрічки прокаткою роликками або штампуванням, формуються стійкі ламінарні потоки. Теплообмін ділянок, що прилягають до поверхні насадки, з ядром потоку відбувається за рахунок теплопровідності теплоносія. У робочих (гарячих) каналах ПРТ, у яких переміщається теплоносій із низькою теплопровідністю, насадка з гладкою поверхнею знижує ефективність теплообміну. Розтин ламінарного контактного шару дозволяє активно інтенсифікувати теплообмін. Кінозйомка потоку, що руйнується вертикальними стінками – шипами, зафіксувала утворення завихрень. Між завихреннями та ядром потоку відбувається безладний

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		24

турбулентний обмін рідкими масами. У штампованій насадці стрічки можна створити турбулентний потік, розсікаючи стрічку гофр. У розсіченій стрічці можна сформувати жалюзі або зрушити стінку гофри для розриву контактного шару та утворення завихрення. Турбулізація потоку в'язкою з малою теплопровідністю рідини дозволяє інтенсифікувати теплообмін у 2 – 2.5 рази порівняно з ламінарним потоком. Розсічення зі зсувом стін гофр істотно інтенсифікує теплообмін і в газовому потоці. За даними заміна гладкої насадки розсіченої зі зсувом повітряному каналі ПРТ дозволяє зменшити співвідношення L/D з 20 до 1,68.

Дані про міцність, відомості про теплопередачу та опір насадки із сітки дозволяють конструювати робочі канали з раціональною комбінацією насадки зі стрічки та сітки. При розміщенні в каналах ПРТ відрізків різної довжини насадки з сітки можна регулювати швидкість потоку в кожному каналі залежно від видалення його від вхідного патрубку в колекторі. Так як сітка збільшує опір потоку, то різна довжина гофрованих вставок з сітки в каналах дозволяє забезпечити різну швидкість середовища. Регулювання швидкості здійснюється або розташуванням вставок різної довжини, що зменшується при віддаленні каналів від вхідного патрубку колектора, або різною кількістю однакових по довжині вставок із сітки між вставками насадки зі стрічки. Регулювання швидкості потоку здійснюється зміною напрямку гофр насадки з сітки. Чергування у протяжних каналах відрізків насадки із сітки та стрічки рівної або різної довжини дозволяє забезпечити міцність на ділянках із насадкою зі стрічки та інтенсифікувати теплообмін на ділянках із насадкою із сітки. Турбулізований потік у насадці з сітки переміщається на ділянку з гладкими стінками і через певну відстань переходить у ламінарну течію. Розташована в такому місці вставка із сітки знову турбулізує потік. Так збільшуючи на певну величину опір потоку, досягається його турбулізація в каналі та підвищення ефективності теплообміну. Регулювання швидкості потоку в каналах ефективно у ПРТ із

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		25

вбудованими колекторами. Пристрій ПРТ із комбінованою насадкою у робочих каналах показано на рис.2.6.

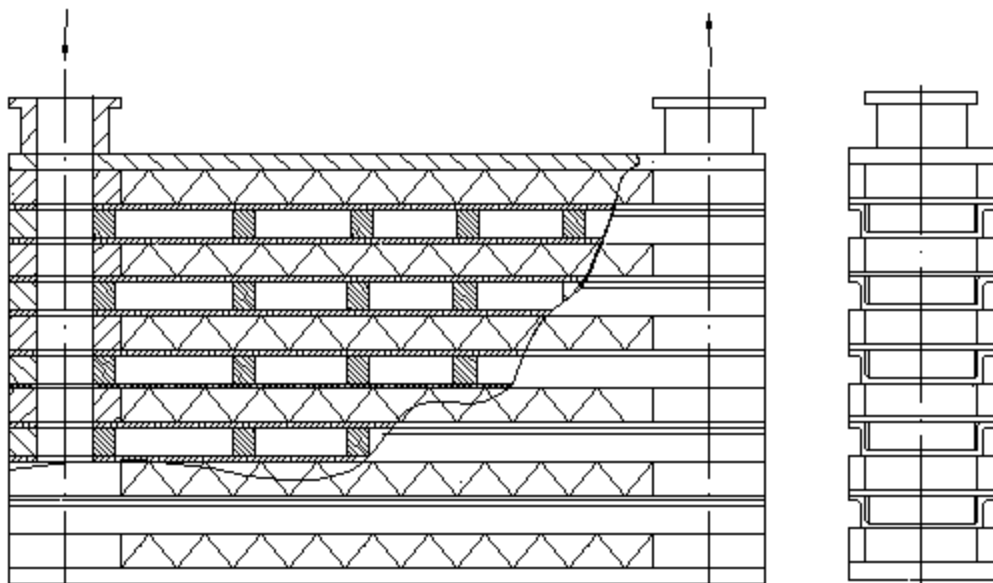


Рисунок 2.6 – Схема ПРТ з вбудованим колектором

Технологія та обладнання для виготовлення ПРТ.

