

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему Дослідження ежекторної холодильної машини на R606a з
використанням сонячної енергії**

(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Свінченко О.С.

(прізвище, ініціали)

4

курсу ЕЕ-444 групи

Керівник доц. Подмазко О.С.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. каф. ЕТ та ПЕ Подмазко О.С.

доц. каф. ХУ і КП Піщанська Н.О.

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 09 червня 2023 р., протокол № 11.

Завідувач кафедри ЕТтаПЕ _____

(назва кафедри)

(підпис)

Юрій СЕМЕНЮК

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Одеса – 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<u>Нафти, газу та екології</u>
Кафедра	<u>Екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології</u>
Ступінь вищої освіти	<u>Бакалавр</u>
Спеціальність <u>електромеханіка</u>	<u>141 Електроенергетика, електротехніка та</u>
Освітня програма	<u>Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ю.В. Семенюк

«28» лютого 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Свінченко Олександра Сергійовича

- 1.Тема роботи Дослідження ежекторної холодильної машини на R606a з використанням сонячної енергії. Затверджена наказом університету від 31.03.2023 р. наказ № 119-03
- 2.Термін здачі здобувачем закінченої роботи 08.06.2023 р.
- 3.Вихідні дані роботи: установка для охолодження рослиної продукції холодовидатністю 10 кВт; робоча речовина R 600, ежекторна холодильна машина; діапазон теплоти генерації сонячної енергії: 0...50кВт; діапазон температури генерації: 80...120 °C
- 4.Перелік питань, які потрібно розробити: Вступ; 1. Технічні рішення прийняті в дипломній роботі; 2. Тепловий розрахунок цикла ; 3. Тепловий та конструктивний розрахунок повітроохолоджувача та конденсатора; 4. Дослідження ежекторної холодильної машини; 5. Основні принципи автоматичного управління роботою машини; 6. Розрахунок капітальних вкладень в обладнання 7. Охорона праці; 8. Цивільний захист; Список використаної літератури; Специфікації
- 5.Перелік графічного матеріалу (з точним зазначення обов'язкових креслень): Схема ежекторної холодильної машини з використанням сонячної енергії; Схема ежектора; концентричний (параболічний) сонячний колектор; Кузов транспортного засобу для охолодження рослинної продукції; Конденсатор та випарник EXM; Залежність Q_0 від Q_T

6.Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Піщанська Н.О., доц. ЕТ та ПЕ	28.02.2023 р.	28.02.2023 р.
Цивільний захист	Подмазко О.С., доц. ХУ і КП	28.02.2023 р.	28.02.2023 р.
Економ. частина	Піщанська Н.О., доц. ХУ і КП	28.02.2023 р.	28.02.2023 р.

7. Дата видачі завдання

28.02.2023 р.

Керівник

Подмазко Олександр Степанович

Завдання прийняв до виконання

Свінченко Олександр Сергійович

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Технічні рішення прийняті в дипломній роботі. Схема ежекторної холодильної машини з використанням сонячної енергії.	20.03.2023 р.	
2	Тепловий розрахунок цикла. Тепловий та конструктивний розрахунок повітроохолоджувача та конденсатора.	15.04.2023 р.	
3	Дослідження ежекторної холодильної машини. Схема ежектора. Концентричний (параболічний) сонячний колектор.	01.05.2023 р.	
4	Основні принципи автоматичного управління роботою машини. Розрахунок капітальних вкладень в обладнання. Кузов транспортного засобу для охолодження продукції.	15.05.2023 р.	
5	Охорона праці. Цивільний захист. Конденсатор та випарник ЕХМ. Залежність Q_0 від Q_T	08.06.2023 р.	

Здобувач-дипломник

Свінченко Олександр Сергійович

Керівник роботи

Подмазко Олександр Степанович

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web- ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник

Свінченко Олександр Сергійович

РЕФЕРАТ

Виконавець: бакалавр ЕЕ-444 групи Свінченко Олександр Сергійович

Керівник: доцент, кандидат технічних наук Подмазко О.С.

Тема дипломної роботи: «Дослідження ежекторної холодильної машини на R606a з використанням сонячної енергії»

Дипломна робота: 75 с. Рис.: 36; Таб: 28; Літ. джерел: 16.

Мета роботи: Розробити транспортну установку, в яку входить ежекторна холодильна машина (ЕХМ), що включає в себе: ежектор, конденсатор повітряного охолодження, повітроохолоджувач. Робочою речовиною в установці являється фреон R-600a. Установка призначена для роботи в складі сільськогосподарської техніки при зборі врожаю зернових, фруктів, ягід, при підготовці молока для здачі на переробні заводи.

Установка змонтована як єдиний блок с автономним джерелом живлення (бензиновим двигуном) і встановлена на автомобільному причепі. Причіп розрахований на вантажопідйомність 1000 кг. Для роботи установки використовується сонячна енергія.

В дипломній роботі були отримані наступні результати:

Проведені розрахунки холодильного циклу, повітроохолоджувача, конденсатора, ежектора. Також освітлені питання автоматичного управління, капітальних вкладень, охорони праці та цивільного захисту.

Ключові слова: ЕЖЕКТОР, ЕЖЕКТОРНА ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА, КОНДЕНСАТОР, ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧ, СОНЯЧНИЙ КОЛЕКТОР

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Performer: bachelor EE-444 group Svinchenko Oleksandr Serhiyovych

Supervisor: associate professor, candidate of technical sciences Podmazko O.S.

Topic of the thesis: "Research of an ejector refrigerating machine on R606a using solar energy"

Thesis: 75 p. Fig.: 36; Tab: 28; summer sources: 16.

The purpose of the work: to develop a transport installation, which includes an ejector refrigerating machine (EHM), which includes: an ejector, an air cooling condenser, an air cooler. The working substance in the installation is freon R-600a. The installation is intended for work as part of agricultural machinery during the harvesting of grain, fruit, and berries, during the preparation of milk for delivery to processing plants.

The installation is assembled as a single unit with an autonomous power source (gasoline motor) and installed on a car trailer. The trailer is designed for a load capacity of 1000 kg. Solar energy is used to operate the installation.

The following results were obtained in the thesis:

Calculations of the refrigerating cycle, air cooler, condenser, ejector have been carried out. The issues of automatic management, capital investments, labor protection and civil protection are also illuminated.

Keywords: EJECTOR, EJECTOR REFRIGERATOR, CONDENSER, AIR COOLER, SOLAR COLLECTOR

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Технічні рішення прийняті в дипломній роботі.....	9
Розділ 2. Тепловий розрахунок циклу.....	16
Розділ 3. Тепловий та конструктивний розрахунок повітроохолоджувача.....	27
Розділ 4. Тепловий та конструктивний розрахунок конденсатора з повітряним охолодженням.....	41
Розділ 5. Дослідження ежекторної холодильної машини.....	51
Розділ 6. Основні принципи автоматичного управління роботою машини....	58
Розділ 7. Розрахунок капітальних вкладень в обладнання.....	60
Розділ 8. Охорона праці.....	63
Розділ 9. Цивільний захист.....	66
Список використаної літератури.....	72
Специфікації.....	73

					ДР: Дослідження EXM на R606a з використанням сонячної енергії			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Свінченко О.С.			Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Подмазко О.С.					6	75
Реценз.						ОНТУ гр.ЕЕ-444		
Н. Контр.								
Затверд.								

ВСТУП

Одним з найважливіших напрямків зберігання енергетичних ресурсів (вугілля, нафта, газ) стає застосування відновлюваних джерел енергії – сонячної, вітрової, геотермальної, теплової енергії моря, енергії біопалива тощо.

Частка електроенергії, що витрачається на виробництво штучного холоду, стає відчутнішою в енергетичному балансі багатьох країн світу, що робить актуальним питання енергопостачання холодильних машин. У зв'язку з цим останніми роками зріс інтерес до тепловикористовуючих холодильних машин, що утилізують відхідне тепло, вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) і сонячну енергію.

Сонце – це найпотужніше джерело енергії для нашої планети. Без сонячної теплоти і світла будь-яке життя на Землі було б неможливе. Всі наші повсякденні справи включають використання енергії. Вона необхідна для пересування транспорту і приготування їжі, для роботи і відпочинку, для обігріву і охолодження приміщень.

Енергія Сонця може використовуватися для безлічі завдань. Хоча сонячна енергія є порівняно новим джерелом енергії, що легко може стати найважливішим джерелом енергії в майбутньому.

Використання енергії сонця в тепловикористовуючих генераторах холоду, зокрема в ежекторних холодильних машинах (ЕХМ), може дати значну економію палива, електроенергії, матеріальних і трудових витрат, а також сприяє захисту навколишнього середовища від забруднення.

Рослинні продукти є біологічними активними. Основним процесом рослинних продуктів є процес дихання, який пов'язаний з втратою ними вологи, втратою стійкості до захворювань, а також в'яненням. Таким чином охолодження рослинних продуктів є біологічними обумовленим процесом, який забезпечує збереження продуктів. При охолодженні продукції

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

рослинного походження загальмовуються процеси дихання і дозрівання, знижується активність мікробіологічної флори і швидкість ферментативних процесів. Усі ці чинники сприяють збільшенню термінів зберігання. Для попередження небажаних якісних змін в продуктах необхідно з охолоджувати відразу після збору. Кінцевою метою сільгоспвиробників є не усі зростаючи обсяги виробництва продукції, а реалізація її за найбільш вигідною ціною. Проект аграрного маркетингу організував і провів останнім часом цілу низку заходів, присвячених цим актуальним питанням. Фермери отримали можливість зустрітися, прослухати лекції, отримати консультації і практичні рекомендації по кожному зі своїх господарств. Овочі починають швидше "старіти" і робитися непридатними, тому украй важливо якнайшвидше охолодити продукцію, призначену для закладки на тривале зберігання. Для найбільш успішного зберігання зібраних продуктів слід впроваджувати так званий "холодильний ланцюг" - інфраструктуру холодильних об'єктів, яка діє як єдине ціле від поля до споживача. Її початкові ланки - це приміщення для попереднього охолодження по сусідству з виробництвом (полем, садом). Також потрібне створення малих і середніх холодильних сховищ в зручно розташованих місцях(зони виробництва, розподільні пункти, ринки)

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПРИЙНЯТІ В ДИПЛОМНІЙ РОБОТІ

Машина призначена для роботи в складі сільськогосподарської техніки при зборі врожаю зернових, фруктів, ягід, при підготовці молока для здачі на переробні заводи.

Машина може забезпечувати підтримку низької температури в приміщенні тимчасового перебування людей при несприятливих зовнішніх умовах (висока температура навколишнього середовища, тимчасового перебування швидко псуючих продуктів харчування та ін.).

Машина змонтована як єдиний блок с автономним джерелом живлення (бензиновим генератором) і встановлена на автомобільному причепі. Причіп розрахований на вантажопідйомність 1000 кг.

В схему ежекторної холодильної машини (ЕХМ) входять: ежектор, конденсатор повітряного охолодження, повітроохолоджувач, лінійний ресивер, масловіддільник. Робочою речовиною в машині являється фреон R-600a.

Ежекторні холодильні машини ЕХМ - наступний тип тепло використовуючих генераторів холоду. Відрізняються надійністю і зручністю експлуатації, проте використання води у якості робочої речовини призводило до збільшення металоємності і ускладнення схеми із-за наявності вакууму в апаратах і необхідності видалення повітря з системи.

Останнім часом зріс інтерес до ЕХМ, які працюють легко киплячих речовинах з сімейства фреонів. Заміна води фреонами підвищує енергетичні і експлуатаційні характеристики ЕХМ, призводить до спрощення схеми, завдяки чому розширюються сфери застосування генераторів холоду такого типу. Найбільш суттєвими недоліками ФЕХМ є нижча в порівнянні з іншими тепло використовуючими генераторами холоду енергетична ефективність і нестійка робота в нерозрахункових режимах. У зв'язку з цим, як показує огляд вітчизняних і зарубіжних літературних джерел, не припиняється пошук шляхів підвищення ефективності ФЕХМ і розширення областей їх

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективного використання.

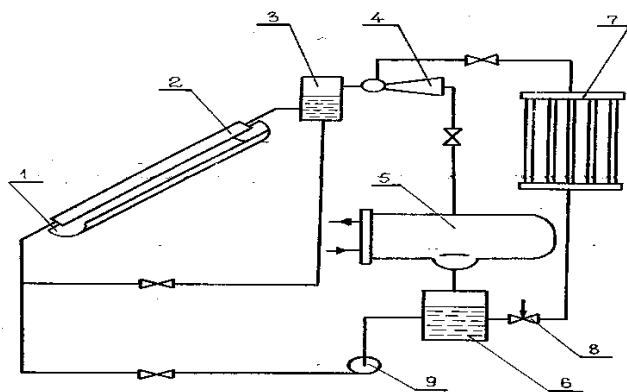


Рис 1.1 Схема ГЕФХМ з концентратором

1 – параболічний відбивач; 2 – генератор; 3 – парозбірник; 4 – ежектор; 5 – конденсатор; 6 – концентратором 7 – випарник(повітроохолоджувач); 8 – регулюючий вентиль; 9 – насос

Перші випробування ежекторної холодильної машини, працюючої на сонячній енергії (ГЕФХМ) були зроблені Давлетовим О. у фізико-технічному інституті АН ТССР . На рис. 1.1 представлена схема машини, працюючої на R12 і призначеної для охолодження повітря в лабораторних приміщеннях. Генератор 2 виконаний у вигляді суцільнотягнутої труби завдовжки 6 м, поміщеної у фокусі параболоциліндричного відбивача 1 площею 12 м². Пара, що утворилася в генераторі, при температурі 70 - 80 °С, поступає в сопло ежектора 4 і підсмоктує холодну пару з пристінного повітроохолоджувача 7. Стиснута в дифузорі суміш подається в охолоджуваній водою конденсатор 5, з якого одна частина рідкого холодоагенту насосом 9 повертається в генератор, а інша - через регулюючий вентиль 8 спрямовується в повітроохолоджувач 7.

