

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра технічної теплофізики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

здобувача за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
освітньо-професійної програми «Холодильні машини і установки»
на тему «Регенеративний теплообмінник»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Завідувач кафедри

С. М. Ванєєв

Керівник роботи

М. Г. Прокопов

Здобувач

Є. М. Євдокимов

Група

ХК-71/2 Х

Суми 2021

Зміст

	с.
1. Вступ.....	3
2. Вихідні дані.....	10
3. Тепловий розрахунок.....	11
4. Гідравлічний розрахунок.....	17
5. Розрахунок міцності.....	18
6. Охорона праці.....	19
6. Висновок.....	27
7. Список використаних джерел.....	28

					<i>ХМ 01.00.00.00 ПЗ</i>					
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Регенеративний теплообмінник</i>			<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>	<i>Євдокимов</i>									
<i>Провер.</i>	<i>Прокопов</i>								2	28
<i>Реценз.</i>								<i>СумДУ ХК-71/2Х</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Шарапов</i>									
<i>Утверд.</i>	<i>Ванєєв</i>									

1.Вступ

Світове споживання енергії і палива зростає дуже швидкими темпами. Основна частина палива йде на виробництво електроенергії, на потреби промисловості і централізованого теплопостачання. Проблема раціонального і ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з найважливіших.

На виробництві основна частина теплової енергії трансформується в різних теплообмінних апаратах. Навіть незначним підвищенням енергетичної ефективності теплоенергетичних установок, можна отримати значну економію палива, зниження собівартості продукції. Прагнення заощаджувати енергію і матеріали, облік економічних обставин, стимулюють створення більш ефективного теплообмінного обладнання. Теплообмінний апарат (теплообмінник) - це пристрій, призначений для нагріву або охолодження матеріального потоку (теплоносія). Теплові процеси, що відбуваються в теплообмінних апаратах, можуть бути самими різними: нагрівання, охолодження, випаровування, кипіння, конденсація, плавлення, затвердіння і більш складні процеси.

В процесі теплообміну може брати участь кілька теплоносіїв: тепло від одного з них може передаватися кільком і від кількох одному. Існує кілька класифікацій теплообмінних апаратів за призначенням:

- Підігрівачі
- Конденсатори
- Охолоджувачі
- Випарники

за принципом дії:

- Регенератори
- Рекуператори
- Змішувальні апарати

																			Лист
																			Лист
																			3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да															4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да															

ХМ 01.00.00.00 ПЗ

В регенеративних апаратах гарячий теплоносієй віддає свою теплоту пристрою, який акумулює її, а потім, в свою чергу, віддає теплоту холодного теплоносія, тобто одна і та ж поверхню омивається то гарячим, то холодним теплоносієм. Більшість регенеративних теплообмінників працює за принципом періодичної дії. Теплообмінники, в яких періодично змінюються подача і відведення теплоносії, називаються теплообмінниками періодичної дії. Різні теплоносії надходять в них в різні періоди часу.

В регенеративних теплообмінниках як проміжний теплоносієй використовують твердий досить міцний матеріал - листи металу, цегли, різні засипки. Регенеративні теплообмінники використовуються для високотемпературного (вище 1000 С) підігріву газів, тому що жаростійкість металів обмежена, а насадка з вогнетривких цегли може працювати при дуже високих температурах.

Регенератори можуть працювати і безперервно. В цьому випадку насадка або стінка, що обертається поперемінно стикається з потоками різних теплоносієв і безперервно переносить тепло з одного потоку в інший.

Регенеративні теплообмінники застосовуються на металургійних, коксових та інших заводах, де за характером технологічного процесу необхідно підігріти повітря і в той же час є велика кількість газів, що відходять з високою температурою.

Світове споживання енергії і палива зростає дуже швидкими темпами. Основна частина палива йде на виробництво електроенергії, на потреби промисловості і централізованого тепlopостачання. Проблема раціонального і ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з найважливіших.

На виробництві основна частина теплової енергії трансформується в різних теплообмінних апаратах. Навіть незначним підвищенням енергетичної ефективності теплоенергетичних установок, можна отримати значну економію палива, зниження собівартості продукції.

Прагнення заощаджувати енергію і матеріали, облік економічних іонізацій, стимулюють створення більш ефективного теплообмінного обладнан-

ня. Підвищення енергетичної ефективності та компактності теплообмінників тісно пов'язане з інтенсифікацією процесу теплообміну. Разом з тим як інтенсивність процесу теплопередачі, так і ефективність теплообмінного апарату в значній мірі залежать від особливостей обтікання і гідравлічного опору теплообмінних поверхностей.

Вирішення питань інтенсифікації процесів теплообміну і підвищення енергетичної ефективності особливо актуально для газових теплообмінників, для яких характерні низькі теплові потоки.

Виділяються два напрямки інтенсифікації. Одне з них пов'язано зі збільшенням теплового потоку без урахування додаткових втрат енергії. Другий напрямок пов'язаний зі збільшенням теплового потоку при заданій величині енергії, що витрачається на перекачування теплоносія, т. Е. Зі збільшенням ефективності тепловіддачі. Воно стає особливо важливим для стаціонарно працюють теплообмінних апаратів великої потужності, до числа яких відносяться регенеративні повітрянагрівачі.

Застосування регенеративних теплообмінних апаратів для високо-температурного нагріву газів обумовлено складністю, високою вартістю Рахунки, а в ряді випадків і неможливістю нагріву їх значних обсягів до високих температур в рекуперативних установках. Зниження економічних витрат, підвищення температур нагрівання газу пред'являє високі вимоги до надійності і економічності роботи цих пристроїв, висовує завдання розробки нових, більш ефективних конструкцій окремих елементів, вдосконалення режимних параметрів. Підвищення ефективності роботи регенеративних теплообмінників багато в чому пов'язане з удосконаленням теплогідравлічних характеристик апаратів, в зв'язку з чим виникає необхідність в методах попереднього визначення цих характеристик.

За призначенням і місцем установки розрізняють два види принципово відмінних регенеративних теплообмінників.

