

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**на тему Дослідження характеристик холодильної установки
холодопродуктивністю 10 кВт на сумішах натуральних робочих речовин
для будинків переселенців**
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)

Здобувача Мігунов С.В.
(прізвище, ініціали)

2 курсу ХМ-161М групи
Керівник доц. Подмазко О.С.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: доц. каф. ХУ і КП Жихарєва Н.В.
доц. каф. ХУ і КП Піщанська Н.О.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 1 грудня _____ 2023р., протокол № 6 _____ .

Завідувач кафедри ХУіКП _____ Михайло ХМЕЛЬНЮК
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Низькотемпературної техніки та інженерної механіки

Кафедра Холодильних установок і кондиціонування повітря

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри М.Г.
Хмельнюк

«1» вересня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Мігунова Сергія Вікторовича

1. Тема роботи Дослідження характеристик холодинної установки холодопродуктивністю 10 кВт на сумішах натуральних робочих речовин для будинків переселенців

Затверджена наказом академії від 31.08.2023 р. наказ № 486-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 10.12.2023 р.

3. Вихідні дані роботи: суміші робочих речовин: пропан; метан; етан. діапазон температури конденсації 29...35 °C; температура кипіння $t_0 = -50$ °C; холодопродуктивність $Q_0 = 10$ кВт

4. Перелік питань, які потрібно розробити: Вступ; 1. Сублімація та ліофілізаційне сушіння 2. Перехід холодинної промисловості на натуральні альтернативні холодоагенти 3. Досліджувані холодоагенти і їх властивості 4. Порівняльний теоретичний аналіз двоступеневої холодинної машини малої продуктивності на різних холодоагентах 5. Охорона праці; 6. Цивільний захист; 7. Економічна частина: Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема двоступеневої холодинної машини з РТО і її цикл в діаграмі lgP-h Степень підвищення тиску. Температура стиснення. Питома холодопродуктивність. Потужність електродвигунів.

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. ХУ і КП	01.09.2023 р.	15.11.2023 р.
Цивільний захист	Піщанська Н.О., доц. ХУ і КП	01.09.2023 р.	20.11.2023 р.
Економічна частина	Жихарєва Н.В., доц. ХУ і КП	01.09.2023 р.	25.11.2023 р.

7.Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

Керівник

Подмазко Олександр Степанович

Завдання прийняв до виконання

Мігунов Сергій Вікторович

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ.Сублімація та ліофілізаційне сушіння. Перехід холодильної промисловості на натуральні альтернативні холодоагенти	20.09.2023 р.	
2	Досліджувані холодоагенти і їх властивості. Схема двоступеневої холодильної машини з РТО і її цикл в діаграмі lgP-h	15.10.2023 р.	
3	Порівняльний теоретичний аналіз двоступеневої холодильної машини малої продуктивності на різних холодоагентах	30.10.2023 р.	
4	Степень підвищення тиску. Температура стиснення.Питома холодопродуктивність. Потужність електродвигунів	10.11.2023 р.	
5	Охорона праці. Економічна частина	15.11.2023 р.	
7	Цивільний захист	20.11.2023 р.	

Здобувач-дипломник

Мігунов Сергій Вікторович

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 робот відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник

Мігунов Сергій Вікторович

АНОТАЦІЯ

Виконавець: магістр ХМ-161М групи Мігунов Сергій Вікторович

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

Тема дипломної роботи: «Дослідження характеристик холодильної установки холодопродуктивністю 10 кВт на сумішах натуральних робочих речовин для будинків переселенців»

Дипломна робота: 82 с. Рис.: 26; Таб: 18; Літ. джерел: 15.

Мета роботи: провести дослідження холодильної установки, що працює на сумішах натуральних робочих речовин для будинків переселенців. У роботі розглянуто сублімаційне сушіння та вимоги до робочих умов під час нього. Представлений порівняльний аналіз робочих параметрів двоступеневої холодильної машини для сублімації, що працює на сумішах природних холодоагентів. Для дослідження у якості робочих речовин були вибрані наступні суміші: пропан (0,30) – метан (0,15) – етан (0,55); пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65); пропан (0,25) – метан (0,05) – етан (0,7); пропан (0,1) – етан (0,9); пропан (0,2) – етан (0,8); пропілен (0,1) – етан (0,9) та пропілен (0,2) – етан (0,8).

Для різних робочих режимів ($t_0 = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $t_K = 29...35\text{ }^{\circ}\text{C}$) були знайдені значення основних характеристик холодильної установки, зокрема питомої холодопродуктивності, коефіцієнта подачі компресора, споживаної потужності та холодильного коефіцієнта, та показані змінення цих характеристик при зміні температурного режиму. Визначено, як впливає концентрація тієї чи іншої природної речовини в суміші на робочі характеристики холодильної машини. Визначено найбільш суттєві проблемні місця при застосуванні сумішей в якості холодильного агента в холодильній машині та надані рекомендації щодо їх використання.

Ключові слова: СУБЛІМАЦІЯ, РОБОЧА РЕЧОВИНА, ХОЛОДИЛЬНА УСТАНОВКА, РОБОЧИЙ РЕЖИМ, СУМІШ ПРИРОДНИХ РЕЧОВИН

					Дослідження характеристикХУ холодопродуктивністю 10 кВт на сумішах н.р.р			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Мігунов С.В..			Пояснювальна записка		Літ.	Аркуш
Перевірив		Подмазко О.С.						Аркушів
Реценз.								
Н. Контр.							4	82
Затверд.							ОНТУ гр. ХМ- 161М	

ANNOTATION

Performer: master of the GM-161M group Migunov Serhii Viktorovych

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

Topic of the thesis: "Investigation of the characteristics of a refrigerating unit with a cooling capacity of 10 kW on mixtures of natural working substances for the homes of displaced persons"

Thesis: 82 p. Fig.: 26; Tab: 18; summer sources: 15.

The purpose of the work: to conduct a study of a refrigerating unit that works on mixtures of natural working substances for the homes of displaced persons. The work examines freeze-drying and the requirements for working conditions during it. A comparative analysis of the operating parameters of a two-stage refrigerating machine for sublimation operating on mixtures of natural refrigerants is presented. The following mixtures were selected as working substances for the study: propane (0.30) – methane (0.15) – ethane (0.55); propane (0.25) – methane (0.10) – ethane (0.65); propane (0.25) – methane (0.05) – ethane (0.7); propane (0.1) - ethane (0.9); propane (0.2) - ethane (0.8); propylene (0.1) – ethane (0.9) and propylene (0.2) – ethane (0.8)

For different operating modes ($t_0 = -50\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $t_K = 29...35\text{ }^{\circ}\text{C}$), the values of the main characteristics of the refrigerating unit were found, in particular, the specific refrigerating capacity, the compressor supply ratio, the power consumption, and the refrigerating coefficient, and the changes in these characteristics were shown when the temperature regime It was determined how the concentration of one or another natural substance in the mixture affects the working characteristics of the refrigerating machine. The most significant problem areas in the application of mixtures as a cooling agent in a refrigerating machine are identified and recommendations for their use are provided.

Keywords: SUBLIMATION, WORKING SUBSTANCE, REFRIGERATOR, WORKING MODE, MIXTURE OF NATURAL SUBSTANCES

					KPM.XYiKП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Сублімація та ліофілізаційне сушіння.....	8
1.1 Сублімаційні установки.....	8
1.2 Ліофілізаційне сушіння.....	8
2. Перехід холодильної промисловості на натуральні альтернативні холодоагенти.....	25
2.1 Заміна холодоагентів в діючому устаткуванні.....	27
2.2 Особливості термодинаміки сумішей холодоагентів.....	29
3. Досліджувані холодоагенти і їх властивості.....	32
3.1 Програмне забезпечення для теоретичних досліджень.....	35
4. Порівняльний теоретичний аналіз двоступеневої холодильної машини малої продуктивності на різних холодоагентах.....	36
4.1 Методика розрахунку.....	36
5. Охорона праці.....	52
6. Економічна частина.....	66
7. Цивільний захист.....	69
Список використаної літератури.....	81

ВСТУП

Одним з методів консервації харчових продуктів, біологічних і медичних препаратів, що дозволяють зберегти їх найважливіші початкові властивості, є сублімаційне сушіння, тобто сушіння в замороженому стані під вакуумом.

Консервований таким чином продукт можна тривалий час зберігати в звичайних умовах. Продукт легко поглинає воду, повністю відновлюються його поживні властивості, зовнішній вигляд, об'єм. Широкого поширення для консервації харчових продуктів цей метод не отримав зважаючи на великі енергетичні витрати.

Перед сушінням продукти заморожують, при цьому важливо забезпечити оптимальну швидкість заморожування. Прийнятна структура кристалів льоду утворюється при заморожуванні продукту в повітряному морозильному апараті при температурі повітря мінус 30 – 35 °С.

Продукт можна заморожувати і безпосередньо в субліматорі при атмосферному тиску або у вакуумі в результаті випаровування вологи. Швидке відкачування повітря з субліматора викликає інтенсивне випаровування вологи з поверхні продукту і призводить до його заморожування. Коли досягнутий потрібний вакуум, і продукт повністю замерзнув, настає період сублімаційного сушіння. До висушуваного продукту підводять тепло ззовні, відбувається сублімація льоду. До кінця цього періоду сушіння підвод тепла збільшують і цим підвищують температуру висушуваного продукту до 40 – 50 °С. Завершується процес сушіння короткочасним періодом видалення залишкової вологи.

Стосовно технології сублімайного сушіння створені відповідні апарати і установки, визначені методи їх розрахунку. З усіх способів видалення водяної пари найбільше поширення отримав метод конденсації водяної пари на охолоджуваній поверхні. При негативних температурах волога осідає на охолодженій поверхні у вигляді льоду. Цей процес називають десублімацією, а теплообмінник з охолоджуваною поверхнею –

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

десубліматором. Загальний тиск середовища підтримують від 300 до 1 Па. Секції десубліматора-випарника виконують з труб або панельних елементів. Для ефективної течії процесу виморожування вологи застосовують послідовне почергове включення секцій поверхні, починаючи з останньої по ходу руху водяної пари. Лід з поверхні десубліматора необхідно своєчасно видаляти. Температура кипіння холодагенту – мінус 40 – 60°C.

1. СУБЛІМАЦІЯ ТА ЛІОФІЛІЗАЦІЙНЕ СУШІННЯ

1.1 Сублімаційні установки

Для попереднього пониження тиску і видалення газів, що не конденсуються, застосовують пускові і робочі вакуум-насоси. Пускові вакуум-насоси завдяки великій продуктивності забезпечують швидке зниження тиску в процесі сушіння. Найширше застосовують сублімаційні установки періодичної дії. Установки потоково-циклічної дії доцільно застосовувати при масовому виробництві вузького асортименту продуктів.

Установка періодичної дії включає апарат, що виконує функції субліматора і десубліматора і має кришки для завантаження і випуску візків з продуктами і монорейковий підвісний шлях для розміщення візків. У апараті знаходяться нагрівальні панелі, вертикально-трубні панелі десубліматора з піддонами для видалення талої води.

У секціях десубліматора кипить аміак при мінус 35 °C. Ліва і права частини систем теплопідведення і волговідведення мають автономне управління, що дозволяє використати їх незалежно для сушіння продуктів різного виду. Вакуумна система використовує пускові і робочі вакуум-насоси і в змозі підтримувати тиск 150 Па.

1.2 Ліофілізаційне сушіння

Нині існує велика потреба в швидкій розробці нових фармацевтичних продуктів, до того ж сушіння – досить дорогий процес. З усіх видів сушіння ліофілізаційне є найбільш дорогим з точки зору як капітальних, так і експлуатаційних витрат. Існує ряд причин, по яких метод ліофілізаційного сушіння широко використовується в промисловості.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Найбільш важлива причина, загальна для усіх галузей промисловості, полягає в тому, що у більшості випадків продукти, що піддаються ліофілізації, чутливі до нагрівання і не можуть бути висушені з використанням інших методів із-за високих робочих температур. Розробка як складу, так і умов протікання процесу ліофілізаційного сушіння лікарських препаратів для перорального прийому і ін'єкційного введення зазвичай відбувалася шляхом проб і помилок. Проведення сублімаційного сушіння в традиційних умовах в результаті виливається в тривалий час процесу, підвищене енергоспоживання і значні виробничі витрати. Основне завдання оптимізації процесу ліофілізаційного сушіння при розробці складу препарату і технології його отримання полягає в тому, щоб звести до мінімуму час сушіння, зберігши показники якості продукту, які будуть відповідати конкретним вимогам.

Попри те, що сучасна промисловість отримала безперечну користь завдяки існуючим знанням про ліофілізаційне сушіння, основні поняття в деяких її областях досі не визначені. Існує необхідність в систематизації знань фізичної хімії процесів заморожування і сублімаційного сушіння, матеріалознавства і механізмів тепло- і масообмінних процесів, що відбуваються на різних стадіях сушіння.

На рис. 1.1 представлена принципова схема сушарки сублімації для лікарських препаратів промислового призначення. Апарат складається з сушарної камери, вакуумного насоса, конденсатора, компресора і блоку управління, а також допоміжного устаткування. Типовий процес ліофілізації протікає таким чином: частково закупорені скляні флакони наповнюють рідким продуктом або водним розчином, після чого поміщають на охолоджені полиці ліофілізаційної сушарки, як показано на рис. 1.2. Потім температуру полиць знижують і заморожують продукт до рівномірно розподіленої, заздалегідь заданої температури. Після заморожування тиск в сушарній камері знижують до величини, меншої, ніж тиск пари льоду при підтримуваній температурі, для того, щоб почати сублімаційне сушіння.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

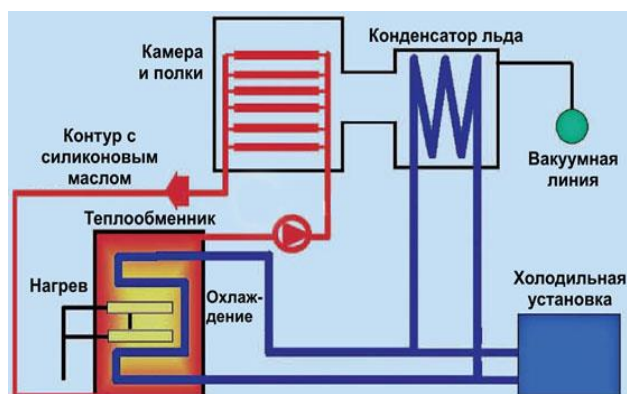
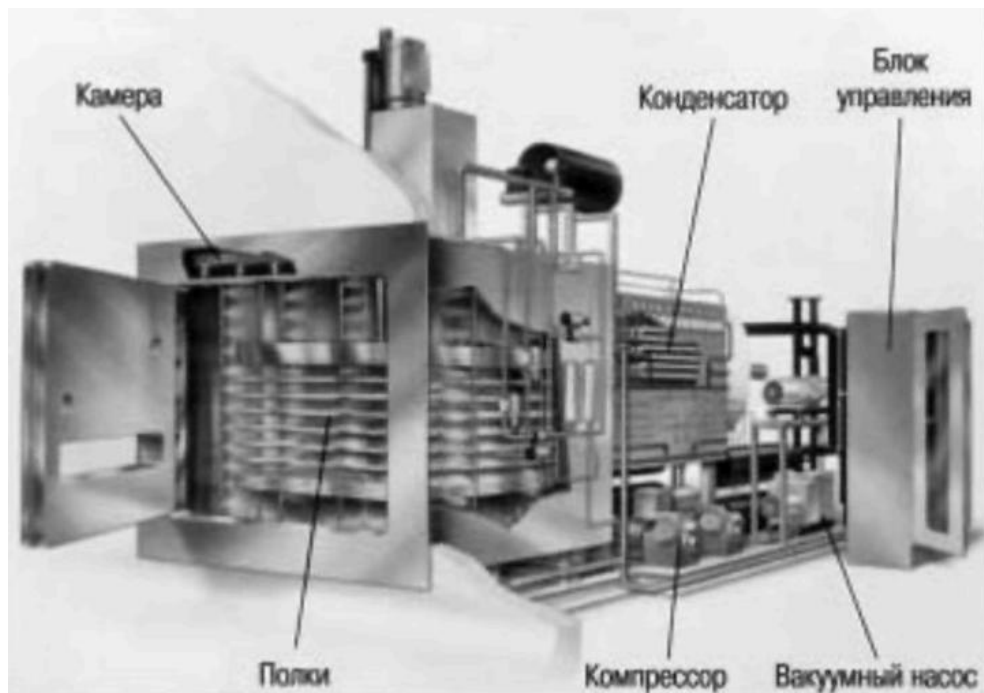


Рис. 1.1 – Принципова схема сублимаційної сушарки для медичних препаратів

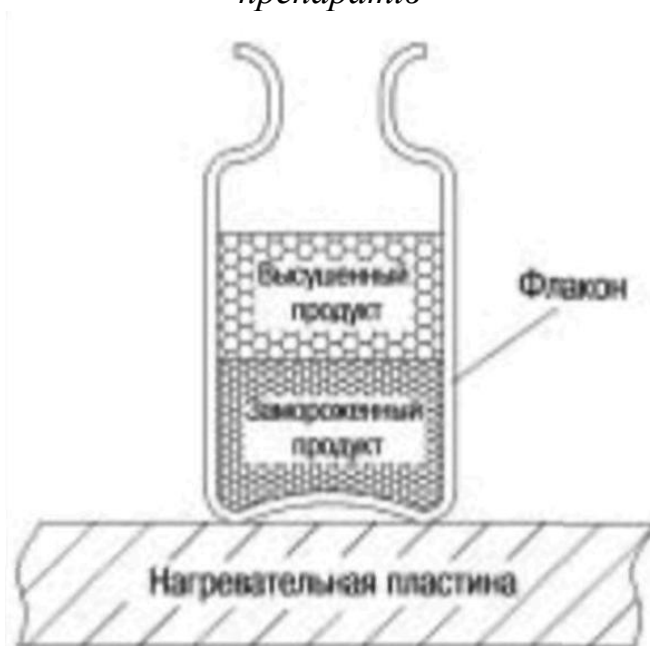


Рис. 1.2 – Наповнений флакон на полиці під час ліофілізаційного сушіння

Видалення вологи при ліофілізаційному сушінні здійснюється головним чином за рахунок сублімації. Для того, щоб цей процес відбувався, повинна поступати енергія, що буде компенсувати приховане тепло сублімації льоду. Полиці нагрівають до температури, достатньої для ефективної сублімації, але не настільки високої, щоб розтопити заморожений продукт, що знаходиться на дні флакона. Процес сублімаційного сушіння, як правило, включає три стадії: заморожування, первинне сушіння і вторинне сушіння. В ході первинного сушіння водяну пару поступово видаляють із замороженого продукту методом сублімації, тоді як температуру полиць підтримують на постійно низькому рівні. Вторинне сушіння розпочинається з підвищення температури полиць, як правило, до температури вище за кімнатну, і подальшого зниження тиску в камері для видалення абсорбованої води з наполовину висушеного продукту. Процес триває до тих пір, поки залишковий вміст води не досягне бажаного рівня.

Переваги ліофільного сушіння:

- не порушується нативна (первинна) структура білків. В процесі ліофілізації вода випаровується, минувши рідкий стан. Досягається це таким чином: на першому етапі, шляхом заморожування видаляється вільна вода, а випарювання пов'язаної води відбувається за допомогою вакуумного сушіння;

- у речовинах, що піддалися ліофілізації, загальмовуються або повністю припиняються усі біохімічні процеси, клітини входять наче в стан анабіозу. Таким чином, біологічний або медичний препарат довгий час зберігає свої первинні властивості, з'являється додаткова стійкість до чинників зовнішньої дії;

- відновлення первинних властивостей препарату після зволоження. При контакті з водою або фізіологічним розчином вони вмиль переводяться в початкову нативну форму;

- підвищена розчинність препаратів після сублімації.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Заморожування – перша стадія процесу ліофілізаційного сушіння, від якої багато в чому залежить ефективність усього процесу ліофілізації. У кінці стадії заморожування близько 65 – 90 % початкової вологи знаходиться в замороженому стані, а решта у багатьох випадках перебуває в адсорбованому вигляді. Температура замерзання, швидкість кристалізації і міра переохолодження – важливі чинники, що впливають на загальний час сушіння і якість продукту. На підставі фізичних і хімічних властивостей продукту можна оптимізувати алгоритм дій при заморожуванні, щоб досягти найбільш ефективних результатів ліофілізації, що включають як високу якість продукту, так і нетривалий час сушіння. Властивості замороженого розчину значною мірою впливають на швидкість першої і другої стадій сушіння. Загальновідомо, що рідкий продукт в результаті заморожування демонструє дві різні моделі поведінки, як показано на рис. 1.3: рідка фаза різко твердне (утворення евтектичного складу) при температурі, що залежить від природи твердих речовин в розчині, або рідка фаза не твердіє (склування), а стає усе більш в'язкою до тих пір, поки остаточно не набуде форми дуже щільної субстанції і не стане високов'язкою рідиною.

Заморожування потрібне для того, щоб зберегти усі властивості препарату і сприяти збереженню життєздатності мікроорганізмів: вільна вода видаляється, минувши рідкий стан, при цьому не руйнується структура білку. На цьому етапі ліофільної сушки застосовують різноманітні захисні середовища (тобто стабілізатори). У якості них може виступати сироватка крові тварин, альбумін, знежирене молоко, а також желатин, желатоз, глутамат натрію, сахароза. В якості стабілізатора може використовуватися як одна з вказаних вище речовин, так і їх комбінація.

Етап заморожування відбувається в морозильних камерах при температурі від мінус 40 до мінус 60 °С або в самій камері субліматора.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 1.3 – Різна поведінка водних розчинів при заморожуванні

Концентрація виморожуванням. Якщо розчин охолодити до температури нижче нормальної температури замерзання без твердіння, то розчин вважається переохолодженим. Для водних розчинів температура переохолодження може знаходитися в діапазоні від 10 до 15 °С нижче 0 °С, залежно від температури утворення зародків кристалів льоду. Відповідно до діаграми, на якій представлено протікання процесу заморожування в часі, різке підвищення температури із-за вивільнення прихованого тепла T_f свідчить про кристалізацію льоду (рис. 1.4 і 1.5). У першому випадку компоненти кристалічних структур, які мають найменшу з усіх речовин складу розчинність, формують суміш з кристалічною водою, і температура підвищується до температури евтектичної кристалізації T_e . Евтектичну точку визначають як момент утворення однорідної фізичної суміші двох або твердіших кристалічних речовин, що мають однакові фізичні властивості, як це відбувається в однокомпонентному продукті. Проте багатокомпонентна суміш часто не має T_e , тому що на цій стадії заморожування дифузія молекул значно понижена, що має важливе значення для кристалізації. З цієї причини одним з найбільш важливих параметрів для оптимізації процесу ліофілізаційного сушіння є оборотний

перехід з в'язкого в скловидний стан, що називається температурою склування, що концентрується виморожуванням розчину (T_g).