1.1 Ежектор

Ежектор (рис. 1.2) був запропонований як пристрій, в якому використовується ефект падіння тиску. Це дозволяє забирати (ежектувати) потік 1 (низького тиску) потоком 2 (високого тиску)

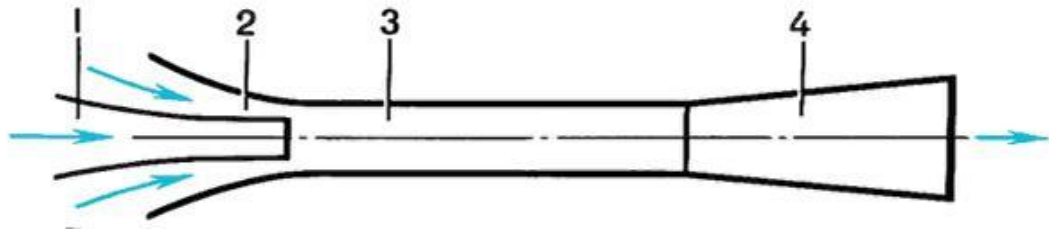


Рис. 1.2. Ежектор:

1-потік з низьким тиском; 2- потік з високим тиском; 3- звуження; 4 – дифузор;

1.2. СХЕМА І ПРИНЦИП РОБОТИ ЕЖЕКТОРА

Основний елемент машини - ежектор, принципова схема якого показана на рис. 1.3 (там же показана зміна статичних тисків по ходу робочої і холодної пари, що ежектуються). Робоча пара з параметрами P_p, t_p підводиться до робочого комбінованого (що розширюється) сопла С. У вузькому перерізі сопла f_{px} досягається критична швидкість, а на виході в перерізі f_{p1} - надкритична. Тиск у вихідному перерізі сопла дорівнює тиску в приймальній камері ПК, рівному тиску P_n кипіння у випарнику.

У міру видалення від сопла масова витрата потоку, що рухається, безперервно збільшується за рахунок інжектовуваного середовища, а поперечний переріз потоку, що рухається, росте. На деякій відстані від вхідного перерізу сопла потік, що рухається у напрямку до камери змішення КС, заповнює увесь переріз f_2 приймальної камери.

Масова витрата потоку, що рухається, досягає в цьому перерізі величини $(G_p + G_n)$, де G_p - витрата робочої пари (через сопло ежектора), G_n - витрата пари, що ежектуються (холодної).

Профіль швидкостей в цьому перерізі має велику нерівномірність по радіусу від дуже малої на межі до близької до швидкості витікання робочої пари з сопла на осі потоку.

Переріз f_2 є кінцевим перерізом приймальної камери і початковим перерізом камери змішення.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переріз, займаний потоком, при подальшому русі визначається профілем струминного апарату, оскільки будь-який переріз струминного апарату, правіше за переріз f_2 заповнено потоком, що рухається. У більшості випадків, коли основна частина камери змішення має циліндричну форму з перерізом $f_3 = f_4 < f_2$ і потік, що рухається, проходить через вхідну ділянку камери змішення, на якому його переріз зменшується від f_2 до $f_3 = f_4$. Швидкість потоку на цій ділянці росте, а тиск падає до $P_4 < P_n$.

Процес вирівнювання швидкостей в камері змішення супроводжується зміною тиску. Циліндрична камера змішення забезпечує найбільшу міру відновлення тиску в порівнянні з камерами іншого профілю. Тому її найчастіше і застосовують в струминних апаратах. Проте при великих ступенях стискування, коли в циліндричній камері змішення настають граничні режими, можуть бути використані камери змішення інших форм.

З рисунку видно, що в камері змішення відбувається зростання тиску потоку від P_4 до P_3 . Далі потік поступає в дифузор Д, де його тиск росте від P_3 до P_c , а його швидкість падає від w_3 до w_c . Тиск за ежектором P_c можна вважати рівним тиску конденсації P_k у конденсаторі.

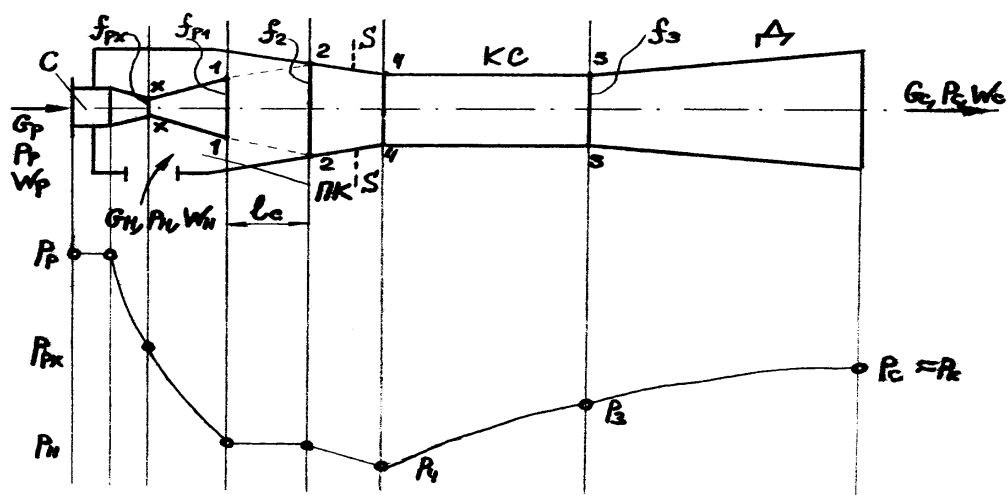


Рис.1.3 Схема ежектора

Працює схема таким чином: компресор відсмоктує пару робочої речовини

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з повітроохолоджувача і стискує її. Далі, пари робочої речовини поступають у масловіддільник, де масло відділяється. Після масловіддільника очищена пара поступає в конденсатор з повітряним охолодженням, де відбувається перехід з пароподібного стану в рідкий. Після конденсатора робоча речовина поступає в лінійний ресивер. Після ресиверу рідина проходячи дросельний пристрій, знижує свій тиск від тиску конденсації до тиску кипіння. У повітроохолоджувачі відбувається кипіння під впливом зовнішніх і внутрішніх тепло припливів, та робоча речовина знову стає пароподібною.

Повітроохолоджувач – повітряний, оснащений вісьовим вентилятором, розміщеним в кожусі, кожух всього повітроохолоджувача заізолюваний ізоляцією. Повітроохолоджувач підключений повітряними трубопроводами до охолоджуваного об'єкту.

Конденсатор – повітряний, оснащений вісьовим вентилятором, розміщеним в кожусі може підключатися за допомогою м'яких трубопроводів до приміщення, якщо потрібно його опалювати.

Лінійний ресивер забезпечує запас холодильного агенту в системі.

Масловіддільник – встановлений на лінії між компресором і конденсатором забезпечує надійне повернення масла в компресор.

Компресор – спіральний, герметичний, марки Copeland – ZR160-KC.

В якості регулюючих пристроїв використовується – терморегулюючий вентиль (ТРВ).

Машина призначена для роботи в діапазоні температур:

$$t_{\text{нав.сер.}} = (-20...+50^{\circ}\text{C})$$

1.3 Визначення раціональної холодопродуктивності мобільної холодильної установки

Холодильна і тепло насосна техніка, змонтована на мобільних пристроях або транспортних засобах, повинна відповідати таким вимогам:

- вантажопід'ємність транспортного засобу і габаритні розміри кузова є головним аргументом для розрахунку продуктивності холодильної машини

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або теплового насоса та вибору устаткування, що їх комплектує;

- температурний режим роботи установки не повинен залежати від коливань температури зовнішнього повітря;
- система охолодження та підігріву теплообмінних апаратів повинна бути тільки типу " повітря - повітря ";
- система енергопостачання установки не повинна залежати від головного двигуна транспортного засобу;
- керування і регулювання роботи установки повинне забезпечуватися через повну автоматизацію за допомогою електронних приладів;
- комплектування теплообмінних апаратів повинно мати просте, швидке та надійне з'єднання установки з об'єктом дії.

Виконання всіх перерахованих умов є необхідним при проектуванні мобільних холодильних машин і теплових насосів для використання їх у системі сільського господарства.

На підставі сказаного робимо таким чином: по загальним показникам в діапазоні продуктивності від 10 до 70 кВт у режимі $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$ і $t_k = 45^{\circ}\text{C}$ на R600 визначаємо масу і габарити всіх елементів холодильної машини (компресора, повітряного конденсатора, повітроохолоджувача) і системи автономного енергопостачання машини.

Для розрахунку будуть використані математичні залежності:

Характеристики компресора (ежектора):

$$Q_0 = V_h * q_v * \lambda$$

$$Q_k = V_h * q_v * \lambda * \frac{COP_{mn}}{COP_{xm}}$$

Характеристика повітроохолоджувача:

$$Q_0 = k_{\text{во}} * F_{\text{во}} * \theta_{\text{м во}}$$

Характеристика конденсатора:

$$Q_{\text{кд}} = k_{\text{кд}} * F_{\text{кд}} * \theta_{\text{м кд}}$$

Маса – габаритні характеристики елементів машини:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Компресор (ежектор):

$$V_h = f(Q_0)$$

$$M_{\kappa\mu} = f(V_h) \quad V_{\kappa\mu} = f(V_h)$$

Повітроохолоджувач:

$$M_{\text{го}} = f(F_{\text{го}}) \quad V_{\text{го}} = f(F_{\text{го}})$$

Конденсатор:

$$M_{\kappa\partial} = f(F_{\kappa\partial}) \quad V_{\kappa\partial} = f(F_{\kappa\partial})$$

Дизельний генератор:

$$M_{\partial\epsilon} = f(N_e) \quad V_{\partial\epsilon} = f(N_e)$$

Реальні габаритні характеристики машини включають не тільки чисті габарити кожного елемента, але й обсяг простору, необхідний для вільної циркуляції повітря через конденсатор і повітроохолоджувач, простір для нормальної експлуатації кожного елемента системи, несучої рами та ізоляційної конструкції повітроохолоджувача.

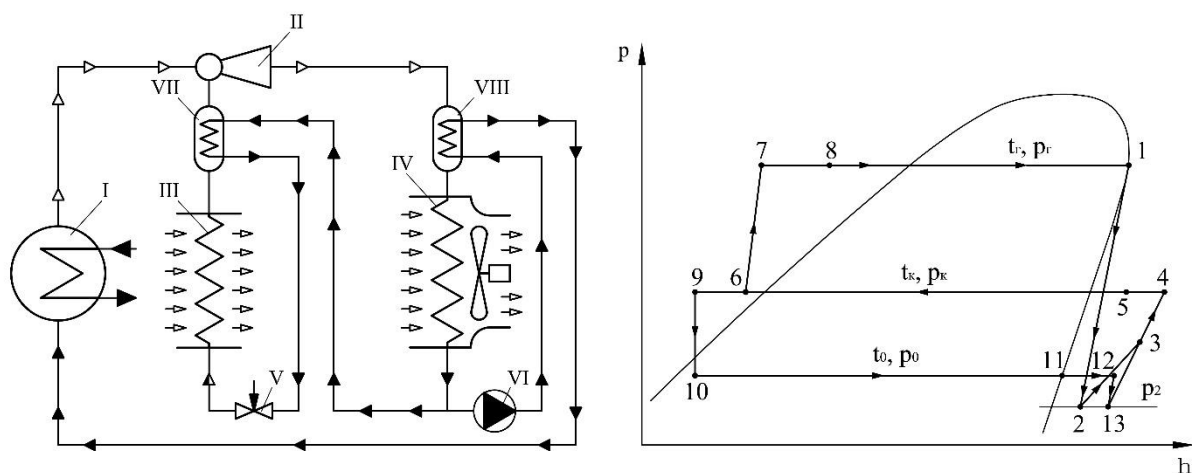
Додатковий габаритний простір визначений на підставі вивчення комплектування моноблочних машин різного призначення малої і середньої продуктивності. Коефіцієнт використання простору, відповідно, в 2,2...6 разів менше повних габаритів машини. Менше значення ставиться до машин більшої продуктивності, більше значення - до машин меншої продуктивності.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЦИКЛУ

Одним з методів підвищення відношення q_0/q_G , а отже і ζ , є застосування подвійної регенерації теплоти за допомогою рекуперативних теплообмінників РТО-1 і РТО-2, встановлених відповідно на всмоктуючій і нагнітальній стороні ежектора (малюнок 2.6). При цьому теплообмінник РТО-1 забезпечує додаткове переохолодження конденсату перед регулюючим вентиляем, що приводить до зростання величини q_0 , а в теплообміннику РТО-2 рідкий холодоагент підігрівається перед надходженням його в генератор за рахунок теплоти стислої пари, що зменшує значення q_G .

Для визначення впливу подвійної регенерації теплоти на показники ЕХМ був прийнятий ежектор з КЦКС і розглядалися цикли ЕХМ без перегріву пари в генераторі і повітроохолоджувачі, і з переохолодженням рідини в конденсаторі на 3 °С (малюнок 2.1).



Малюнок 2.1 Принципова схема і дійсний цикл з подвійною регенерацією теплоти:

I – генератор; II – ежектор; III – випарник; IV – конденсатор; V – регулюючий вентиль; VI – живильний насос; VII – РТО-1; VIII – РТО-2.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Але застосування в ЕХМ дорогих вискоефективних рекуперативних теплообмінників негативно позначається на роботі ежектора – із-за їх істотного гідравлічного опору і, у зв'язку з цим, пониження тиску всмоктування і підвищення тиску нагнітання ежектора, що значно, – приблизно в 2 рази, знижує позитивний теоретичний ефект від їх застосування.

На основі досліджень учених, що застосовували подвійну регенерацію теплоти, можна зробити висновок, що недорогі теплообмінники простої конструкції, що мають малі гідравлічні опори, мають дуже низькі коефіцієнти ефективності, що також робить нераціональним їх застосування в ЕХМ.

У зв'язку з цим доцільнішим рішенням представляється застосування в ЕХМ не додаткових рекуперативних теплообмінників, а декілька дорожчого, але вискоефективного конденсатора, що дозволить знизити граничну і робочу температури конденсації і тим самим значно підвищити енергетичні показники ЕХМ.