Регенеративні теплообмінники першого типу - газові - призначені для здійснення теплообміну між парою, всмоктуваним компресором і рідким хо-

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-		5

лодильним агентом після конденсатора; їх застосовують в одно- і двоступеневих холодильних машинах, що працюють на фреонах.

Перегрів пара, що забезпечує "сухий хід" компресора, здійснюється за рахунок переохолодження рідкого холодоагенту.

Регенеративні теплообмінники другого типу - рідинні -Застосовується в двоступеневих фреонових холодильних машинах. Вони призначені для більш "глибокого" переохолодження рідкого холодоагенту перед дроселюванням в випарну систему і часткового охолодження парів всмоктуваних компресорів високого тиску.

Переохолодження рідини в змішувачу (внутрішній трубці) відбувається за рахунок кипіння в корпусі (зовнішній трубці) теплообмінника частини холодоагенту з дроселірованою в регулюючому вентилі до проміжного тиску. Утворився при кипінні пар відсмоктується компресором вищому щаблі, змішуючись з парами, які надходять з компресора низькому ступені здійснює часткове їх охолодження.

Газові регенеративні теплообмінники встановлюють на всмоктуючій трубопроводі між випарником і компресором. Перегрів пара і переохолодження рідини в регенеративних теплообмінниках забезпечують збільшення холодопродуктивності і поліпшення енергетичних характеристик холодильної машини.

Теплообмінники регенеративного типу мають наступні недоліки:

- не забезпечують постійну температуру теплоносія(повітря)що підігрівається;
- на час перемикавання клапанів припиняється харчування агрегату теплом втрати тепла через димову трубу;
- змішування теплоносіїв через нещільності; великі розміри і маса регенераторів.

Однак, незважаючи на недоліки регенеративні теплообмінники широко використовуються на високотемпературних агрегатах, так як вони можуть

								XM 01.00.00.00 73	ЛНСТ
УЗМ	ЛНСТ	№ СОРУМ	ГРОШИЄВ	АВ-					6

працювати при високій температурі димових газів (1300 - 1500 ° C). При такій високій температурі рекуператори не можуть працювати стійко.

Регенеративні теплообмінники застосовуються в нагрівальних печах. Вони являють собою циліндричні камери, заповнені цегляних багаторазовою насадкою, викладені з вогнетривкої цегли. Спочатку через регенератор пропускають димові гази, а потім у зворотному напрямку нагріта до білого насадка віддає закумуляоване тепло теплоносію. Перемикання здійснюється за допомогою клапанів.

Особливі вимоги пред'являють до насадок регенератора. Вони повинні забезпечувати експлуатаційні якості, економічність, мінімальний гідравлічний опір, високу інтенсивність теплообміну, будівельну стійкість.

Матеріал насадки повинен володіти вогнетривкістю, термостійкістю, опором до деформацій під навантаженням при підвищених температурах. Регенеративні теплообмінні апарати в криогенної техніки і користуються в основному в повітророздільних установках і в холодильних газових машинах. В регенеративних апаратах повітророздільних установок поряд з охолодженням прямого потоку повітря відбувається його очищення від вологи і діоксиду вуглецю шляхом виморожування на насадці.

Оптимальну конструкцію регенеративного теплообмінника вибирають з урахуванням кількох факторів. В результаті збільшення розмірів теплообмінника, що працює на фреонах-12 і -502, підвищується перегрів ВСА-Сива пара і відповідно поліпшуються характеристики холодильної машини. З іншого боку, збільшення розмірів теплообмінника супроводжується зростанням його гідравлічного опору, в результаті чого падає тиск всмоктування і погіршуються показники роботи холодильної машини.

Регенеративним називається теплообмінник, в якому одна і та ж поверхню по черзі омивається то гарячим, то холодним теплоносіями. При зіткненні з гарячим теплоносієм стінка акумулює теплоту, а потім віддає її холодного теплоносія. Для задоволення роботи теплообмінника його робочі стінки повинні володіти значною теплоємністю.

Режим теплообміну в регенеративних теплообмінниках нестационарний. Щоб процес теплообміну протікав безперервно при однаковій тривалості періоду нагріву і охолодження, такий теплообмінник повинен мати дві паралельно працюючі секції.

В регенеративних теплообмінниках передача теплоти відбувається способом дотику одного теплоносія про раніше нагрітими тілам - нерухомою або переміщається насадкою, періодично нагрітої або охолоджувальної іншим теплоносієм.

Перевагами регенеративного теплообмінника є скорочення його загального обсягу, що виявляється істотним при теплообміні великих обсягів газів, і відносна простота конструктивного оформлення. Однак черговість виходу теплоносіїв і необхідність значних витрат часу на цикли прогріву і охолодження обумовлюються чених і недолік апаратів регенеративного типу - безперервна зміна температури теплоносіїв на виході з теплообмінника в межах кожного циклу.

Регенеративний теплообмінник (РТО) призначений для переохолодження рідкого холодоагенту, що виходить з конденсатора, холодними парами цього холодоагенту, що виходять з випарника. Він дозволяє підвищити питому холодопродуктивність холодильної машини в порівнянні з циклом без

					<i>ХМ 01.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Да-</i>		8

РТО від $q_0' = i_1'' - i_4'$ до $q_0 = i_1'' - i_4$ і тим самим підвищити її холодильний

коефіцієнт від $\varepsilon' = \frac{q_0'}{l} = \frac{i_1'' - i_4'}{i_2 - i_1}$ до $\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1'' - i_4}{i_2 - i_1}$.

Виграш в питомої холодопродуктивності дорівнює:

$$\Delta q_0 = q_0 - q_0' = i_1'' - i_4 - (i_1'' - i_4') = i_4' - i_4 = i_3' - i_3, \text{ кДж/кг}$$

Температуру переохолодження рідкого фреону R22 в РТО можна знайти з рівняння теплового балансу РТО (при відсутності теплових втрат):

$$i_3' - i_3 = i_1' - i_1''$$

Теплообмінники типу «труба в трубі» прості за конструкцією і піддаються механічній чистці, заміна окремих елементів нескладна. Головна перевага цих апаратів полягає в тому, що можна забезпечити оптимальні швидкості руху теплоносіїв, підбираючи відповідні діаметри труб.