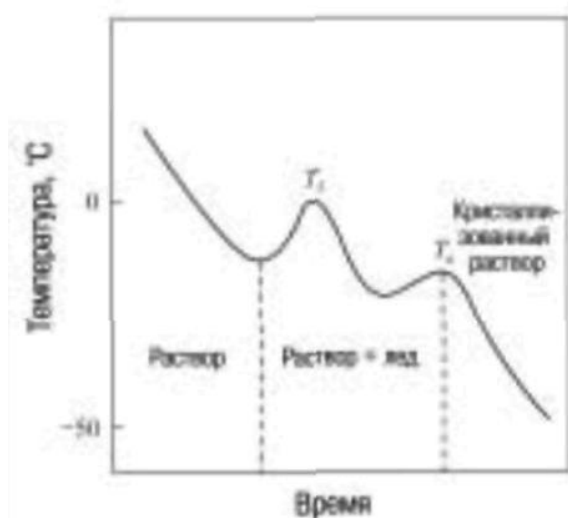


Рис. 1.4 – Залежність температури від часу при заморожуванні водяного розчину хлориду натрію

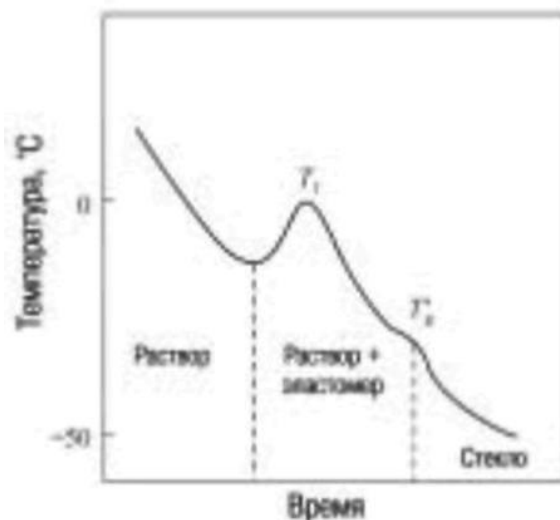


Рис. 1.5 – Залежність температури від часу при заморожуванні аморфної розчиненої речовини



Рис. 1.6 – Діаграма тверда речовина – рідина для системи сахароза – вода

Фрэнкс (Franks) проілюстрував поведінку системи сахароза - вода при замерзанні (рис. 1.6). Розчинена речовина концентрується з первинного розчину із вмістом твердої речовини 5 % до величини 80 %. Це означає, що відділення основної частини продукту в процесі ліофілізаційного сушіння відбувається на стадії заморожування, проте є присутньою і велика частка

незамороженої води. Система сахароза – вода не дає осаду, як розчини кристалічних речовин, коли розчин охолоджується до евтектичної точки, а залишається в термодинамічно нестабільному стані. При температурі нижче T_g' система поводить як тверда речовина.

У міру того як продукт продовжує охолоджуватися, все більша кількість води перетворюється на лід, і уся внутрішня рідина навкруги концентрується остаточно до тих пір, поки не кристалізується повністю, або в'язкість системи не стане достатньою, щоб система перейшла в твердий аморфний стан.

Вплив швидкості кристалізації. Добре відомо, що швидке заморожування призводить до утворення численних кристалів льоду невеликого розміру, тоді як в результаті повільного заморожування виходять великі і менш чисельні кристали. Форма, розподіл по розмірах і зв'язність пір пористої матриці висушеного шару, сформованою сублімацією льоду в ході першої стадії сушіння, залежать від розміру кристалів льоду, що утворилися під час стадії заморожування. Ця залежність є надзвичайно важливою, оскільки пориста структура висушеного шару значною мірою впливає на швидкість масопереносу. Якщо кристали льоду дрібні і неоднорідні, то швидкість масопереносу пари у висушеному шарі уповільнена. І навпаки, коли формуються великі кристали льоду і можливе утворення гомогенної дисперсії в замороженому розчині, швидкість масопереносу буде високою, і матеріал висушиться досить швидко.

Розмір кристалів льоду обернено пропорційний до міри переохолодження. З одного боку, маленький розмір пір у висушеному шарі є причиною високого опору перенесенню водяної пари під час первинного сушіння і збільшення часу тривалості цієї стадії. З іншого боку, маленькі кристали льоду мають велику питому площу поверхні, яка сприяє десорбції води в ході вторинного сушіння. Сирлз (Searles) і співавтори опублікували дані, згідно з якими головним чинником, що визначає швидкість первинного сушіння, є температура утворення льоду. При цьому в результаті сильного

переохолодження виходять кристали льоду меншого розміру, а також досягаються більш високий опір масопереносу і невелика швидкість сушіння.

Утворення евтектичного складу. Існує декілька варіантів протікання процесу заморожування водного розчину. Найбільш простий – це кристалізація розчиненої речовини з концентрованої виморожуванням розчину з утворенням простої евтектичної суміші (рис. 1.7). Знання поведінки цієї системи потрібне для розуміння принципів матеріалознавства, що відбуваються в ліофілізаційному сушінні. Лінія *ab* – це крива депресії води в точці замерзання у присутності хлориду натрію, а лінія *bc* характеризує розчинність хлориду натрію у воді. Точка перетину двох ліній – це температура плавлення евтектики, яка для хлориду натрію (льоду) дорівнює мінус 21,5 °С, а евтектичний склад містить близько 23,3 % (по масі) хлориду натрію. Процес заморожування 5 % розчину хлориду натрію у воді описаний лінією *defgh*. При кімнатній температурі в точці *d* система повністю рідка. У міру охолодження розчину в точці *e* утворюється лід (за відсутності переохолодження). В ході подальшого охолодження системи лід продовжує кристалізуватися, і розчин стає більше насиченим натрію хлоридом. У точці *f* є присутніми обидві фази: лід і концентрований виморожуванням розчин хлориду натрію у воді. Цей заморожений концентрований розчин має склад, позначений точкою *i*, що знаходиться в рівновазі з льодом. У точці *g* розчин насичується хлоридом натрію, і твердий хлорид натрію починає випадати в осад. Система повністю твердне тільки при температурі нижче евтектичної (точка *h*). Також у випадках, коли лінія протікання процесу заморожування перетинає лінію *bc* при первинній концентрації розчину, що знаходиться між точками *b* і *c*, твердий хлорид натрію осідає раніше, ніж утворюється лід. Інші приклади бінарних евтектичних систем, що мають подібну динаміку замерзання: хлорид амонія – вода і гліцин – вода. Важливість евтектичної температури для ліофілізації полягає в тому, що вона є максимально допустимою для сублімаційного

сушіння температурою, тому що в результаті плавлення евтектики утворюватиметься вода, що призведе до зупинки процесу.

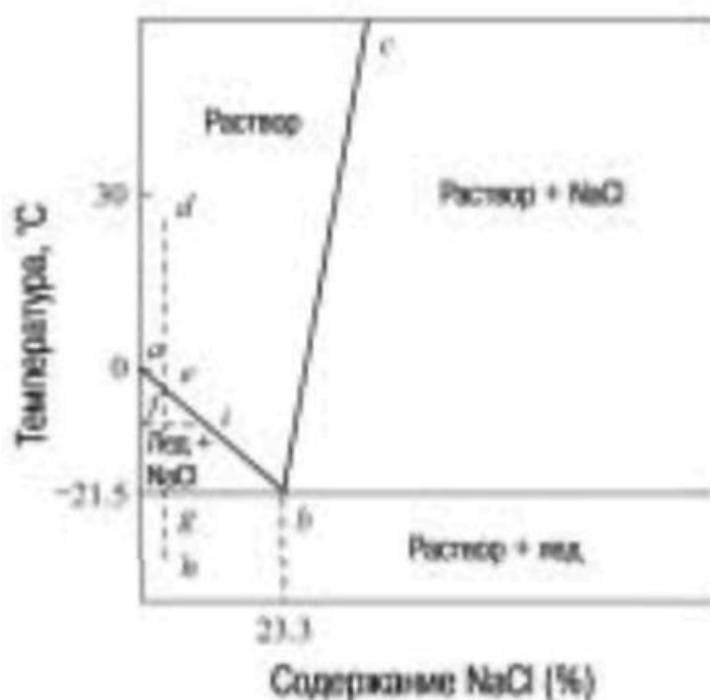


Рис. 1.7 – Діаграма стану системи хлорид натрію – вода

Склування. Якщо продукт є аморфною речовиною, він залишається рідким при температурі нижче нормальної точки замерзання, але з часом, в результаті зниження температури, в'язкість різко підвищується. Цей перехід називають склуванням, оскільки матеріал переходить в склоподібний стан. Скло – це істинно тверда субстанція, яка має хімічну будову твердої кристалічної речовини, але без його впорядкованої молекулярної структури. На рис. 1.8 зображене утворення продуктом скла в результаті швидкого заморожування, хоча при повільному заморожуванні очікується кристалізація. Температура склування матеріалу значною мірою залежить від змісту води. Звичайний максимальний вологовміст на початку сушіння є причиною найнижчої T_g , тоді як мінімальний – у кінці сушіння – призводить до найвищих температур T_g . Таким чином, єдиної величини T_g не існує, але є діапазон T_g для замороженого продукту, що залежить від залишкової вологості. При певному вологовмісті температура склування матеріалу позначається T_g' .

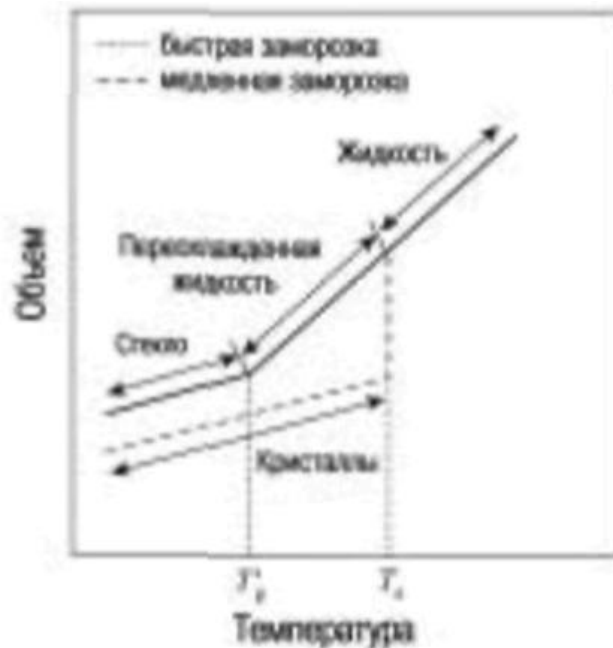


Рис. 1.8 – Порівняння склування та кристалізації матеріалу

Вплив допоміжних речовин. Використання допоміжних речовин може сприяти зменшенню деяких небажаних ефектів концентрації виморожуванням. Допоміжні речовини – це субстанції, використовувані для того, щоб удосконалити ліофілізаційне сушіння різних біологічних матеріалів. Вони є інертними речовинами, як, наприклад, цукор.

Режим заморожування також впливає на міру кристалізації і поліморфізм важливого для розробки рецептури лікарських засобів допоміжної речовини манітолу. Кристалізація протікає успішно в складах, в яких манітол діє у якості наповнювача. Присутність манітолу може надавати деякі переваги, наприклад, як можливість ліофілізації при високих температурах, і, внаслідок цього, зменшення тривалості циклу ліофілізаційного сушіння, а також отримання продукту без дефектів, обумовлених руйнуванням матеріалу. При використанні манітолу у якості стабілізатора утворюється система, яка поводить себе як фізична суміш, взаємодія в ній відбувається тільки на межі розділу фаз. Крім того, за спостереженнями вчених, при різних концентраціях в ході заморожування виходили різні поліморфні модифікації. При повільному заморожуванні 10 % розчину манітолу була отримана суміш поліморфів, а швидке заморожування того ж розчину закінчилося утворенням модифікації.



Рис. 1.9 – Сушарна камера

Первинне сушіння. Після стадії заморожування сушарну камеру

					КРМ.ХУІКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

вакуумують і тиск в ній знижують до величини, при якій можлива сублімація льоду. На цьому етапі температура завжди має бути нижче, ніж на етапі заморожування. Ця операція означає початок першої стадії сушіння. Вибір величини тиску в камері залежить від кінцевої температури замерзання матеріалу. Для того, щоб відбувалася сублімація, тиск має бути нижчий, ніж тиск пари льоду. Існують рекомендації, згідно з якими величина тиску в камері під час первинного сушіння вважається обґрунтованою, якщо вона має значення не більше ніж приблизно $1/2$ і не менше ніж $1/4$ тиску пари льоду при бажаній температурі продукту.

У міру того як відбувається сублімація кристалів льоду, межа зони сублімації, яка починається на зовнішній поверхні, поступово відсовується углиб матеріалу, і після просування межі залишається пористий шар продукту. Тепло, використовуване для сублімації, може проникати через висушений шар до зони сублімації. Сублімована пара переміщається через пористий шар за допомогою дифузії і конвективного потоку і надходить в сушарну камеру ліофілізаційної сушарки. Оскільки для сублімації води потрібно значна кількість тепла, далі температуру продукту, як правило, знижують.

Головна мета дослідження ліофілізаційного сушіння – поліпшити економічні показники процесу шляхом зменшення технологічного часу. Важливим моментом є визначення чинників, що обмежують швидкість сушіння. Двома найбільш значними з них є тепло- і масоперенос, які залежать від таких параметрів процесу, як температура і тиск.

Руйнування структури під час ліофілізаційного сушіння. Руйнування структури пояснюється втратою матрицею структури або її ушкодженням в момент, коли фронт сублімації потрапляє всередину продукту; це явище чинить шкідливу дію на процес ліофілізаційного сушіння. Процес великою мірою залежить від температури в конкретній точці. Температура руйнування T_c – це величина, у разі перевищення якої відбувається руйнування продукту. Вона пов'язана з температурою склування T_g' . В ході одного зі своїх досліджень, присвячених вивченню руйнування структури,

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пікал (Pikal) і Шах (Shah) виявили, що руйнування відбувається при температурі, величина якої на декілька градусів вища, ніж T_g' . Ванг (Wang) припустив, що T_c тісно пов'язана з T_g' , проте зменшення в'язкості при T_g' недостатньо для того, щоб вона стала причиною руйнування структури. Інші дослідники припустили, що обидві величини однаково важливі. Структура руйнується із-за зниження жорсткості твердої матриці, яке з великою мірою вірогідності відбувається в результаті зменшення в'язкості, коли локальна температура перевищує величину T_g' . У таблиці 1.1 представлений перелік температур руйнування і склування деяких типових допоміжних речовин, використовуваних у фармацевтичній промисловості. Хэтлі (Hatley) і Блэйр (Blair) представили подібні усереднені дані про T_g' з невеликими відмінностями із-за відмінностей в методах виміру і трактуванні.

Таблиця 1.1 – Температури руйнування і склування деяких допоміжних речовин, що викростовуються в фармацевтичній промисловості

Речовина	T_c , °C	T_g' , °C
декстран	–9	–
фіколл	–19,5	–
фруктоза	–48	–42
желатін	–8	–
глюкоза	–40	–43
інозітол	–27	–
лактоза	–32	–
мальтоза	–32	–29,5
маннітол	–30	–
глутамат натрію	–50	–
полівінілпірролідон	–23	–
раффіноза	–26	–
сорбітол	–45	–43,5
сахароза	–32	–32

Масоперенос. Загальний опір масопереносу – це сума декількох

опорів, що виникають послідовно: опір частково висушеного шару, опір флакона або контейнера, у тому числі не до кінця закритої пробки, опір по дорозі з камери в конденсатор. Найвищий опір, наслідком якого є найбільше зниження тиску, створює шар висушеного продукту, в якому молекули води, щоб потрапити в конденсатор, повинні пройти через пори і канали, що утворилися під час стадії заморожування.

Дифузія водяної пари в частково висушений шар – це один з основних чинників, що впливають на швидкість масопереносу. Дифузійна здатність тісно пов'язана з розміром пір. Великі кристали льоду сприятимуть просуванню водяної пари. Перепади тиску – це не що інше, як рушійна сила перенесення водяної пари. Найбільш низький тиск в камері обумовлює найбільшу швидкість сублімації льоду. У своїй доповіді про вплив тиску в камері на тепло- і масоперенос Лівсі (Livesey) і Роу (Rowe) відмітили, що чинники, що обмежують швидкість ліофілізаційного сушіння, змінювалися у міру проходження процесу. Спочатку, доки висушений шар є тонким, швидкість процесу обмежується перенесенням теплоти, і для того, щоб збільшити швидкість сублімації до максимуму, потрібно створити позамежну інтенсивність теплового потоку. Після деякого збільшення товщини висушеного шару вплив на процес починає виконувати масоперенос, у зв'язку з тим, що, на думку авторів, необхідна інтенсивність теплового потоку легко підтримується для збереження швидкості сублімації, що зменшується.

Теплоперенос. Регулювання процесу пов'язане зі зміною температури продукту залежно від часу у міру протікання ліофілізаційного сушіння; температура не повинна перевищувати максимально допустиму, яку визначають T_e або T_g' продукту. Задана температура продукту впливає на швидкість теплопереносу в продукт і швидкість сушіння або швидкість масопереносу водяної пари. Таким чином, перша стадія сушіння є проблемою поєднання тепло- і масопереносу. Тепло, як правило, надходить в продукт за допомогою теплопровідності, конвекції і/або випромінювання.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Теплоперенос з джерела на поверхню сублімації – це важливий, обмежуючий швидкість процес в ході первинного сушіння.

Вулфф (Wolff) і співавтори визначили чинники, що обмежують швидкість процесу у флаконі з молоком при проведенні ліофілізаційного сушіння. Скоректувавши свою модель відповідно до експериментальних даних, вони припустили, що на швидкість сушіння впливають наступні три параметри перенесення: дифузійна здатність водяної пари у висушеному шарі, коефіцієнт зовнішнього масопереносу і опір теплопереносу від нагрітої полиці до замороженого матеріалу. Оскільки опір в точці контакту флакона і полиці є найбільш значною перешкодою для теплопередавання, воно було визначене як основний чинник, що обмежує швидкість процесу.

Ефективна теплопровідність складається головним чином з двох частин – теплопровідності і фазового переходу. Теплопровідність грає основну роль в ненасиченій області, поки температура низька. При високій температурі домінує фазовий перехід. Лімітувальна стадія теплопереносу змінюватиметься від теплопровідності до фазового переходу у міру зменшення вологовмісту. Основний інтерес в процесі на цій стадії представляє температура руйнування T_c . З одного боку, температура ліофілізації має бути близькою до T_c , щоб процес протікав ефективно, а з іншої – вона не може перевищувати T_c через вимоги до процесу і якісним параметрам продукту.

Вторинне сушіння. Друга стадія сушіння є видаленням пов'язаної води шляхом десорбції. Кількість пов'язаної води, що залишилася, складає приблизно 10 – 35 % загального вологовмісту. Вплив пов'язаної води на швидкість і загальний час сушіння значний. Час, потрібний для видалення пов'язаної води, буде таким же або навіть більше, ніж час, що витрачається на видалення вільної води. Регулювання вмісту вологи в пористому середовищі в ході вторинного сушіння відбувається за рахунок рівноваги процесів адсорбції – десорбції. Воно залежить не лише від температури, але і від вологовмісту. Вологовміст висушеного продукту у кінці другої стадії

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

сушіння залежить від вимог виробника або терміну зберігання за умови прийнятної якості продукту.

Пов'язану воду розглядають або як межу поверхні кристалів в кристалічному продукті, або як включену у високов'язку аморфну матрицю речовину. Друга стадія сушіння кристалічних продуктів може бути менш тривалою, тому що можна застосовувати більш високу температуру сушіння без ризику деградації продукту. Навпаки, швидкість сушіння скловидних продуктів обмежена на цій стадії із-за повільної молекулярної дифузії в ліофілізаті. Кількість залишкової води може складати від 20 до 40 %. Внаслідок цього дуже важливо, щоб температура продукту була нижча за температуру його руйнування для запобігання деформації ліофілізату. Температуру полиці для аморфних продуктів слід підвищувати повільно (0,1 – 0,15 °C в 1 мін), особливо на початку процесу, коли вологовміст ще високий. Проте Пікав і Шах продемонстрували, що у разі підтримання температури полиці на такому ж, як при первинному сушінні, однаковою впродовж перших декількох годин температура склування підвищується набагато швидше, ніж температура продукту. Це дає привід вважати, що температура полиці в ході вторинного сушіння має бути максимально високою, як правило, в діапазоні від 25 до 50 °C. Тиск в камері в ході вторинного сушіння міняти не треба, оскільки було встановлено, що воно не спричиняє значного впливу на швидкість сушіння.

Повільне заморожування призводить до утворення великих кристалів льоду, тобто пористого твердого матеріалу, що має невелику питому поверхню. В результаті досягається висока швидкість сушіння на першій стадії, і, навпаки, зниження – на другій. Таким чином, на масоперенос впливатиме питома площа поверхні. Для інтенсифікації процесу десорбції, як правило, потрібно підвищення температури довкілля або дуже глибокий вакуум, тому що кількість пов'язаної води значною мірою залежить від температури довкілля, а тиск її насиченої пари тісно пов'язаний із залишковим вологовмістом.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Завершальний етап – упакування висушених речовин. Далі ампули або флакони оперативно закупорюють, щоб препарат не наситився вологою (це може негативно позначитися на його зберіганні).

Потім ампули запаюють, але заздалегідь створюючи в них вакуум або заповнюючи інертним газом.

Тривалість процесу ліофілізації регулюється за допомогою автоматичного устаткування. Якість ліофілізаційного сушіння можна оцінити за такими ключовими показниками, як швидкість розчинення препарату (вона не повинна перевершувати 1 – 2 хвилин), залишкова вологість (вона не повинна перевищувати 1 – 3 %), початкова в'язкість препарату після його розчинення (вона, також, повинна відповідати певним нормам). У певні норми повинне вписуватися і рН-середина речовини.

