

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



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Проект холодильника для зберігання плодоовочевої  
продукції місткістю 1100 тонн у м. Одеса

Здобувача

Ткач Р.А.

2 курсу

ЕН-141 групи

Керівник

к.т.н., доц. Трандафілов В.В.

Консультанти:

д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від

31.05.2024 р.

протокол № 12

Завідувач кафедри ХУКП

Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	Низькотемпературної техніки та інженерної механіки
Кафедра	Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

«01» березня 2024 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ткач Руслан Анатолійович

1. Тема роботи Проект холодильника для зберігання плодоовочевої продукції місткістю 1100 тонн у м. Одеса

Затверджена наказом ОНТУ від 31.08.2023 р. наказ № 487-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 31.05.2024 р.

3. Вихідні дані роботи  
Холодильник зберігання овочів місткістю 1100 т. розташований у м. Одеса.  
Будівля холодильника одноповерхова, з висотою камер 6 м. Сітка колон 6 х 6 м.  
Зберігання капусти ( $G=500$  тон,  $t_k=2^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), картоплі ( $G=150$  тон,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), моркви ( $G=150$  тон,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), буряка ( $G=150$  тон,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ) та часник ( $G=150$  тон,  $t_k=-1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ). Насосно-циркуляційного система подачі в прилади охолодження. Як робоче тіло було прийнято аміак R717. Компресори фірми Bitzer. Теплообмінне обладнання Alfa-Laval.

4. Перелік питань, які потрібно розробити  
Реферат, Вступ 1. Техніко-економічне обґрунтування проекту,  
2. Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер,  
3. Визначення теплового навантаження камер,  
4. Тепловий розрахунок холодильної системи,  
5. Розрахунок повітряного конденсатора, 6. Розрахунок повітроохолоджувача,  
7. Підбір компресорів та допоміжного устаткування, 8. Розрахунок магістральних трубопроводів, 9. Охорона праці, Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Презентація в PowerPoint

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	17.05.2024	21.05.2024

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 01.03.2024 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Трандафілов В.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Ткач Р.А.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	30.05-31.05.2024	
2	Вступ	01.03-10.03.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування проєкту	17.03-20.03.2024	
4	Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер	20.04-25.04.2024	
5	Визначення теплового навантаження камер	26.04-30.04.2024	
6	Тепловий розрахунок холодильної системи	01.05-04.05.2024	
7	Розрахунок повітряного конденсатора	05.05-10.05.2024	
8	Розрахунок повітроохолоджувача	12.05-14.05.2024	
9	Підбір компресорів та та допоміжного устаткування	15.05-15.05.2024	
10	Розрахунок магістральних трубопроводів	16.05-16.05.2024	
11	Охорона праці	17.05-21.05.2024	
12	Список використаної літератури	22.05-23.05.2024	
13	Презентація в PowerPoint	29.05-31.05.2024	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Ткач Р.А.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Трандафілов В.В.

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

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

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Ткач Руслан Анатолійович \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з: 84 сторінок друкованого тексту, 7 рисунків, 12 таблиць, 8 посилань на літературні джерела. В кваліфікаційній роботі поставлено та вирішено завдання розробки проекту холодильника для зберігання плодовоовочевої продукції місткістю 1100 тонн у місті Одеса.

Будівля холодильника одноповерхова з висотою камер 6 м, з сіткою колон 6x6 м. Зберігання капусти ( $G=500$  тон,  $t_k=2^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), картоплі ( $G=150$  тон,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), моркви ( $G=150$  тон,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), буряка ( $G=150$  тон,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ) та часник ( $G=150$  тон,  $t_k=-1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ).

Була обрана насосно-циркуляційного система подачі в прилади охолодження, що дає можливість зменшити місткість системи охолодження. Як робоче тіло було прийнято аміак R717. Підібрано теплоізоляційну конструкцію на основі ПСБ-С, і, виходячи з повного завантаження камер, розраховано сумарні теплопритоки. За цими даними та проведеним тепловим розрахунком підібрані компресорні агрегати фірми Bitzer, теплообмінні апарати фірми Alfa-Laval.