Істотний недолік апаратів «труба в трубі» - значні габарити, тобто невелика поверхня теплообміну в одиниці об'єму апарата.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

2. Вихідні дані

Робоче тіло – фреон R22

Охолодження $Q_0 = 35 \text{ кВт}$

Температура кипіння фреону в випарнику $t_0 = -10^\circ\text{C}$ (173 К).

Температура конденсації в конденсаторі $t_k = 30^\circ\text{C}$ (573 К).

Температура на всмоктування на компресор $t_{вс} = t_0 + 10^\circ\text{C} = 0^\circ\text{C}$ (273 К).

Тиск в конденсаторі $p_k = 1,1 \text{ МПа}$.

Тиск в випарнику $p_0 = 0,34 \text{ МПа}$.

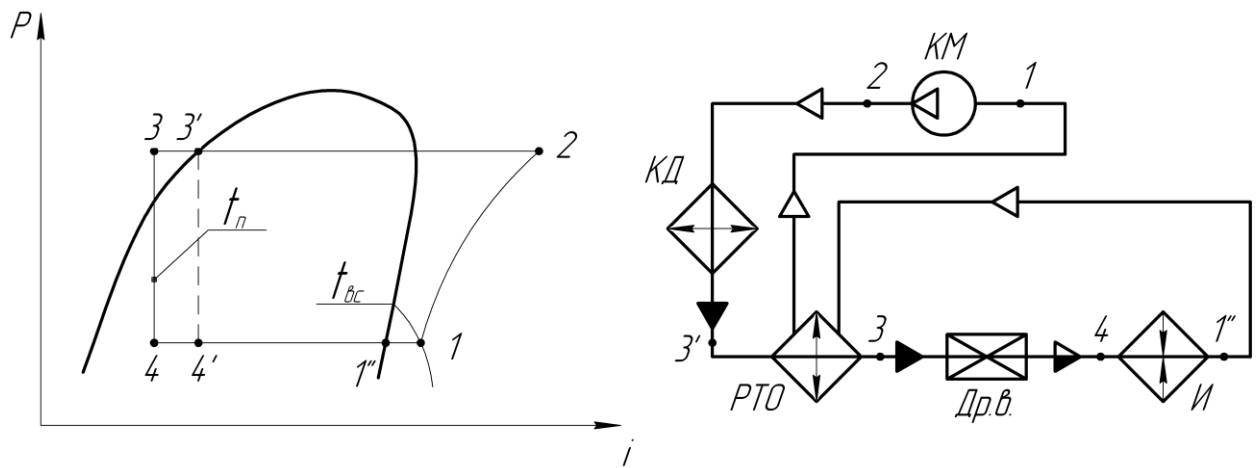


Рис.1 –Принципова схема і цикл фреонової холодильної машини.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-

ХМ 01.00.00.00 ПЗ

Лист

10

3. Тепловий розрахунок

По і-р діаграмі фреону R22 знаходимо значення параметрів в точках циклу:

Параметри	Точки						
	1	1''	2	3	3'	4	4'
$t, ^\circ C$	0	-10	58	27	30	-10	-10
$P, \text{МПа}$	0,34	0,34	1,1	1,1	1,1	0,34	0,34
$i, \text{кДж/кг}$	608	600	638	428	438	428	438
$v, \text{м}^3/\text{с}$	0,07	-	-	-	-	-	-

Питома ентальпія рідкого фреону R22, переохолодженого в РТО:

$$i_1 - i_1' = 0,8(i_3' - i_3) \Rightarrow i_3 = i_4 = i_3' - \frac{i_1 - i_1'}{0,8} = 438 - \frac{608 - 600}{0,8} = 428 \text{ кДж/кг}$$

де 0,8 - поправочний коефіцієнт, що враховує незворотні втрати.

Їй відповідає температура переохолодження рідкого фреону:

$$t_3 = t_{\Pi} = 27^\circ C \text{ (300 K)}$$

Виграш в холодильному коефіцієнті в порівнянні з циклом без РТО:

$$\Delta q_0 = i_3' - i_3 = 438 - 428 = 10 \text{ кДж/кг}$$

$$\varepsilon' = \frac{i_1'' - i_3'}{i_2 - i_1} = \frac{600 - 438}{638 - 608} = 5,4; \quad \varepsilon = \frac{i_1'' - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{600 - 428}{638 - 608} = 5,73$$

$$\Delta\varepsilon = (\varepsilon - \varepsilon') / \varepsilon = 5,8\%$$

Масова витрата хладагента:

$$G = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{Q_0}{i_1'' - i_4} = \frac{Q_0}{i_1'' - i_3} = \frac{35}{600 - 428} = 0,204 \text{ (кг/с)}$$

Теплове навантаження на РТО:

$$Q_{РТО} = (i_3' - i_3)G = (438 - 428)0,204 = 2,04 \text{ кВт}$$

Задаємося конструктивними розмірами РТО. Кожух виконаний з цілісно-тягнутої сталевий труби зі сталі 20 зовнішнім діаметром $D_n = 0,056$ м і товщиною стінок $\delta_{mn} = 0,002$ м. по западині ребер із висотою ребра $h_p = 0,008$ м. Рідкий фреон R22 рухається по кільцевому зазору кожуха (зовнішньої труби), а газоподібний протитечією рухається у внутрішній Оребреній трубі РТО.

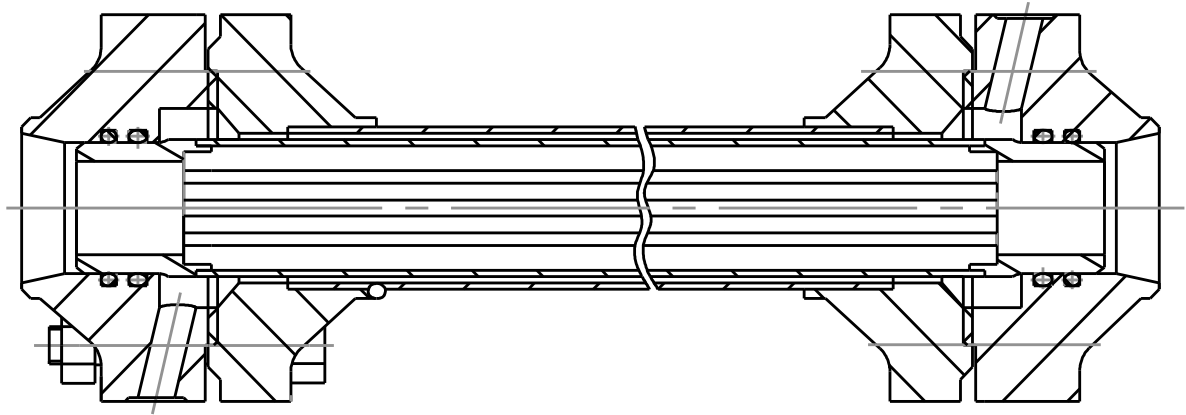


Рис.2 – Схема РТО.