Ліофілізація застосовується в різних сферах: цей процес актуальний як для фармацевтичної індустрії, так і в області ветеринарії, а також в біологічній практиці. Харчова промисловість – ще одна область, де ліофілізаційне сушіння використовується досить часто.

У фармацевтичній і ветеринарній промисловості використовується сублімаційне сушіння лікарських препаратів. Процес актуальний для термолабільних і речовин, що легко окислюються (такому сушінню піддаються часто гормональні препарати, вітаміни, антибіотики, ферментні препарати, вакцини, препарати крові і сироватки).

Сублімаційне сушіння продуктів часто застосовується і в області харчової промисловості. Піддають ліофілізації м'ясопродукти і такі види м'яса, як баранина, свинина, курятина. Сублімують і деякі молочні продукти, овочі, різні фрукти і ягоди.

Актуальна ліофільна сушка і в області біотехнології. Вона придатна для живих мікроорганізмів, ряду ферментів та інших термолабільних продуктів. Ліофілізація гальмує процес інактивації ферментів, внаслідок чого добре зберігається життєздатність клітин.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

2. ПЕРЕХІД ХОЛОДИЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА НАТУРАЛЬНІ АЛЬТЕРНАТИВНІ ХОЛОДОАГЕНТИ

У другій половині ХХ століття людина зіткнулася з гострою екологічною проблемою – виснаженням озонового стратосферного шару, що стало першим в історії людства глобальним випадком впливу на довкілля антропогенних чинників. Коли ця проблема була усвідомлена, це привело до істотного переосмислення заходів, пов'язаних з боротьбою проти забруднення довкілля. В результаті цього було розроблено і впроваджено міжнародне законодавство, втілене у вигляді підписаного в 1987 р. Монреальського протоколу і ставляє перед собою мету виключити з практичного застосування ряд холодильних агентів, що широко використовуються, які відносяться до класу хлорфторвуглеців (CFC), що спричиняють значний вплив на руйнування озонового шару Землі. З метою заміщення в холодильній і компресорній техніці вказаних речовин пропонувалося зробити основний акцент на розробку і застосування альтернативних холодильних агентів. Але в той же час, проблема виявилася куди більше серйозніша, ніж вона передбачалася спочатку, зважаючи на виникнення обмежень по викидах в довкілля речовин, які підвищують парниковий ефект атмосфери.

У міру подолання проблеми озонової кризи кінця минулого століття на даний момент саме глобальне потепління атмосфери Землі виходить на перший план і стає головною екологічною проблемою ХХІ століття [1 – 4]. У зв'язку з цим виник істотний тиск на холодильну і компресорну техніку з метою значного скорочення викидів в довкілля парникових газів. Особливо це стосується різних гідрофторвуглеців (HFCs). Внаслідок цього інтерес фахівців і вчених все більше почала притягати можливість повсюдного застосування в холодильній і компресорній техніці природних речовин, які практично не спричиняють вплив на парниковий ефект атмосфери. Серед цих речовин можна виділити аміак, вуглеводні, діоксид вуглецю і деякі інші.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.1 Заміна холодоагентів в діючому устаткуванні

Розвиток холодильної техніки в теперішній час перебуває під впливом трьох визначуваних екологічними проблемами взаємозв'язаних чинників:

- вимог Монреальського протоколу про припинення споживання речовин, що руйнують озоновий шар (в першу чергу широко поширеного холодоагенту R12) і про тимчасове і кількісне обмеження застосування речовин перехідної групи, мають малий потенціал руйнування озонового шару (ODP);
- вимозі Кіотського протоколу до «Рамкової конвенції ООН про змінення клімату» про регулювання емісії парникових газів (речовин, що мають високий потенціал глобального потепління — GWP), до яких відносяться широко вживаний холодоагент R134a і багато інших речовин, використовуваних в холодильній техніці;
- традиційної вимоги до підвищення енергоефективності усіх видів холодильної техніки, що обумовлено зростаючою конкуренцією на вітчизняному ринку і положеннями певних законів «Про енергоефективність» і вимогами стандартів про обов'язкове виявлення і інформування споживачів про клас енергоефективності холодильних установок.

Аналізуючи найбільш відомі, розроблені в різний час в нашій країні і за кордоном, холодоагенти–замінювачі R12, R22, R502 та інші, можна переконатися, що у кожного з них є уразливі місця з точки зору виконання перерахованих вимог. Через це в перспективі усі вони можуть опинитися об'єктами різного роду екологічного регулювання, яке в кінцевому підсумку зведеться до заборони їх виробництва і споживання.

Крім того, для усвідомленого застосування альтернативних речовин в виробництві нової техніки і сервісі парку холодильного обладнання, що експлуатується, необхідно мати досить великий об'єм інформації про термодинамічні властивості цих речовин, їх взаємодії з іншими матеріалами і речовинами в холодильній машині, а також дані про санітарно–гігієнічні

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

властивості і т.д. Ці відомості не завжди є для пропонованих на ринку речовин, у тому числі і вітчизняних.

Важливими чинниками успішного впровадження нових холодоагентів є також наявність вітчизняного виробництва як самих речовин, так і компресорів, призначених для роботи на них, і можливість експорту холодильної техніки, що працює на таких речовинах.

Перш ніж розглядати властивості холодоагентів, зупинимося на основних вимогах, що пред'являються до них. Вимоги до холодоагентів підрозділяються на наступні групи:

- екологічні – озонобезпечність (ODP), низький потенціал глобального потепління (GWP), негорючість і нетоксичність;
- термодинамічні – велика об'ємна холодопродуктивність; низька температура кипіння при атмосферному тиску; невисокий тиск конденсації; хороша теплопровідність; мала щільність і в'язкість холодоагенту, що забезпечують скорочення гідравлічних втрат на тертя і місцеві опори при його транспортуванні; максимальна наближеність до замінюваних холодоагентів (для альтернативних озонобезпечних холодоагентів) по тисках, температурах, питомою об'ємною холодопродуктивністю і холодильному коефіцієнту;
- експлуатаційні – термохімічна стабільність, хімічна сумісність з матеріалами і холодильними мастилами, достатня взаємна розчинність з мастилом для забезпечення його циркуляції, технологічність застосування; негорючість і пожежобезпечність; здатність розчиняти воду, незначна плинність; наявність запаху, колір і т. д.;
- економічні – наявність товарного виробництва, доступні (низькі) ціни.

Холодоагенти, що відповідають перерахованим вимогам, знайти практично неможливо, тому у кожному окремому випадку вибирають холодоагент з урахуванням конкретних умов роботи холодильної машини, і перевагу слід віддавати таким, які задовольняють принциповим і визначальним вимогам.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Альтернативними речовинами можуть бути чисті (прості) речовини і суміші.

2.2 Особливості термодинаміки сумішей холодоагентів

У молекулярній теорії розчинів розрізняють зеотропні (неазеотропні) і азеотропні суміші.

Термодинамічна поведінка суміші азеотропного складу подібна до поведінки чистої речовини, оскільки склад парової і рідкої фаз у неї однаковий, а тиски в точках роси і кипіння співпадають.

Концентрації парової і рідкої фаз зеотропної суміші в умовах термодинамічної рівноваги розрізняються, а ізотерма під бінодалю в $p-h$ – координатах має нахил, тобто кипіння при постійному тиску відбувається при збільшенні температури холодоагенту від t_{01} до t_{02} , а конденсація – при падінні температури від t_{K1} до t_{K2} .

Це необхідно враховувати при визначенні міри перегрівання пари на вході в компресор, а також при оцінці енергетичних характеристик холодильної установки.

Таким чином, температуру кипіння і температуру конденсації слід знаходити по-іншому. Температуру кипіння обчислюють як середню температуру t_0 між температурою точки роси t_{02} при постійному тиску всмоктування $p_{ВСМ}$ і температурою, при якій холодоагент надходить у випарник t_{01} .

Температуру конденсації визначають як середню температуру $t_{K.сер}$ між температурою точки роси t_{K1} (температура початку процесу конденсації при постійному тиску нагнітання p_H) і температурою t_{K2} рідини на виході з конденсатора. Різниця температур фазового переходу при постійному тиску (при кипінні або конденсації) отримала назву Dt_{gl} або температурний глайд (від англ., glide – ковзання). Значення Dt_{gl} залежить від складу робочого тіла і є важливим технологічним параметром.

Перегрівання всмоктуваної пари обчислюють як різницю температури $t_{ВСМ}$ на вході в компресор і температури точки роси t_{02} холодоагента при тиску всмоктування $p_{ВСМ}$. При регулюванні

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

холодопродуктивності холодильних установок за допомогою регулювальних вентилів усе викладене вище необхідно враховувати.

Переохолодження рідини обчислюють як різницю між дійсною температурою рідини і температурою точки кінця конденсації t_{K2} при тиску нагнітання p_H .

Особливо важливо при регулюванні тиску враховувати температурний глайд суміші холодоагентів, наприклад холодоагентів 407C, R410A та ін. Крім того, температурний глайд – вирішальний чинник при визначенні розмірів теплообмінних апаратів.

Втрати тиску в системі істотно збільшують температурний глайд. Зневага цим явищем при складанні теплового балансу може призвести до заниження розмірів теплообмінних апаратів та інших елементів холодильної системи. Вплив цього чинника особливий істотний, коли холодильна система експлуатується на межі своїх можливостей.

Таким чином, зеотропні суміші мають свої переваги і недоліки. З одного боку, зміна складу робочого тіла при циркуляції його по контуру холодильної системи може призвести до зростання холодопродуктивності і холодильного коефіцієнта в порівнянні з цими характеристиками для чистих холодоагентів. З іншого боку, застосування зеотропних сумішей призводить до зниження інтенсивності теплообміну у випарнику і конденсаторі.

Ще один недолік зеотропної суміші – потенційна можливість зміни її складу при появі витоків в контурі холодильної системи, що впливає на пожежобезпечність і холодопродуктивність установки. Щоб понизити вірогідність зміни складу в області концентрацій, де переважає пожежонебезпечний компонент, в суміш додають негорючий компонент, тиск насиченої пари якого близько до тиску пари пожежонебезпечного компонента або вище його. Якщо суміш містить хоч би один горючий компонент, то необхідно при заправці уникати потрапляння повітря в систему.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Основні механізми зміни складу багатокомпонентного холодоагенту в холодильній установці наступні:

- парорідинне розділення зеотропних сумішей в компресорі і теплообмінних апаратах;
- різна розчинність компонентів суміші в холодильному мастилі;
- селективна втрата якого-небудь компонента із-за витоку компонента внаслідок негерметичної системи; зміни маси багатокомпонентного робочого тіла в окремих елементах холодильної системи при різних теплових навантаженнях.

При практичному використанні зеотропних сумішей рекомендується:

- заправляти холодильну систему з балона, заповненого рідким холодоагентом;
- суміші з виразно вираженим температурним "глайдом" не слід рекомендувати для застосування в холодильних установках із затопленим випарником;
- враховувати неоднакову розчинність кожного компонента сумішевого холодоагенту в холодильних мастилах;
- при розрахунку характеристик холодильної машини слід брати до уваги зміну складу багатокомпонентного холодоагенту.

3. ДОСЛІДЖУВАННІ ХОЛОДОАГЕНТИ І ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

В якості даних досліджуваних холодоагентів були вибрані наступні:

- метан (хімічна формула – CH_4 , маркіровка як холодинного агента – R170) – вуглеводень. Це горючий газ, що має наступні властивості:

- ✓ молярна маса – 16,04 г/моль;
- ✓ температура плавлення – мінус 182,49 °C;
- ✓ температура кипіння при нормальному тиску – мінус 161,58 °C;
- ✓ температура самозапалення – 537,8 °C;
- ✓ ODP = 0;
- ✓ GWP = 3.

- етан (хімічна формула – C_2H_6 , маркіровка як холодинного агента – R170) – обмежене з'єднання. Це горючий газ, що має наступні властивості:

- ✓ молярна маса – 30,07 г/моль;
- ✓ температура плавлення – мінус 182,8 °C;
- ✓ температура кипіння при нормальному тиску – мінус 88,6 °C;
- ✓ температура спалаху – 152 °C;
- ✓ температура запалення – 152 °C;
- ✓ температура самозапалення – 472 °C;
- ✓ ODP = 0;
- ✓ GWP = 3.

- пропан (хімічна формула – C_3H_8 , маркіровка як холодинного агента – R290) – органічна речовина класу алканів. Це газ в чистому вигляді без запаху.

Відноситься до групи ГФУ (HFC). Характеризується низькою вартістю і нетоксичний. При використанні цього холодоагенту не виникає проблем з вибором конструкційних матеріалів деталей компресора, конденсатора і випарника. Пропан добре розчиняється в мінеральних

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

мастилах. Перевагою пропана є також низька температура на виході з компресора. Проте пропан як холодоагент має два принципові недоліки. По–перше, він пожежонебезпечний, по–друге, розміри компресора мають бути більші, ніж при використанні в холодильній машині R22 заданої холодопродуктивності.

У промислових холодильних установках пропан використовують вже впродовж багатьох років. Останніми роками все частіше пропонується застосовувати пропан в холодильних транспортних установках.

У Німеччині в 1994 р. було зроблено більше 1000 побутових холодильників на пропані, ізобутані або їх сумішах. Подібні холодильники виготовляють в Китаї, Бразилії, Аргентині, Індії, Туреччині і Чилі. За оцінками творців цієї техніки, холодильний коефіцієнт при використанні вуглеводнів практично такий же $(+(-) 1\%)$, як при роботі на R12. Потрібно тільки невеликі зміни в конструкції компресора. Застосовуються ті ж мінеральні мастила, та ж електроізоляція, ті ж ущільнюючі матеріали, труби того ж діаметру, практично не змінюється процедура сервісного обслуговування. Температура нагнітання стає нижче, ніж при роботі на R22 або R502. Пропан можна відразу заправити в систему, де до цього був озононебезпечний холодоагент. Як показали дослідження, в цьому випадку втрачається до 10% холодопродуктивності, якщо в системі раніше був R22, і 15%, якщо R502. Ряд фахівців вважає, що і цього зниження можна було б уникнути, додавши до пропану поліпропілен.

У США ж заборонено використати вуглеводні в побутових холодильниках. Агентство США з докiлля охорони прогнозує у разі їх застосування до 30 000 пожеж в рік.

У Новій Зеландії вуглеводні дозволено використати в торгівельному холодильному устаткуванні.

При розміщенні торгівельного холодильного устаткування, що працює на пропані, в загальнодоступних приміщеннях необхідно дотримуватися правил безпеки. У разі перевищення вказаних норм заправки (більше 2,5 кг R290) хололильне устаткування слід встановлювати в

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

окремому, спеціально обладнаному приміщенні, що збільшує капітальні витрати. Пропан застосовують і в теплових насосах. У системі теплового насоса маса пропана трохи більше 1 кг, устаткування знаходиться в окремій будівлі. На думку фахівців, контроль за пожежобезпечністю можливий.

Властивості пропану:

- ✓ молярна маса – 44,1 г/моль;
- ✓ температура плавлення – мінус 187,6 °С;
- ✓ температура кипіння при нормальному тиску – мінус 42,09 °С;
- ✓ температура самозаймання – 466 °С;
- ✓ критична температура – 370 °С;
- ✓ критичний тиск – 4,27 МПа;
- ✓ питома теплота згорання – 48 МДж/кг;
- ✓ вибухонебезпечний при концентрації в повітрі від 1,7 % до 10,9 %;
- ✓ практично не розчиняється у воді;
- ✓ малотоксичний;
- ✓ пожежонебезпечний;
- ✓ ODP = 0;
- ✓ GWP = 3

• пропілен (хімічна формула – C_3H_6 , маркіровка як холодильного агента – R1270) – неграничний вуглеводень ряду етилену. Це горючий газ, що має наступні властивості:

- ✓ молярна маса – 42,08 г/моль;
- ✓ температура плавлення – мінус 185,2 °С;
- ✓ температура кипіння при нормальному тиску – мінус 47,6 °С;
- ✓ критична температура – 91 °С;
- ✓ критичний тиск – 4,61 МПа;
- ✓ ODP = 0;
- ✓ GWP = 3.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

3.1 Програмне забезпечення для теоретичних досліджень.

Була розроблена програма для теоретичного дослідження на основі програми Microsoft Office Excel 2007. Дані по холодоагентах генерувалися за допомогою програми REFPROP 6.0.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДВОСТУПЕНЕВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ МАЛОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ НА РІЗНИХ ХОЛОДОАГЕНТАХ

Було проведене теоретичне дослідження двоступеневої холодильної машини на семи сумішах чотирьох робочих речовин (метан, етан, пропан, пропілен). Схема холодильної машини та її цикл в діаграмі $\lg P - h$ приведені на рис. 4.1.

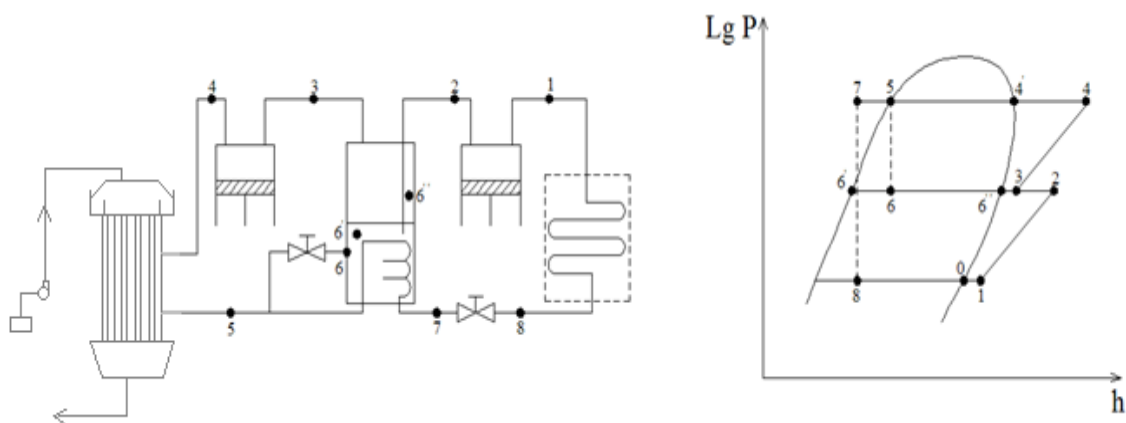


Рис. 4.1 – Схема двоступеневої холодильної машини і її цикл в діаграмі $\lg P - h$

Вхідні дані:

- холодопродуктивність $Q_0 = 10$ кВт;
- температура кипіння $t_0 = -50$ °С;
- температури конденсації $t_K = 29 \dots 35$ °С;
- перегрівання пари холодоагенту у випарнику та всмоктувальному трубопроводі $\Delta t_{II} = 10$ °С;
- переохолодження рідкого холодоагенту у конденсаторі $\Delta t_{PER.K} = 4$ °С.