ПРТ складається з серцевини (ПРЕ) і колекторних камер, що включають кришки, патрубки, штуцера, пробки. Деталі колекторів та самі колектори виготовляють із застосуванням універсальних методів обробки та універсального металообробного обладнання. Три основні деталі – проставочні листи робочих каналів, насадка та бруски вимагають спеціального обладнання для їх виготовлення. При застосуванні штампованих проставочних листів, у яких при штампуванні формуються і елементи колектора, кількість деталей, що виготовляються на спеціалізованому устаткуванні, зменшується до двох.

Проставні листи виготовляють із тонколистового металу або стрічки. Технологічний маршрут проставочного листа складається з наступних операцій: вирізка заготовки, видалення задирок, штампування, очищення, знежирення. Порізка листів та стрічки виконується на гільйотинних ножицях,

										Арк.
										26
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	ХМд 02.00.00.00 ПЗ					

спеціалізованих для порізки тонкого металу. Видалення задирок виконується на спеціальній установці за допомогою металевих щіток та абразиву. Штампування виконується на гідравлічних пресах. Сталеві деталі після штампування знежирюють в органічних розчинниках – бензині, уайтспіриті у спеціальних ваннах, розміщених у шафах, що вентилюються. Після сушіння деталі прямують на складання.

Проставні листи з плакованого силуміном алюмінієвого сплаву піддаються хімічній підготовці в лужних та кислотних ваннах або спеціальних композиційних розчинах. При хімічній підготовці алюмінієвих проставних листів відбувається знежирення та видалення оксидної плівки з утворенням захисного шару, що дозволяє подовжити допустимий термін перебування деталей між підготовкою та пайкою.

Маршрутна технологія виготовлення насадки зі стрічки, фольги та сітки складається з наступних операцій: порізка рулону на смуги, формування гофр, порізка насадки на мірні шматки, очищення та знежирення. Матеріал для виготовлення насадки – сталева стрічка та алюмінієва фольга поставляються промисловістю у рулонах завширшки від 4 до 450 мм. Для серійного виробництва стрічка постачається у рулонах необхідної ширини. За відсутності стрічки або фольги необхідної ширини широкі рулони розрізають на спеціальних ножицях дискових і намотують при порізці на окремі рулони.

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

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 2.5).

Таблиця 2.5 - 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_{pa} , м	$5,09 \cdot 10^{-3}$
Сторона охолоджуючого теплоносія	
Площа поверхні теплообміну F_x , м ²	27,3
Площа поверхні ребер $F_{p,x}$, м ²	22,6
Довжина каналу $L_{кх}$, м	0,15
Еквівалентний діаметр $d_{эx}$, м	$2,44 \cdot 10^{-3}$
Довжина ребра l_{px} , м	$4,85 \cdot 10^{-3}$

Сторона випаровування холодильного агента

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

Середня 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:

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

- 2) Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_a d_{экв}}{\nu},$$

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:

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

5) Коефіцієнт для визначення ефективності ребер:

$$m_u = 0,5 l_{p,a} \sqrt{\frac{2\alpha_a}{\delta_p \cdot \lambda_p}};$$
$$m_u = 0,5 \cdot 5,09 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1381}{1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 180}} = 0,814.$$

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

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

Густина – $\rho_2 = 1,293 \text{ кг}/\text{м}^3$;

Кінематична в'язкість – $\nu_2 = 13,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

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

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

Средня температура – $t_w = 3,5^\circ \text{С}$;

Швидкість повітря $w_2 = 5 \text{ м}/\text{с}$

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

1) Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_x = \frac{w_x \cdot d_{\text{эx}}}{\nu_x};$$
$$\text{Re}_x = \frac{10 \cdot 2,44 \cdot 10^{-3}}{9,055 \cdot 10^{-7}} = 13450.$$