Знаходимо теплофізичні властивості середовищ, які обмінюються теплотою в РТО при їх середніх температурах:

а) Рідкий R22

Средня температура $T_{жс} = 0,5(T_{жс1} + T_{жс2}) = 0,5(T_3 + T_3) = 0,5(303 + 300) = 301,5$ К:

- густина $\rho_{жс} = 1300,8$ кг / м³;

- питома теплоємність $c_{жс} = 989,7$ кДж / кг · К ;

- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{жс} = 0,0686$ Вт / м · К ;

- коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu_{жс} = 0,195 \cdot 10^{-6}$ м² / с .

б) Газоподібний R22

Средня температура пара $T_n = 0,5(T_{n1} + T_{n2}) = 0,5(T_1 + T_{1'}) = 0,5(273 + 263) = 268$ К:

- густина $\rho_n = 8,983$ кг / м³;

- питома теплоємність $c_{pn} = 565$ кДж / кг · К

- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_n = 0,0078 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$;
- коефіцієнт кінематичної в'язкості $\nu_n = 1,245 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$.

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі пароподібного холодоагенту α_n

Знаходимо площа прохідного перетину внутрішньої труби з боку парообразного фреону.

Її середній діаметр з урахуванням оребрення

$$d_{cp} = d_n - h - 2\delta_{ms} = 0,048 - 0,008 - 2 \cdot 0,002 = 0,036 \text{ м.}$$

$$F_{em} = \frac{\pi d_{cp}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,036^2}{4} = 10,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Швидкість газоподібного R22 в трубі, м/с:

$$\omega_n = \frac{G}{\rho_n \cdot F_{em}} = \frac{0,204}{8,983 \cdot 10,2 \cdot 10^{-4}} = 22,3$$

Знаходимо критерії Рейнольдса:

$$Re_n = \frac{\omega_n \cdot d_{cp}}{\nu_n} = \frac{22,3 \cdot 0,036}{1,245 \cdot 10^{-6}} = 644819$$

Критичне число Рейнольдса для турбулентного режиму течії 10000.

Висновок: $Re_n > Re_{кр.труб}$, т.е. режим руху у внутрішній оребренній трубі турбулентний.

Число Прандтля:

$$Pr_n = \frac{\nu_n \cdot \rho_n \cdot c_n}{\lambda_n} = \frac{1,245 \cdot 10^{-6} \cdot 8,983 \cdot 565}{0,0078} = 0,81$$

Число Нусельта для турбулентного режиму течії пароподібного фреона R22 у внутрішній трубі:

$$Nu_n = 0,23 \cdot Re_n^{0,65} \cdot Pr_n^{0,33},$$

$$Nu_n = 0,23 \cdot 5972,2 \cdot 0,933 = 1281$$

						ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			13

Коефіцієнт тепловіддачі з боку пароподібного R22:

$$\alpha_n = \frac{Nu \cdot \lambda_n}{d_{cp}} = \frac{1281 \cdot 0,0078}{0,036} = 315 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі з боку рідкого R22.

Внутрішній діаметр кожуха РТО:

$$D_{вн} = D_n - 2\delta_k = 0,056 - 2 \cdot 0,002 = 0,052 \text{ м}$$

Площа прохолодного перетину кожуха за поперечним перерізом РТО:

$$F_{нт} = \frac{\pi D_{вн}^2}{4} - \frac{\pi d_n^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,052^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,048^2}{4} = 0,000314 \text{ м}^2$$

Швидкість рідкого R22 в міжтрубному просторі РТО, м/с:

$$\omega_{жс} = \frac{G}{\rho_{жс} \cdot F_{нт}} = \frac{0,204}{1300,8 \cdot 0,000314} = 0,5$$

Знаходимо критерій Рейнольдса:

$$Re_{жс} = \frac{\omega_{жс} \cdot d_{екв}}{\nu_{жс}} = \frac{0,5 \cdot 0,02}{0,195 \cdot 10^{-6}} = 51282$$

$$d_{екв} = \sqrt{\frac{\pi \cdot F_{нт}}{4}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 0,000314}{4}} = 0,02 \text{ м}$$

де
т.е. режим руху рідини в кільцевому зазорі є турбулентним.

Знаходимо число Прандтля:

$$Pr_{жс} = \frac{\nu_{жс} \cdot \rho_{жс} \cdot c_{жс}}{\lambda_{жс}} = \frac{0,195 \cdot 10^{-6} \cdot 1300,8 \cdot 989,7}{0,0686} = 3,66$$

Число Нусельта для турбулентного режиму течії рідини у міжтрубному просторі РТО згідно:

$$Nu_{жс} = 0,263 \cdot Re_{жс}^{0,8} \cdot Pr_{жс}^{0,35} = 0,263 \cdot 5861 \cdot 1,5748 = 243$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку рідини R22:

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$\alpha_{\text{жс}} = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{жс}}}{d_{\text{экс}}} = \frac{243 \cdot 0,0686}{0,02} = 833 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Оскільки масло в R22 добре розчиняється, на стінках труб відсутня масляна плівка, тому їх термічний опір одно термічному опору стінки сталеві трубки.