4.1 Методика розрахунку

- питома робота стискування в компресорі нижнього ступеня: $l_{aH} = h_2 - h_1$;
- питома робота стискування в компресорі верхнього ступеня: $l_{aB} = h_4 - h_3$;
- питома холодопродуктивність: $q_0 = h_1 - h_8$;

- холодильний коефіцієнт нижнього ступеня: $COP_H = q_0 / l_{aH}$;
- холодильний коефіцієнт верхнього ступеня: $COP_B = q_0 / l_{aB}$;
- масова витрата холодоагенту нижнього ступеня: $M_{aH} = Q_0 / q_0$;
- масова витрата холодоагенту нижнього ступеня: M_{aB}
 $= M_{aH} \cdot (h_{6''} - h_7) / (h_{6''} - h_6)$
- дійсний об'єм, описаний поршнями компресора нижнього ступеня: $V_{\partial H} = M_a \cdot v_1$;
- дійсний об'єм, описаний поршнями компресора нижнього ступеня: $V_{\partial H} = M_a \cdot v_3$;
- питома масова холодопродуктивність: $q_v = q_0 / v_1$;
- питома теплота конденсації: $q_K = h_4 - h_5$;
- теплота, що відводиться в конденсаторі: $Q_K = M_{aB} \cdot q_K$;
- коефіцієнт подачі компресора нижнього ступеня, що враховує мертвий простір: $\lambda_{CH} = 1 - 0,03 \cdot (P_{\text{ПР}} / P_0 - 1)$;
- коефіцієнт подачі компресора верхнього ступеня, що враховує мертвий простір: $\lambda_{CB} = 1 - 0,03 \cdot (P_K / P_{\text{ПР}} - 1)$;
- коефіцієнт подачі компресора нижнього ступеня, що враховує інші втрати в компресорі: $\lambda_{WH} = T_0 / T_{\text{ПР}}$;
- коефіцієнт подачі компресора верхнього ступеня, що враховує інші втрати в компресорі: $\lambda_{WB} = T_{\text{ПР}} / T_K$;
- загальний коефіцієнт подачі компресора нижнього ступеня: λ_H
 $= \lambda_{CH} \cdot \lambda_{WH}$;
- загальний коефіцієнт подачі компресора нижнього ступеня: λ_B
 $= \lambda_{CB} \cdot \lambda_{WB}$;
- теоретичний об'єм, описаний поршнями компресора нижнього ступеня: $V_{TH} = V_{\partial H} / \lambda_H$;
- теоретичний об'єм, описаний поршнями компресора нижнього ступеня: $V_{TB} = V_{\partial B} / \lambda_B$;

- адіабатна потужність компресора нижнього ступеня: N_{aH}
 $= l_{aH} \cdot M_{aH};$
- адіабатна потужність компресора верхнього ступеня: N_{aB}
 $= l_{aB} \cdot M_{aB};$
- індикаторна потужність компресора нижнього ступеня: N_{iH}
 $= N_{aH} / \eta_i = N_{aH} / (\lambda_{WH} + 0,0025 \cdot t_0);$
- індикаторна потужність компресора верхнього ступеня: N_{iB}
 $= N_{aB} / \eta_i = N_{aB} / (\lambda_{WB} + 0,0025 \cdot t_{PP});$
- потужність тертя компресора нижнього ступеня: $N_{терH}$
 $= V_{TH} \cdot 50;$
- потужність тертя компресора верхнього ступеня: $N_{терB}$
 $= V_{TB} \cdot 50;$
- ефективна потужність компресора нижнього ступеня: $N_{ефH}$
 $= N_{iH} + N_{терH};$
- ефективна потужність компресора верхнього ступеня: $N_{ефB}$
 $= N_{iB} + N_{терB};$
- потужність компресора нижнього ступеня, що споживається електродвигуном: $N_{елдвH} = N_{ефH} / 0,85;$
- потужність компресора верхнього ступеня, що споживається електродвигуном: $N_{елдвB} = N_{ефB} / 0,85;$

Дані розрахунків представлені на рисунках 4.2 – 4.12

Позначення сумішей на графіках:

- ♦-♦-♦-♦- — пропан (0,30) – метан (0,15) – етан (0,55)
- — пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65)
- ▲-▲-▲-▲- — пропан (0,25) – метан (0,05) – етан (0,7)
- x-x-x-x- — пропан (0,1) – етан (0,9)
- ж-ж-ж-ж- — пропан (0,2) – етан (0,8)
- — пропілен (0,1) – етан (0,9)
- +-+-+-+ — пропілен (0,2) – етан (0,8)

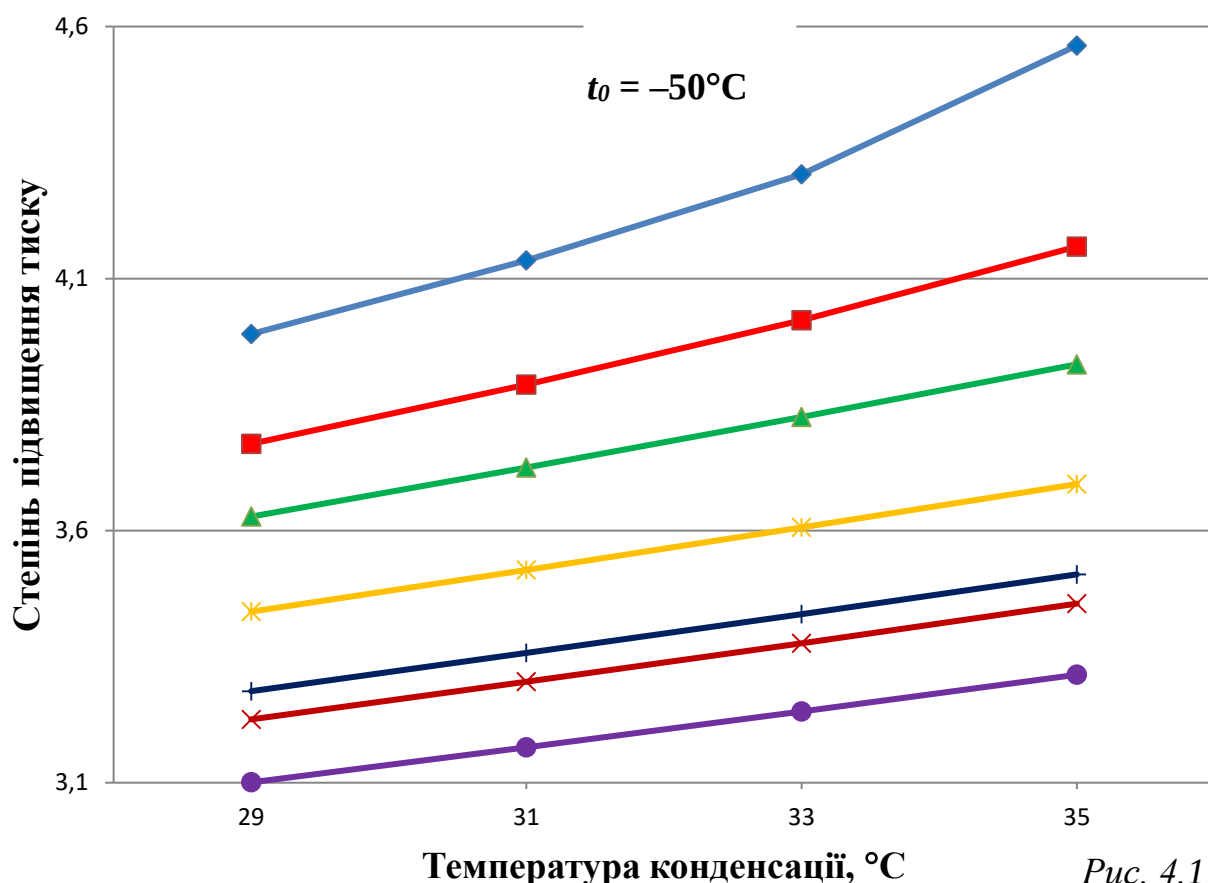


Рис. 4.1

Як видно з графіків рис.4.1, з підвищенням температури конденсації ступінь підвищення тиску зростає, а з підвищенням температури кипіння ступінь підвищення тиску зменшується. Найбільший ступінь підвищення тиску спостерігається у сумішей, у яких присутній метан. При цьому зменшення кількості метану у суміші призводить до зменшення середнього ступеню підвищення тиску: приблизно на 5 – 10 % при зменшенні кількості метану на 5 %. Середній ступінь підвищення тиску серед усіх досліджуваних сумішей мають суміші з пропаном та етаном, на 15 - 40 % менший, ніж суміші з метаном. Найменший же ступінь підвищення тиску мають суміші з пропіленом та етаном, приблизно на 20 – 45 % у порівнянні з сумішами з пропаном та етаном.

Можна зробити висновок, що з точки зору ступеня підвищення тиску, найбільш доцільно використання сумішей пропілен – етан.

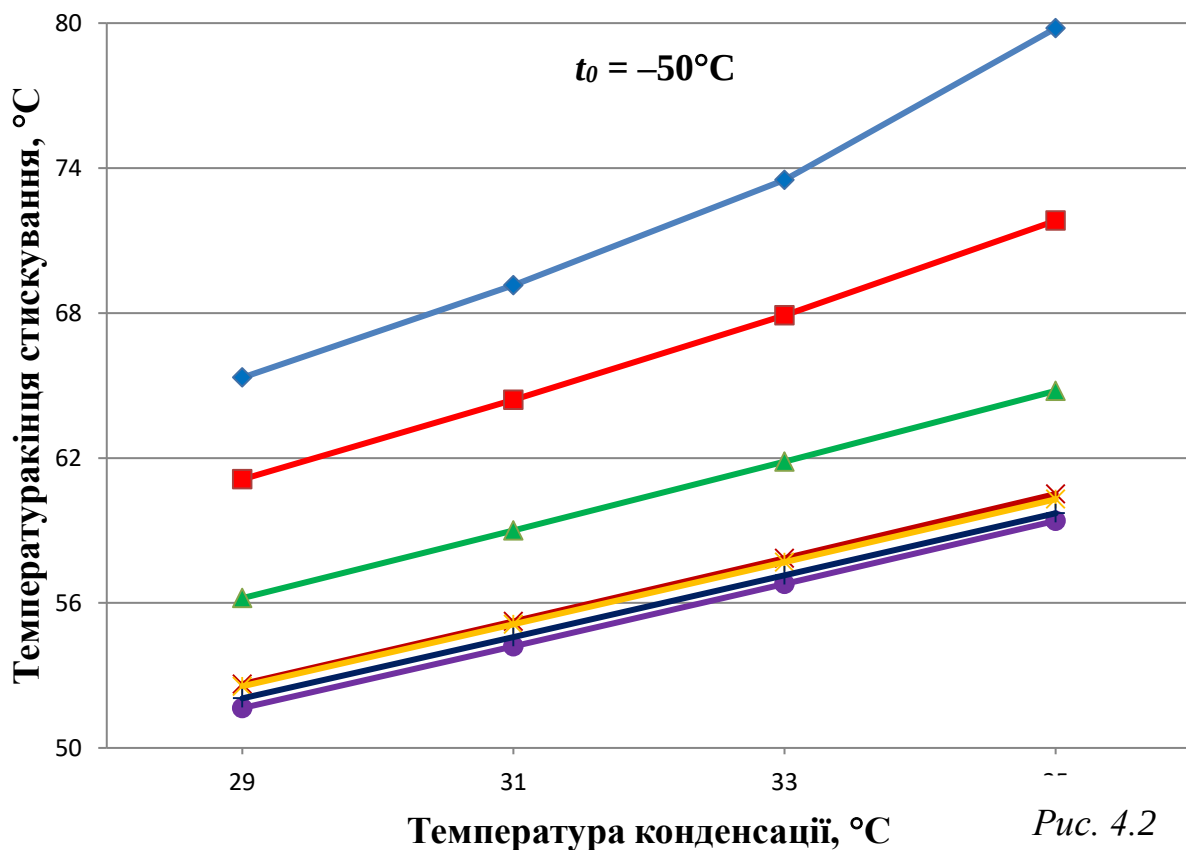


Рис. 4.2

Як видно з графіків рис.4.2, з підвищенням температури конденсації температура кінця стискування зростає, а з підвищенням температури кипіння температура кінця стискування зменшується. Найбільша температура кінця стискування спостерігається у сумішей, у яких присутній метан. При цьому зменшення кількості метану у суміші на 5 % призводить до зменшення температури кінця стискування на 4 – 7 °С. Приблизно однакові значення температури кінця стискування мають суміші пропан – етан та пропілен – етан: на 4 – 6 °С менше, ніж суміш з кількістю метана у 5 %.

Можна зробити висновок, що з точки зору температури кінця стискування, найбільш доцільно використання сумішей пропан – етан та пропілен – етан, що дають приблизно однакові значення цієї температури.

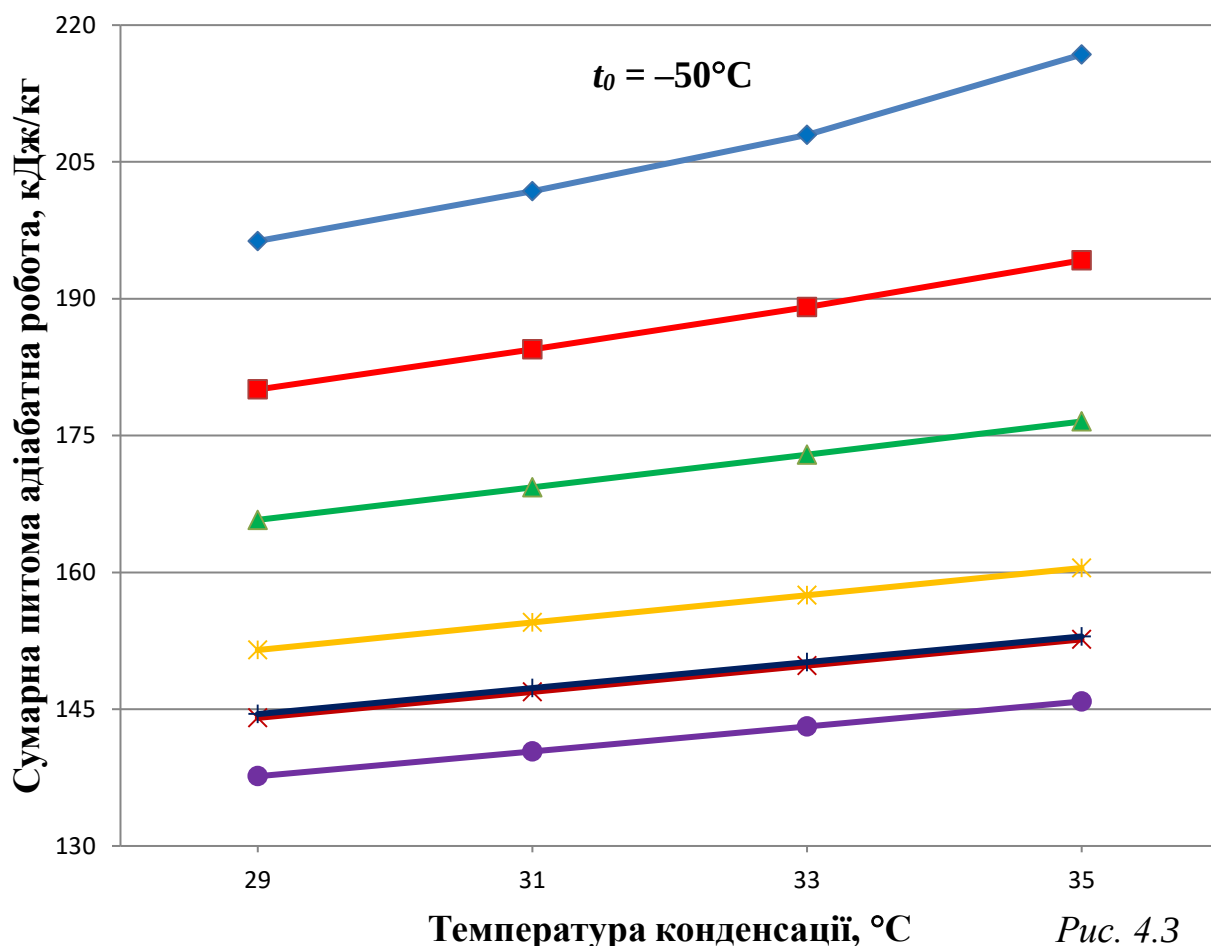


Рис. 4.3

Як видно з графіків рис. 4.3, з підвищенням температури конденсації сумарна адіабатна робота стискування збільшується, а з підвищенням температури кипіння адіабатична робота стискування зменшується. Найбільша сумарна адіабатна робота стискування спостерігається у сумішей, у яких присутній метан. При цьому зменшення кількості метану у суміші на 5 % призводить до зменшення сумарної адіабатної роботи стискування приблизно на 15 – 20 %. Практично ідентичні значення адіабатної роботи стискування на досліджуваних режимах спостерігаються у сумішей пропан – етан та пропілен – етан: на 10 – 25 % менше, ніж у суміші з кількістю метану у 5 %. При цьому збільшення кількості етану у суміші на кожні 10 % призводить до зменшення сумарної адіабатної роботи стискування на 5 – 10 %.

Можна зробити висновок, що з точки зору сумарної адіабатної роботи стискування, найбільш доцільно використання сумішей пропан – етан та пропілен – етан з невеликою перевагою у останніх.

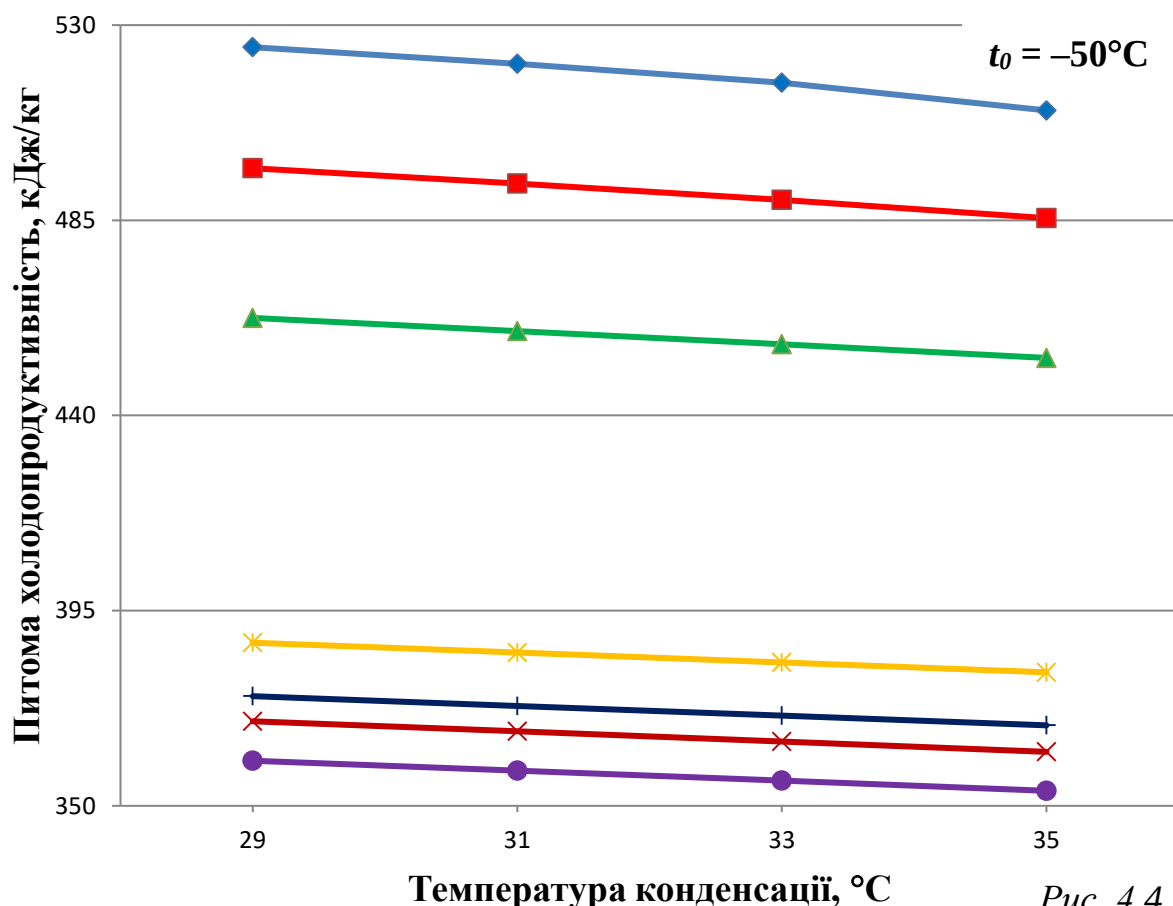


Рис. 4.4

Як видно з графіків рис. 4.4, в результаті підвищення температури конденсації питома холодопродуктивність зменшується, і з підвищенням температури кипіння питома холодопродуктивність також зменшується, хоча ці змінення досить несуттєві. Найбільша питома холодопродуктивність спостерігається у сумішей, у яких присутній метан. При зменшенні кількості метану у суміші на кожні 5 % питома холодопродуктивність приблизно на 10 %. Практично ідентичні значення питомої холодопродуктивності на досліджуваних режимах спостерігаються у сумішей пропан – етан та пропілен – етан: на 20 – 35 % менше, ніж у суміші з кількістю метану у 5 %. При цьому збільшення кількості етану у суміші на кожні 10 % призводить до збільшення питомої холодопродуктивності приблизно на 5 %.

Можна зробити висновок, що з точки зору питомої холодопродуктивності, найбільш доцільно використання сумішей з метаном, причому чим більша його кількість у суміші, тим більше і питома холодопродуктивність.