Рівняння для розрахунку коефіцієнта ежекції ежектора з КЦКС, що працює на речовинах з однаковими фізичними властивостями має вигляд

$$U \cdot \sqrt{\Theta} = \frac{K_1 \cdot \lambda_{pi} - K_3 \cdot \lambda_{c3}}{K_4 \cdot \lambda_{c3} - K_2 \cdot \lambda_{i2}} \quad (2.1)$$

де

$$K_1 = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \quad (2.2)$$

$$K_2 = \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \varphi_4 \quad (2.3)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_3 = 1 + \varphi_3 \cdot \frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_p} \times$$

$$\frac{\ddot{I}_{c3} - \frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_i} \cdot (\beta - 0,5 \cdot (\beta - 1) \times$$

$$\times \frac{k \cdot \ddot{I}_x \cdot \lambda_{c3} \cdot q_{pi} \cdot \beta}{\times \ddot{I}_{i2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_i} \right)^{1-\alpha} \cdot \left(\frac{\ddot{I}_{c3}}{\ddot{I}_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right] } \quad (2.4)$$

$$K_4 = 1 + \varphi_3 \cdot \frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_i} \times$$

$$\frac{\ddot{I}_{c3} - \ddot{I}_{c2} \cdot (\beta - 0,5 \cdot (\beta - 1) \times$$

$$\times \frac{k \cdot \ddot{I}_x \cdot \lambda_{c3} \cdot q_{i2} \cdot \beta}{\times \ddot{I}_{i2} \cdot \left[1 + \left(\frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_i} \right)^{1-\alpha} \cdot \left(\frac{\ddot{I}_{c3}}{\ddot{I}_{i2}} \right)^{1-\alpha} \right] } \quad (2.5)$$

$$\ddot{I}_{\tilde{o}} = \ddot{I}_{\tilde{o}\tilde{o}} = \ddot{I}_{i\tilde{o}}.$$

Як видно з цих рівнянь, для визначення U необхідно знати газодинамічні функції робочого і ежектируемого потоків у вхідному перетині камери змішування (λ_{pn} , Π_{pn} , q_{pn} і λ_{n2} , Π_{n2} , q_{n2}) і змішаного потоку на виході з камери змішування (λ_{c3} , Π_{c3} , q_{c3}).

Газодинамічні функції, що відносяться до робочого потоку, визначаються по формулам (2.6 – 2.9):

$$\lambda_{pi} = \lambda_{i\tilde{a}\tilde{e}\tilde{n}} \cdot \sqrt[1 - \left(\frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_p} \right)^{\frac{k-1}{k}}]{}, \quad q_{pi} = \lambda_{pi} \cdot \left(\frac{\partial_{\tilde{n}}}{\partial_p} \cdot \frac{1}{\ddot{I}_x} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.6)$$

де

$$\lambda_{i\tilde{a}\tilde{e}\tilde{n}} = \sqrt{\frac{k+1}{k-1}} \quad \ddot{I}_x = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (2.7)$$

Параметри ежектируемого потоку в перетині 2-2 і змішаного потоку в перетині 3-3 не можуть вибиратися довільно. Вони взаємно зв'язані рівнянням:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{i2} = \frac{U \cdot \sqrt{\Theta}}{\beta \cdot (1 + U \cdot \sqrt{\Theta}) \cdot \frac{\delta_i}{\delta_n} \cdot \frac{1}{q_{c3}} - \frac{\delta_i}{\delta_p} \cdot \frac{1}{q_{\delta i}}} \quad (2.8)$$

Завдання розрахунку полягає в знаходженні таких газодинамічних функцій цих потоків, при яких величина U має максимальне значення. У моделі, запропонованій Е.Я. Соколовим і Н.М. Зінгером, це завдання вирішується методом послідовних наближень. Слід зазначити, що такий метод є трудомістким і має невисоку точність обчислень. Тому авторами запропонований інший підхід до рішення цієї задачі. Він полягає в тому, що визначення максимально досяжної величини U зводиться до завдання нелінійного програмування для цільової функції (2.1) при роботі ежектора на першому або третьому граничному режимі.

Перший граничний режим характеризується тим, що ежектируємих потік досягає швидкості звуку у вхідному перетині камери змішування, і в цьому перетині статичний тиск активного і пасивного потоків рівний критичному тиску ежектируємої пари, тобто $p_{ps} = p_{ns} = p_n \cdot \Pi_{nx}$.

При роботі ежектора на третьому граничному режимі змішаний потік має критичну швидкість у вихідному перетині камери змішування 3 – 3 і значення U визначається з виразу (2.1).

Величина U , відповідна першому граничному режиму, обчислюється за формулою:

$$U_{i\delta} \cdot \sqrt{\Theta} = \frac{\mu \cdot \frac{\delta_i}{\delta_n} \cdot \frac{1}{q_{c3}} - \frac{\delta_i}{\delta_p} \cdot \frac{1}{q_{ps}}}{1 - \mu \cdot \frac{\delta_i}{\delta_n} \cdot \frac{1}{q_{c3}}} \quad (2.9)$$

Слід враховувати, що продуктивність ежектора обмежується тим граничним режимом, який настає при меншому коефіцієнті ежекції.

Для знаходження величин λ_{c3} і λ_{n2} складемо систему рівнянь з

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

урахуванням рівняння (2.8) і обмежень (2.1), що накладаються, і (2.9):

$$\begin{cases} \left(\beta - \frac{\partial \tilde{n}}{\partial p} \cdot \frac{q_{c3}}{q_{pi}} \right) \cdot (\lambda_{c3} + K_4 - K_2 \cdot \lambda_{i2}) - \\ - \left(\beta - \frac{\partial \tilde{n}}{\partial i} \cdot \frac{q_{c3}}{q_{i2}} \right) \cdot (\lambda_{c3} + K_3 - K_1 \cdot \lambda_{pi}) = 0 \\ \left(\mu - \frac{\partial \tilde{n}}{\partial p} \cdot \frac{q_{c3}}{q_{ps}} \right) \cdot \left(\beta - \frac{\partial \tilde{n}}{\partial i} \cdot \frac{q_{c3}}{q_{i2}} \right) - \\ - \left(\mu - \frac{\partial \tilde{n}}{\partial i} \cdot q_{c3} \right) \cdot \left(\beta - \frac{\partial \tilde{n}}{\partial \delta} \cdot \frac{q_{c3}}{q_{pi}} \right) = 0 \end{cases} \quad (2.10)$$

Рішення даної задачі нелінійного програмування $U \rightarrow \max$ за умов (2.1), (2.8), (2.9), (2.10) здійснюється за допомогою пакету розширень Optimization Toolbox системи комп'ютерної математики MatLab, що дозволяє провести розрахунки величини U в широкому діапазоні робочих параметрів. Одержані в результаті рішення системи рівнянь (2.10) значення газодинамічних функцій λ_{c3} і λ_{n2} підставляються в рівняння (2.1), з якого визначається максимально досяжне значення U . При цьому для ЦКС слід приймати $\beta = 1$, а для КЦКС слід вибирати оптимальне значення $\beta_{\text{опт}}$, якому відповідає максимальне значення U .

Методика розрахунку показників ЕХМ без регенерації і з регенерацією теплоти приведена нижче, верхній індекс "р" відносяться до схеми з регенерацією теплоти.

Початковими даними для розрахунку циклів ЕХМ на порівнюваних хладагентах є температури t_r , t_k і t_0 , тиск $p_r = f(t_r)$, $p_k = f(t_k)$ і $p_0 = f(t_0)$.

Для ЕХМ з регенерацією теплоти розрахунок слід почати з теплообмінника РТО-1. При цьому для ежектуруємої пари відомими є параметри $t_{11} = t_0$ і $p_{11} = p_0$, а для рідини – параметри $t_6 = t_k$ і $p_6 = p_k$.

Тоді величини t_{12} , h_{12} , h_9 і t_9 на виході з РТО-1 обчислюються з виразів:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{12} = \eta_{D\dot{\alpha} -1} \cdot t_{\hat{E}} + (1 - \eta_{D\dot{\alpha} -1}) \cdot t_0 ;$$

$$h_{12} = h_{11} + c_{p11} \cdot (t_{12} - t_{11}) ;$$

$$h_9 = h_6 + h_{11} - h_{12} ;$$

$$t_9 = t_6 - \frac{h_6 - h_9}{c_{p6}} .$$

Далі проводиться розрахунок максимально досяжної величини U по методиці, описаній вище, і визначаються параметри пари на виході з ежектора:

для схеми без регенерації теплоти:

$$h_4 = \frac{h_1 + U \cdot h_8}{1 + U} ; \quad t_4 = \frac{h_4 - h_n + c_{pn} \cdot t_{\hat{E}}}{c_{pn}} ;$$

для схеми з регенерацією теплоти:

$$h_4^p = \frac{h_1 + U^p \cdot h_{12}}{1 + U^p} ; \quad t_4^p = \frac{h_4^p - h_n + c_{pn} \cdot t_{\hat{E}}}{c_{pn}} .$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потім для схеми ЕХМ з регенерацією теплоти проводяться розрахунки з урахуванням РТО-2. При цьому приймається, що $t_7 = t_6 = t_K$, а величини t_5 , h_5 , h_8 і t_8 на виході з РТО-2 обчислюються з виразів:

$$t_5 = t_4 - \eta_{D\ddot{O}} - 2 \cdot (t_4 - t_7); \quad h_5 = c_{p\ n} \cdot (t_5 - t_E) + h_s;$$

$$h_8 = h_7 + (1+U) \cdot (h_4 - h_5); \quad t_8 = t_{\ddot{A}} + \frac{h_8 - h_m}{c_{p\ m}}.$$

Тепловий коефіцієнт для ЕХМ без регенерації і з регенерацією теплоти визначається по формулам (2.11) і (2.12) відповідно:

$$\zeta = U \cdot \frac{h_8 - h_7}{h_1 - h_6}; \quad (2.11)$$

$$\zeta^P = U^P \cdot \frac{q_0^D}{q_{\ddot{A}}^D} = U^P \cdot \frac{h_{11} - h_{10}}{h_1 - h_8}. \quad (2.12)$$

Результати порівняльного аналізу показників ЕХМ, що працює на різних хладагентах при $t_T=100$ і 120 °С, $t_K=32$ і 36 °С, $t_0=4$ і 8 °С представлені на малюнках 2.7–2.14. При цьому показники ефективності теплообмінників прийняті рівними $\eta_{РТО-1} = \eta_{РТО-2} = 0,8$, а значення термодинамічних параметрів холодильних агентів узяті з Refprop. На малюнках введені наступні позначення: 1 – ЕХМ без регенерації теплоти, ежектор з ЦКС; 2 – ЕХМ з регенерацією теплоти, ежектор з ЦКС; 3 – ЕХМ без регенерації теплоти, ежектор з КЦКС; 4 – ЕХМ з регенерацією теплоти, ежектор з КЦКС.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

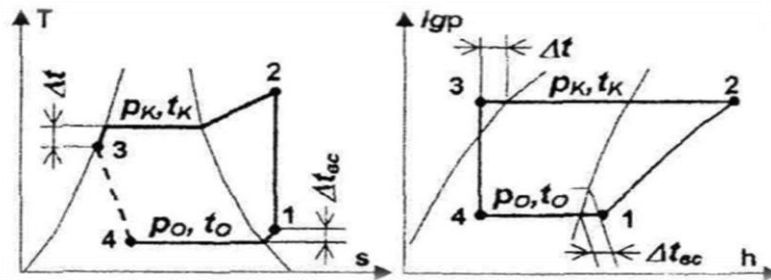
2.1 Розрахунок на R-600a

Вихідні дані: $Q_0 = 10$ кВт;

$$t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Цикл холодильної машини



Таблиця 2.1- Параметри циклу

Параметри	Од. вим.	Точки			
		1	2	3	4
Тиск, p	мПа	1,641	7,7	7,7	1,641
Температура, t	$^{\circ}\text{C}$	0	51	25	-15
Ентальпія, h	кДЖ/кг	401	435	234	234
Об'єм, v	$\text{кг} / \text{м}^3$	0,129			

Питомі

характеристики циклу.

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4 (\text{кДж} / \text{кг}) \quad (2.1)$$

$$q_0 = h_1 - h_4 = 401 - 234 = 167 (\text{кДж} / \text{кг})$$

Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (2.2)$$

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{167}{0,129} = 1294,6 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right)$$

Питома адіабатна робота стиску:

$$l = h_2 - h_1, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.3)$$

$$l = h_2 - h_1 = 435 - 401 = 34 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Питоме тепло, відведене в конденсаторі:

$$q_k = h_2 - h_3, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.4)$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 435 - 234 = 201 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right) \quad (2.5)$$

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{10}{167} = 0,06 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_\partial = M_a \times v_1, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.6)$$

$$V_\partial = M_a \times v_1 = 0,12 \times 0,06 = 0,008 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \times \lambda'_w \quad (2.7)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

$$\lambda_c = 1 - c \times \left[\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (2.8) \quad \lambda'_w = \frac{T_0 + \theta}{\alpha \times T_k + \beta \times \theta} \quad (2.8)$$

де:

λ_c – коефіцієнт подачі, який враховує вплив «мертвого простору»;

c - відносна величина «мертвого простору». В компресорі приймається $c = 0,03$;

m – показник політропи зворотного розширення з «мертвого простору»;

λ'_w - коефіцієнт, який враховує об'ємні втрати, обумовленні дроселюванням пари в клапанах, підігрів пари від стінок циліндра в процесі всмоктування, перетіканням з порожнини стискування в порожнину всмоктування в результаті внутрішніх нещільностей;

θ - загальний перегрів робочої речовини на всмоктуванні:

$$\theta = t_1 - t_0, ^\circ\text{C} \quad (2.9)$$

$$\theta = t_1 - t_0 = 0 - (-15) = 15^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 1 - 0,03 \times \left[\left(\frac{7,74}{1,641} \right)^1 - 1 \right] = 0,89$$

$$\lambda'_w = \frac{258 - 15}{1,12 \times 303 + 0,5 \times 15} = 0,78$$

$$\lambda = 0,89 \times 0,78 = 0,694$$

Теоретична об'ємна продуктивність:

$$V_h = \frac{V_d}{\lambda}, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.10)$$

$$V_h = \frac{V_d}{\lambda} = \frac{0,008}{0,694} = 0,011 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \times l, (\text{кВт}) \quad (2.11)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$N_a = M_a \times l = 0,06 \times 34 = 2,04 \text{ (кВт)}$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i}, \text{ (кВт)} \quad (2.12)$$

де η_i – індикаторний ККД:

$$\eta_i = \lambda'_w + b \times t_0, \quad (2.13)$$

b – коефіцієнт: $b = 0,0025$

$$\eta_i = 0,78 + 0,0025 \times (-15) = 0,7425$$

$$N_i = \frac{2,04}{0,7425} = 2,8 \text{ (кВт)}$$

Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{imp}, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

де: P_{imp} - середній індикаторний тиск тертя, приймаємо $P_{imp} = 50$ кПа

$$N_{mp} = 0,022 \times 50 = 1,1 \text{ (кВт)}$$

Ефективна потужність компресора (ежектора):

$$N_e = N_{mp} + N_i, \text{ (кВт)} \quad (2.15)$$

$$N_e = N_{mp} + N_i = 1,1 + 2,8 = 4 \text{ (кВт)}$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВИЙ ТА КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

Вихідні дані:

Теплова навантаження на апарат: $Q_0 = 10 \text{ кВт}$;

Температура кипіння: $t_0 = -15^\circ\text{C}$;

Температура входу повітря в апарат: $t_{\text{вх}}^n = -5^\circ\text{C}$;

Температура виходу повітря з апарату: $t_{\text{вих}}^n = -10^\circ\text{C}$

Внутрішній діаметр труби: $d_{\text{вн}} = 8 \text{ мм}$;

Зовнішній діаметр труби: $d_{\text{зов}} = 10 \text{ мм}$;

Крок труб: $S_1 = S_2 = 30 \text{ мм}$;

Крок ребер: $u_p = 4 \text{ мм}$;

Товщина ребра: $\delta_p = 0,3 \text{ мм}$

Матеріал труб: мідь;

Матеріал ребер: сталь;

Форма ребра: квадрат.