Для стали 20 коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda_{\text{ст}} = 52 \frac{Вт}{м \cdot К}$$

Термічний опір стінки труби:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\delta_{\text{зм}}}{\lambda_{\text{ст}}} = \frac{0,002}{52} = 3,85 \cdot 10^{-5} \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$$

Коефіцієнт тепловіддачі РТО:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + R_{\text{ст}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ж}}}} = \frac{1}{\frac{1}{315} + 3,85 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{833}} = 227 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Середня логарифмічна різниця температур при русі середовищ в РТО протитечею:

$$\theta_{\tau} = \frac{(T_{\text{ж2}} - T_{\text{n1}}) - (T_{\text{ж1}} - T_{\text{n2}})}{\ln \frac{T_{\text{ж2}} - T_{\text{n1}}}{T_{\text{ж1}} - T_{\text{n2}}}} = \frac{(T_3 - T_{1''}) - (T_{3'} - T_1)}{\ln \frac{T_3 - T_{1''}}{T_{3'} - T_1}} = \frac{(300 - 273) - (303 - 263)}{\ln \frac{300 - 273}{303 - 263}} = 33^{\circ}$$

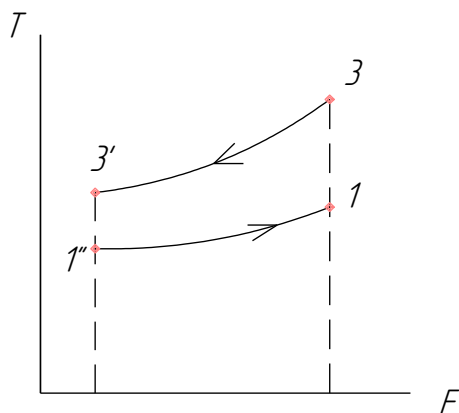


Рис. 3 – Схема зміни температур середовищ, що рухаються протитечею.

Площа теплообмінної поверхні РТО:

$$F_p = \frac{Q_{\text{РТО}}}{K \cdot \theta_T} = \frac{2,04 \cdot 10^3}{227 \cdot 33} = 0,18 \text{ м}^2$$

З урахуванням 20% запасу приймаємо площу теплообмінної поверхні РТО:

$$F_{\text{пр}} = 1,2 \cdot F_p = 0,216 \text{ м}^2$$

Довжина внутрішньої труби РТО:

$$L = \frac{F_{\text{пр}}}{\pi \cdot d_{\text{ср}}} = \frac{0,216}{\pi \cdot 0,036} = 1,2 \text{ м}$$

Довжина кожуха РТО з урахуванням конструкції підвідних патрубків та відповідних фланців:

$$L_k = L - 2l = 1,2 - 0,06 = 1,14 \text{ м}$$

де $l = 0,03 \text{ м}$ – конструктивний розмір відповідного фланця.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-		16

4. Гідрравлічний розрахунок

Визначаємо гідрравлічний опір кільцевого зазору РТО. Задаємо величиною шорсткості на стінці труби $\Delta = 0,1 \text{ мм} = 0,0001 \text{ м}$.

Коефіцієнт гідрравлічного тертя визначаємо за формулою А.Д. Аль-Тшуля для турбулентного режиму течії рідкого R22:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}_{\text{ж}}} + \sum \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{68}{51282} + \frac{0,0001}{0,048} + \frac{0,0001}{0,052} \right)^{0,25} = 0,03$$

Втрати тиску на тертя в кільцевому зазорі знаходимо за формулою Вейсбаха-Д'Арсі:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \sum \frac{L_{\text{кз}}}{d_{\text{вн}}} \cdot \frac{\rho_{\text{жс}} \cdot \omega_{\text{жс}}^2}{2} = 0,03 \cdot \frac{1,14}{0,052} \cdot \frac{1,2}{0,048} \cdot \frac{1300,8 \cdot 0,5^2}{2} = 2674 \text{ Па}$$

Коефіцієнт місцевого опору патрубків при зміні напрямлення потоку в ньому на 90° приймаємо рівним $\zeta = 1,5$.

Місцеві втрати тиску в РТО знаходимо за формулою Вейсбаха:

$$\Delta p_{\text{м}} = \zeta \cdot \frac{\rho_{\text{жс}} \cdot \omega_{\text{жс}}^2}{2} = 1,5 \cdot 2 \cdot \frac{1300,8 \cdot 0,5^2}{2} = 488 \text{ Па}$$

Загальна гідрравлічний опір РТО в кільцевому зазорі:

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{м}} = 2674 + 488 = 3162 \text{ Па}$$

Втрати тиску на тертя у внутрішній трубці:

$$\Delta p'_{\text{тр}} = 0,53 \cdot \text{Re}_n^{-0,122} \cdot \rho_n \omega_n^2 = 0,53 \cdot 644819^{-0,122} \cdot 8,983 \cdot 22,32^2 = 463 \text{ Па}$$

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-		17

5. Розрахунок міцності

Труби РТО перевіряють на міцність гідравлічними випробуваннями з запасом за величиною тиску 25% по відношенню до робочого значенням тиску.

Для кожуха РТО тиск випробувань:

$$P_k = 1,25 \cdot p_k = 1,375 \text{ МПа}$$

Для внутрішньої труби РТО тиск випробувань:

$$P_{вт} = 1,25 \cdot p_0 = 0,425 \text{ МПа}$$

Найбільше напруження в стінці кожуха РТО із сталі 20:

$$\sigma_{\text{кож.мах}} = \frac{2R_H^2}{R_H^2 - R_{ВН}^2} \cdot P_{\text{кож}} = \frac{2 \cdot 0,028^2}{0,028^2 - 0,026^2} \cdot 1,375 = 20 \text{ МПа}$$

$\sigma_{\text{кож.мах}} < [\sigma] = 100 \text{ МПа}$ для сталі 20 навіть з урахуванням 20% запасу по напруженням через приварних фланців, тобто умови міцності виконується.

Найбільша напруга у внутрішній трубі РТО зі сталі 20:

$$\sigma_{\text{кож.мах}} = \frac{2r_H^2}{r_H^2 - r_{cp}^2} \cdot P_{вт} = \frac{2 \cdot 0,024^2}{0,024^2 - 0,018^2} \cdot 0,425 = 2 \text{ МПа}$$

$\sigma_{\text{зм.мах}} < [\sigma] = 100 \text{ МПа}$, т.е. умова міцності виконується.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Охорона праці

Умови до обслуговуючого персоналу. До обслуговування холодильних систем і систем кондиціонування допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли медичний здійснюють огляд і мають документ про закінчення спеціального навчального закладу або курсів [1, 2, 3].