2) Число Нусельта:

$$\text{Nu}_x = 0,03 \text{Re}_x^{0,813} \cdot \left(\frac{d_{\text{эx}}}{L_{\text{кx}}} \right)^{0,2};$$
$$\text{Nu}_x = 0,03 \cdot 13450^{0,813} \cdot \left(\frac{2,44 \cdot 10^{-3}}{0,15} \right)^{0,2} = 8,098.$$

3) Коэффициент тепловіддачі:

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

4) Коэффициент 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

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

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

5) Коэффициент 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) Коэффициент ефективності всієї поверхні:

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		31

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

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

Вихідні параметри

1) Коефіцієнт теплопередачі:

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

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

2) Середньологарифмічний температурний напір:

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

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

3) Необхідна площа поверхні теплообміну в зоні випаровування пара:

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

де

$$F_H = \frac{43000}{605 \cdot 6,4} = 11,7 \text{ м}^2$$

4) Число елементів в ПРТ :

$$n = \frac{F_H}{F_a} = \frac{11,7}{8,75} = 1,34 \text{ приймається } 2 \text{ шт.}$$

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 :

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

де, ρ_x - густина води

3) Масова продуктивність повітря через випарник:

$$G_x = \frac{Q_k}{c_x \cdot \Delta t_x} = \frac{43}{1,005 \cdot 5} = 8,66 \text{ кг / с},$$

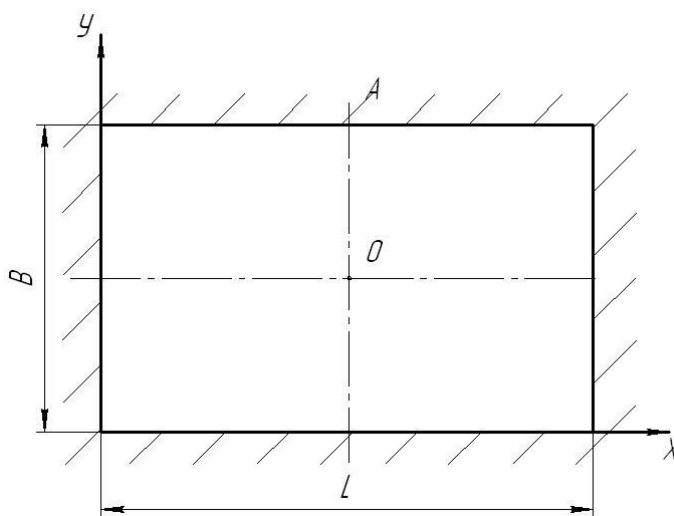
$F = 8,75 + 8,75 = 17,5 \text{ м}^2$ – повна площа поперечного розрізу апарата;

$F_k = (8,75 + 27,3) \cdot 2 = 72,1 \text{ м}^2$ - 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.



Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ХМд 02.00.00.00 ПЗ

Арк.

33

1) Для точки О напруження:

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

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.

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

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

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

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:

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

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		34

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

2) Рама на ділянці BC' навантажена розподіленим навантаженням:

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

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

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

де, k і n - коефіцієнти

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

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

$$n = 3 + 2k$$

4) Момент опору прямокутного перерізу рами:

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

5) Максимальне напруження прогиба в рамі:

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

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

					ХМД 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		35

3. Охорона праці

Порушення інструкцій, правил та норм техніки безпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії на виробництві можуть призвести до травматизму та професійних захворювань.

Виділяють шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

Небезпечний виробничий фактор - виробничий фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до травм, раптового погіршення здоров'я або до летального результату.

Шкідливий виробничий фактор-виробничий фактор, негативний вплив якого на людину призводить до погіршення самопочуття, захворювання або зниження працездатності.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються на чотири класи:

1) Фізичні-рухомі машини і механізми, що руйнуються конструкції, гірські породи, що обрушуються, підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, вібрації, ультразвук, напруги електричного ланцюга, підвищений рівень статичної напруги та ін.

2) Хімічні – токсичні, дратівливі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, що впливають на репродуктивну функцію.

3) Біологічні-патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, рик-кетсії, спірохети, гриби, найпростіші) та продукти їх життєдіяльності. Мікроорганізми (рослини та тварини).