Холодильний агент: R-22.

Визначаємо живий перетин 1 ребристого елемента:

$$f_{\text{ж.п}} = (S - d_{\text{зов}}) \times (u_p - \delta_p), \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

$$f_{\text{ж.п}} = (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003) = 0,74 \times 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо кількість ребристих елементів на 1 метрі труби:

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{u_p}, \text{ шт} \quad (3.2)$$

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ шт.}$$

Внутрішня поверхня теплообміну 1 ребристого елемента:

$$F_{\text{вн}} = \pi \times d_{\text{вн}} \times u_p, \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\text{вн}} = 3,14 \times 0,008 \times 0,004 = 0,0001 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну зовнішньої поверхні 1 ребристого елементу:

$$F_{\text{зов}} = \pi \times d_{\text{зов}} \times u_p, \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

$$F_{\text{зов}} = 3,14 \times 0,01 \times 0,004 = 0,000126 \text{ м}^2$$

Міжреберна поверхня гладких труб:

$$F_{\text{м.т}} = (u_p - \delta_p) \times \pi \times d_{\text{зов}}, \text{ м} \quad (3.5)$$

$$F_{\text{м.т}} = (0,004 - 0,0003) \times 3,14 \times 0,01 = 0,00012 \text{ м}$$

Поверхня одного ребра:

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{зов}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (3.6)$$

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times 0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} = 0,00164 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{зов}} = F_{\text{м.т}} + F_{\text{од.р}}, \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

$$F_{\text{зов}} = 0,00012 + 0,00164 = 0,00176 \text{ м}^2$$

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\theta = \frac{t_{\text{вих}}^{\text{п}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}}}{\ln \frac{t_{\text{вих}}^{\text{п}}}{t_{\text{вх}}^{\text{п}}}}, ^\circ\text{C} \quad (3.8)$$

$$\theta = \frac{-10 + 5}{\ln \frac{10}{5}} = 7,2^\circ\text{C}$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

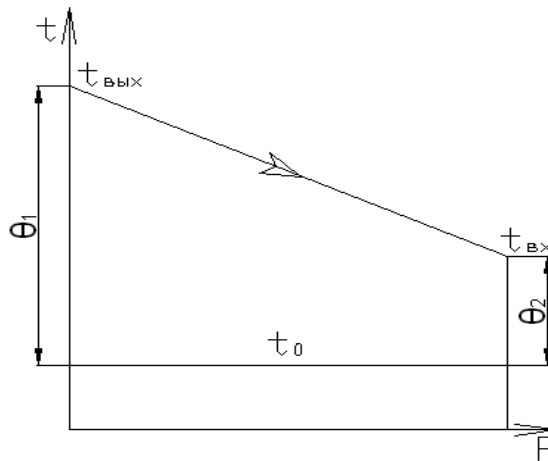


Рис. 3.1 Зміна температур робочого середовища повітроохолоджувача

Витрата повітря:

$$M_n = \frac{Q_0}{c_e \times (t_{ВХ}^n - t_{ВЫХ}^n)}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (3.9)$$

$$M_n = \frac{20}{1,005 \times (-5 + 10)} = 3,98 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_n = \frac{M_n}{\rho_n}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (3.10)$$

$$V_n = \frac{3,98}{1,247} = 3,19 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$c_e = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$ – теплоємність повітря при 30°C;

$\rho_n = 1,247 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина повітря при 30°C.

Площа живого перетину:

Задаємось швидкістю повітря – $\omega = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{ж.п} = \frac{V_n}{\omega}, \text{ м}^2 \quad (3.11)$$

$$F_{ж.п} = \frac{3,19}{6} = 0,53 \text{ м}^2$$

Кількість ребристих елементів в фронтальному перерізі:

$$n_{п.е}^{\phi} = \frac{F_{ж.п}}{f_{ж.п}}, \quad (3.12)$$

$$n_{п.е}^{\phi} = \frac{0,53}{0,000074} = 7162$$

Довжина труб по фронту:

$$L = \frac{n_{п.е}^{\phi}}{n_{п.е}}, \text{ м} \quad (3.13)$$

$$L = \frac{7162}{250} = 28,64 \text{ м}$$

Розрахунковий еквівалентний діаметр зі сторони повітря:

$$d_{екв} = \frac{2 \times (S - d_{зоб}) \times (u_p - \delta_p)}{(S - d_{зоб}) + (u_p - \delta_p)}, \text{ м} \quad (3.14)$$

$$d_{екв} = \frac{2 \times (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003)}{(0,03 - 0,01) + (0,004 - 0,0003)} = 0,0062 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{екв}}{\nu}, \quad (3.15)$$

$$Re = \frac{6 \times 0,0062}{12,43 \times 10^{-6}} = 2992,8$$

де $\nu = 12,43 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості при 30 °С.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Число Нусельта:

$$Nu_n = C \times Re^n \times \left(\frac{L}{d_{екв}} \right)^m, \quad (3.16)$$

Коефіцієнти:

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{L}{d_{екв}}, \quad (3.17)$$

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{0,15}{0,0062} = 0,6$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{Re}{1000}, \quad (3.18)$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{2992,8}{1000} = -0,04$$

$$C = A \times B, \quad (3.19)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{Re}{1000}, \quad (3.20)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{2992,8}{1000} = 0,64$$

$$A = 0,163,$$

$$C = 0,163 \times 0,64 = 0,104$$

Число Нусельта:

$$Nu_n = 0,104 \times 2992,8^{0,6} \times \left(\frac{0,15}{0,0062} \right)^{-0,04} = 11,15$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря:

$$\alpha_n = \frac{Nu_n \times \lambda_n}{d_{екв}}, \quad (3.21)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_n = \frac{11,15 \times 2,67 \times 10^{-2}}{0,0062} = 48,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}},$$

де $\lambda_{\text{п}} = 2,67 \times 10^{-2}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при 30°C.

Поверхня труби між ребрами:

$$F_{mp} = \pi \times d_{\text{зов}} \times \left(1 - \frac{\delta_p}{u_p}\right), \text{м}^2 \quad (3.22)$$

$$F_{mp} = 3,14 \times 0,01 \times \left(1 - \frac{0,0003}{0,004}\right) = 0,03 \text{ м}^2$$

Поверхня ребер:

$$F_p = 2 \times \left(S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{зов}}^2}{4}\right) \times \frac{1}{u_p}, \text{м}^2 \quad (3.23)$$

$$F_p = 2 \times \left(0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4}\right) \times \frac{1}{0,004} = 0,425 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{зов}} = F_{mp} + F_p, \text{м}^2 \quad (3.24)$$

$$F_{\text{зов}} = 0,03 + 0,425 = 0,455 \text{ м}^2$$

Основна поверхня труби:

$$F_0 = \pi \times d_{\text{зов}}, \text{м}^2 \quad (3.25)$$

$$F_0 = 3,14 \times 0,01 = 0,0314 \text{ м}^2$$

Ступінь ефективності ребра:

$$E = \frac{th(m \times h)}{m \times h}, \quad (3.26)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m = \sqrt{\frac{2 \times \alpha_6}{\delta_p \times \lambda_p}}, \quad (3.27)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 48,02}{0,0003 \times 45,4}} = 82,8,$$

де

$\lambda_p = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ – коефіцієнт теплопровідності для сталевих ребер

Умовна висота ребра:

$$h = \frac{d_{306}}{2} \times (\rho' - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg \rho'), \quad (3.28)$$

де

$$\rho' = 1,28 \times \frac{S}{d_{306}} \times \sqrt{\frac{S_1}{S_2} - 0,2}, \quad (3.29)$$

$$\rho' = 1,28 \times \frac{0,03}{0,01} \times \sqrt{1 - 0,2} = 3,43$$

$$h = \frac{0,01}{2} \times (3,43 - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg 3,43) = 0,013$$

$$E = \frac{th(82,8 \times 0,013)}{82,8 \times 0,013} = 0,63$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря, віднесений до внутрішньої поверхні труби:

$$\alpha_{n.np} = \alpha_n \times \left(\frac{F_n}{F_0} \times E + \frac{F_{mp}}{F_0} \right) \times \frac{d_{306}}{d_{6n}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad (3.30)$$

$$\alpha_{n.np} = 48,02 \times \left(\frac{0,455}{0,0314} \times 0,63 + \frac{0,03}{0,0314} \right) \times \frac{0,01}{0,008} = 692,27 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Питомий тепловий потік зі сторони повітря:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{nF_{\text{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{n.\text{нр}}} + \frac{F_{\text{вн}}}{F_{\text{вн}} + F_{\text{н}}} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.31)$$

$$q_{nF_{\text{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{692,27} + \frac{0,0314}{0,0314 + 0,455} \times \frac{0,001}{385}} \times \Delta T = 692,11 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{nF_{\text{вн}}} = 692,11 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні робочих речовин HCF і CHFC типів в середині труб:

$$\alpha_a = \frac{q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6} \times G_a^{0,2}}{d_{\text{вн}}^{0,6}} \times A, \quad (3.32)$$

де $A = 1,04$ - коефіцієнт, якій залежить від фізичних властивостей робочої речовини і температури кипіння

Витрата рідини:

$$M_a = \frac{Q_0}{h_{\text{вих}} - h_{\text{ex}}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (3.33)$$

де $h_{\text{вих}} = 402 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – ентальпія перегрітої пари на виході з повітроохолоджувача при $t_{\text{вих}} = t_0 + 5 = -15 + 5 = -10^\circ\text{C}$;

$h_{\text{ex}} = 237 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – ентальпія вологої пари на виході з повітроохолоджувача,

при прийнятій температурі конденсації холодильного циклу, $t_{\text{ex}} = 35^\circ\text{C}$.

$$M_a = \frac{20}{402 - 237} = 0,12 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

$$\text{Тоді: } \alpha_a = \frac{q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6} \times 0,12^{0,2}}{0,008^{0,6}} \times 1,04 = 12,37 \times q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6}$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питомий тепловий потік зі сторони холодильного агенту:

$$q_{aF_{\text{вн}}} = \alpha_a \times \Delta T_a, \text{ тоді}$$

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 12,37 \times q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6} \times \Delta T_a.$$

Перетворимо:

$$q_{aF_{\text{вн}}}^{0,4} = 12,37 \times \Delta T_a,$$

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 12,34^{2,5} \times \Delta T_a^{2,5},$$

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 538 \times \Delta T_a^{2,5} \quad (3.34)$$

Таблиця 3.1

ΔT_a	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$\Delta T_a^{2,5}$	0,178	1	2,76	5,66	9,92	15,5	22,8
$q_{aF_{\text{вн}}}$	95,76	538	1484,9	3045,1	5337	8339	12266,4

Для знаходження питомого теплового потоку, віднесеного до внутрішньої поверхні апарата, будуємо графік залежності $q_{F_{\text{вн}}} = f(\theta)$.

З графіка (Рис.3.3) визначаємо $q_{F_{\text{вн}}} = 3518 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

Тоді:

$$\alpha_a = \frac{3518^{0,6} \times 0,12^{0,2}}{0,008^{0,6}} \times 1,04 = 1660,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}.$$

Поверхня теплообміну однієї секції:

$$F'_{\text{ен}} = L \times \pi \times d_{\text{ен}}, \text{ м}^2 \quad (3.35)$$

$$F'_{\text{ен}} = 28,64 \times 3,14 \times 0,008 = 0,72 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну всього апарата:

$$F_{\text{ен}} = \frac{Q_0}{q_{F_{\text{ен}}}}, \text{ м}^2 \quad (3.36)$$

$$F_{\text{ен}} = \frac{10}{3518} = 2,8 \text{ м}^2$$

Число секцій:

$$n = \frac{F_{\text{ен}}}{F'_{\text{ен}}}, \quad (3.37)$$

$$n = \frac{2,8}{0,72} = 3,9$$

Приймаємо $n = 4$.

Приймаємо :

Висота апарата: $H = 0,9 \text{ м}$.

Ширина апарата: $L = 0,9 \text{ м}$.