До самостійного обслуговування холодильних систем і систем кондиціонування можуть бути допущені працівники тільки після проходження під керівництвом досвідченого наставника стажування протягом одного місяця і відповідної перевірки знань.

Виконання робіт в машинних і апаратних відділеннях, а також в холодильних камерах та інших приміщеннях, де є холодильне обладнання для елементів, працівниками, не пов'язаними з обслуговуванням холодильної системи та експлуатацією холодильних камер (ремонт, теплоізоляція, покраска, обладнання і труб та ін.), проводиться після відповідного інструктажу і під наглядом працівника, відповідального за експлуатацію холодильної системи.

Допущений до роботи персонал повинен бути проінструктований про небезпечні наслідки пошкодження елементів холодильних систем і систем кондиціонування про неприпустимість використання обладнання і труб в якості опор для робочих майданчиків (помостів), сходів і засобів підйому матеріалів та про заборону куріння в приміщеннях.

Особи, допущені до технічного обслуговування конкретної системи, крім загальнотеоретичних знань і вимог Правил безпечної експлуатації холодильної установки, повинні знати:

- пристрій, правила обслуговування і принцип роботи холодильної системи, включаючи систему трубопроводів;
- порядок виконання робіт з пуску, зупинці холодильної системи і її елементів, регулювання режиму їх роботи (відповідно до інструкції організації виготовлювача по обслуговуванню встановленого обладнання);
- нормальний режим роботи холодильної системи;
- правила заповнення холодоагентом, маслом і холодоносієм;
- порядок ведення експлуатаційного журналу холодильної системи;
- правила користування засобами індивідуального захисту;
- правила охорони праці та надання першої допомоги, в тому числі при ураженні електрострумом.

									Лист
									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да					

ХМ 01.00.00.00 ПЗ

Періодична перевірка знань обслуговуючого персоналу правил, нормативних документів з технічного обслуговування холодильної системи та охорони праці, а також практичних дій повинна проводитися не рідше 1 разу на рік комісією, що складається з фахівців по холодильній техніці і охорони праці. Склад комісії затверджується роботодавцем.

Вимоги до машинного залу. У машинному залі повинен бути встановлений монітор якості повітря, здатний визначати концентрації приміщеннях хладагентів до рівнів EEL або STEL. Необхідно також передбачити відповідні сигнальні системи, що спрацьовують при досягненні рівня AEL концентрації хладагентів або при рівні нижче AEL і оповіщають персонал за межами машинного залу про наявність витоку. Розвантажувальні колектори запобіжних клапанів і спускні вентиля повинні бути виведені за межі машинного залу і вимкнені від всіх повітрязабірників, з'єднаних з будівлею. У разі погіршення якості повітря слід скористатися місцевою витяжкою для вентиляції виробничого приміщення.

У машинному залі або інших приміщеннях, де перебувають з основний час чергові зміни, які обслуговуються холодильні системи, на видному місці повинні бути вивішені:

- принципів технологічні схеми трубопроводів (холодоагенту, води, холодоносіїв) і розміщення на них холодильного та технологічного обладнання, з пронумерованій запірною арматурою, нанесенням місць розміщення КВП і короткими поясненнями;
- плани розміщення холодильного технологічного устаткування, трубопроводів і отсечной запірної арматури;
- режимні карти роботи холодильних установок;
- інструкції по зупинці холодильних установок і про дії при виникненні аварійних ситуацій;
- списки, телефони і адреси посадових осіб і спецпідрозділів (пожежні команди, швидкої допомоги, електромережі та ін.), Які повинні бути негайно повідомлені про аварію або пожежу; - аптечки і засобів індивідуального захисту.

Біля входів у охолоджувані приміщення (коридор, естакада) повинні бути вивішені інструкції з охорони праці при проведенні робіт в цих приміщеннях і захисту охолоджувальних пристроїв і трубопроводів від пошкоджень.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Да-</i>		21

При огляді холодильного обладнання, розташованого в закритих приміщеннях, а також трубопроводів в колодязях і тунелях необхідно впевнитись у відсутності в повітрі холодоагенту, наприклад, за допомогою галоидного або іншого течеискателя. У разі виявлення парів холодоагента в цих об'єктах вхід в них заборонений до їх провітрювання.

Проходи поблизу холодильного обладнання повинні бути завжди вільні, а підлоги проходів - в справному стані.

Забороняється експлуатація холодильної системи з несправними приладами розчинами захисної автоматики.

Для діагностування роботи холодильних систем з зарядкою до 50 кг холодоагенту (хладону) допускається застосування знімних приладів, наприклад, манометричної станції. Перевірка герметичності установок повинні проводитися в залежності від маси заправленого холодоагенту і числа можливих місць витоків.

Куріння в машинних відділеннях, а також в інших приміщеннях, де встановлено холодильне обладнання, забороняється. Зварювання та пайка при ремонті машин, агрегатів, апаратів, трубопроводів діючих холодильних систем повинні застосовуватися під наглядом старшого технічного персоналу та при наявності письмового дозволу працівника, відповідального в організації за справний стан, правильну і безпечних експлуатацію холодильних систем .

Перед зварюванням або паянням слід видалити холодоагент з ремонтується холодильного обладнання або трубопроводу. Зварювання та пайка повинні проводитися відповідно до вимог Правил пожежної безпеки в Україні. Нагнітальний вентиль компресора слід закрити лише після усунення можливості автоматичного пуску цього компресора.

Забороняється знімати огороження з рухомих частин і торкатися до рухомих частин холодильного обладнання, як при роботі, так і після зупинки цього обладнання, поки не буде попереджено його випадкове або несанкціоноване включення.

Розкривати компресори, апарати і трубопроводи холодильних систем дозволяється тільки після того, як тиск холодоагенту буде знижений до атмосферного і залишиться незмінним протягом 20 хв.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-		22

Забороняється розкривати холодильні апарати з температурою стінок нижче ніж мінус 35 ° С (до їх утеплення).