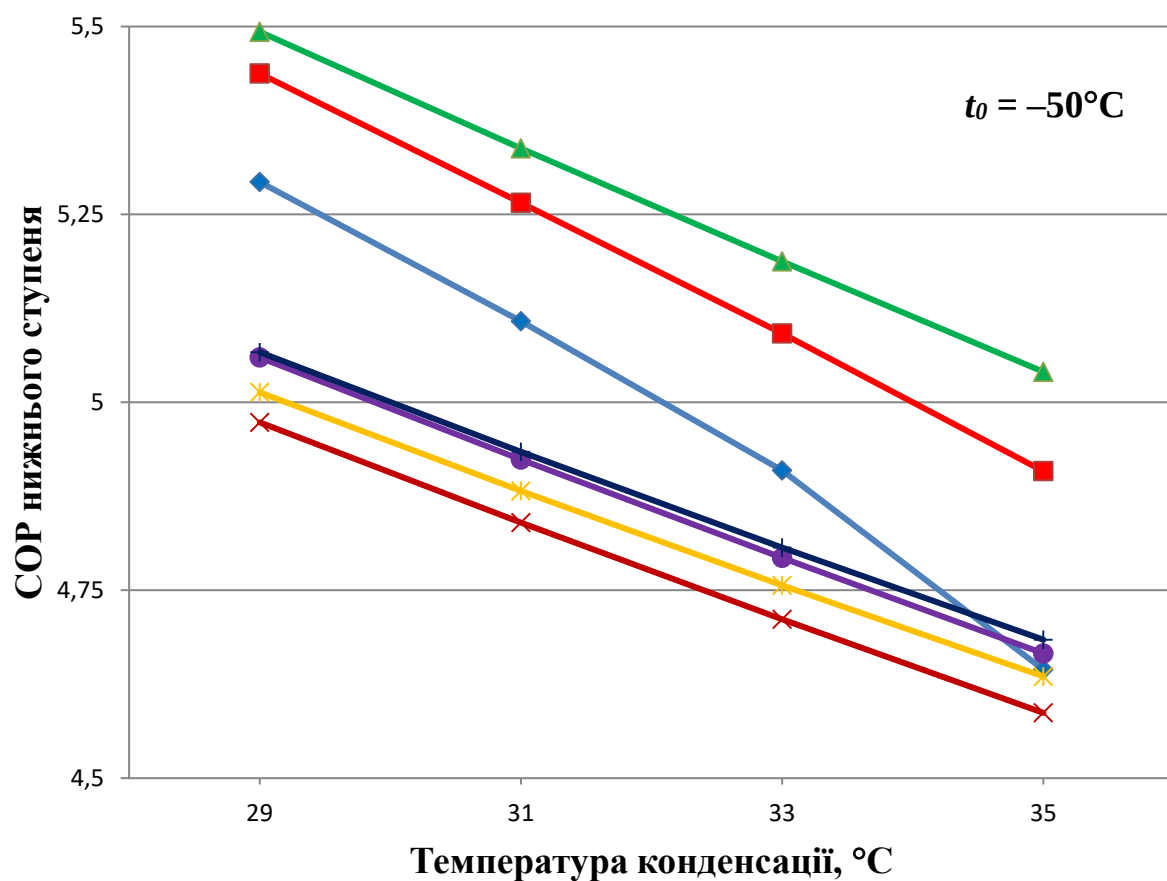


Рис. 4.5

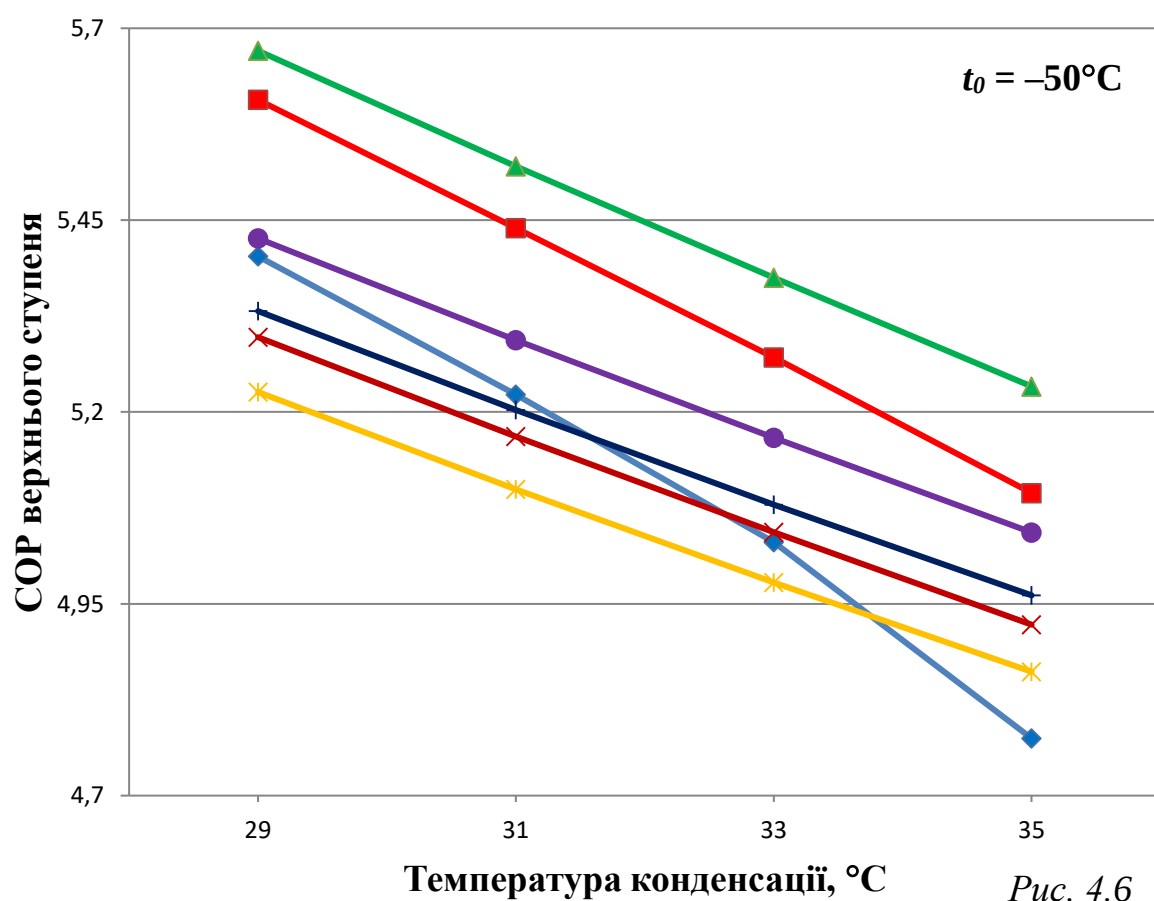


Рис. 4.6

Як видно з графіків рис. 4.5 – 4.6, з підвищенням температури конденсації холодильний коефіцієнт зменшується, а з підвищенням температури кипіння холодильний коефіцієнт збільшується. І для холодильного коефіцієнту вищого ступеня, і для холодильного коефіцієнту нижнього ступеня можна спостерігати приблизно однакову картину. Найбільший холодильний коефіцієнт мають суміші, у яких присутній метан. Додавання у суміш незначної кількості метану – 5 – 10 % – сприяє підвищенню холодильного коефіцієнту як нижнього ступеню, так і верхнього: на 7 – 25 % для нижнього ступеня і на 5 – 15 % для верхнього. Подальше збільшення кількості метану у суміші понад 10 % призводить до зниження холодильного коефіцієнту. Причому при температурах конденсації вище 33 °С зниження холодильного коефіцієнту для суміші з кількістю метану у 15 % стає значним і набагато більш суттєвим, чем зниження холодильного коефіцієнту для інших досліджуваних сумішей. Найменший холодильний коефіцієнт мають суміші пропан – етан.

Можна зробити висновок, що з точки зору холодильного коефіцієнту, найбільш доцільно використання сумішей з метаном, причому треба намагатися не перевищувати його кількість більше, ніж 10 %.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

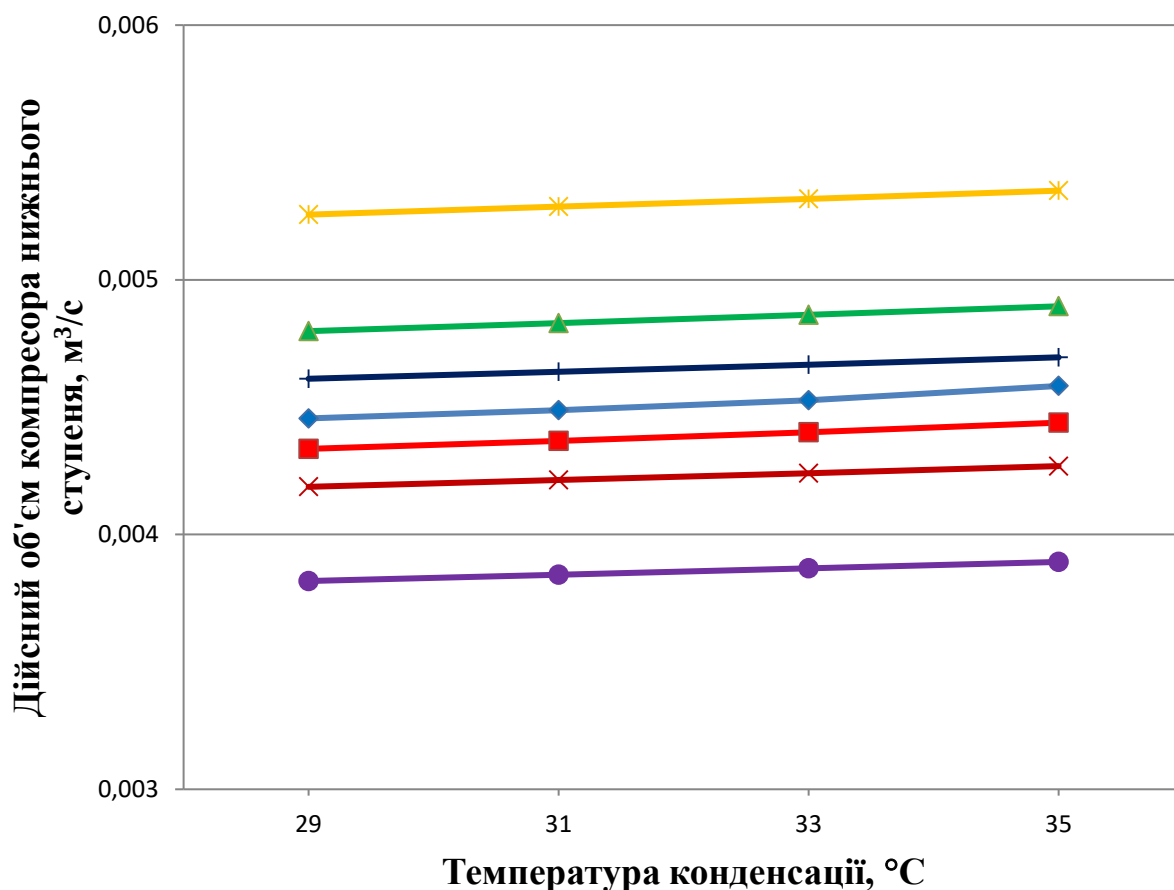


Рис. 4.7

Як видно з графіків рис. 4.7, в результаті підвищення температури конденсації дійсний об'єм компресора нижнього ступеня збільшується, а з підвищенням температури кипіння дійсний об'єм компресора нижнього ступеня зменшується. Найбільший дійсний об'єм компресора нижнього ступеня має суміш пропан (0,2) – етан (0,8). Найменший дійсний об'єм компресора нижнього ступеня мають суміші пропан (0,1) – етан (0,9) та пропілен (0,1) – етан (0,9): приблизно, відповідно, на 10 – 15 % та на 20 – 35 % менший, ніж інші суміші. Інші дослуджані суміші мають приблизно однакові значення дійсного об'єму компресора нижнього ступеня. Слід звернути увагу, що корегування кількості метану та етану у трьохкомпонентній суміші разом з пропаном у бік підвищення або зниження не створює прямої залежності зі змінням дійсного об'єму компресора нижнього ступеня. А у двохкомпонентних сумішах збільшення кількості етану і, відповідно, зменшення кількості пропану/пропілену призводить до зменшення дійсного об'єму компресора нижнього ступеня.

Можна зробити висновок, що з точки зору дійсного об'єму компресора нижнього ступеня, найбільш доцільно використання двохкомпонентних сумішей пропан – етан та пропілен – етан з якомога більшою кількістю етану у них.

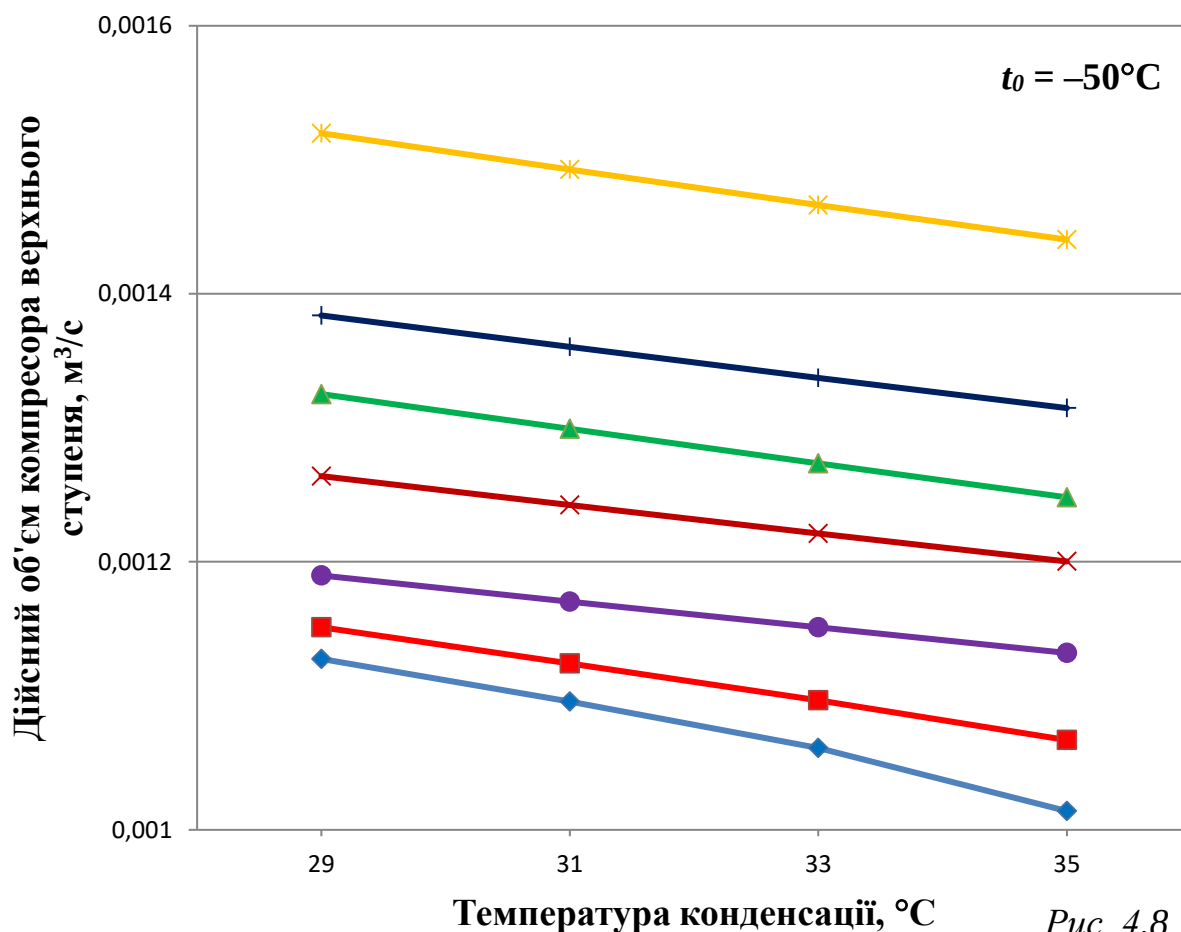


Рис. 4.8

Як видно з графіків рис.4.8, в результаті підвищення температури конденсації дійсний об'єм компресора верхнього ступеня зменшується, і з підвищенням температури кипіння дійсний об'єм компресора верхнього ступеня також зменшується. Найбільший дійсний об'єм компресора верхнього ступеня має суміш пропан (0,2) – етан (0,8): як мінімум, приблизно на 10 % у порівнянні з усіма іншими. Найменший дійсний об'єм компресора верхнього ступеня мають суміші пропан (0,30) – метан (0,15) – етан (0,55), пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65) та пропілен (0,1) – етан (0,9). Чим вище стає температура кипіння, тим більш суттєвим стає зменшення дійсного об'єму компресора верхнього ступеня сумішей пропан (0,30) – метан (0,15) – етан (0,55), пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65) у порівнянні з іншими. Приблизно однакові значення дійсного об'єму

компресора верхнього ступеня мають суміші пропан (0,25) – метан (0,05) – етан (0,7), пропан (0,1) – етан (0,9) та пропілен (0,2) – етан (0,8): приблизно на 10 – 30 % більші, ніж суміш пропан (0,30) – метан (0,15) – етан (0,55), пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65) та пропілен (0,1) – етан (0,9).

Можна зробити висновок, що з точки зору дійсного об'єму компресора верхнього ступеня, найбільш доцільно використання сумішей пропан (0,30) – метан (0,15) – етан (0,55), пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65). Причому, чим вище температура кипіння, тим їх використання стає все більш доцільним.

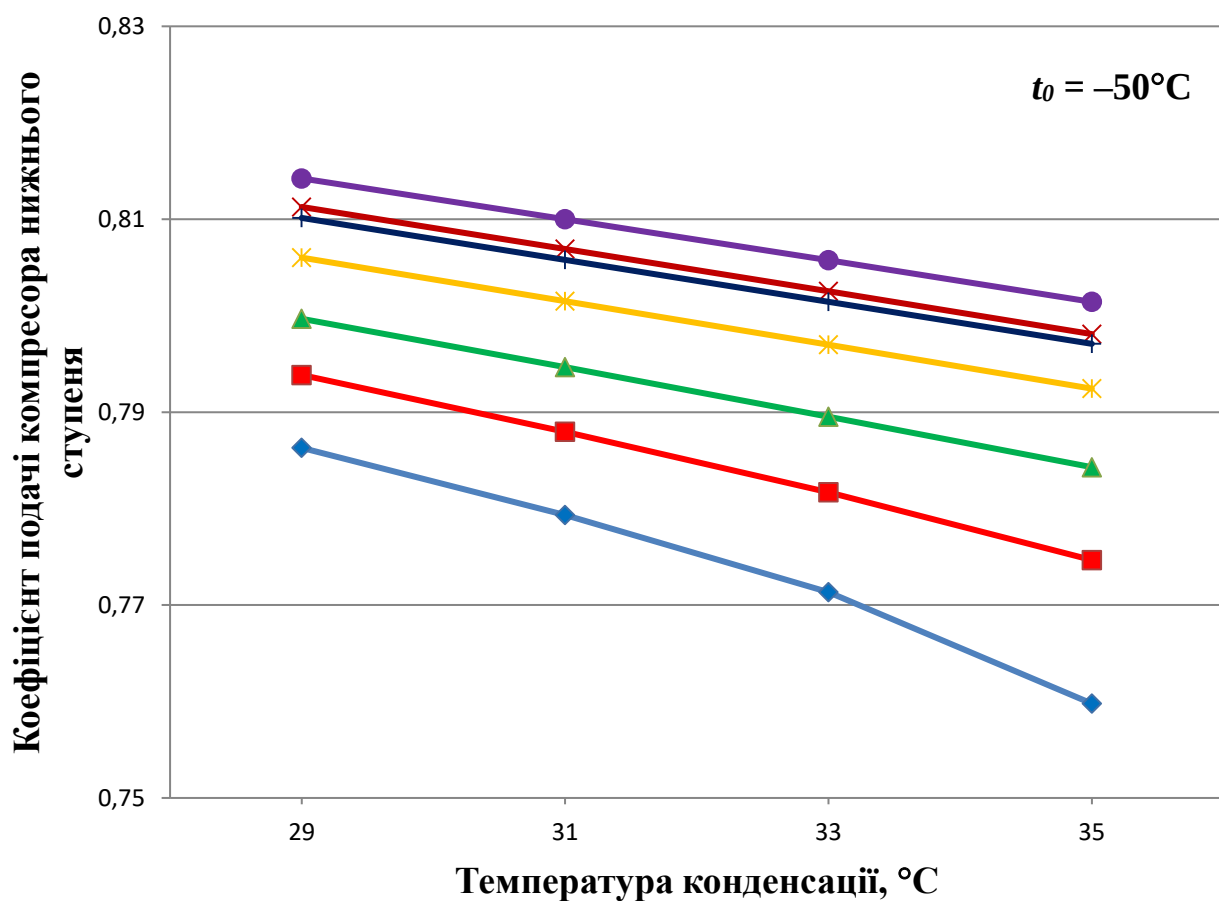


Рис. 4.9

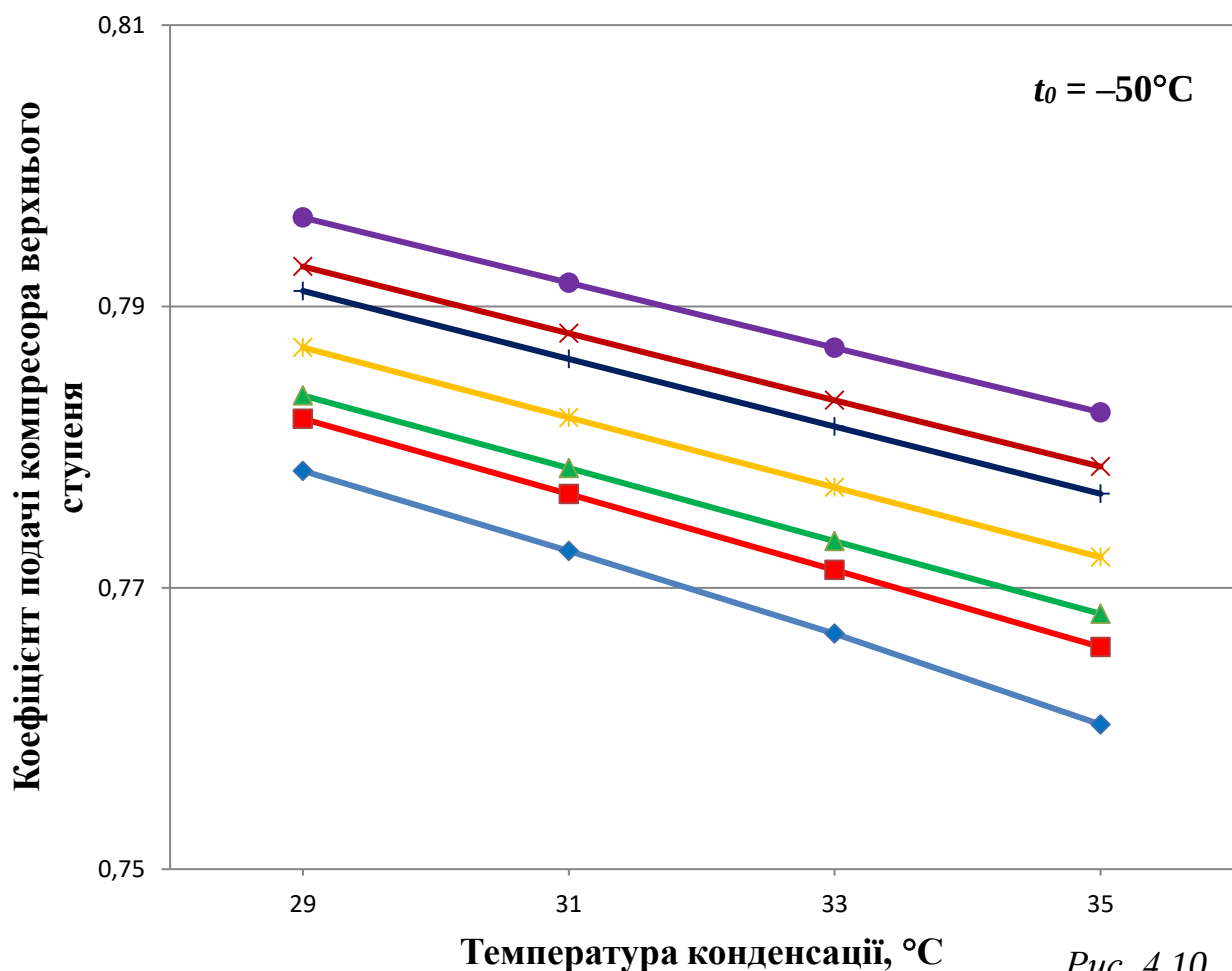


Рис. 4.10

Як видно з графіків 4.9 – 4.10, з підвищенням температури конденсації коефіцієнт подачі компресора знижується, а з підвищенням температури кипіння коефіцієнт подачі компресора збільшується. І для коефіцієнта подачі компресора вищого ступеня, і для коефіцієнта подачі компресора ступеня можна спостерігати приблизно однакову картину. Найбільший коефіцієнт подачі компресора можна спостерігати у сумішій пропан – етан та пропілен – етан, причому чим більша кількість етану у цих сумішах, тим більший коефіцієнт подачі компресора. Приблизно на 5 – 10 % менший коефіцієнт подачі компресора у трьохкомпонентних сумішах, причому чим більша кількість метану у сумішах, тим менший коефіцієнт подачі компресора.

Можна зробити висновок, що з точки зору коефіцієнта подачі компресора, найбільш доцільно використання двохкомпонентних сумішей пропан – етан та пропілен – етан з якомога більшою кількістю етану.