4) Психофізіологічні-фізичні навантаження: статичні та динамічні; нервово-психічні: розумова перенапруга, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні навантаження.

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		36

При порушенні норм виробничої санітарії робітник може отримати професійні захворювання, викликаних впливом на працюючого шкідливих умов праці.

При експлуатації вакуумних машин і установок на працюючих можливий вплив таких виробничих факторів, як: шум, вібрація, недостатнє освітлення, підвищена загазованість повітря, концентрація шкідливих речовин у повітрі, електромагнітні поля, статична електрика, деталі механізмів, що обертаються. Особливий вид небезпеки представляють судини та трубопроводи, що працюють під вакуумом (тиском).

Шум-це сукупність звуків різної частоти і інтенсивності, що виникає в результаті коливального руху частинок в пружних середовищах (твердих, рідких, газоподібних).

Інтенсивний шум на виробництві сприяє зниженню уваги та збільшенню числа помилок при виконанні роботи, виключно сильний вплив надає шум на швидкість реакції, збір інформації та аналітичні процеси, через шум знижується продуктивність праці та погіршується якість роботи. Шум ускладнює своєчасну реакцію працюючих на попереджувальні сигнали внутрішньоцехового транспорту (автовантажувачів, мостових кранів тощо), що сприяє виникненню нещасних випадків на виробництві.

Вібрація – це малі механічні коливання, що у пружних тілах, що під впливом змінного фізичного поля. Вплив вібрації на людину класифікують:

- 1) За способом передачі коливань: загальна та локальна;
- 2) У напрямку дії вібрації: вертикальна та горизонтальна;
- 3) За тимчасовою характеристикою вібрації: постійна та непостійна.

Вібрація відноситься до факторів, що мають високу біологічну активність. Вираженість реакцій у відповідь обумовлюється головним чином силою енергетичного впливу і біохімічними властивостями людського тіла як складної коливальної системи. Потужність коливального процесу в зоні контакту і час цього контакту є головними параметрами, що визначає

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

розвиток вібраційних патологій, структура яких залежить від частоти і амплітуди коливань, тривалості впливу, місця застосування і напряду осі вібраційних коливань, що демпфують властивостей тканин, явище резонансу та інших умов.

Виробниче освітлення має забезпечити психологічний комфорт, попереджати зорову та загальну стомлюваність.

Органи зору людини сприймають як світлового відчуття лише незначну частину променистої енергії. Смуга діапазону з довжиною хвиль від 0,38 до 0,76 мкм може бути сприйнята людиною. У той же час 85–90% інформації людина отримує через органи зору. Отже хороше освітлення приміщення та робочих місць підвищує безпеку роботи, сприяє підвищенню продуктивності праці та покращує якість продукції.

Це завдання можна вирішити лише освітлювальною системою, що відповідає таким вимогам:

1) Освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається такими параметрами:

- об'єкт розрізнення – найменший розмір аналізованого предмета, окрема його частина, дефект, який необхідно розрізнити в процесі роботи;

- фон-поверхня, прилегла безпосередньо до об'єкта розрізнення, на якій він розглядається. Характеризується коефіцієнтом відображення (при коефіцієнті відображення поверхні більше 0,4 фон вважається світлим, 0,2 ... 0,4-середнім і менше 0,2-темним);

- контраст об'єкта з фоном. Характеризується відношенням яскравості об'єкта і фону (контраст об'єкта з фоном вважається великим при значеннях до більше 0,5, середнім при значеннях 0,2 ... 0,5 і малим при значеннях до менше 0,2).

2) Необхідно забезпечити досить рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні, а також у межах навколишнього простору. Для підвищення

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		38

рівномірності природного освітлення великих цехів здійснюється комбіноване освітлення.

3) На робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні. Наявність різких тіней усвідомлює нерівномірність розподілу поверхонь з різною яскравістю в полі зору, спотворює розміри та форми об'єктів розрізнення, в результаті підвищується стомлюваність, знижується продуктивність праці.

4) У полі зору повинна бути відсутня пряма і відбита блискість. Блискість-підвищена яскравість об'єктів, що світяться, поверхонь, що викликає порушення зорових функцій (осліплення), тобто. погіршення видимості об'єктів.

Видимість характеризує здатність ока сприймати об'єкт, залежить від освітленості, розміру об'єкта, його яскравості, контрасту об'єкта з фоном.