**Ключові слова:** холодильна установка, овочесховище, аміак

## ABSTRACT

The qualification work consists of: 84 pages of printed text, 7 figures, 12 tables, 8 references to literary sources. The qualification work sets and solves the task of developing a project for a refrigerator for storing fruit and vegetable products with a capacity of 1100 tonnes in the city of Odesa.

The building of the refrigerator is one-storey with a chamber height of 5 m, with a column grid of 6x6 m. The storage of cabbage ( $G = 500$  tonnes,  $t_k = 2^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k = 0.9$ ), potatoes ( $G=150$  tonnes,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), carrots ( $G=150$  tonnes,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ), beetroot ( $G=150$  tonnes,  $t_k=1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ) and garlic ( $G=150$  tonnes,  $t_k=-1^\circ\text{C}$ ,  $\phi_k=0.9$ ).

The pump-circulation system of supply to the cooling devices was chosen, which makes it possible to reduce the capacity of the cooling system. R717 ammonia was used as a working fluid. A heat-insulating structure based on PSB-C was selected, and, based on the full load of the chambers, the total heat inflows were calculated. Based on these data and the thermal calculation, compressor units from Bitzer and heat exchangers from Alfa-Laval were selected.

**Keywords:** refrigeration unit, vegetable storage, ammonia

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

	стор.
Реферат .....	4
Вступ.....	6
1 Техніко-економічне обґрунтування проєкту.....	8
2 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер.....	23
3 Визначення теплового навантаження камер .....	28
4 Тепловий розрахунок холодильної системи.....	41
5 Розрахунок повітряного конденсатора .....	45
6 Розрахунок повітроохолоджувача.....	51
7 Розрахунок магістральних трубопроводів .....	61
8 Підбір компресорів та допоміжного устаткування .....	64
9 Охорона праці .....	65
Список використаної літератури .....	84

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>		
					<i>Проект холодильника для зберігання плодоовочевої продукції місткістю 1100 тонн у м. Одеса</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Ткач Р.А.</i>					
Перевір.		<i>Трандафілов В.В</i>				5	84
Н. Контр.		<i>Трандафілов В.В</i>			<i>ОНТУ гр. ЕН-141</i>		

## ВСТУП

Плодоовочесховища бувають стаціонарного типу (склади-будівлі) і тимчасового (бурти і траншеї). Плоди зберігають тільки в стаціонарних спорудах. Сховища стаціонарного типу для овочів і плодів класифікують за спеціалізацією, місткістю, ступенем заглиблення в землю і наявністю огорожу вальних пристроїв. До спеціалізованих складів відносять овочесховища і фруктосховища; до вузькоспеціалізованих — сховища для картоплі, капусти, цибулі тощо.

Спеціалізовані і вузькоспеціалізовані сховища можуть бути малої місткості — до 500 т, середньої місткості — від 500 до 2 тис. т, великої місткості — понад 2 тис. т. Великі плодоовочеві бази (на 40—80 тис. т), як правило, є універсальними і призначаються не тільки для зберігання картоплі, овочів, фруктів, а й для квасіння, соління овочів, маринування, фасування продуктів, виробництва різних плодоовочевих готових виробів.

Будівлі плодоовочесховищ бувають наземні і заземлені. Заземлені сховища порівняно з наземними більш зручні для підтримання необхідної температури, вологості і виконання завантажувальних операцій безпосередньо із залізничних вагонів або автомашин через люки.

Плодоовочесховища можуть бути не охолоджувані і охолоджувані (з природними або штучними джерелами холоду).