Глибина апарата: $h = 0,24 \text{ м}$.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

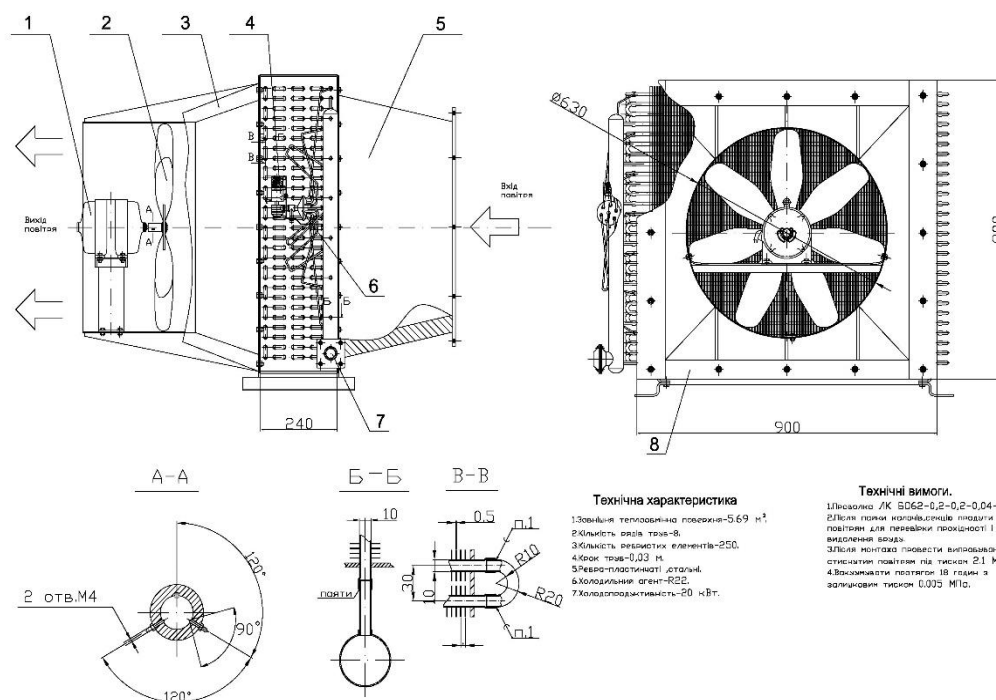


Рис. 3.2 Креслення повітроохолоджувача

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Підбір вентилятора повітроохолоджувача

Напір, що розвивається вентилятором:

$$H_v = \sum h + \Delta p, \text{Па} \quad (3.8)$$

Опір вентилятора:

$$h = h_{\text{тр}} + h_{\text{м}}, \text{Па} \quad (3.9)$$

Опір тиску, викликаний тертям в трубах:

$$h_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \times \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} \times \frac{\rho \times \omega_{\text{вих}}^2}{2}, \text{Па} \quad (3.10)$$

де:

$\lambda_{\text{тр}}$ – коефіцієнт опору труби;

$l_{\text{тр}}$ – довжина прямолінійної ділянки труби;

ρ – густина рідини;

ω – швидкість руху рідини;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби.

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{вн}} \times \rho}{\mu}, \quad (3.11)$$

μ – динамічна в'язкість рідини; $\mu = 16,45 \times 10^{-6} \text{ Па} \times \text{с}$.

$$\rho = 1,369 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, [1, \text{с. 113}].$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re = \frac{10 \times 0,63 \times 1,369}{16,45 \times 10^{-6}} = 524297,9$$

Коефіцієнт опору труби:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}, \quad (3.12)$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,0032 + \frac{0,221}{524297,9^{0,237}} = 0,013$$

Опір тиску, викликаний тертям в трубах:

$$h_{\text{тр}} = 0,013 \times \frac{20}{0,63} \times \frac{1,369 \times 10^2}{2} = 28,25 \text{ Па}$$

Місцевий опір:

$$h_{\text{м}} = 3 \times \frac{\rho \times \omega_{\text{вих}}^2}{2}, \text{ Па} \quad (3.13)$$

$$h_{\text{м}} = 3 \times \frac{1,369 \times 10^2}{2} = 205,35 \text{ Па}$$

Опір вентилятора:

$$h = 28,25 + 205,35 = 233,6 \text{ Па}$$

Аеродинамічний опір трубного пучка потоку повітря:

$$\Delta p = A \times \frac{L}{d_{\text{екв}}} \times (\omega \times \rho)^{1,7}, \text{ Па} \quad (3.14)$$

$A = 0,007$ – для ретельно виготовлених поверхонь.

$$\Delta p = 0,007 \times 24,19 \times (10 \times 1,396)^{1,7} = 141,8 \text{ Па}$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напір, що розвиває вентилятор:

$$H_v = 233,6 + 141,8 = 375,4 \text{ Па}$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК КОНДЕНСАТОРА З ПОВІТРЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

4.1 Тепловий та конструктивний розрахунок

Вихідні дані:

Теплова навантаження на апарат: $Q_0 = 14$ кВт;

Температура кипіння: $t_0 = -15^\circ\text{C}$;

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

Температура входу повітря в апарат: $t_{\text{ВХ}}^{\text{п}} = 35^\circ\text{C}$;

Температура виходу повітря з апарату: $t_{\text{ВИХ}}^{\text{п}} = 40^\circ\text{C}$;

Внутрішній діаметр труби: $d_{\text{ВН}} = 8$ мм;

Зовнішній діаметр труби: $d_{\text{ЗОВ}} = 10$ мм;

Крок труб: $S_1 = S_2 = 30$ мм;

Крок ребер: $u_p = 4$ мм;

Товщина ребра: $\delta_p = 0,3$ мм;

Матеріал труб: мідь;

Матеріал ребер: сталь;

Форма ребра: квадрат.

Холодильний агент: R-22.

Визначаємо живий перетин 1 ребристого елемента:

$$f_{\text{ж.п}} = (S - d_{\text{ЗОВ}}) \times (u_p - \delta_p), \text{ м}^2 \quad (4.1)$$

$$f_{\text{ж.п}} = (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003) = 0,74 \times 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо кількість ребристих елементів на 1 метрі труби:

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{u_p}, \text{ шт} \quad (4.2)$$

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ шт.}$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внутрішня поверхня теплообміну 1 ребристого елементу:

$$F_{\text{BH}} = \pi \times d_{\text{BH}} \times u_{\text{p}}, \text{ м}^2 \quad (4.3)$$

$$F_{\text{BH}} = 3,14 \times 0,008 \times 0,004 = 0,0001 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну зовнішньої поверхні 1 ребристого елементу:

$$F_{\text{ЗОВ}} = \pi \times d_{\text{ЗОВ}} \times u_{\text{p}}, \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

$$F_{\text{ЗОВ}} = 3,14 \times 0,01 \times 0,004 = 0,000126 \text{ м}^2$$

Міжреберна поверхня гладких труб:

$$F_{\text{м.т}} = (u_{\text{p}} - \delta_{\text{p}}) \times \pi \times d_{\text{ЗОВ}}, \text{ м} \quad (4.5)$$

$$F_{\text{м.т}} = (0,004 - 0,0003) \times 3,14 \times 0,01 = 0,00012 \text{ м}$$

Поверхня одного ребра:

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{ЗОВ}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (4.6)$$

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times 0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} = 0,00164 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{ЗОВ}} = F_{\text{м.т}} + F_{\text{од.р}}, \text{ м}^2 \quad (4.7)$$

$$F_{\text{ЗОВ}} = 0,00012 + 0,00164 = 0,00176 \text{ м}^2$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

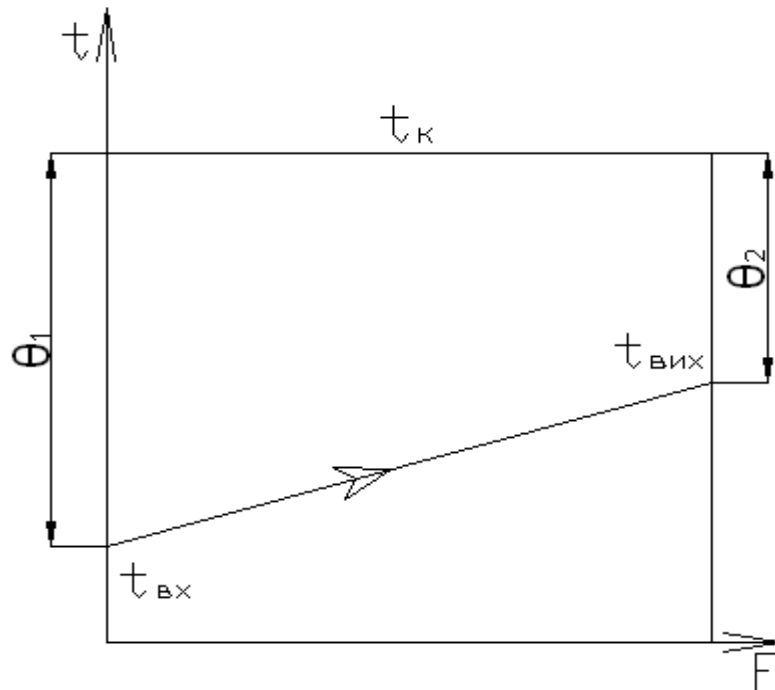


Рис 4.1. Зміна температур робочого середовища в повітряному конденсаторі

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\theta = \frac{t_{\text{вих}}^{\text{п}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}}}{\ln \frac{(t_{\text{к}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}})}{(t_{\text{к}} - t_{\text{вих}}^{\text{п}})}}, ^\circ\text{C} \quad (4.8)$$

$$\theta = \frac{40 - 35}{\ln \frac{(30 - 35)}{(30 - 40)}} = 7,2^\circ\text{C}$$

Витрата повітря:

$$M_n = \frac{Q_{\text{к}}}{c_{\text{в}} \times (t_{\text{вих}}^{\text{п}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (4.9)$$

$$M_n = \frac{26,115}{1,005 \times (40 - 35)} = 5,2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Об'ємна витрата повітря:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_{\Pi} = \frac{M_{\Pi}}{\rho_{\Pi}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (4.10)$$

$$V_n = \frac{5,2}{1,165} = 4,46 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

де $c_v = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$ – теплоємність повітря при 30°C;

$\rho_{\Pi} = 1,165 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина повітря при 30°C.

Площа живого перетину.

Задаємося швидкістю повітря – $\omega = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$$F_{\text{ж.п}} = \frac{V_{\Pi}}{\omega}, \text{м}^2 \quad (4.11)$$

$$F_{\text{ж.п}} = \frac{4,46}{6} = 0,74 \text{ м}^2$$

Кількість ребристих елементів в фронтальному перерізі:

$$n_{\text{р.е}}^{\phi} = \frac{F_{\text{ж.п}}}{f_{\text{ж.п}}}, \quad (4.12)$$

$$n_{\text{р.е}}^{\phi} = \frac{0,74}{0,000074} = 10000$$

Довжина труб по фронту:

$$L = \frac{n_{\text{р.е}}^{\phi}}{n_{\text{р.е}}}, \text{м} \quad (4.13)$$

$$L = \frac{10000}{250} = 40 \text{ м}$$

Розрахунковий еквівалентний діаметр зі сторони повітря:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{\text{екв}} = \frac{2 \times (S - d_{\text{зоб}}) \times (u_p - \delta_p)}{(S - d_{\text{зоб}}) + (u_p - \delta_p)}, \text{ м} \quad (4.14)$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{2 \times (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003)}{(0,03 - 0,01) + (0,004 - 0,0003)} = 0,0062 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{екв}}}{\nu}, \quad (4.15)$$

$$Re = \frac{6 \times 0,0062}{16,72 \times 10^{-6}} = 2992,8,$$

де $\nu = 16,72 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості при 47,5°C.

Число Нусельта:

$$Nu_{\pi} = C \times Re^n \times \left(\frac{L}{d_{\text{екв}}} \right)^m, \quad (4.16)$$

Коефіцієнти:

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{L}{d_{\text{екв}}}, \quad (4.17)$$

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{0,15}{0,0062} = 0,6$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{Re}{1000}, \quad (4.18)$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{2224,9}{1000} = -0,102$$

$$C = A \times B, \quad (4.19)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{Re}{1000}, \quad (4.20)$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{224,9}{1000} = 0,83$$

$$A=0,163,$$

$$C = 0,163 \times 0,83 = 0,135$$

Число Нусельта:

$$Nu_n = 0,135 \times 2224,9^{0,6} \times \left(\frac{0,15}{0,0062} \right)^{-0,102} = 9,9$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря:

$$\alpha_{\Pi} = \frac{Nu_n \times \lambda_n}{d_{\text{екв}}}, \quad (4.21)$$

$$\alpha_{\Pi} = \frac{9,9 \times 2,67 \times 10^{-2}}{0,0062} = 42,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}},$$

де $\lambda_{\Pi} = 2,67 \times 10^{-2}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при 30°C.

Поверхня труби між ребрами:

$$F_{\text{тр}} = \pi \times d_{\text{зов}} \times \left(1 - \frac{\delta_p}{u_p} \right), \text{ м}^2 \quad (4.22)$$

$$F_{\text{тр}} = 3,14 \times 0,01 \times \left(1 - \frac{0,0003}{0,004} \right) = 0,03 \text{ м}^2$$

Поверхня ребер:

$$F_p = 2 \times \left(S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{зов}}^2}{4} \right) \times \frac{1}{u_p}, \text{ м}^2 \quad (4.23)$$

$$F_p = 2 \times \left(0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} \right) \times \frac{1}{0,004} = 0,425 \text{ м}^2$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{зов}} = F_{\text{тр}} + F_{\text{р}}, \text{ м}^2 \quad (4.24)$$

$$F_{\text{зов}} = 0,03 + 0,425 = 0,455 \text{ м}^2$$

Основна поверхня труби:

$$F_0 = \pi \times d_{\text{зов}}, \text{ м}^2 \quad (4.25)$$

$$F_0 = 3,14 \times 0,01 = 0,0314 \text{ м}^2$$

Ступінь ефективності ребра:

$$E = \frac{th(m \times h)}{m \times h}, \quad (4.26)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times \alpha_{\text{в}}}{\delta_{\text{р}} \times \lambda_{\text{р}}}}, \quad (4.27)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 42,63}{0,0003 \times 45,4}} = 79,12,$$

$\lambda_{\text{р}} = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ – коефіцієнт теплопровідності для сталевих ребер.