5) Величина освітленості має бути постійною в часі. Коливання освіченості, розміру об'єкта, його яскравості, контрасту об'єкта з фоном. Коливання освітленості, викликані різкою зміною напруги в мережі, мають велику амплітуду, щоразу викликаючи переадаптацію ока, що призводить до значної перевтоми.

6) Слід вибирати оптимальну спрямованість світлового потоку, що дозволяє в одних випадках розглянути внутрішню поверхню деталей, інших розрізнити рельєфність елементів робочої поверхні.

7) Потрібно вибирати певний спектральний склад світла. Правильною кольоропередачу забезпечують природне та штучне освітлення зі спектральною характеристикою близькою до сонячної.

8) Всі елементи освітлювальних установок-світильники, групові щитки, що знижують трансформатори, освітлювальні мережі повинні бути достатньо довговічними, електробезпечними, а також не повинні бути причиною виникнення пожежі або вибуху.

9). Установка має бути зручною та простою в експлуатації, відповідати естетичним вимогам.

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Відповідно до ГОСТ 12.1.009–76 електробезпека – це система організаційних та технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики.

Електротравматизм порівняно з іншими видами травматизму має деякі відмітні особливості. Перша особливість полягає в тому, що організм людини не володіє органами, за допомогою яких можна дистанційно визначити наявність напруги, як, наприклад, теплову, світлову енергію. Тому захисна реакція організму проявляється лише після потрапляння людини під напругу. Друга особливість полягає в тому, що струм, що протікає через людину, діє не тільки в місцях контактів і на шляху протікання через організм, але і викликає рефлекторний вплив-порушення нормальної діяльності основних органів людини: системи дихання, серцевої діяльності, центральної нервової системи. Третя – отримати електротравму можна без безпосереднього електроконтакту з струмоведучими частинами (у разі замикання дроту на землю, ураження через електричну дугу).

Розрізняють два види ураження організму людини електричним струмом: електричні травми та електричні удари.

Електричні травми - це місцеві ураження тканин і органів: електричні опіки, електричні знаки і електрометалізація шкіри, механічні пошкодження в результаті мимовільних судомних скорочень м'язів при протіканні струму, а також електроотруєння - запалення очей в результаті впливу ультрафіолетових променів електричної .

Електричний удар є збудженням живих тканин електричним струмом. Розрізняють чотири ступені електричних ударів:

- скорочення м'язів без втрати свідомості;
- скорочення м'язів із втратою свідомості, але без порушення діяльності серця та дихання;
- втрата свідомості з порушенням діяльності серця та дихання;

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

- клінічна смерть;

Відповідно до ПУЕ та ГОСТ 12.1.013–78 виробничі приміщення за ступенем ураження людей електричним струмом поділяються на три категорії:

1. Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю в них однієї або наступних умов, що створюють підвищену небезпеку: сировини (>75%) або струмопровідного пилю; струмопровідної підлоги, високо-температурні приміщення ($t > 350^{\circ}\text{C}$); можливість одночасного торкання людини до з'єднання з землею металоконструкцій будівель, технологічних апаратів, механізмів, з одного боку, і до металевих корпусів електрообладнання – з іншого.

2. Особливо небезпечні приміщення характеризуються наявністю однієї з наступних умов: особливо сирі (близько до 100%); приміщення з хімічно активним середовищем; одночасна дія двох або більше умов підвищеної небезпеки.

3. Приміщення, в яких відсутні умови, що створюють підвищену небезпеку та особливу небезпеку.

					ХМд 02.00.00.00 ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		41

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. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пос. – Москва : Высшая шк., 1980. – 469 с.
5. Heat pump planning handbook / Jürgen Bonin. British Library Cataloguing-in-Publication Data, 2015. – 337 p.
6. Богданов С. Н., Бурцев С. И., Иванов О. П., Куприянова А. В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.
7. Коваленко Л. М., Деревянченко К. М., Саломатина Л. Г. Пластинчатые теплообменные аппараты. Каталог – Москва : ЦИНТИхимнефтемаш. – 1990.
9. 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.
10. Энергоэффективные технологии в отоплении и вентиляции. Каталог – Mitsubishi Electric, 2015.
11. Кліматичні системи 2019. Каталог – Mitsubishi Electric, 2019.
12. Тепловые насосы. Каталог. – Mitsubishi Electric, 2016.

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