Концентрація хладоносителя повинна бути такою, щоб температура замерзання була не менше ніж на 8 ° С нижче температури кипіння холодоагенту при робочих умовах.

Холодильні системи повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до чинних норм. Розміщення і зберігання в приміщеннях холодильних установок сторонніх предметів не допускається.

Перед початком роботи з обладнанням в закритих приміщеннях переконуються в тому, що розвантажувальні колектори запобіжних клапанів і спускні вентиля виведені за межі приміщення і відключення від всіх повітрязбірників, з'єднаних з будівлею. Перевіряють, чи добре вентилюється приміщення. При необхідності для розсіювання парів хладагентів можна скористатися допоміжними вентиляційними системами (наприклад, воздуховодами або вентиляторами). Перш ніж увійти в закриті приміщення, перевіряють його на наявність кисню. Для випробування на наявність кисню не можна користуватися монітором наявності витоків, так як з його допомогою можна встановити, досить чи в приміщенні кисню для життєдіяльності. Для контролю за наявністю кисню в виробничих приміщеннях повинні бути передбачені спеціальні прилади.

При роботі з судами під тиском, до деяких з небезпечних факторів належать такі:

- в переповненому контейнері, ємності або трубопроводі при підвищенні температури може статися небезпечний підйом гідростатичного тиску, що, в свою чергу, може викликати виток під високим тиском або навіть розрив ємності;
- в разі, якщо правильно наповнений поворотний або разовий балон розігрівається до температури, що перевищує рекомендовану (52 ° С), це може призвести до підйому тиску до небезпечного рівня, що перевищує тиск, на яке розрахований балон;
- поворотний або разовий балон для зберігання хладагентів, з'єднаний з лінією нагнітання холодильної системи, може піддатися дії тисків, на які не розрахована міцність запобіжних клапанів балона, що може викликати руйнування балона.

Балон забороняється вміщувати у джерел теплоти і відкритого полум'я (печі, опалювальні пристрої, парові труби та ін.) І струмоведучих кабелів і проводів

Для наповнення холодоагентом з холодильної системи повинні вико-тися тільки балони ні з простроченою датою їх технічного освіде-тельствованія. Норма заповнення не повинна перевищувати допустимих зна-чень, вказаних, зокрема, в Правилах будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском. Перевірка наповнення балонів повинна виконуватися зважуван-ням.

Не можна підвищувати тиск в системах або ємностях, що містять хла-дагенти, повітрям для проведення випробувань на витік або в будь-яких ін-их цілях. Не можна зберігати балони під прямими сонячними променями, де те-мпература може перевищити 52 ° С, Не слід користуватися пальниками або відкритим полум'ям для розігріву балона під час робіт по заправці холодоа-генту. Не можна без необхідності чіпати клапани або пристрою скидання ти-ску. Забороняється заповнювати повторно разові балони від-які працювали з холодоагентами або мастильними матеріалами, а також чим би то не було. Будь-які залишки хладагентів необхідно використовувати або перелити в збірні контейнери; порожній балон підлягає відповідній утилізації. Транспор-тування вихідних балонів, заповнених відпрацьованого-тавшімі холодоаген-тами, заборонена законом.

Забороняється використовувати разові балони для холодоагентів в якості єм-ностей для стиснутого повітря. Балони з холодоагентами не мають відпо-ного внутрішнього покриття, в зв'язку з чим волога, що міститься у вологому повітрі, призведе до виникнення корозії. Це може ослабити міцність балона і викликати вибух. До руйнування балона слідів ослаблення його міцності мо-же і не виявитися. Необхідно завжди зберігати балони з холодоагентами в сухому приміщенні на спеціальному складі. Зберігання у вологому примі-щенні може привести до виникнення корозії, яка з часом призведе до ослаб-лення міцності балонів. У машинному залі дозволяється зберігати не більше одного балона з холодоагентом (хладоном).

При роботі з балонами слід повільно відкривати вентилі. Необхідно переко-

									Лист
									Лист
									24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да					

ХМ 01.00.00.00 ПЗ

натися в тому, що етикетка холодоагенту відповідає кольоровому коду або етикеток на обладнанні. Не слід намагатися регулювати без належної підготовки будь-які запобіжні пристрої на балонах, розташованих поруч з холодильним обладнанням. Не можна упускати балон, допускати появи вм'ятин і інших механічних пошкоджень. Не можна закріплювати з'єднання з зусиллям.

Огляд і експлуатація балонів повинні проводитися в відповідності до вимог діючих Правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском.

При роботі з холодоагентами. Первинну заправку або дозаправку холодильної системи холодоагентом (хладоном) в умовах експлуатації рекомендується виконувати по рідкій фазі холодоагенту, якщо інше не передбачено організацією-виробником. При дозаправці використовують капілярну трубку або інший пристрій, що забезпечує дроселювання рідини, для запобігання можливості потрапляння рідкого холодоагенту у всмоктувальну порожнину компресора.

Перед заповненням холодильної системи холодоагентом слід упевнитися в тому, що в балоні міститься відповідний холодоагент. Перевірка проводиться за величиною тиску пари холодоагенту при температурі балона, що дорівнює температурі навколишнього повітря. Перед перевіркою балон повинен перебувати в даному приміщенні не менше 6 годин.

Не допускається залишати балони з холодоагентом, приєднаними до холодильної установки, якщо не проводиться заповнення або видалення з неї холодоагенту.

Заповнення холодоагентом повністю агрегованих холодильних установок рекомендується проводити на підприємстві-виготовлювачі, якщо це не суперечить документації до установки. Поповнення установок холодоагентом повинно здійснюватися у відповідності з вимогами, викладеними в інструкції заводу-виготовлювача, і тільки після виявлення і усунення причин витоку холодоагенту.

Перше заповнення холодильної установки холодоагентом має оформлятися актом (з додатком розрахунку необхідної кількості холодоагенту). Для холо-

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-		25

дильних установок повної заводської готовності акт про первинне заповнення установки холодоагентом не складається (за відсутності витіку холодоагенту при транспортуванні).