Умовна висота ребра:

$$h = \frac{d_{\text{зов}}}{2} \times (\rho' - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg \rho'), \quad (4.28)$$

$$\rho' = 1,28 \times \frac{S}{d_{\text{зов}}} \times \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} - 0,2, \quad (4.29)$$

$$\rho' = 1,28 \times \frac{0,03}{0,01} \times \sqrt{1 - 0,2} = 3,43$$

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h = \frac{0,01}{2} \times (3,43 - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg 3,43) = 0,013$$

$$E = \frac{th(79,12 \times 0,013)}{79,13 \times 0,013} = \frac{th(1,03)}{1,03} = 0,75$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря, віднесений до внутрішньої поверхні труби:

$$\alpha_{п.пр} = \alpha_{п} \times \left(\frac{F_{н}}{F_0} \times E + \frac{F_{тр}}{F_0} \right) \times \frac{d_{зоб}}{d_{вн}}, \frac{Вт}{м^2 \times K} \quad (4.30)$$

$$\alpha_{п.пр} = 42,63 \times \left(\frac{0,455}{0,0314} \times 0,75 + \frac{0,03}{0,0314} \right) \times \frac{0,01}{0,008} = 630,15 \frac{Вт}{м^2 \times K}$$

Питомий тепловий потік зі сторони повітря:

$$q_{пF_{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{п.пр}} + \frac{F_{вн}}{F_{вн} + F_{н}} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \times \Delta T, \frac{Вт}{м^2} \quad (4.31)$$

$$q_{пF_{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{630,15} + \frac{0,0314}{0,0314 + 0,455} \times \frac{0,001}{385}} \times \Delta T = 630,12 \times \Delta T, \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{пF_{вн}} = 630,12 \times \Delta T, \frac{Вт}{м^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з сторони робочої речовини:

$$\alpha_a = 0,72 \times \sqrt[4]{\frac{r \times \rho^2 \times \lambda^3 \times g}{\mu \times d_{вн} \times \Delta T}}, \quad (4.32)$$

$r = 154,1 \times 10^3 \frac{кДж}{кг}$ – теплота конденсації при 40°C;

$\rho = 1083 \frac{кг}{м^3}$ – густина рідини;

$\lambda = 0,0722 \frac{Вт}{м \times K}$ – коефіцієнт теплопровідності рідини;

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu = 2,1 \times 10^{-4} \text{Па} \times \text{с}$$

$$\alpha_a = 0,72 \times \sqrt[4]{\frac{154,1 \times 10^3 \times 1083^2 \times 0,0722^3 \times 9,81}{2,1 \times 10^{-4} \times 0,008 \times \Delta T}} = 3214,6 \times \Delta T^{-\frac{1}{4}}$$

Питомий тепловий потік зі сторони робочого тіла:

$$q_{aF_{BH}} = 3214,6 \times \Delta T^{-\frac{3}{4}} \quad (4.33)$$

Для знаходження питомого теплового потоку, віднесеного до внутрішньої поверхні апарата, будуємо графік (рис. 4.2) залежності $q_{F_{BH}} = f(\theta)$.

З графіка визначаємо $q_{F_{BH}} = 3764,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

Поверхня теплообміну однієї секції:

$$F'_{BH} = L \times \pi \times d_{BH}, \text{м}^2 \quad (4.34)$$

$$F'_{BH} = 40 \times 3,14 \times 0,008 = 1,0048 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну всього апарата:

$$F_{BH} = \frac{Q_K}{q_{F_{BH}}}, \text{м}^2 \quad (4.35)$$

$$F_{BH} = \frac{14}{3764,19} = 5 \text{ м}^2$$

Число секцій:

$$n = \frac{F_{BH}}{F'_{BH}}, \quad (4.36)$$

$$n = \frac{5}{1,0048} = 4,9$$

Приймаємо $n = 5$.

Приймаємо :

Висота апарата: $H = 1,1$ м.

Ширина апарата: $L = 1,1$ м.

Глибина апарата: $h = 0,21$ м.

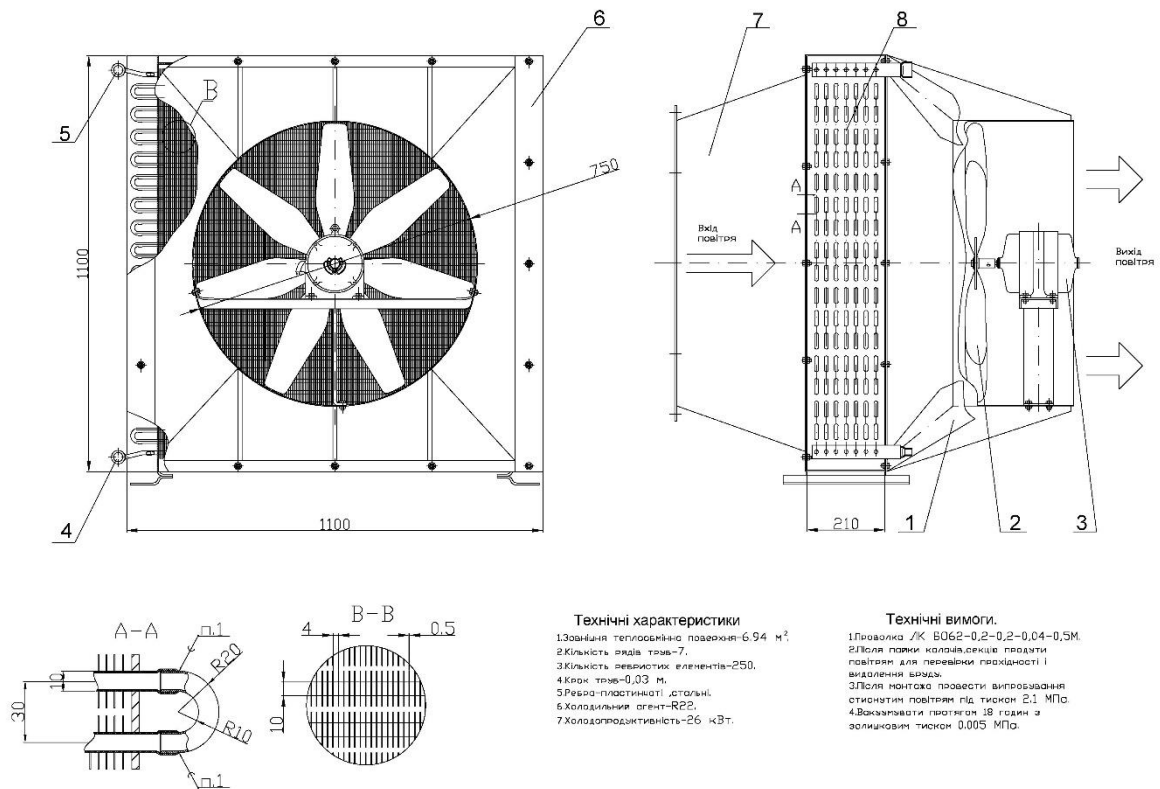


Рис. 4.2 Конструкція конденсатора

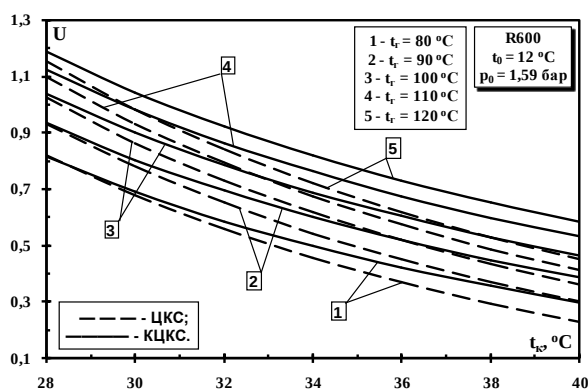
					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЖЕКТОРНОЇ ХМ

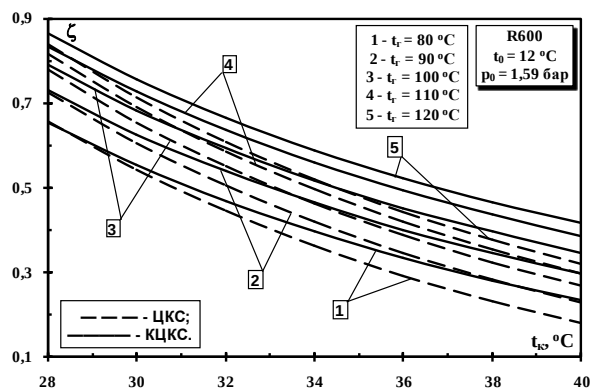
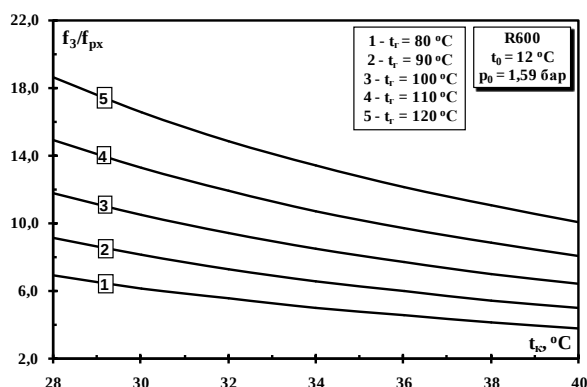
На малюнках 5.1 і 5.2 приведені результати розрахунків показників U і ζ , одержані для ЕХМ, що працює на бутані (R600) в різних кліматичних умовах при $t_K = 28 \div 40$ °С в діапазоні температур генерації $t_G = 80 \div 120$ °С і при $t_0 = 12$ °С. Розрахунки проводилися з використанням методики визначення показників ефективності ЕХ, значення термодинамічних параметрів холодильного агента R600 узяті із Refprop. При цьому розглядалися дійсні цикли ЕХМ без перегріву пари в генераторі, з перегрівом на 5 °С пари у повітроохолоджувачі і з переохолодженням на 3 °С рідини в конденсаторі, що приводить до збільшення q_0 і забезпечує стійку роботу живильного насоса без кавітації.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

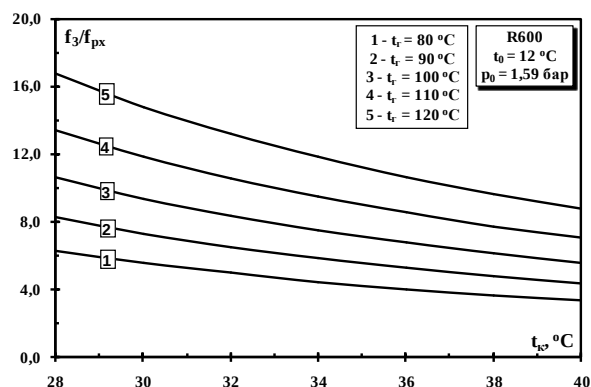
Малюнок 5.1 Залежність коефіцієнта ежекції U від температури конденсації t_K при різних температурах генерації t_G



Малюнок 5.3 Залежність геометричної характеристики f_3/f_{PX} ежектора з циліндричною камерою змішування від температури конденсації t_K при різних температурах генерації t_G



Малюнок 5.2 Залежність теплового коефіцієнта ζ від температури конденсації t_K при різних температурах генерації t_G



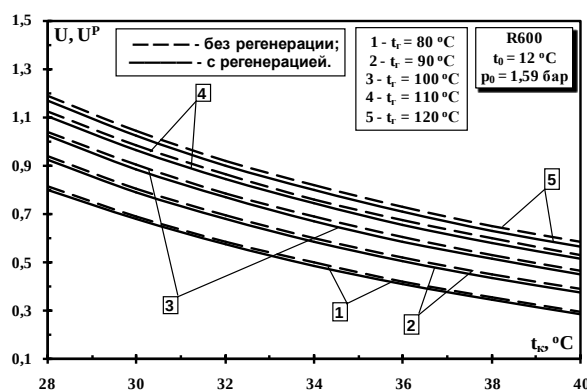
Малюнок 5.4 Залежність геометричної характеристики f_3/f_{PX} ежектора з конічно-циліндричною камерою змішування від температури конденсації t_K при різних температурах генерації t_G

З малюнків 5.1 і 5.2 витікає, що значення U і ζ для ежекторів з ЦКС і КЦКС ростуть при збільшенні t_G і зниженні t_K , що пояснюється зростанням величини E і падінням e . Також видно, що при підвищених значеннях t_K

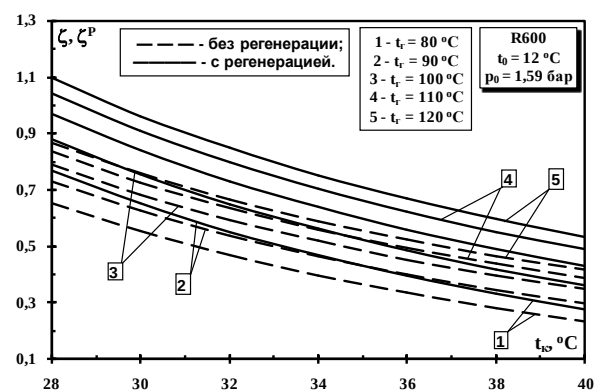
застосування КЦКС дозволяє підвищити значення розрахункових величин U і ζ на 25÷35%. Слід також відзначити, що для однакових значень t_G і t_K величина ζ завжди менше U у зв'язку з тим, що для однокомпонентних холодоагентів відношення q_0/q_G завжди менше 1.

Як видно з малюнків 5.3 і 5.4, збільшення t_G і зменшення t_K приводить до зростання геометричної характеристики f_z/f_{px} ежекторів з ЦКС і КЦКС, але при цьому величина f_z/f_{px} для КЦКС у всьому розрахунковому діапазоні значень t_G і t_K завжди менше, ніж аналогічний показник, одержаний для ЦКС.

Результати розрахунків при схемі з подвійною регенерацією при значеннях показників ефективності рекуперативних теплообмінників

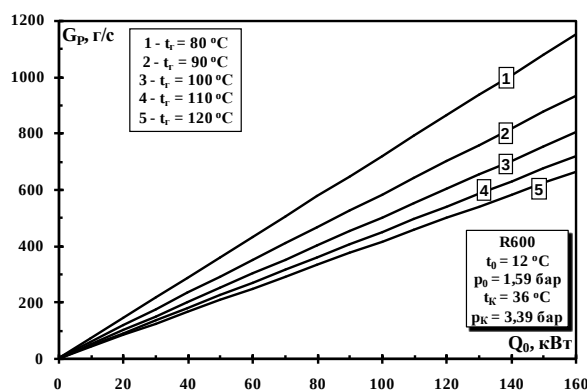


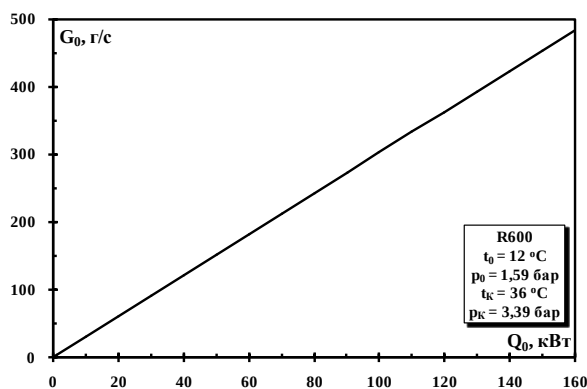
Малюнок 5.5 Залежність коефіцієнта ежекції U і U^P від температури конденсації t_K при різних температурах генерації t_G



$\eta_{PTO-1} = \eta_{PTO-2} = 0,8$, але без урахування їх гідравлічного опору, представлені на малюнках 5.5 і 5.6.