Сучасні стаціонарні сховища для овочів і плодів споруджуються зі збірного залізобетону і цегли. Сітка колон у сховищах береться 6х6 або 6 х 9 м. Для спорудження фундаментів застосовуються залізобетонні балки, стін — залізобетонні панелі з термоізоляцією, покриттів — збірний залізобетон з термоізоляцією. У сховищах з доброю теплоізоляцією забезпечується краще регулювання температури, вологості повітря і запобігається конденсації водяних парів із внутрішнього боку покрівлі.

У будівлях сховищ розміщуються оперативні і деякі обслуговуючі приміщення. Адміністративно-побутові і допоміжні приміщення розташовуються переважно в ізольованих будівлях.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік оперативних приміщень залежить від спеціалізації, місткості сховищ, характеру й обсягу виконуваних операцій. У великих фруктосховищах є експедиції, камери для зберігання свіжих продуктів, приміщення для охолодження, дозрівання й дефростації фруктів.

У таких сховищах з одного боку будівлі передбачається критий залізничний дебаркадер, а з другого — закрита й утеплена автомобільна платформа.

До підсобно-технічних приміщень охолоджуваних сховищ належать: машинне відділення з компресорними установками, котельня, вентиляційна камера тощо. У сховищах використовується повітряне охолодження за допомогою повітроохолоджувачів і розсільно-батареїне.

Найбільш досконалою вентиляцією для зберігання є активна, або притоко-витяжна, при якій чисте повітря за допомогою електровентиляторів подається всередину сховища та продувається через товщу продукту. Попередньо це повітря може доводитися спеціальними пристроями до потрібної температури і вологості. Застосування активної вентиляції знижує втрати картоплі з 10—15 до 5—6%, дозволяє збільшити висоту завантаження від 1,4—1,6 до 3 м.

Застосування контейнерів для зберігання картоплі, овочів і плодів сприяє механізації завантаження, транспортування до місць зберігання й всередині сховищ, калібрування, сортування і подавання продуктів для навантаження на автомашины.

Для зберігання картоплі й овочів використовуються також склади тимчасового типу: бурти і траншеї. Бурти влаштовуються на сухих, підвищених місцях, де не збираються атмосферні опади і ґрунтові води проходять на відстані не менш як 14 м від поверхні землі. У землі роблять заглиблення завдовжки 15—20 м, завширшки 1,7—2 м і завглибшки 0,2 м. Бурти розміщують з урахуванням напрямку вітру, для того щоб у зимовий період вони менше охолоджувались.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

# 1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

Метою даної роботи є проектування холодильника, призначеного для зберігання плодоовочевої продукції. Орієнтовна сумарна місткість фруктосховища, виходячи із завдання на проектування складає 1100 тонн. Місце розміщення холодильника – м. Одеса. Співвідношення вантажів капусти, картоплі, моркви, буряка та часника, що зберігаються, орієнтування 2:1:1:1, відповідно.

Зберігання овочів триває досить довго, іноді довше, ніж вирощування. Всі овочеві, та і плодові, культури належать до так званих гетеротрофів. В період зростання активно накопичують живильні речовини, а під час зберігання - витрачають. Вони продовжують жити: дихають, випаровують вологу, дворічники готуються до вегетації наступного року. Основне завдання під час їх зберігання - створити такі умови, щоб втрати маси, живильних речовин і якості були мінімальними.

Придатність овочів до зберігання залежить, перш за все, від їх біологічних властивостей. Залежно від здатності зберігатися без значних якісних і кількісних втрат їх умовно ділять на три групи:

- перша - вегетативні органи дворічних рослин: коренеплоди, цибулини і качани. Їх біологічне призначення полягає в тому, щоб сформувати насіння на другий рік життя. Після прибирання ці органи знаходяться у стадії спокою. Тривалість цієї стадії залежить не тільки від культури, але і від сорту або гібрида. У пізньостиглих сортів вона значно довша, ніж у середньостиглих, а у ранніх - іноді відсутній взагалі. Тому на зберігання закладають тільки пізні сорти.