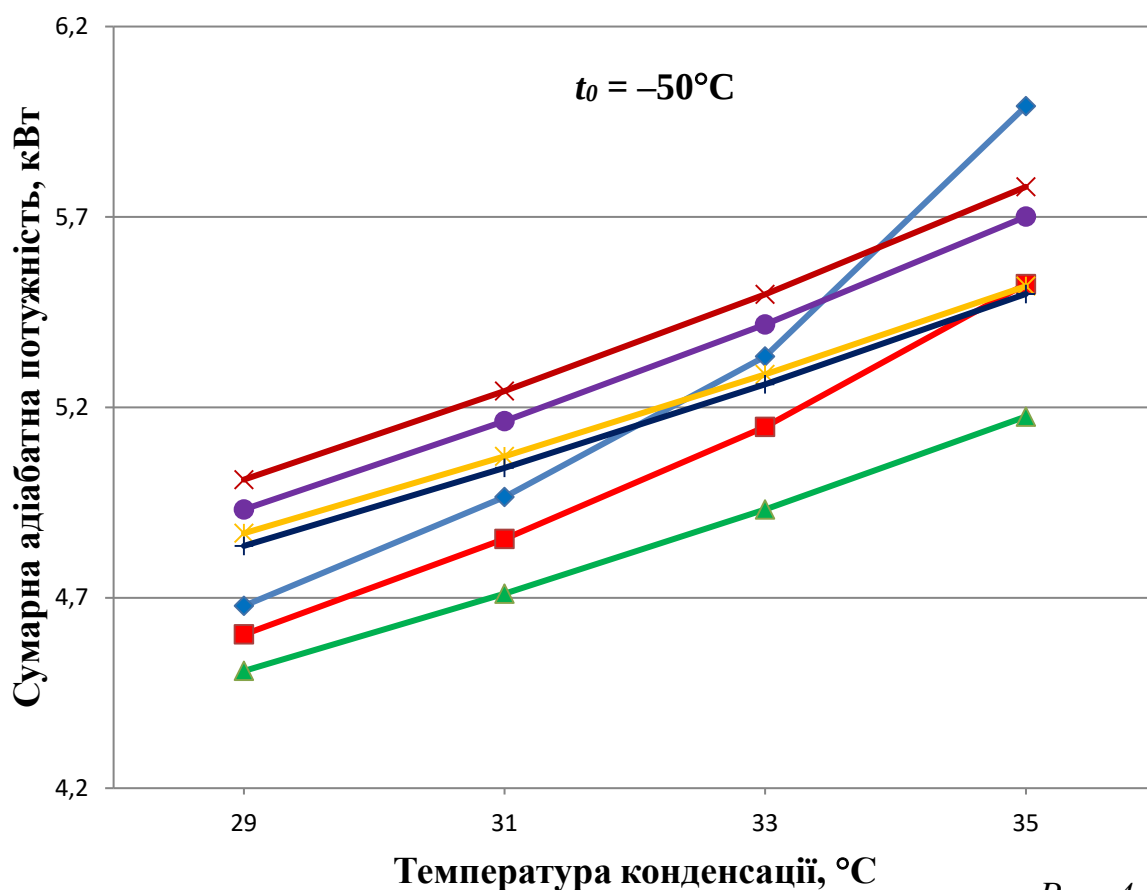


Рис. 4.11

Як видно з графіків рис. 4.11, з підвищенням температури конденсації сумарна адіабатна потужність збільшується, а з підвищенням температури кипіння сумарна адіабатна потужність зменшується. Найбільшу сумарну адіабатну потужність мають суміші пропан – етан та пропілен – етан, причому значення сумарної адіабатної потужності на усіх конкретних досліджуваних режимах для даних сумішей відрізняється не більше, ніж на 10 %. Найменша сумарна адіабатна потужність спостерігається у досліджуваних трьохкомпонентних сумішей пропан – етан - метан. Слід звернути увагу, що додавання метану у суміш доцільно лише у невеликих кількостях – до 10 %. При більш суттєвих кількостях метану у сумішах значення сумарної адіабатної потужності починають стрімко наближуватись до значень сумішей пропан – етан та пропілен – етан, причому збільшення сумарної адіабатної потужності для суміші з кількістю метану понад 10 % при підвищенні температури конденсації куди більш суттєве, ніж для інших досліджуваних сумішей.

Можна зробити висновок, що з точки зору сумарної адіабатної потужності, найбільш доцільно використання сумішей пропан – етан – метан, причому треба намагатися не перевищувати кількість метану у суміші понад 10 %.

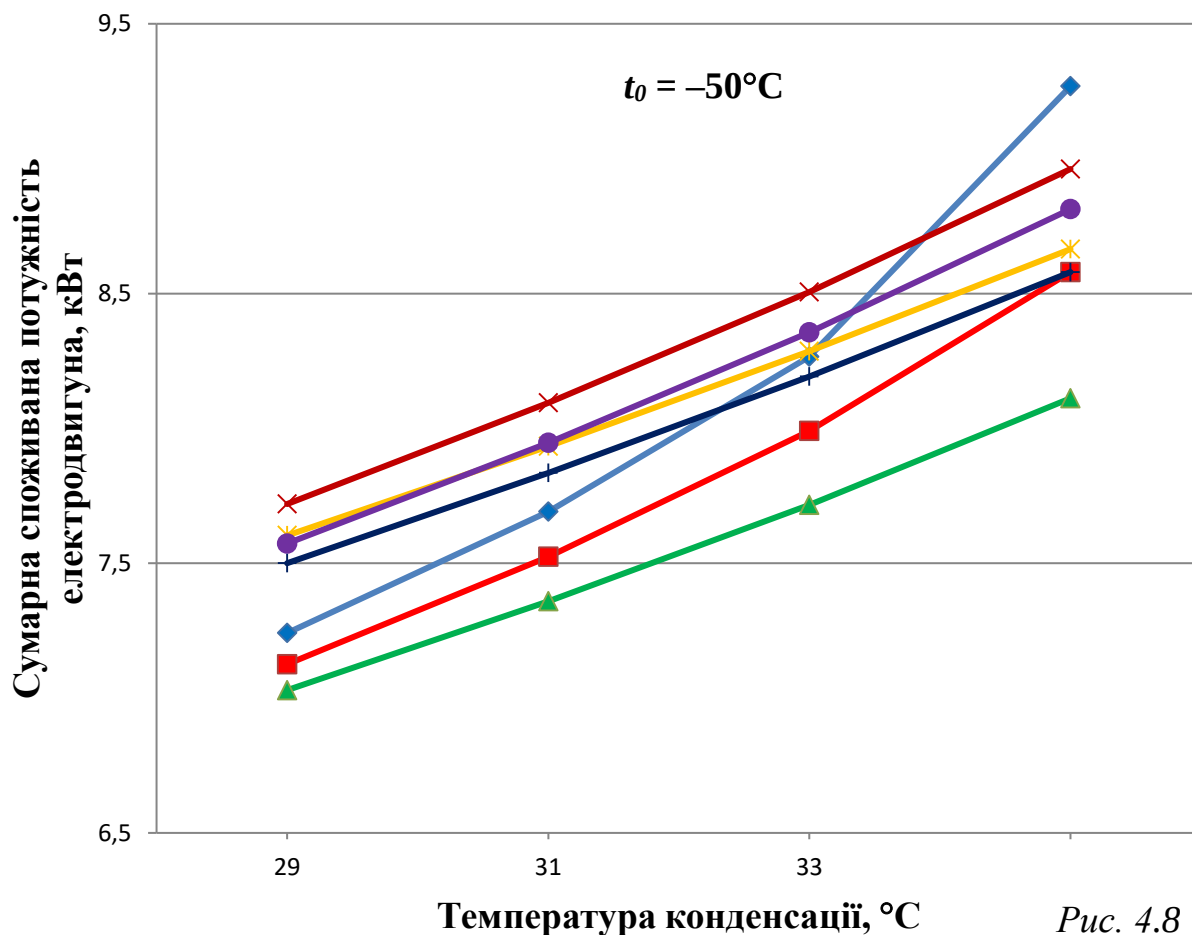


Рис. 4.8

Як видно з графіків рис. 4.8, з підвищенням температури конденсації сумарна споживана потужність електродвигуна збільшується, а з підвищенням температури кипіння сумарна споживана потужність електродвигуна зменшується. Найбільшу сумарну споживану потужність електродвигуна мають суміші пропан – етан та пропілен – етан, причому значення сумарної споживаної потужності електродвигуна на усіх конкретних досліджуваних режимах для даних сумішей відрізняється не більше, ніж на 10 %. Найменша сумарна споживана потужність електродвигуна спостерігається у досліджуваних трьохкомпонентних сумішей пропан – етан - метан. Слід звернути увагу, що додавання метану у суміш доцільно лише у невеликих кількостях – до 10 %. При більш суттєвих кількостях метану у сумішах значення сумарної споживаної потужності

електродвигуна починають стрімко наближуватись до значень сумішей пропан – етан та пропілен – етан, причому збільшення сумарної споживаної потужності електродвигуна для суміші з кількістю метану понад 10 % при підвищенні температури конденсації куди більш суттєве, ніж для інших досліджуваних сумішей.

Можна зробити висновок, що з точки зору сумарної споживаної потужності електродвигуна, найбільш доцільно використання сумішей пропан – етан – метан, причому треба намагатися не перевищувати кількість метану у суміші понад 10 %.

На основі теоретичного аналізу роботи холодильної машини на досліджених сумішах можна зробити наступні головні висновки:

- використання сумішей природних холодоагентів у холодильних машинах дозволяє проводити ліофілізаційне сушіння на температурному рівні від -70 до -50 °С, де використання холодильних машин на сучасних холодоагентах-фреонах буде вимагати здійснювати холодильний цикл в умовах вакууму, а в більшості випадків – і зовсім неможливе;
- використання сумішей пропан (0,25) – метан (0,10) – етан (0,65) пропан (0,25) – метан (0,05) – етан (0,7) серед усіх сумішей, що досліджувались, найбільш сприятливе через високу питому холодопродуктивність, високий холодильний коефіцієнт та низьку сумарну споживану потужність електродвигуна компресора у порівнянні з показниками інших досліджуваних сумішей;
- додавання метану у суміш призводить, у цілому, до поліпшення термодинамічних показників холодильної машини, але лише при концентрації метану у суміші до 10 %;
- використання сумішей природних холодоагентів у якості альтернативи існуючим потребує дуже високого рівня автоматизації холодильної машини через вибухонебезпечність цих речовин. Але для малих холодильних машин, де доза заправлення системи холодильним агентом не досить велика, використання альтернативних природних холодоагентів передвіщає досить привабливі перспективи.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Небезпечні та шкідливі речовини та фактори, що існують на робочих місцях

Згідно стандартної класифікації шкідливих речовин, встановлені чотири класи небезпеки залежно від семи показників токсичної дії, включаючи середню смертельну концентрацію для піддослідних тварин і гранично допустиму концентрацію (ГДК) в повітрі робочої зони. В порівнянні з іншими показниками ГДК якнайповніше представляє токсичні властивості холодоагентів, проте одного цього показника недостатньо для оцінки реальної небезпеки роботи з холодоагентом в умовах експлуатації.

Газ в суміші з повітрям при певних концентраціях і температурі вибухає. Деякі компоненти газу токсичні (окисел вуглецю, сірководень та ін.), тому персонал, що працює з ним, повинен освоїти прийоми і методи ведення робіт на холодильних машинах з газом у якості холодоагенту і устаткуванні, що знаходяться під тиском газу, а при ліквідації витоків горючого газу – користуватися засобами особистого захисту. При виробництві відповідних робіт, особливо газонебезпечних, потрібно строго виконувати виробничі інструкції.

Газонебезпечними вважаються ті роботи, які виконуються в загазованому середовищі або при яких можливий вихід горючого газу з газопроводів, посудин і агрегатів, внаслідок чого може статися отруєння людей, вибух або займання газу.

5.2 Класифікація приміщень за ступенем вибухової, вибуховопожежної та пожежної небезпеки

За пожежною небезпекою технологічного процесу всі об'єкти (цехи) діляться на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д. Найбільш небезпечні в пожежному відношенні виробництва категорій А і Б. Для об'єктів категорій В, Г і Д можливість виникнення пожеж залежить практично від ступеня вогнестійкості будівель.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Холодильні машини з сумішами природних холодоагентів по класу вибуховопожежній і пожежній небезпеці належать до категорії А, тому що містять горючі гази, легкозаймисті рідини з температурою спалаху не більше 28 ° С в такій кількості, що можуть утворювати вибухонебезпечні парогазоповітряні суміші, при займанні яких розвивається розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні, що перевищує 5 кПа, і (або) речовини і матеріали, здатні вибухати і горіти при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним, в такій кількості, що розрахунковий надлишковий тиск вибуху в приміщенні перевищує 5 кПа.

5.3 Основні правила безпеки при роботі

Усі посудини, працюючі під тиском, до їх пуску в роботу мають бути зареєстровані в органах Держгірпромнагляду і піддаються технічному огляду (внутрішній огляд і гідравлічне випробування) до пуску в роботу, періодично і достроково.

Достроковому огляду посудини піддаються в наступних випадках: після реконструкції і ремонту із застосуванням зварювання або пайки; демонтажу і встановлення на новому місці; якщо посудина знаходилася у бездіяльності більше за один рік, за винятком випадків заводської консервації.

Посудини повинні піддаватися технічним оглядам: внутрішньому огляду і гідравлічним випробуванням (для знову встановлених посудин перед пуском в роботу), внутрішньому огляду в процесі експлуатації – не рідше за один раз в 2 роки, гідравлічним випробуванням – один раз в 8 років.

На посудини, що знаходяться в експлуатації, наносять фарбою (чи прикріплюють табличку) наступні дані: реєстраційний номер, дозволений тиск, дата (місяць і рік) наступного внутрішнього огляду і гідравлічного випробування.

Роботи по проведенню огляду відносять до особливо небезпечних, оскільки при розкритті апарату перед внутрішнім оглядом може статися витік холодоагенту, а при пневматичному випробуванні – розрив апарату.

Перед проведенням огляду начальник цеху оформляє наряд-допуск, в якому вказує заходи безпеки, особу, відповідальну за виконання роботи, час і місце проведення робіт, особливі умови і термін дії наряду-допуску.

Технічний огляд проводить бригада, очолювана механіком або старшим машиністом. Для членів бригади проводять інструктаж. Роботи по видаленню холодоагенту, продуванню апарату стислим повітрям і пневматичному випробуванню виконує механік або старший машиніст під керівництвом відповідальної особи вказаної в наряд-допуску.

При пневматичних випробуваннях вживають наступні заходи безпеки: припиняють роботу холодильної машини; місце випробування захищають і вивішують попереджувальні написи; персонал віддаляється у безпечні місця; не допускають знаходження сторонніх осіб при випробуванні; двері і вікна в приміщенні, де випробовують апарат, відкривають, приміщення перед випробуванням вентилують; не допускають різкого підвищення або зниження тиску в апараті; КІП, клапани і замкову арматуру виводять за межі приміщення і розміщують за захисним екраном.

Пропускна спроможність запобіжного клапана вибирається так, щоб в посудині не міг створитися тиск, що перевищує робочий тиск на 15% (максимальний тиск в системі, $p_c = 5,7$ МПа).

Справність клапанів перевіряють не рідше за 1 раз в 6 міс. Після перевірки і регулювання клапани пломбують із складанням акту. Несправні запобіжні клапани негайно замінюють справними.

Мінімальна площа перерізу запобіжного клапана :

$$F_{\text{кл}} = \frac{G_p}{\mu \cdot V \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot (P_1 - P_2)}}, \text{ м}^2 \quad (5.1)$$

де $G_p = 0,082$ кг/с – масова витрата газу; $\mu = 0,75$ – коефіцієнт витрати пари для цієї конструкції клапана (визначений виготовлювачем клапана експериментально і записаний в паспорт клапана); $\rho_{\text{ср}} = 80,09$ кг/м³ – щільність середовища при тиску p_1 ; p_1, p_2 – відповідно, максимальний абсолютний

тиск перед клапаном і за клапаном: $p_1 = 20$ МПа; $p_2 = 20 + 20 \cdot 0,15 = 23$ МПа; B – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості речовини при робочих параметрах:

$$B = 1,59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}, \quad (5.2)$$

$$B = 1,59 \sqrt{\frac{1,31}{1,31+1} \cdot \left(\frac{2}{1,31+1}\right)^{\frac{1}{1,31-1}}} = 0,949;$$

$k = 1,31$ – показник адіабати;

$$F_{кл} = \frac{0,082}{0,75 \cdot 0,949 \cdot \sqrt{2 \cdot 80,09 \cdot (23 - 20) \cdot 10^6}} = 5,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Визначимо мінімальний діаметр прохідного перерізу сідла клапана :

$$d_{кл} = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,26 \cdot 10^{-6}}{3,14}} \approx 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}. \quad (5.3)$$

Відхилення від оптимального режиму роботи, а також поява деяких неполадок, наповнення місткостей вище за допустиму норму, порушення охолодження конденсатора, порушення герметичності системи і т.д. може призвести до можливості аварії.

Неправильна експлуатація установки, обумовлена недисциплінованістю обслуговуючого персоналу і адміністрації або викликана відсутністю достатньої кількості контрольних приладів, що дають можливість вести спостереження за процесами, що відбуваються в установці, може бути причиною аварії.

Тому для захисту холодильних установок застосовують САЗ, що підтримує заданий режим, застережливу можливість помилкових дій персоналу і зупинку установки при виникненні небезпечних режимів, а також включення попереджувальної і аварійної сигналізації, аварійної вентиляції.

Справність приладів автоматичного захисту холодильних (установок) компресорів перевіряють не рідше за один раз в місяць, а захисних реле рівня на апаратах – один раз в 10 днів. Для контролю тиску

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

широко застосовують пружинні манометри, що мають таку шкалу, щоб при робочому тиску стрілка знаходилася в другій треті шкали. Манометри для виміру тиску в посудинах повинні мати клас точності не нижче 2,5. Перевірка манометрів з тавруванням Державним комітетом із стандартів не рідше за 1-й раз в 12 міс. На підприємстві перевіряють показники робочих манометрів по контрольному, записуючи результати в журнал. Для контролю температури залежно від меж вимірюваної температури і доступності місць вимірів, застосовують рідинні термометри, термопари або термометри опору.

5.4 Електробезпека. Захист від ураження електричним струмом

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом усі приміщення підрозділяють на три категорії: приміщення без підвищеної небезпеки, приміщення з підвищеною небезпекою та особливо небезпечні приміщення.

Приміщення, де розміщена установка, відноситься до групи приміщень без підвищеної небезпеки (сухі, з підлогою зі струмонепровідних матеріалів, без струмопровідного пилу і без великої кількості заземлених металевих предметів).

Електрообладнання ділиться на два класи: з напругою до 1000 В та напругою понад 1000 В. Згідно з Правилами облаштування електроустановок, електричне устаткування холодильної установки відноситься до I групи (робоча напруга до 1000 В).

Проведемо розрахунок захисного заземлення станції. Мета захисного заземлення – створити надійний електричний контакт між металевими неструмопровідними частинами електроустановок і землею. Заземленню підлягають корпуси електричних машин і механізмів, апаратів, світильників, корпуси машин, приведених в рух електродвигуном. Заземлення можуть бути природними і штучними.

Уземлювач в установках розраховують так, щоб система заземлення мала опір менше 4 Ом. У цехових установках перевірка заземлення проводиться не рідше, ніж 1 раз на рік. Для розрахунку приймаємо контурне

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

заземлення.

Розрахункове значення питомого опору ґрунту:

$$\rho_{\text{зр}} = \rho_p \cdot \psi, \text{ Ом}\cdot\text{м} \quad (5.4)$$

де $\rho_p = 30 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (чорнозем) – питомий опір; $\psi = 1,1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – кліматичний коефіцієнт;

$$\rho_{\text{зр}} = 30 \cdot 1,1 = 33 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Приймаємо у якості електродів сталеві вертикальні труби: діаметр стрижня $d = 0,05 \text{ м}$, довжина стрижня $l = 3 \text{ м}$, відстань між стрижнями $l' = 9 \text{ м}$.

Відстань від середини стержня до рівня землі:

$$t = \frac{l}{2} + t_3, \text{ м} \quad (5.5)$$

де $t_3 = 0,6 \text{ м}$ – відстань від вершини стрижня до рівня землі;

$$t = \frac{3}{2} + 0,6 = 2,1 \text{ м}.$$

Розраховуємо опір одного вертикального уземлювача:

$$R_0 = \frac{\rho_{\text{гр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4t + l}{4t - l} \right) \right], \text{ Ом}. \quad (5.6)$$

$$R_0 = \frac{33}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,05} \right) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{4 \cdot 2,1 + 3}{4 \cdot 2,1 - 3} \right) \right] = 5,01 \text{ Ом}.$$

Мінімальна кількість уземлювачів:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{тр}}}, \quad (5.7)$$

де $R_{\text{тр}} = 4,0 \text{ Ом}$ – необхідний опір;

$$n = \frac{5,01}{4} = 1,25.$$

Приймаємо $n = 2$.

Відношення відстані між стрижнями до довжини стрижня:

$$\frac{l'}{l} = \frac{9}{3} = 3. \quad (5.8)$$

Опір системи вертикальних стрижневих уземлювачів:

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{cз} = \frac{R_0}{n \cdot \eta_B}, \quad (5.9)$$

де $\eta_B = 0,85$ – коефіцієнт використання вертикальних стрижневих уземлювачів;

$$R_{cз} = \frac{5,01}{4 \cdot 0,85} = 1,47 \text{ Ом.}$$

Загальна довжина сполучної смуги (контурне заземлення):

$$L_n = l' \cdot n = 9 \cdot 2 = 18 \text{ м.} \quad (5.10)$$

Визначимо опір розтіканню струму сполучної смуги:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho_{гр}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_r \cdot L_{\Pi}} \cdot \ln \frac{L_{\Pi}^2}{d \cdot t_3}, \text{ Ом} \quad (5.11)$$

де $d = 0,5 \cdot b$, м; $b = 0,02$ м – ширина сполучної смуги;

$$R_{\Pi} = \frac{33}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,92 \cdot 18} \cdot \ln \frac{18^2}{0,02 \cdot 0,5 \cdot 0,6} = 3,46 \text{ Ом.}$$

Загальний опір системи заземлення :

$$R_c = \frac{R_{\Pi} \cdot R_{cз}}{R_{\Pi} + R_{cз}}, \text{ Ом.} \quad (5.12)$$

$$R_{\Pi} = \frac{3,46 \cdot 1,47}{3,46 + 1,47} = 1,03 \text{ Ом} < 4,0 \text{ Ом.}$$

Отримане значення $R_c = 1,33$ Ом задовольняє необхідному значенню $R_c < 4,0$ Ом.