Малюнок 5.6 Залежність витрати робочої пари G_P від холодовидатності Q_0 при різних температурах генерації t_G



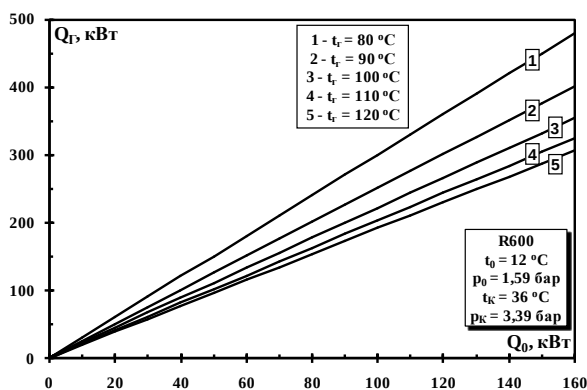


Малюнок 5.6 Залежність теплового коефіцієнта ζ і ζ^P від температури конденсації t_K при різних температурах генерації t_G

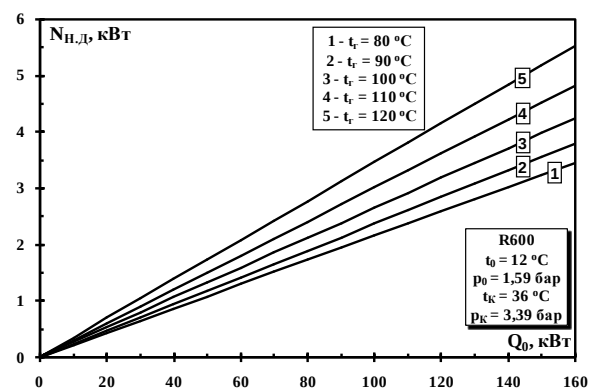
Малюнок 5.7 Залежність витрати ежектуючої пари G_0 від холодовидатності Q_0

З малюнків 5.5 і 5.6 витікає, що застосування подвійної регенерації теплоти теоретично дозволяє збільшити тепловий коефіцієнт ζ на 25÷35%, не дивлячись на пониження на 3÷5 % величини коефіцієнта ежекції U , пов'язане з перегрівом ежектируємої пари в РТО-1.

Проте проведені розрахунки показують, що при обліку гідравлічного опору теплообмінників РТО-1 і РТО-2 позитивний ефект від їх застосування складає близько 10÷20 %.



Малюнок 5.7 Залежність теплоти генерації Q_G від холодовидатності Q_0 при різних температурах генерації t_G

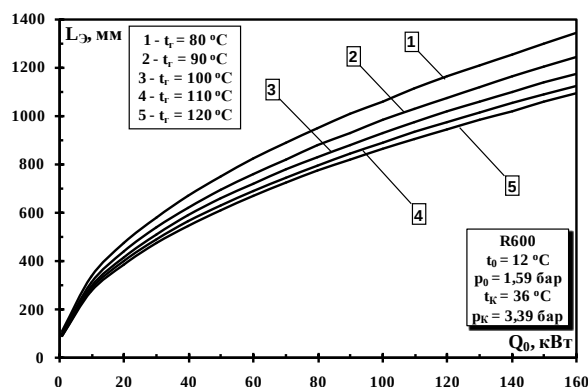


Малюнок 5.8 Залежність потужності теплового насоса $N_{Д}$ від холодовидатності Q_0 при різних температурах генерації t_G

Таким чином, застосування в ЕХМ дорогих вискоефективних рекуперативних теплообмінників негативно позначається на роботі ежектора – із-за їх істотного гідравлічного опору і, у зв'язку з цим, пониження тиску всмоктування і підвищення тиску нагнітання ежектора, що значно, – приблизно в 2 рази, знижує позитивний теоретичний ефект від їх застосування.

Проте недорогі теплообмінники простої конструкції, що мають малі гідравлічні опори, мають дуже низькі коефіцієнти ефективності, що також робить нераціональним їх застосування в ЕХМ.

Малюнок 5.9 Залежність довжини ежектора $L_{\text{э}}$ від холодовидатності Q_0 при різних температурах генерації t_r



На малюнках 5.6–5.9 представлені розрахункові показники і характеристики ЕХМ – G_0 , G_P , Q_G , $N_{\text{н.уд}}$, $L_{\text{э}}$, залежно від холодовидатності Q_0 , одержані для дійсних циклів ЕХМ без регенерації теплоти, з переохолодженням рідини в конденсаторі на 3 °C і перегрівом пари у повітроохолоджувачі на 5 °C за наступних умов: ежектор з КЦКС,

розрахункові значення температур $t_0 = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t_K = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$; температури генерації насиченої робочої пари $t_r = 80, 90, 100, 110, \text{ і } 120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З малюнків 5.6–5.9 витікає, що характеристики G_0 , G_P , Q_G , $N_{\text{н.уд}}$, $L_{\text{э}}$, ростуть при збільшенні Q_0 .

З малюнків 5.7 і 5.9 видно, що величини G_P і Q_G істотно залежать від значення t_r і ростуть при його зменшенні.

Дійсна електрична потужність $N_{\text{н.уд}}$, споживана живильним насосом ЕХМ (малюнок 5.8), росте при збільшенні Q_0 і t_r і досягає величини 2,7 кВт при $t_r = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_K = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $Q_0 = 100\text{ кВт}$.

Довжина ежектора $L_{\text{э}} = f(Q_0)$ обчислювалася для різних значень t_r , (малюнок 5.9) по формулі $L_{\text{э}} = 30 \cdot d_3$, яка була одержана на основі попередніх експериментальних досліджень для правильно спроектованих ежекторів. З малюнка 5.9 витікає, що $L_{\text{э}}$ росте при зменшенні t_r і збільшенні Q_0 . При $t_r = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $Q_0 = 10, 50 \text{ і } 100\text{ кВт}$ величини $L_{\text{э}}$ складають 293,5, 656 і 995 мм, відповідно.

Одержані розрахункові дані використані для розробки і проектування дослідної ЕХМ, що представляє собою макет ЕХМ, призначеної для охолодження природного газу, що транспортується по магістральним газопроводам.

Розрахункові показники дослідної ЕХМ приведені в Таблиці 5.1.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Таблиця 5.1 Розрахункові показники ЕХМ

Холодовидатність Q_0 , кВт	10
Тепловий коефіцієнт ζ	0,45
Коефіцієнт ежекції U	0,6
Температура кипіння у випарнику t_0 , °С	12
Тиск кипіння у випарнику p_0 , бар	1,59
Температура конденсації t_K , °С	36
Тиск конденсації p_K , бар	3,39
Температура генерації t_G , °С	100
Тиск генерації p_G , бар	15,38
Витрата ежектируемого пари G_0 , г/с	30,23
Витрата робочої пари G_P , г/с	50,19
Теплове навантаження на генератор Q_G , кВт	22,19
Теплове навантаження на конденсатор Q_K , кВт	32,19
Потужність живильного насоса $N_{Н.УД}$, кВт	0,27
Геометрична характеристика f_3/f_{px}	6,75
Довжина ежектора $L_э$, мм	293,5

РОЗДІЛ 6. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ МАШИНИ

6.1. Основні принципи автоматизації елементів холодильної машини.

Система захисту холодильних установок (САЗ)

У процесі холодильних машин і установок з-за відмов окремих вузлів або агрегатів, а також з-за порушень в системах енерго- і повітропостачання можуть виникати небезпечні режими: підвищення тиску і температури, рівня рідини в окремих апаратах або вузлах машин, припинення змащення тертьових пар і т.д. Якщо не будуть прийняті своєчасні заходи, можуть бути пошкоджені або зруйновані компресори, теплообмінні апарати та інші елементи установки. При цьому виникає серйозна небезпека для життя і здоров'я обслуговуючого персоналу.

Захист холодильних машин і установок включає в себе цілий комплекс технічного обслуговуючих та організаційних заходів, що забезпечують безпечну їх експлуатацію.

Основною вимогою до САЗ є висока надійність, яка досягається застосуванням високонадійних реле захисту та елементів електричних схем, резервування реле та інших елементів захисту в особливо відповідальних випадках, зменшенням числа елементів, послідовно включаються в САЗ, використанням найбільш безпечних варіантів електричних схем, організацією профілактичних перевірок і ремонт в процесі експлуатації.

Система автоматичного управління (САУ). САУ виконує найбільшу кількість функцій в процесах автоматичного управління холодильною установкою. Це – «серце» всього автоматичного контура. У САУ поступають сигнали від САЗ, а також від інших датчиків, використовуваних в технологічній схемі. САУ по сигналу від САЗ вмикає компресор, змінює холодопродуктивність компресора тим або іншим способом. Також САУ блокує пуск установки у випадку якщо необхідні умови для пуску не

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконані: відсутній рух охолодженої води на КМ (якщо аміачний), а також на конденсатор, напруга електричного струму вийшла за допустимі межі і т.д.

САУ сприймає різні сигнали від приладів, оброблює їх і якщо необхідно –перетворює в інші, а потім формує вихідний сигнал для відповідних виконавчих механізмів.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

РОЗДІЛ 7. РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ В ХОЛОДИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

Капітальні вкладення в холодильне обладнання $K_{об}$ – це сума вкладень по окремих видах обладнання:

$$K_{об} = K_{км} + K_{тепл} + K_{труб} + K_{квп} + K_{інш}, грн \quad (7.1)$$

де $K_{км}, K_{тепл}, K_{труб}, K_{квп}, K_{інш}$ – капітальні вкладення відповідно в холодильні компресори, теплообмінники (повітроохолоджувачі, конденсатори, допоміжне обладнання, тощо), трубопроводи (з урахуванням ізоляції), контрольно-вимірювальні прилади, інше обладнання.

Крім вартості обладнання до капітальних вкладень включають транспортні витрати (5-10% від вартості обладнання) та витрати на монтажні та пуско-налагоджувальні роботи (10-20% від вартості обладнання).

$$K_{об} = 22949 + 11528 + 923 + 912 + 24868 + 15853 + 440,76 + 537,48 + 968 + 489 = 79468,24, грн$$

Капітальні вкладення по проекту

Таблиця 7.1

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Ціна, грн	Загальна сума, грн
1.Компресор	1	22949	22949
2.Конденсатор	1	11528	11528
3.Масловіддільник	1	923	923
4.Лінійний ресивер	1	912	912

5.Генератор	1	15853	15853
6.Повітроохолоджувач	1	24868	24868

Продовження Таблиці 7.1

7.Труба нагнітальна	6м	73,46	440,76
8.Труба всмоктувальна(з урахуванням ізоляції)	2м	167,03	334,06
9.Реле високого тиску	1	968	968
10.Реле низького тиску	1	489	489
11. Комплектує обладнання			10000
Усього вартість обладнання			89264,82
Транспортні витрати			8926,48
Витрати на монтаж і пусконаладжувальні роботи			13389,72
Вартість проектних робіт(20% від вартості обладнання)			17853
Усього капітальних вкладень			129434

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

7.1. Основні техніко-економічні показники проекту.

Основні технічні і економічні показники, визначені в процесі проектування зводяться в таблицю:

Таблиця 7.2

№ п/п	Показники, одиниця виміру	Варіанти	
		базовий	проектний
1.	Холодопродуктивність, кВт	-	20
2.	Кількість компресорів, шт.	-	1
3.	Встановлена електрична потужність, кВт	-	8
4.	Капітальні вкладення, тис. грн.	-	129434

РОЗДІЛ 8. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально - економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці. Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірність поразки або захворювання працюючі з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих факторів.

8.1. Електробезпечність устаткування

Електробезпечність - це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики. Основними мірами захисту від поразки електричним струмом є: забезпечення неприступності струмоведучих частин, що перебувають під напругою, для випадкового дотику; електричний поділ мережі; усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електроустаткування, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, відключенням і ін.; застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і пристосувань; організація безпечної експлуатації електроустановок.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8.2. Класифікація приміщень по ступені поразки електричним струмом

Всі приміщення діляться по ступені поразки людей електричним струмом на три класи:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні

Приміщення без підвищеної небезпеки - це сухі, не запилені приміщення з нормальною температурою повітря й з ізолюючими (наприклад, дерев'яними) підлогами, тобто в яких відсутні умови, властиві приміщенням з підвищеною небезпекою й особливо небезпечним.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю одного з наступних п'яти умов, що створюють підвищену небезпеку:

- вогкості, коли відносна вологість повітря довгостроково перевищує 75 %; такі приміщення називають сирими;
- високої температури, коли температура повітря довгостроково (понад добу) перевищує +35 °С; такі приміщення називають жаркими;
- струмопровідного пилу, коли за умовами виробництва в приміщеннях виділяється провідний технологічний пил (наприклад, вугільна, металева, і т. ін.) у такій кількості, що вона осідає на проводах, проникає у середину машин, апаратів і т. ін.; такі приміщення називають курними зі струмопровідним пилом; струмопровідних підлого металевих, земляних, залізобетонних, цегельних і т.п.;
- можливості одночасного дотику людини з устаткуванням що з'єднане із землею металоконструкціям будинків, технологічним апаратам, механізмам і т.п., з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншої.

Приміщення особливо небезпечні характеризуються наявністю одного з наступних трьох умов, що створюють особливу небезпеку:

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- особливої вологості, коли відносна вологість повітря близька до 100 % (стіни, підлога й предмети, що перебувають у приміщенні, покриті вологою); такі приміщення називають особливо сирими;

- хімічно активного або органічного середовища, тобто приміщення, у яких постійно або протягом тривалого часу втримуються агресивні пари, гази, рідини, що утворюють відкладення або цвіль, що діють руйнуючі на ізоляцію й струмоведучі частини електроустаткування; такі приміщення називають приміщеннями з хімічно активним або органічним середовищем;

- одночасної наявності двох або більше умов, властивих приміщенням з підвищеною небезпекою.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 9. ГРОМАДЯНСЬКИЙ ЗАХИСТ

ЗАХИСТ ВІД ВПЛИВУ СДОР В УМОВАХ НС

Нині в Одесі і області застосовується і виготовляється великий асортимент хімічних речовин, токсичних і шкідливих для здоров'я людей, тваринних і небезпечних для довкілля. Ці речовини називають сильнодіючими отруйними речовинами (СДОР). Певні види СДОР знаходяться у великих кількостях на підприємствах, які їх виготовляють або застосовують, на складах, сільськогосподарських об'єктах і підприємствах промисловості, що переробляється, велика кількість їх перевозять транспортом.