У стадії спокою зовнішній вигляд, консистенція і навіть смак овочів цієї групи при зберіганні в оптимальних умовах майже не змінюються. Тому успішне їх зберігання залежить від уміння створити ці оптимальні умови.

- друга - генеративні органи однорічних овочів - плоди (огірки, помідори, перець солодкий, баклажани і тому подібне). Їх біологічна роль в житті

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

рослини - забезпечити живильними речовинами насіння до повного їх дозрівання. Коли насіння дозріває і здібні до проростання, ці органи стають не потрібними - вони відмирають. У овочів цієї групи періоду спокою немає, тому тривалість їх зберігання визначається, перш за все, ступенем зрілості при прибиранні і інтенсивністю процесів післяжнивного дозрівання.

- третя - листя однорічних і багаторічних зеленних овочевих культур (шпинат, салат, кріп, петрушка и.т.). З часу відділення їх від материнської рослини листя вже не виконує ніяких біологічних функцій. У них досить велика поверхня випаровування і зміст вільної води. Тому навіть при недовгому їх зберіганні особливу увагу треба приділяти захисту від в'янення.

Кожна овочева культура має характерні особливості і для успішного зберігання вимагає відповідних умов: температури, вологості і газового складу повітря. Але, щоб урожай зберігався з мінімальними втратами, цього недостатньо. Починати треба з підбору сортів і умов вирощування. Найбільший період зберігання мають пізньостиглі сорти.

Овочі, вирощені в умовах оптимального живильного режиму, накопичують більше сухих речовин, Сахаров, клітковини, вітамінів, тому період зберігання їх буде великим. Органічні добрива в оптимальних нормах захищають рослини від хвороб, наприклад, парші картоплі, оскільки сприяють розвитку корисних бактерій і грибів, що пригнічують хвороботворні організми. А здорові овочі, як відомо, краще зберігаються. Досліджено, що лежкість овочів підвищує високий рівень калія в ґрунті в період вирощування. Хорошими джерелами калія є гній, компост, сидерати (зелені добрива).

Надлишок живильних речовин, як і їх брак, негативно впливають на лежкість овочів при зберіганні. Так, при надлишку в ґрунті азотних добрив овочі зростають водянистими і містять мало сухих речовин і вуглеводів. В результаті вони не можуть довго зберігатися.

На тривалість зберігання овочів також впливає механічний склад ґрунту. Так, картопля і коренеплоди, вирощені на піщаному або суглинному ґрунті, зберігаються краще, ніж ті, що вирощені на важкому глинистому ґрунті.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		9

Тому під ці овочі краще відводити легкі структурні ґрунти з високим вмістом кисню (не менше 16%).

Більший період зберігання буде у овочів, вирощених в умовах оптимального температурного і водного режимів. Продукція, вирощена в умовах тривалої холодної і дощової погоди, зберігається погано, нестійка до хвороб, характеризується підвищеною інтенсивністю дихання. Сухе жарке літо сприяє зменшенню періоду вегетації рослин. Плоди утворюються волокнисті з низькими живильними властивостями і біохімічним складом. В результаті період їх зберігання буде також недовгим.

Характерною особливістю овочів всіх груп є наявність в них великої кількості води (65-96%) з розчиненими в ній живильними речовинами, тому вони є хорошим субстратом для розвитку фіто-патогених мікроорганізмів. Високий вміст води обумовлює високу інтенсивність біохімічних процесів, які відбуваються в овочах після прибирання. Крім того, щоб уникнути в'янення, овочі потрібно зберігати при високій вологості повітря в сховищі (70-98%). У таких умовах навіть незначні коливання температури сприятимуть появі вільної вологи на продукції і, в результаті, - швидкому виникненню і розвитку хвороб. Тому сховища для овочів винні обов'язково добре провітрюватися.