5.5 Пожежна профілактика

Існують наступні сім ступенів вогнестійкості: будинки з несними та огорожувальними конструкціями з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів; будинки з несними та огорожувальними конструкціями з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів. У покриттях будівель дозволяється застосовувати незахищені сталеві конструкції; будинки з несними та огорожувальними конструкціями з природних матеріалів або штучного каменю, бетону або залізобетону. Для

перекриттів дозволяється використовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або важко горючими листовими, а також плитковими матеріалами. До елементів покриття не пред'являються вимоги щодо межі вогнетривкості і межі розповсюдження вогню; при цьому елементи покриття із деревини підлягають вогнезахисній обробці; будинки переважно з каркасною конструктивною схемою. Елементи каркаса із сталевих незахищених конструкцій; огорожувальні конструкції із сталевих листів або інших негорючих листових матеріалів з важко горючим утеплювачем; будинки переважно з каркасною конструктивною схемою; будинки з несними та захисними конструкціями із суцільної або клеєної деревини та інших горючих або важко горючих матеріалів, захищених від дії вогню і високих температур штукатуркою або іншим листовим чи плитковим матеріалом, будинки, переважно одноповерхові, з каркасною конструктивною схемою; будинки, до несних і огорожувальних конструкцій яких не пред'являються вимоги щодо меж вогнестійкості і меж розповсюдження вогню.

Основні конструкції будівлі, в якій знаходиться приміщення з холодильною установкою, відповідно до СНіП 2.01.02-85 мають бути II міри вогнестійкості з матеріалів (міра вогнестійкості несних стін, сходових клітин, колон – не менше 2 годин; сходових майданчиків і т. д. – не менше 1 години; перегородок, зовнішніх стін з навісних панелей і покриттів – не менше 0,25 години), що не згорають.

Для захисту будівель і споруд від поширення пожежі на увесь об'єкт (при його виникненні на якій-небудь ділянці) передбачають протипожежні перешкоди. До таких перешкод відносяться протипожежні стіни, перегородки, перекриття та ін. Поширення вогню допускається лише по конструкціях перегородок на величину не більше 40 см.

Надійний пожежний зв'язок і сигналізація відіграють важливу роль у своєчасному виявленні пожеж і виклику пожежних підрозділів до місця пожежі.

За призначенням пожежний зв'язок підрозділяється на три види:

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

зв'язок сповіщення, призначений для виклику пожежних частин (команд) на пожежу; диспетчерська, призначена для повсякденного керівництва і управління пожежною охороною; зв'язок пожежі, призначений для керівництва пожежними підрозділами при гасінні пожеж. На проектованій установці використовується теплові сигналізатори.

Електричну пожежну сигналізацію складають встановлені на ділянках і цехах підприємства сигналізатори, за допомогою яких сигнал передається на пункт зв'язку пожежної частини. Пожежні сигналізатори можуть бути ручної і автоматичної дії. Вони підрозділяються на теплові, димові, світлові, комбіновані і ультразвукові.

В якості засобів пожежогасінні в приміщенні з холодильною установкою можна рекомендувати вогнегасники, що застосовуються для гасіння займань на автотранспортних засобах. Малі габарити, доступність і достатня під'ємність дозволяють у разі займання установки за короткі терміни усунути вогнище пожежі.

Приймаємо у якості основного вуглекислотоброметіловий вогнегасник типу ОУБ-34. В якості заряду в ньому використовується бромистий етил (97%) і зріджений діоксин вуглецю. Тиск у балоні при зарядці створюється стислим повітрям. Подібним вогнегасником можна гасити різні речовини, що горять, і устаткування, що знаходиться під напругою.

Слід розташовувати декілька вогнегасників біля вірогідних вогнищ займання пожежі: один вогнегасник біля щита автоматики і управління; два – біля самої установки в легкодоступному місці. Так само слід обладнати щит для пожежогасінні: ящик з піском (1 шт.); щільне полотно (повсть, азбест); лом (2 шт.); багор (2 шт.); сокира (2 шт.).

Щит слід розташовувати так, щоб у разі виникнення вогню він був легкодоступний і не піддався займанню.

Виконаємо розрахунок недоторканного запасу води.

Кількість пожежних водойм $n_{nv} = 1$ ($F < 150$ га).

Об'єм пожежної водойми:

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

$$V_{\text{пв}} = \frac{g \cdot k \cdot \tau \cdot n_{\text{пв}}}{1000} \cdot 3600 \text{ м}^3. \quad (5.13)$$

де $g = 10$; $k = 1,2$ – коефіцієнт запасу; $\tau = 2$;

$$V_{\text{іа}} = \frac{10 \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot 1}{1000} \cdot 3600 \approx 86,3 \text{ м}^3.$$

5.6 Виробнича профілактика

У приміщеннях машинних і апаратних відділень холодильних установок передбачають наступні види штучного освітлення: робоче, аварійне, місцеве (для ремонту, огляду і т.д.). Освітленість робочих поверхонь в машинних і апаратних відділеннях, що створюється робочим освітленням, повинна складати не менше 75 лк при використанні ламп розжарювання або не менше 150 лк при використанні люмінесцентних ламп (система загального освітлення). Освітленість приладів контролю повинна складати не менше 300 лк при використанні будь-яких ламп (система комбінованого освітлення).

Окрім робочого освітлення в приміщеннях передбачають аварійне освітлення від незалежного джерела, що автоматично включається при відключенні основного джерела освітлення.

Для місцевого освітлення при огляді, ремонті і очищенні внутрішніх порожнин машин і апаратів холодильних установок приймають переносні світильники у вибухозахисному виконанні напругою не вище 12 В.

Розрахуємо освітленість машинного відділення методом світлового потоку. При цьому вибираємо: джерело світла – лампи люмінесцентні; система освітлення – загальне освітлення; тип світильника – ПВЛ; розміри приміщення: довжина $A = 12$ м, ширина $B = 6$ м, висота $H = 4$ м. Приймаємо:

$$L / H_p = 2,0$$

де L – відстань між центрами світильників, м; H_p – висота світильників над робочою поверхнею, м.

Визначимо висоту світильників над робочою поверхнею:

$$H_p = H - (H_1 + H_2), \text{ м} \quad (5.14)$$

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

де $H_1 = 0,8$ м – висота робочої поверхні, м; $H_2 = 0,5$ м – відстань від світильника до стелі, м;

$$H_p = 4,0 - (0,8 + 0,5) = 2,7 \text{ м.}$$

Приймаємо $N = 12$ шт.

Визначимо світловий потік:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot F \cdot 100}{N \cdot n \cdot \eta_{cn}}, \text{ лм} \quad (5.15)$$

де $E_n = 300$ лк – нормативна мінімальна освітленість, лм; $k = 1,5$ – коефіцієнт запасу; $n = 2$ – кількість ламп в світильнику; $z = 1,1$ – коефіцієнт мінімальної освітленості для люмінесцентних ламп; η_{cn} – коефіцієнт використання світлового потоку, вибирається залежно від вибраного світильника та індексу приміщення i :

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A + B)} = \frac{12 \cdot 6}{2,7(12 + 6)} = 1,48; \quad (5.16)$$

Визначаємо $\eta_{cn} = 36$, тоді:

$$Q = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 72 \cdot 100}{12 \cdot 2 \cdot 36} = 4000 \text{ лм.}$$

Підбираємо стандартну лампу типу ЛД80, зі світловим потоком $\Phi = 4070$ лм.

Визначаємо погрішність обчислення :

$$\Delta \hat{O} = \frac{\hat{O}_{\hat{a}} - \hat{O}}{\hat{O}_{\hat{a}}} \cdot 100\% = \frac{4070 - 4000}{4070} \cdot 100\% = 1,71\%. \quad (5.17)$$

Отримане значення $\Delta \Phi = 1,35\%$ задовольняє необхідному значенню $\Delta \Phi < 20\%$.

Визначимо електричну потужність усієї освітлювальної системи:

$$P_{сист} = P \cdot N \cdot n = 80 \cdot 2 \cdot 4 = 640 \text{ Вт,}$$

де $P = 80$ Вт – потужність лампи, Вт; $N = 2$ шт – кількість світильників; $n = 4$ – кількість ламп в одному світильнику.

Забезпечення чистоти повітря і заданих метеорологічних умов в приміщеннях є завданням вентиляції. Це завдання особливо важливе для таких приміщень як госпіталь, лікарня та інші виробничі приміщення. Вентиляція досягається видаленням забрудненого або нагрітого повітря з

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

приміщення і поданням в нього свіжого повітря (приплив і витяг).

За способом переміщення повітря вентиляція буває природною і механічною або змішаною (поєднання природної і механічної).

Система вентиляції може служити для подання (припливу) або видалення (витяг) повітря з приміщення або для того і іншого (припливно-витяжна). Вона також може бути загально обмінною або місцевою.

Розрахуємо повітрообмін в приміщенні за годину:

$$L = k \cdot V, \text{ м}^3/\text{год.},$$

де k – кратність вентиляції або повітрообміну: $k = 3$ для припливної вентиляції і $k = 3$ для витяжної вентиляції; V – об'єм приміщення, м^3 :

$$V = A \cdot B \cdot H = 12 \cdot 6 \cdot 4 = 288 \text{ м}^3$$

Продуктивність припливної вентиляції:

$$L_{\text{припл}} = k_{\text{припл}} \cdot V, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (5.18)$$

$$L_{\text{припл}} = 3 \cdot 288 = 864 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахуємо потужність вентилятора:

$$N_{\text{вент}} = \frac{k \cdot L \cdot \Delta H \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot \eta_{\text{вент}}}, \text{ кВт} \quad (5.19)$$

де $k = 1,5$ – коефіцієнт запасу; $\Delta H = 400$ Па – опір мережі; $\eta_{\text{пр}} = 0,7$ – ККД приводу; $\eta_{\text{вент}} = 0,9$ – ККД приводу.

$$N_{\text{вент}} = N_{\text{прит}} = \frac{1,5 \cdot 864 \cdot 400 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9} = 0,23, \text{ кВт.}$$

Вид вентиляції	Марка вентилятора	$N_{\text{ел}}$	n
Припливна	УНИВЕНТ - 2-2-1	0,25 кВт	3000 об/хв
Витяжна	Старанніше - 0-11-2,5	0,37 кВт	3000 об/хв
Аварійна	Старанніше - 0-11-2,5	0,37 кВт	3000 об/хв

5.7 Долікарська допомога

Долікарська допомога потерпілому від електричного струму складається з двох послідовних етапів. Передусім, необхідно швидко звільнити постраждалого від дії струму і потім негайно приступити до надання йому медичної допомоги; одночасно викликають лікаря.

Звільнити постраждалого від дії струму можна декількома способами. Найбільш простий спосіб – відключення відповідної частини електроустановки. Крім того, при напрузі до 1000 В можна перерізати або перерубати дроти або відтягнути потерпілого від струмопровідної частини, відкинути від нього дрiт і т. п. В цих випадках та людина, що надає допомогу, повинна вжити відповідні запобіжні заходи, щоб самій не виявитися під напругою. Перерізати дроти можна тільки інструментом з ізольованим руків'ям або в діелектричних рукавичках, причому кожен дрiт окремо; можна також перерубати дроти (окремо) сокирою з дерев'яним руків'ям.

Щоб відірвати потерпілого від струмопровідної частин, можна взятися за одяг потерпілого, якщо він сухий. При необхідності доторкнутися до тіла потерпілого належить надіти на руки діелектричні рукавички або обмотати їх сухим одягом.

Відкинути дрiт, якого торкається потерпілий, можна за допомогою сухої дерев'яної палиці, дошки та інших подібних предметів.

При напрузі вище 1000 В застосовують ті ж способи, але при цьому обов'язково застосовують діелектричні рукавички, боти і в необхідних випадках – ізолювальну штангу або кліщі.

Після звільнення постраждалого від дії струму йому надають необхідну медичну допомогу тут же на місці. Переносити потерпілого в інше місце можна тільки в тих випадках, коли небезпека для нього або для людини, що надає допомогу, не усунена, або за край несприятливих умов – темряви, дощу, тісноти і т. д.

Заходи першої медичної допомоги потерпілому залежать від його стану. Якщо потерпілий у свідомості, але до цього був в непритомності або нетривалий час знаходився під струмом, йому необхідно створити повний спокій до прибуття лікаря і забезпечити подальше спостереження впродовж 2 – 3 год; при неможливості швидко викликати лікаря потрібно терміново доставити потерпілого до лікувальної установи. За відсутності свідомості, але диханні, що збереглося, слід укласти потерпілого на м'яку підстилку,

розстебнути пояс і одяг, забезпечити приплив свіжого повітря, давати нюхати нашатирний спирт, окроплювати водою, розтирати і зігрівати тіло.

Якщо потерпілий дихає важко – дуже рідко і судорожно, необхідно робити штучне дихання і масаж серця. За відсутності ознак життя, тобто за відсутності дихання, серцебиття, пульсу, не можна вважати потерпілого мертвим, оскільки смерть часто буває такою, що лише здається. В цьому випадку також потрібно робити штучне дихання і масаж серця, які роблять до відновлення діяльності серця і дихання, в усякому разі, продовжують їх до прибуття медичної допомоги. Тільки лікар має право констатувати смерть.

У разі отруєння природним газом потерпілого потрібно вивести на свіже повітря або в чисте тепле приміщення, зняти з нього забруднений одяг, простежити, щоб дихання було вільним, і надати повний спокій.

В усіх випадках отруєння вдихати кисень (впродовж 30 – 45 хвилин) і зігрівати хворого грілками. У разі потреби давати вдихати з ватки нашатирний спирт.

При роздратуванні слизової оболонки рекомендується полоскати горло і промивати ніс 2% розчином соди або водою. Незалежно від стану потерпілого він має бути відправлений до лікаря. При задусі і кашлі хворого слід транспортувати лежачи. При попаданні холодоагенту на шкіру, щоб уникнути обмороження, слід обробити поранену ділянку теплою водою (35 – 40 °C), а у разі ураження великої поверхні тіла зробити загальну ванну. Після ванни шкіру не розтирати, а прикладати рушник, що добре витирає воду. Потім на пошкоджену ділянку шкіри накладають пов'язку з маззю або просто змащують цією маззю (Вишневського або пеніциліном). Можна використати несолоне вершкове масло. Пухирі, що з'явилися, не розкривати, а накласти на них пов'язку. При попаданні холодоагенту в очі промити струменем чистої води і до приходу лікаря надіти темні окуляри. Не можна забинтовувати очі або накладати на них пов'язку.

Висновок по розділу. Розглянуті в розділі умови праці і заходу для їх створення при експлуатації холодильної установки (характеристика

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

холодоагентів, небезпечні і шкідливі чинники при їх використанні, класифікація холодильної машини по мірі вибуховій, вибухопожежній і пожежній небезпеці та ін.) дозволяють говорити про їх відповідність діючим нормам і правилам і забезпеченні безпеки обслуговуючого персоналу при роботі із холодильною установкою.

6. Економічна частина

В умовах відкритої ринкової економіки розширюється діапазон оцінки ефективності науково-технічних розробок, а отже, збільшується кількість основних видів ефективності НДДКР, які необхідно визначити з метою цієї оцінки. До них належать:

- **науково-технічний ефект**, який проявляється у підвищенні науково-технічного рівня, поліпшенні параметрів техніки і технологій, що впливає з відкриття нових законів та закономірностей у природі, а отже, і нових технологічних засобів виробництва речовин, матеріалів та видів продукції;

- **економічний ефект** полягає в отриманні економічних результатів від науково-технічних розробок як в цілому для народного господарства, так і для кожного виробничого суб'єкта. Економічна ефективність науково-технічних розробок за відповідною системою показників має відображати вплив їхньої результативності на розвиток економіки країни в цілому, а також регіонів, галузей, організацій і підприємств, що беруть участь у реалізації технологічних нововведень;

- **соціальний ефект**, що відображає зміни умов діяльності людини в суспільстві. Його прояв спостерігається в змінах характеру та умов праці, підвищенні життєвого рівня населення, поліпшенні побутових його умов, розширенні можливостей духовного розвитку особистості, у змінах стану довкілля;

- **маркетинговий ефект**, що відображає потреби ринку в наукових дослідженнях і розробках та можливість їх реалізації.

Науково-технічну ефективність (НТЕ) результатів прикладних робіт визначають на основі показників науково-технічного рівня. Оцінка науково-технічної ефективності НДДКР відбувається на основі показника ($O_{НТЕ}$), який представляє собою ступінь досягнення максимально можливого рівня, значення якого дорівнює 1 (одиниці):

$$O = K^{\Phi}_{НТЕ} / K^{\Pi}_{НТЕ} \quad (6.1)$$

де $K^{\Phi}_{НТЕ}$ – показник (коефіцієнт) фактичного рівня науково-технічної ефективності;

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$K^{\Pi}_{HTЭ}$ – показник (коефіцієнт) потенціально можливого рівня науково-технічної ефективності (дорівнює одиниці).

Значення показника K^{Φ}_{HTE} визначають на основі шкали експертних оцінок (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

Шкала експертних оцінок для виміру рівня науково-технічної ефективності проектів

№	Групи показників	Характеристика показників	Інтервал рейтингового числа	Коефіцієнт значущості показників
1	Науково-технічний рівень	Перевищує кращі світові аналоги	10	0,35
		Відповідає світовому рівню	7 – 9	
		Нижче кращих світових аналогів	5 – 6	
		Перевищує кращі вітчизняні аналоги	3 – 4	
		Відповідає вітчизняному рівню	1 – 2	
		Нижче вітчизняного рівня	0	
2	Перспективність	Першочергова значущість	8 – 10	0,35
		Значущий	5 – 7	
		Корисний	1 – 4	
3	Потенційний масштаб практичного використання	Світовий ринок	10	0,20
		Галузі національної економіки	7 – 9	
		Галузь (регіон)	3 – 6	
		Окремі підприємства (об'єднання)	1 – 2	
4	Ступінь вірогіднос-ті досягнення позитивних результатів	Великий	10	0,10
		Середній	5 – 9	
		Малий	1 – 4	

Примітка: об'єкт оцінки і аналог(и), які порівнюють за однаковими показниками, наведеними у співставленому вигляді відхилення в значеннях кожного з показників, мають бути однаковими для варіантів, що порівнюються.

Проведення оцінки

Визначають K^{Φ}_{HTE} на основі експертної оцінки науково-технічного рівня розробки.

З цією метою:

- розроблюють перелік специфічних показників, необхідних для виміру науково-технічного рівня розробки;
- формують групу аналогів, які реалізовані на світовому і вітчизняному ринках;

– здійснюють відповідні розрахунки для співставлення показників і визначення балів по табл. 6.1.

До числа специфічних показників відносять:

– **для нової техніки:** продуктивність, споживання інженерних ресурсів на виробітку одиниці продукції, потреба в робочих, які обслуговують обладнання, експлуатаційні витрати на одиницю продукції;

– **для нових матеріалів і речовин:** вміст корисних речовин для виробітки готової продукції, питома вага відходів у загальному обсязі переробленої сировини, вартість одиниці ... нового матеріалу;

– **для нових технологій:** якість виробленої продукції, енергоємність і трудомісткість продукції, собівартість одиниці продукції.

З метою спрощення визначення $K^{\Phi}_{НТЕ}$ у табл. 6.2 не введено показника витрат на одиницю продукції.

Таблиця 6.2

Порівняльні показники для виконання оцінки НТЕ

ПОКАЗНИКИ	Варіанти технології	
	розробленої	співвідносної (аналога)
Рівень новізни	світовий	-
Якість продукції	найвища	вища
Споживання на 1 т продукції		
– тепла, Гкал	5,14	6,85
– електроенергії, кВт·годину	46,72	54,36
– води, м ³	4,13	3,12
Трудомісткість виробництва, людино-годин/ тонну	17,5	6,17

На основі співставлення даних таблиці встановлюють бали по характеристиках чотирьох груп і на цій основі розраховують значення інтегрального показника НТЕ:

$$НТЕ = \sum B_i \times K_i^3 \quad (6.2)$$

де $i = 1 \div 4$,

B_i – бали (рейтингове число),

K – коефіцієнт значущості показників.

Рівень науково-технічної ефективності НДДКР розраховано на основі наведених даних прикладу (табл. 6.3).

Таблиця 6.3

**Експертна оцінка і розрахунок величини інтегрального показника
НТЕ**

№	Групи показників	Рейтинг експертів			Середня за експертними оцінками	НТЕ
		1	2	3		
1	Науково-технічний рівень	8	8	9	8,33	2,91 (8,33 x 0,35)
2	Перспективність	6	7	6	6,33	2,21 (6,33 x 0,35)
3	Потенційний масштаб практичного використання	4	5	5	4,67	0,93 (4,67 x 0,20)
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	7	8	7	7,33	0,73 (7,33 x 0,10)
В С Ї Ї Ї Ї						6,78

$$\text{НТЕ} = 7 \cdot 0,35 + 6 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,1 = 2,45 + 2,1 + 1 + 0,6 = 6,15$$

Отриманий результат слід порівняти з максимально можливим значенням, яке дорівнює 10 балам ($10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,1$).

Отже, оцінка рівня НТЕ може бути зроблена за допомогою інтегрального коефіцієнта оцінки НТЕ ($K_{\text{НТЕ}}$):

$$K_{\text{НТЕ}} = \frac{\text{НТЕ}}{10} \cdot 100 \%$$

На основі даних табл. 6.3 можна дійти до висновку, що $K_{\text{НТЕ}}$ відповідає 61,5 %, тобто:

$$K_{\text{НТЕ}} = (6,15 \cdot 100) / 10 = 61,5 \%$$

В тому випадку, коли значення $K_{\text{НТЕ}}$ перевищує середнє значення, яке дорівнює 5,0, має бути зроблено висновок про достатній рівень НТЕ:

- цілком достатній 5,0 – 6,0;
- достатній 6,1 – 8,0;
- достатньо високий 8,1 – 9,0;
- високий 9,1 – 10.

Таким чином, рівень НТЕ технології можна визнати достатнім. Отже, розроблену технологію пропонується впроваджувати у виробництво.

7. Цивільний захист

Оцінка стійкості роботи об'єкту у військовий час може бути виконана за допомогою моделювання уразливості (характер руйнувань,

пожеж, уражень об'єктів і службовців) об'єкту при дії вражаючих чинників ядерного вибуху на основі використання результатів розрахункових даних.