Для виявлення місця витіку холодоагенту дозволяється використовувати галюідні і інші течєіскатели, мильну піну, полімерні індикатори герметичності. Наявність слідів масла в роз'ємних з'єднаннях, бульбашок при обмилуванням з'єднань, зміна кольору полум'я вказують на витік холодоагенту.

При виявленні витіку холодоагенту необхідно, по можливості, видалити холодоагент з пошкодженої ділянки холодильної установки, встановити установку, перекрити запірною арматурою пошкоджену ділянку, включити витяжну вентиляцію і усунути витік.

Холодоагенти не можна піддавати дії відкритого полум'я або електричних нагрівальних елементів. Високі температури і полум'я можуть викликати розкладання хладагентов з виділенням токсичних димів. Крім цього, полум'я може різко збільшитися в розмірах або змінити забарвлення в присутності багатьох традиційних (озоноопасних) холодоагентів, включаючи R500 або R22, а також багатьох альтернативних хладагентов за умови їх високої концентрації. Таке збільшення полум'я може викликати переляк у персоналу або навіть призвести до травми. Багато холодоагенти ГХФУ і ДФУ можуть стати горючими, якщо їх змішати з повітрям, а потім розігріти і збільшити тиск. У минулому при роботі з ХФУ звичайними були випробування сумішей повітря і хладагента зі зростанням тиску. Однак при роботі з ГХФУ або ДФУ таких випробувань слід уникати, так як, наприклад, R134a може спалахнути при абсолютному тиску 139 кПа і температурі 177 ° С, якщо його змішати з повітрям в концентраціях, зазвичай перевищують 60% (за об'ємом повітря) . При більш низьких температурах для додання суміші горючості потрібні більш високі тиску. R22 також може спалахнути при тисках, що перевищують атмосферний, якщо змішати його з повітрям при високих концентраціях. Оскільки альтернативні хладагента містять компоненти ГХФУ або ДФУ, передбачається, що їх поведінка виявиться аналогічним. З цієї причини їх не слід змішувати з повітрям ні в яких концентраціях для проведення випробувань з метою виявлення витоків.

												Лист
												26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Да-								

Вплив хладагентів на організм людини. Теплове розкладання.

Холодоагенти розкладаються під впливом високих температур, викликаних відкритим полум'ям або електричними нагрівачами. При розкладанні можуть виділятися токсичні і дратівливі з'єднання, в зокрема, хлориди водню і фтору. Сильний запах, що випускається розкладним холодоагентом, викликає у обслуговуючого персоналу подразнення слизової оболонки носа і горла. Кошти, виділені кислотні пари небезпечні, і щоб уникнути їх впливу на персонал виробниче приміщення необхідно негайно звільнити від людей і провітрити. Людину, яка зазнала впливу продуктів розкладання хладагентів, необхідно вивести на свіже повітря і негайно надати йому медичну допомогу. Не слід продовжувати роботу в присутності таких парів, оскільки це може завдати шкоди здоров'ю персоналу.

Потрапляння хладагенту на шкіру і в очі. При кімнатній температурі пари хладагентів SUVA® не роблять серйозного впливу на уражені ділянки. Якщо існує небезпека попадання рідких холодоагентів на шкіру, потрібно обов'язково носити захисний одяг, в тому числі з довгими рукавами, і рукавички. Серед засобів індивідуального захисту у персоналу повинні бути захисні окуляри і лицьовий щиток для захисту очей.

У разі потрапляння в очі рідкого холодоагенту їх слід рясно промити водою, а потім звернутися за медичною допомогою.

Обмороження. Попадання на шкіру або в очі рідкого холодоагенту SUVA® призводить до їх різкого охолодження, викликаючи обмороження. Якщо на працівника виплеснувся рідкий холодоагент, необхідно негайно зняти весь одяг, на яку потрапив холодоагент, щоб уникнути ширшого обмороження. Промити уражену ділянку теплою водою (не холодною і не гарячою). Не слід накладати пов'язки або використовувати мазі. Необхідно негайно звернутися за медичною допомогою.

Висновок

В результаті виконаних в даній випускній роботі розрахунків визначені основні параметри і розміри регенеративного теплообмінника фреонової холодильної машини, що має холодопродуктивність $Q_0 = 35$ кВт, працюючої на фреоні R22. Коефіцієнт теплопередачі теплообмінника $k = 227 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, площа теплообмінної поверхні $F_{np} = 0,216 \text{ м}^2$. Працездатність регенеративного теплообмінника підтверджується тепловим, гідравлічним та розрахунком міцності. Холодильний коефіцієнт циклу з введенням регенеративного теплообмінника збільшився на 5,8% в порівнянні з циклом без РТО.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Список використаних джерел

- Богданов С.М., Іванов О.П., Купріянова А.В. «Холодильна техніка. Властивості речовин» - М.: Агропромиздат, 1985. - 208 с.
- Данилова Г.Н., Богданов С.М. та ін. «Теплообмінні апарати холодильних установок» - Л.: Машинобудування, 1986. - 303 с.
- Міхєєв М.А., Міхєєва І.М. «Основи теплопередачі» - М.: Енергія, 1973. - 320 с.
- Ідельчик І.Є. «Довідник з гідравлічних опорам» - М.: Машинобудування, 1975. - 560 с.
- Ольшанський, А. І. Основи енергозбереження: курс лекцій / А. І. Ольшанський, В. І. Ольшанський, Н. В. Беляков; УО «ВДТУ». - Вітебськ, 2007. - 223 с.
- Бакластов А.М. Проектування, монтаж і експлуатація тепловикористовуючих установок. М.: Енергія, 1970. - 568.
- Міжгалузеві правила по охороні праці при експлуатації фреонових холодильних установок. ПОТ Р М 015-2000. Вид. УПЦ "Талант" - 2001 - 56 с.
- Онищенко Н.П. Безпечні методи роботи при монтажі, налазці, експлуатацію аміачних холодильних установок. - М.: Легка і харчова промисловість, 1984 - 280 с.
- Правила будови і безпечної експлуатації аміачних холодильних установок. (ПБ-09-220-98) М.: 1999 - 90 с.

					ХМ 01.00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28