У військовий час об'єкти зберігання СДОР можуть бути знищені, в мирний час при виробничих аваріях або стихійних лихах СДОР можуть потрапити в довкілля і стати причиною поразки людей, тварин, рослин і зараження довкілля.

Найбільш поширеними в галузях господарства і небезпечними являються хлор, аміак, сірководень, бензол, азотна, сірчана кислота, фосген, синільна кислота.

Виробничі аварії небезпечні несподіваністю. Проте їх руйнівних наслідків можна уникнути або значно зменшити їх, якщо вчасно провести відповідні запобіжні заходи. Це комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів, спрямованих на ліквідацію причин аварій і катастроф, максимальне зменшення можливих руйнувань і втрат на випадок, що ці причини повністю неможливо усунути, а також на створення сприятливих умов проведення рятувальних робіт.

На випадок виробничої аварії на об'єкті повинен бути розроблений план заходів підготовки об'єкту до захисту від СДОР: складена характеристика складних приміщень і СДОР; зроблена оцінка (за прогнозом) можливої обстановки на об'єкті на випадок аварії або руйнування місцевості з СДОР;

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розроблені схеми сповіщення керівного складу рятувальних формувань і населення; розраховані сили і заходи по ліквідації осередків зараження, складений план дій для ліквідації осередків зараження.

Організаційні заходи передбачають організацію і підтримання в постійній готовності системи зв'язку і сповіщення керівного складу, особового складу рятувальних формувань і населення, навчання особового складу формувань роботам по ліквідації осередків зараження СДОР, нагромадження, збереження і підтримка в готовності 313, порядок інформації і надання донесень про утворення осередків зараження, визначення і збереження засобів для дегазації СДОР, підготовка техніки для проведення дегазації.

Інженерно-технічні заходи полягають в розосередженні СДОР, будівництві для них поглиблених або напівпоглиблених сховищ, будівництві під сховищами з деякими речовинами підземних резервуарів з водою для розчинення їх при аварії, побудові ловецьких ям або канав, можливому посиленні конструкцій резервуарів і комунікацій з СДОР або устаткуванні під ними обгороджувальних для захисту від поразок осколками будівельних конструкцій при аварії, устаткуванні резервуарів автоматичними і ручними пристроями для відвертання витіканню СДОР у разі аварії.

При ліквідації наслідків аварії з СДОР відповідальний з керівного складу об'єкту повинен оповістити керівний склад об'єкту, командирів формувань про негайний збір. Командири формувань оповіщають особовий склад про негайний збір, негайно проводять розвідку осередку ураження і означають його межі, оточують осередок ураження, ведуть безперервно метеорологічне спостереження, інформують керівництво про напрям руху хмари СДОР, укривають в захисних спорудах або виводять за межі осередку ураження населення, приступають до рятувальних робіт і надання медичної допомоги потерпівшим, виконують невідкладні роботи для ліквідації або локалізації аварії, проводять дегазацію СДОР на шлях їх поширення,

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

територія, споруда, устаткування, техніка, урожай, корм, сировина і вода, санітарний обробка людина.

Витікання газоподібних речовин на території населеного пункту або біля нього може привести до великих жертв серед населення і завдати істотної шкоди довкіллю.

Тому потрібна тісна взаємодія виробництва, його організацій (пожежної команди, рятувальних загонів) з місцевими органами цивільного захисту. Важливо, щоб були встановлені єдині сигнали сповіщення об небезпеки і необхідні заходи (які мають бути проведені) знайшли відображення у відповідних планах цивільного захисту об'єктів і населених пунктів.

При витіканні СДОР роботи спрямовані на припинення витікання небезпечної речовини і пониження впливу отруйної речовини на людей, тварин, рослин і лесових насаджень, розробляючи ці заходи, слід врахувати: токсичність сильнодіючих отруйних речовин, яка може проявиться на великому віддаленні від місця аварії або витікання, напрям вітру, за яким рухається газова хмара, його швидкість. Евакуація населення може бути ускладнена токсичністю газів, їх високою концентрацією, атмосферними і іншими умовами.

При попаданні СДОР в атмосферу або на місцевість негайно оповіщають об небезпеці працівників, службовців і населення, яке мешкає в навколишній зоні. Почувши повідомлення про аварію, слід швидко надіти засоби індивідуального захисту шкіри (плащі, накидки), по можливості вийти з району аварії убік, перпендикулярну напрямку вітру.

У квартирі, будинку закрити вікна, провести герметизацію, житла, вимкнути нагрівальні прилади, газ, погасити вогонь в печах, вимкнути електроосвітлення.

При нормальній герметизації вікон і дверей в приміщенні для укриття людей концентрація газів через 0,5 години може бути 10 % зовнішньої концентрації. Оскільки ступінь ураження людини визначається концентрацією і часом перебування в хмарі газу, герметизація приміщень

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшує небезпеку для людей.

Для захисту працюючих на об'єкті і населення рекомендується використати загерметизовані приміщення і в першу чергу приміщення верхніх поверхів, де концентрація газів буде менше, ніж на нижніх поверхах будівлі.

Працівники і службовці об'єкту, на якому виникла аварія, повинні негайно одягнути протигази. До підходу хмари сильнодіючих отруйних речовин необхідно евакуювати населення з небезпечної зони.

При ліквідації розлиття СДОР і знезараженні отруєних і агресивних речовин до місця аварії необхідно підходити тільки з повітряного боку в ізолюючих протигазах і захисному одязі.

Небезпечна зона має бути оточена спеціальними групами з працівників і службовців об'єкту, які закривають доступ в район аварії усім, хто не бере безпосередньо участі в ліквідації її наслідків. Обов'язково помічають місця і межі зараження.

Перед початком рятувальних і невідкладних робіт необхідно провести інструктаж на вимогу безпеки з урахуванням конкретного СДОР і обстановки, яка склалася під час аварії.

Під час проведення робіт в осередку ураження усім учасникам необхідно строго дотримуватися вимог безпеки, застосовувати індивідуальні засоби захисту, протихімічні пакети і індивідуальні аптечки.

Щоб обмежити знаходження отруйних речовин в атмосфері, розтікання по землі, попадання у воду і припинити їх викид або витікання, відключають пошкоджену ділянку, перекривають крани і інші замкові пристрої, на розриви в трубопроводах і місткостях накладають пластири, муфти, забивають пробки, перекачують речовини з пошкоджених місткостей в справні. В деяких випадках, щоб не допустити подальшого поширення СДОР, викопують котлован або земляний вал.

Для прогнозування обстановки і визначення напрямку поширення зараження необхідно організувати метеорологічне спостереження. Виходити

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

із зони аварії слід найкоротшими маршрутами, перпендикулярно напрямку вітру, бажано на піднесене і добре провітрюване місце.

Після локалізації осередку ураження необхідно провести дегазацію зараженої місцевості, споруд, устаткування, кормів, урожаю техніки.

Після закінчення робіт в районі збору необхідно організувати спеціальну обробку людей і техніку.

Якщо на зараженій території продовжують працювати або мешкати люди, необхідно розробити і встановити спеціальний режим життєдіяльності, який би забезпечував ним повну безпеку.

У разі загрози радіоактивного зараження або спочатку випадання радіоактивних речовин необхідно провести медичну профілактику населення - видати протирадіаційні йодні препарати. Робочі зміни повинні сховатися в сховищах, а населення в захисних спорудах або евакуюватися.

Евакуйованим слід застосовувати індивідуальні засоби захисту, узяти з собою запас продуктів харчування, води, документи, в холодний період - теплий одяг. В першу чергу евакуювали дітей дошкільного і молодшого шкільного віку. У разі термінової евакуації, збірні евакуаційні пункти не створюють. Евакуацію проводять від будинків, під'їздів, із захисних споруд і інших місць, де знаходяться люди, автомобілями, залізничним і водним транспортом в два етапи. На першому етапі людей доставляють до контрольно-перевірочного пункту на межі зони небезпечного радіоактивного забруднення і висаджують. На другому етапі евакуйовані проходять дозиметричний контроль, медичний огляд, у разі потреби - санобробку, і чистим транспортом розвозяться для розселення. При недостатній кількості транспортних засобів для тих, хто може йти пішки, організовують піші колони.

У випадку, якщо люди не евакуйовані, їм необхідно сховатися у будинках, квартирах, підвалах або виробничих приміщеннях, швидко провести герметизацію приміщень: закрити вікна, двері, у будинках з пічним опалюванням закрити труби, вентиляційні отвори.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сільськогосподарських тварин перекладають на стійлове утримування для тривалого перебування в приміщенні. Тут необхідно потурбується про забезпечення тварин кормами, водою, переробку і використання продуктів тваринництва. Обслуговуючий персонал тваринницьких ферм повинен сховатися в протирадіаційних укриттях, розташованих поблизу.

На забрудненій території вводиться режим радіаційного захисту населення, трудової діяльності, поведінки населення, часу перебування в укриттях, порядок забезпечення і користування засобами індивідуального захисту. Усі ці заходи розробляють органами управління цивільного захисту спільно з місцевою адміністрацією, фахівцями і працівниками об'єктів господарства.

У населених пунктах, які потрапили в зону радіоактивного зараження, організовують постійну радіаційну розвідку, контроль над мірою забруднення продуктів харчування, води, кормів, урожаю і тваринницької продукції. Організують дезактивацію урожаю, кормів, тваринницької продукції, техніки, будівель і споруд.

Люди, які працювали на забрудненій території, після роботи повинні пройти дозиметричний контроль для визначення міри забруднення засобів індивідуального захисту, шкіри, одягу і пройти санобробку. Якщо забруднення радіоактивними речовинами понад допустиму норму, одяг і засоби індивідуального захисту замінюють. На забрудненій території забороняється, їсти, палити, пити воду, відпочивати, розстібати і знімати засоби індивідуального захисту, сидати і лягати на траву або заражену землю.

Таким чином, можна зробити висновок, що при роботі з сильнодіючими отруйними речовинами необхідно знати і дотримуватися правил техніки безпеки, а так само бути обізнаним про заходи, що проводяться у разі виникнення надзвичайної ситуації.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Арсен'єв В.М., Мелейчук С.С. Теплові насоси: Основи теорії і розрахунку – Суми.: Сумський державний університет, 2018. – 364 с.
2. Гандзюк М. П. Основи охорони праці : Підручник / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський. - 3-тє вид. – К.: Каравела, 2006. – 392 с.
3. Драганов Б. Х. Експлуатація теплоенергетичних установок і систем: Підручник / Б.Х.Драганова; В.В.Іщенко, О.В.Шеліманова.– К.:Аграрна освіта,2009.– 230с
4. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності / Є. П. Желібо, Н. М. Заверуха, В. В. Зацарний/ – К.: Каравела, 2005. – 344с.
5. Оптимізація й прогнозування ефективності рідинних сонячних колекторів у складі систем гарячого водопостачання / О. В. Дорошенко, В. Ф. Халак, Ю. І. Дем'яненко // Холодильна техніка та технологія. — 2020. — Т. 56, № 1-2. — С. 37-43 : рис., табл. — Бібліогр. : 13 назв.
6. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах теплопостачання: монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 176 с.
7. Подмазко О.С. Штучний холод в енергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Одес. нац. технол. ун-т. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 184 с.
8. Подмазко О.С. Автоматизація систем нетрадиційної енергетики. Прибори автоматики, електронні контролери та схеми автоматизації [Електронний ресурс] : метод. вказівки / О. С. Подмазко ; Каф. екоенергетики, термодинаміки та прикладної екології. — Одеса : ОНТУ, 2022. — 34 с.
9. Подмазко О.С. Процеси та елементна база систем нетрадиційної енергетики [Електронний ресурс] : метод. вказівки використання теплового насоса в системах нетрадиційної енергетики / О. С. Подмазко ; Каф. термодинаміки та відновлюваної енергетики. — Одеса : ОНТУ, 2022. — 46 с.
10. Подмазко О.С. Процеси та елементна база систем нетрадиційної енергетики [Електронний ресурс] : метод. вказівки до курсового проектування / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. термодинаміки та відновлюваної енергетики. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 14 с.
11. Подмазко О.С. Процеси та елементна база систем нетрадиційної енергетики [Електронний ресурс] : метод. вказівки по розрахунку тепло припливів / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. термодинаміки та відновлюваної енергетики. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 28 с.
12. Семенюк Д.П., Петренко О.В. Холодильне обладнання:/ - Київ, 2021. - 633 с.
13. Колесов Л. В. Основи автоматики / Л. В. Колесов. – 2-е вид. – К.: Каравела, 1984. – 168с.
14. Шваб Л. І. Економіка підприємства : Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Л. І. Шваб. - 2-е вид. – К.: Каравела, 2005. – 568с.
15. Боженко М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.
16. Інтернет сайт: www.coldrem.com.ua.; Інтернет сайт: www.copeland.su.

					КРБ.ЕТтаПЕ.1.119-03.2.4	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

[illegible]

[illegible]

Поз.	Найменування	Кіл.	Примітки
1	Розподільник	1	
2	Корпус повітроохолоджувача	1	
3	Компресор	1	
4	Масловіддільник	1	
5	Лінійний ресивер	1	
6	Корпус конденсатора	1	
7	Двигун осьового вентилятора конденсатора	1	
8	Вентилятор конденсатора	1	
9	Двигун осьового вентилятора ПО	1	
10	Вентилятор повітроохолоджувача	1	
11	Вихідний повітряний трубопровід ПО	1	
12	Повітроохолоджувач	1	
13	Дифузор повітроохолоджувача	1	
14	Вхідний повітряний трубопровід ПО	1	
15	Фільтр осушувач	1	
16	Оглядове скло	1	
17	Вихідний повітряний трубопровід КД	1	
18	Дифузор конденсатора	1	
19	Вихідний повітряний трубопровід КД	1	
20	Бензиновий генератор	1	
21	Щиток управління	1	