Основними вражаючими чинниками ядерного вибуху є: ударна хвиля, світлове випромінювання, проникаюча радіація, радіоактивне зараження і імпульс. Усі ці вражаючі чинники можуть різною мірою

впливати на функціонування об'єкту після нанесення супротивником ядерного удару.

Пожежі є вторинним вражаючим чинником і у ряді випадків можуть виконати значну дію на роботу об'єкту, тому вони повинні також враховуватися при оцінці його стійкості.

Дія світлового випромінювання ядерного вибуху на будівлі і спорудження об'єктів народного господарства проявляється у виникненні загорянь і пожеж, що викликають руйнування і знищення матеріальних цінностей, руйнування, що у ряді випадків перевершують по масштабах дію ударної хвилі.

Мінімальним розрахунковим світловим імпульсом, що викликає загоряння і пожежі, може бути імпульс в 100...150 кДж/м², при якому запалюються сіно, солома, стружка, обривки газетного паперу, сухе сміття і інші легкозаймисті речовини. Тому скупчення займистого сміття поблизу будівель — реальна загроза виникнення пожежі.

На промислових підприємствах можуть утворюватися окремі або суцільні пожежі. Окрема пожежа виникає в окремій будівлі або споруді. Суцільна пожежа характеризується тим, що всі або більшість будівель і побудов підприємства, що займають значну площу, охоплені вогнем.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня кількість займань від світлового імпульсу, що доводиться на одиницю площі забудови, за інших рівних умов залежить від протипожежної готовності об'єкту. При хорошій протипожежній підготовці об'єкту кількість пожеж може бути значно понижена, а для деяких виробництв зведена до нуля. Це завдання може бути успішно вирішене при врахуванні конкретних умов і основних чинників, що впливають на виникнення і поширення пожеж на об'єкті.

На виникнення і поширення пожеж впливають, головним чином, такі чинники: вогнестійкість будівель і споруд, пожежна небезпека виробництва, щільність забудови, метеорологічні умови та ін.

Вогнестійкість будівель і споруд визначається займистістю їх елементів і межами вогнестійкості основних конструкцій (частин) будівель і споруд. Займистість того або іншого елементу будівлі визначається займистістю будівельних матеріалів, з яких він виконаний. Усі будівельні матеріали по займистості діляться на три групи: неспалимі, важкоспалимі та неспалимі.

Межа вогнестійкості будівельної конструкції — це час в годинах від початку дії вогню на конструкцію до виникнення в ній наскрізних тріщин або до досягнення температури 200 °С на поверхні, протилежній до дії вогню, або до втрати конструкцією несної здатності (до обвалення).

Розрізняють п'ять степенів вогнестійкості будівель і споруд: I, II, III, IV, V. Степені вогнестійкості будівель і споруд можна характеризувати таким чином:

I і II степені — будівлі і споруди, у яких усі основні конструкції виконані з матеріалів, що не згорають, причому аналогічні конструкції у будівель I степені мають більшу межу вогнестійкості;

III степінь — будівлі, у яких несні стіни виконані з матеріалів, що

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

не згорають, а перекриття і перегородки (несні) — спалимі і важкоспалимі (дерев'яні обштукатурені);

IV степінь — дерев'яні обштукатурені будівлі;

V степінь — дерев'яні необштукатурені будівлі.

Таким чином, найбільш небезпечні в пожежному відношенні будівлі *IV* і *V* степенів вогнестійкості.

Пожежна безпека виробництва визначається технологічним процесом, використовуваними у виробництві матеріалами (речовинами) і готовою продукцією. По пожежній небезпеці технологічного процесу усі

об'єкти (цехи) діляться на п'ять категорій: А, Б, В, Г, Д.

Категорія А — виробництва, пов'язані із застосуванням речовин, займання або вибух яких може статися із-за дії води або кисню повітря; рідин з температурою спалаху пари 28 °С і нижче; горючих газів, нижня межа вибуховості яких 10% і менше об'єму повітря (у об'ємі повітря міститься 10 % і менше горючих газів). До цих виробництв відносяться цехи обробки і застосування металевого натрію і калію, нафтопереробні і хімічні підприємства, склади бензину, приміщенні стаціонарних кислотних в лужних акумуляторних установок, водневі станції та ін.

Категорія Б — виробництва, пов'язані із застосуванням рідин з температурою спалаху пари від 28 до 120 °С і горючих газів, нижня межа вибуховості яких більше 10 % об'єму повітря, а також виробництва, в яких виділяються пальні волокна, що переходять в зважений стан, або пил. Наприклад, цехи приготування і транспортування вугільного пилу і деревного борошна, цехи цукрової пудри, цехи обробки синтетичного каучуку, мазутне господарство електростанцій та ін.

Категорія В — виробництва, пов'язані з обробкою або

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосуванням твердих речовин, що згорають, і матеріалів (а також рідин з температурою спалаху пари понад 120 °С). До них відносяться лісопильні і деревообробні цехи, цехи текстильної і паперової промисловості, швацькі і трикотажні фабрики, склади паливно-змащувальних матеріалів, відкриті склади масла і масляне господарство електростанцій, гаражі та ін.

Категорія Г — виробництва, пов'язані з обробкою матеріалів, що не згорають, в гарячому, розжареному або розплавленому стані, а також виробництва, пов'язані із спалюванням твердого або газоподібного палива. До них відносяться ливарні, плавильні, ковальські і зварювальні цехи, цехи гарячого прокатування металу, котельні, головні корпуси електростанцій та ін.

Категорія Д — виробництва, пов'язані з обробкою речовин, що не згорають, і матеріалів в холодному стані. До них відносяться цехи холодної обробки металів, содове виробництво, насосні і водоприймальні облаштування електростанцій, градирні, вуглекислотні і хлораторні установки та ін.

Найбільш небезпечні в пожежному відношенні виробництва категорій А і Б. Для об'єктів категорій В, Г і Д можливість виникнення пожеж залежить від міри вогнестійкості будівель.

Щільність забудови значною мірою впливає на поширення пожежі. Під щільністю забудови Π розуміють відношення сумарної площі S_{Π} , займаної усіма будівлями, до площі території об'єкту S_T :

$$\Pi = \frac{S_{\Pi}}{S_T} \cdot 100\%$$

Щільність забудови характеризує відстань між будівлями і, отже, можливість перенесення вогню з однієї будівлі на іншу.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За даними аналізу отримана наближена залежність вірогідності виникнення і поширення пожеж від щільності міської забудови (рис. 8.1, а) і від відстані між будівлями (рис. 8.1, б).

З приведеної залежності виходить, що при щільності забудови до 7 % пожежи практично не поширюються, оскільки між будівлями великі відстані, і сусідні будівлі не спалахують внаслідок теплового випромінювання від будівель, що горять. При щільності забудови від 7 до 20 % можуть поширюватися окремі пожежі, а понад 20 % вірогідне виникнення суцільних пожеж.

Пожежі в осередку ядерного ураження як за характером, так і по розвитку мають свої, тільки їм властиві, особливості і виникають від світлового випромінювання і вторинних вражаючих чинників, викликаних дією ударної хвилі.

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

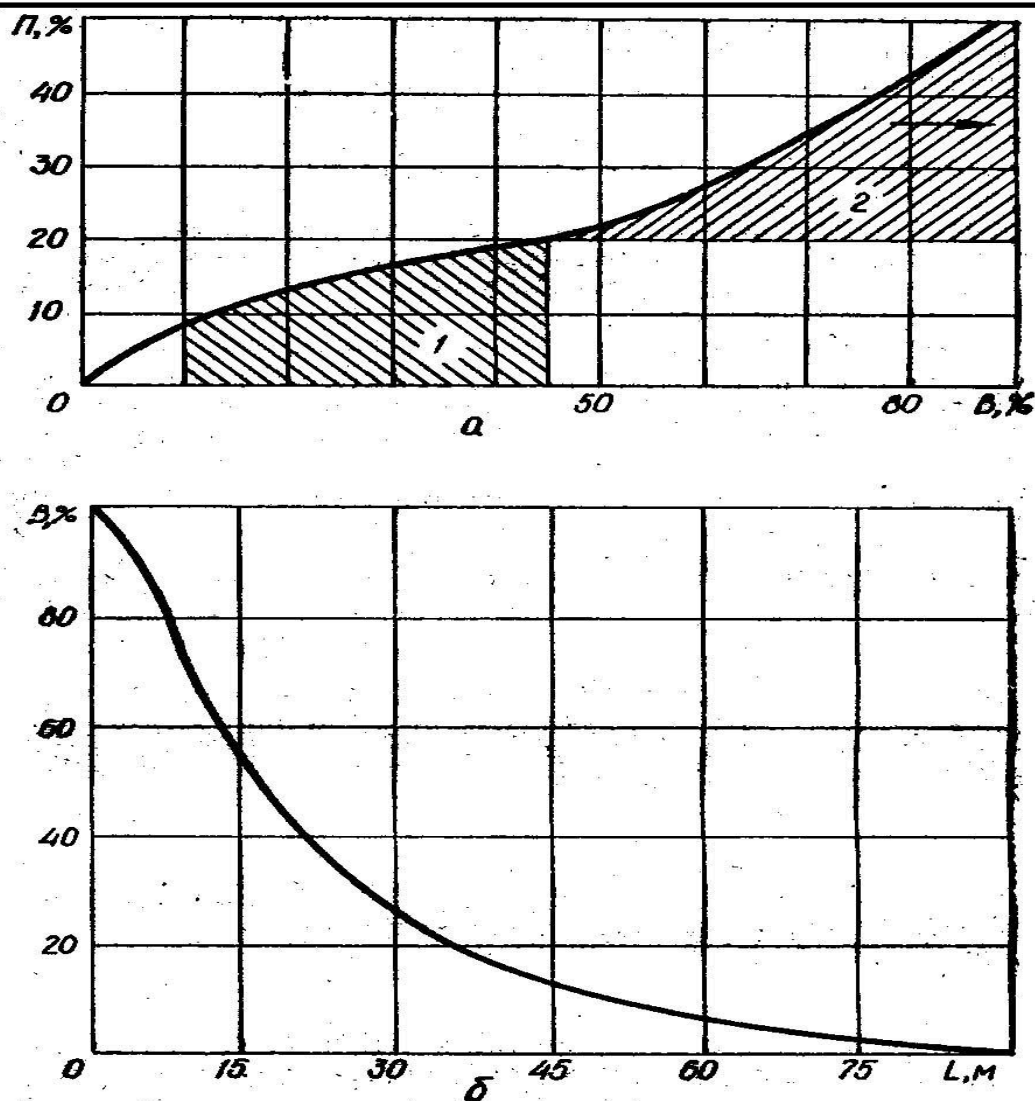


Рис. 7.1 Графіки залежності вірогідності виникнення і розвитку пожеж:
а - від щільності забудови; б - від відстані між будівлями;
1 - окремі пожежі; 2 - суцільні пожежі

Руйнування будівель і споруд від ударної хвилі сприяють розвитку пожеж. При руйнуванні будівель внаслідок хорошого доступу повітря до вогнищ загорання вогонь дуже швидко поширюється. Руйнування підприємств, особливо нафтової і хімічної промисловості, де багато трубопроводів, резервуарів і установок з горючими рідинами і газами під великим тиском, створює додаткові вогнища пожеж.

7.1. Оцінка стійкості об'єкту до дії світлового випромінювання ядерного вибуху

В якості показника стійкості об'єкту до дії світлового випромінювання приймається мінімальне значення світлового імпульсу, при якому може статися займання матеріалів або конструкцій будівель і споруд, внаслідок чого виникнуть пожежі на об'єкті. Це значення світлового імпульсу прийнято вважати межею стійкості об'єкту до дії світлового випромінювання ядерного вибуху $I_{\text{св.лім}}$.

Необхідно визначити стійкість об'єкту (лабораторії) до дії світлового випромінювання ядерного вибуху.

Початкові дані: лабораторія розташовується на відстані 7 км від індустріального центру міста, по якому вірогідний ядерний удар. Очікувана потужність ядерного боєприпасу $q = 0,1$ Мт. Вірогідне максимальне відхилення центру (епіцентра) ядерного вибуху від точки прицілювання $r_{\text{откл}} = 0,45$ км. Лабораторія розташовується в одноповерховій цегляній будівлі, межа вогнестійкості несних стін - 2,5 год., горищне перекриття із залізобетонних плит, межа вогнестійкості 1 год., покрівля м'яка (руберойд), двері і віконні рами дерев'яні, забарвлені в темний колір. Щільність забудови - 30 %.

Степінь вогнестійкості сусідніх будівель - III, категорія виробництва - Д.

Рішення.

7.1. Визначаємо максимальний світловий імпульс і надлишковий тиск ударної хвилі, очікувані на території об'єкту, для чого знаходимо мінімальну відстань до можливого центру вибуху :

$$R_x = R_r - r_{\text{откл}} = 7 - 0,45 = 6,55 \text{ км.}$$

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Знаходимо максимальний світловий імпульс і максимальний надмірний тиск на відстані 6,55 км для боєприпасу $q = 0,1$ Мт при повітряному вибуху:

$$I_{\text{св. max}} = 200 \text{ кДж/м}^2$$

$$\Delta P_{\text{ф. max}} \approx 10 \text{ кПа.}$$

7.2. Визначаємо степінь вогнестійкості будівлі. Для цього вивчаємо її характеристику (з умов завдання), вибираємо дані про матеріали, з яких виконані основні конструкції будівлі і визначаємо межу їх вогнестійкості. Знаходимо, що за вказаними в початкових даних параметрами будівля лабораторії відноситься до II міри вогнестійкості.

Результати оцінки, а також характеристики будівлі цеху і його елементів заносимо в підсумкову оцінну таблицю 7.1.

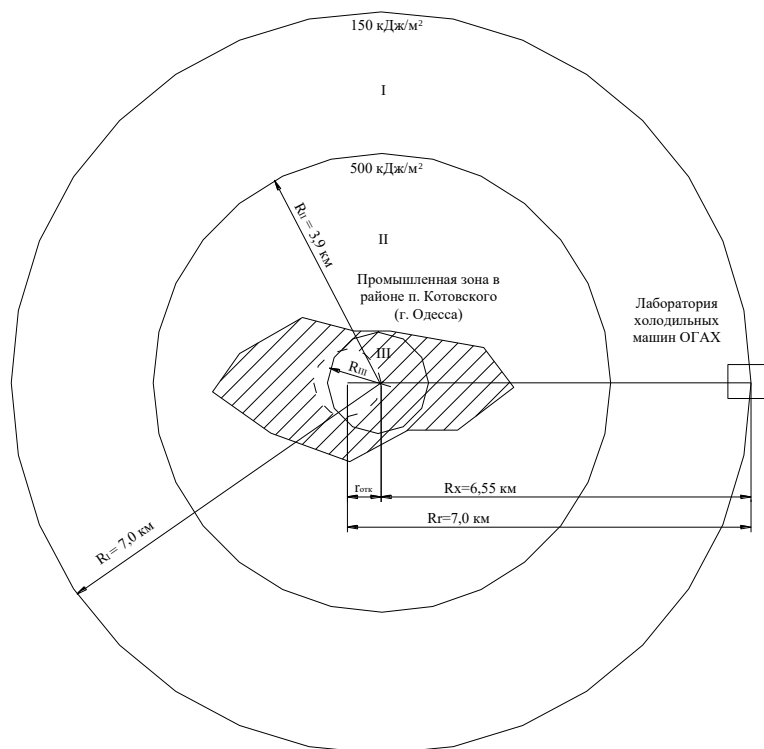


Рис. 7.2 Схема зон вірогідності виникнення і розвитку пожеж :
I - окремі пожежі; II - суцільні пожежі; III - суцільні пожежі в завалах

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.1 - Результати оцінки стійкості лабораторії до дії світлового випромінювання ядерного вибуху.

Об'єкт, елемент об'єкту	Степінь вогнестійкості будівлі	Категорія пожежної небезпеки виробництва	Займисті елементи (матеріали) у будівлі і їх характеристики	Світловий імпульс, що викликає займання елементів будівлі, що згорають, кДж/м ²	Межа стійкості будівлі до світлового випромінювання, кДж/м ²	Руйнування будівель при $\Delta P_{\text{ф max}}$	Зона пожеж, в якій може опинитися об'єкт
Лабораторія. Будівля: одноповерхова, цегляна, безкаркасна, перекриття із залізобетонних плит; межа вогнестійкості: переkritтів - 1 год., несних стін - 2,5 год.	II	Д	Двері і віконні рами - дерев'яні, забарвлені в темний колір. Покрівля м'яка (руберойд)	250 590	 250	Слабкі	Зона окремих пожеж

7.3. Визначаємо категорію пожежної небезпеки цеху. У лабораторії горючі матеріали не застосовуються, тому відповідно до класифікації виробництва за пожежною небезпекою лабораторія належить до категорії Д.

7.4. Виявляємо в конструкції будівлі об'єкту елементи, виконані з матеріалів, що згорають, і вивчаємо їх характеристики. Такими

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементами є: двері і віконні палітурки, виконані з дерева і забарвлені в темний колір; покрівля толева по дерев'яному обрешетуванню.

7.5. Знаходимо світлові імпульси, що викликають займання вказаних вище елементів, залежно від потужності боєприпасу, елементів і їх характеристики. Двері і віконні переплетення (дерев'яні, забарвлені в темний колір) при вибуху боєприпасу потужністю 0,1 Мт, запалюються від світлового імпульсу 250 кДж/м^2 , покрівля з руберойду - 590 кДж/м^2 .

7.6. Визначаємо межу стійкості лабораторії до світлового випромінювання по мінімальному світловому імпульсу, що викликає загоряння у будівлі, і робимо висновок про стійкість об'єкту. Межею стійкості лабораторії до світлового випромінювання є $I_{\text{св. lim}} = 250 \text{ кДж/м}^2$. Так як $I_{\text{св. lim}} > I_{\text{св. max}} = 200 \text{ кДж/м}^2$, то об'єкт стійкий до світлового випромінювання.

7.7. Встановлюємо степінь руйнування будівлі об'єкту від ударної хвилі при очікуваному максимальному надлишковому тиску. При очікуваному на об'єкті максимальному надлишковому тиску ударної хвилі 10 кПа будівля об'єкту (одноповерхова, цегляна, безкаркасна) отримає слабкі руйнування.

7.8. Визначаємо зону пожеж, в якій опиниться лабораторія. Виходячи з того, що будівля об'єкту може отримати слабкі руйнування, очікуваний максимальний світловий імпульс на об'єкті 200 кДж/м^2 , а щільність забудови - 30 %, робимо висновок, що лабораторія може опинитися в зоні окремих пожеж.

ВИСНОВКИ: а) На об'єкті при ядерному вибуху заданої потужності очікується максимальний світловий імпульс 200 кДж/м^2 і надлишковий тиск ударної хвилі 10 кПа, що викличе пожежну обстановку помірної

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складності. Об'єкт опиниться в зоні окремих пожеж.

б) Лабораторія стійка до дії світлового випромінювання ядерного вибуху. Межа стійкості об'єкту - 250 кДж/м².

в) Пожежну небезпеку для лабораторії представляють двері, віконні рами і переплетення, виконані з дерева і забарвлені в темний колір.

г) Доцільно підвищити межу стійкості об'єкту, провівши наступні заходи: замінити дерев'яні віконні рами і переплетення на металеві; оббити двері покрівельною сталлю по азбестовій прокладці; провести в лабораторії профілактичні, протипожежні заходи (збільшити кількість засобів пожежогасінні, своєчасно прибирати сміття в приміщенні лабораторії).

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маляренко, В. А. Енергетичні установки і довкілля [Текст] // В. А. Маляренко, Г. Б. Варламов, Г. Н. Любчик та ін. / Харків: ХГАГХ, 2002. — 398 с.
2. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки спеціального призначення [Текст]: підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон: Вид. Грінь Д.С., 2013. — 488 с.: табл., рис. — Бібліогр.: с. 483.
3. Хмельнюк М.Г. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст]: підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон: Грінь Д.С., 2014. — 484 с.
4. 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.
5. Подмазко О.С. Діагностика та аналіз роботи холодильних установок: конспект лекцій [Електронний ресурс]: з напрямку підгот. “Енергомашинобудування” / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНТУ, 2023. — 61 с. — Електрон. текст. дані.
6. Подмазко О.С. Конспект лекцій по холодильним установкам [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНАХТ, 2019. — 59 с. — Електрон. текст. дані.
7. Подмазко О.С. Методичні вказівки та примірний розрахунок по курсовому та дипломному проектуванню з дисципліни "Холодильні машини і установки спеціального призначення" [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНАХТ, 2019. — 34 с. — Електрон. текст. дані.
8. Подмазко О.С. Холодильні установки. Дослідження водоохолоджувальної машини на базі спірального компресора [Електронний ресурс]: метод. вказівки до лаб. робіт / О. С. Подмазко; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНАХТ, 2019. — 23 с. — Електрон. текст. дані.
9. Подмазко О.С. Холодильні установки [Електронний ресурс]: посібник до самот. роботи та виконання контрол. завдання (5.05060403 курс 5, семестр 9) / О. С. Подмазко; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса: ОНАХТ, 2018. — 15 с. — Електрон. текст. дані.
10. Подмазко О.С. Холодильні установки спеціального призначення

					КРМ.ХУіКП.1.486-03.2.17	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

[Електронний ресурс]: посібник до курсового проектування / О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 21 с. — Електрон. текст. дані.

11. Подмазко О.С. Холодильні установки спеціального призначення : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 99 с. — Електрон. текст. дані.

12. Подмазко О.С. Холодильні установки [Текст]: навч. посіб. / О. С. Подмазко, С. Ю. Лар'яновський. — Одеса : ОДАХ, 2012. — 60 с.

13. Подмазко О.С. Холодильні установки. Системи відводу теплоти конденсації : метод. вказівки [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. А. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 21 с. — Електрон. текст. дані.

14. Методичні вказівки до оцінки науково-технічної ефективності розробки нової технології, нового обладнання та інших інновацій. Для студентів всіх спеціальностей СВО «бакалавр» і «магістр» денної і заочної форм навчання. Укладачі Басюркіна Н.Й., Свистун Т.В. Одеса: ОНАТУ, 2022 р. 18 с.

15.

<https://windowsbulletin.com/ru/%D1%84%D0%B0%D0%B9%D0%BB%D1%8B/%D0%B5%D1%85%D0%B5/NIST/REFPROP/refprop-exe>