Обмін речовин з навколишнім середовищем у плодів супроводжується рядом біохімічних і фізіологічних процесів. З них найбільш важливими є дихання і випаровування вологи. В процесі дихання відбувається розпад вуглеводів, органічних кислот і інших органічних речовин, що супроводжується поглинанням кисню, виділенням вуглекислого газу, води і тепло і зменшенням ваги плодів. В результаті звільняється енергія, необхідна рослинним організмам для виконання їх життєвих функцій. Унаслідок поглинання кисню і виділення вуглекислого газу змінюється склад зовнішнього середовища.

Інтенсивність дихання різна для різних видів овочів може служити біологічним показником, вказуючим на придатність їх для тривалого зберігання. Із збільшенням інтенсивності дихання терміни зберігання зменшуються.

					КРБ.ХУКП.1.490-03.2.8	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		10

## ВИМОГИ ДО КАПУСТИ, ЯКУ ЗАКЛАДАЮТЬ НА ЗБЕРІГАННЯ

При зберіганні капусти на сучасних холодильниках картонну або дерев'яну тару з плодами укладають на стоечних палетах в 4-7 ряди у висоту. Потім палети встановлюються одна на іншу, утворюючи штабель.

Штабелі компонуються на площі підлоги камери відповідно до проектного рішення так, щоб залишалися проходи для контролю стану плодів, проїзди для проведення вантажно-розвантажувальних робіт і забезпечувалася циркуляція повітря в камері, відповідно до системи розподілу повітря.

Вид упаковки, характер укладення упаковки на піддоні і самих піддонів в штабель, планування штабелів на вантажній площі камер і їх розмір, тип системи розподілу повітря і умови обслуговування системи, яка охолоджує, є визначальними факторами в рішенні проблеми гарантованого збереження якості продукції.

Капусту, які закладаються на зберігання, повинні бути не нижче 2-го товарного сорту згідно з ГОСТ 21122, 1-го товарного сорту згідно з ГОСТ 16270 або згідно з ГОСТ 27572. Капусту, які закладаються на тривале зберігання, повинні відповідати додатковим вимогам, зазначеним в додатку 1.

Стан знімною зрілості при збиранні визначають за сукупністю наступних ознак:

- 1) легкість відділення плода від плодушки;
- 2) забарвлення шкірки плодів;
- 3) ступінь побуріння насіння;
- 4) ступінь гідролізу крохмалю в плодах по йод-крохмальної пробі;
- 5) вік плодів, який визначається від масового цвітіння до збирання і

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

(або) за сумою активних (вище 5 ° С) температур за цей період.

Конкретні значення цих ознак приймають по нормативно-технічній документації, затвердженої в установленому порядку для відповідної зони (району, місця) вирощування.

### ВИМОГИ ДО МІСЦЯ ЗБЕРІГАННЯ

Камера до початку завантаження капусти повинна бути приведена в технічний і санітарний стан, що відповідає вимогам нормативної, проектної, експлуатаційної документації та вимогам цього стандарту, а також атестована в установленому порядку.

Перед завантаженням охолоджуючі батареї, змонтовані на стінах камери, повинні бути екрановані, наприклад, поліетиленовою плівкою по ГОСТ 10354. Верхній край екрана повинен знаходитися на рівні охолоджуючої батареї, а нижній - на відстані 0,5-0,6 м від підлоги. Відстань від екрана до охолоджувальної батареї - від 0,15 до 0,20 м.

Перед завантаженням капустою камера повинна бути охолоджена до температури повітря в ній мінус 1-0 ° С. За температуру повітря в камері приймають середнє арифметичне значення результатів вимірювань не менше ніж в трьох контрольних точках по п.5.2.2 в кожному циклі вимірювань.

### УМОВИ СКЛАДУВАННЯ

У кожен камеру завантажують партії капусти одного помологічного сорту згідно з ГОСТ 21122, ГОСТ 16270 або ГОСТ 27572.

Допускається зберігання в одній камері партій капусти різних помологіческих і товарних сортів, які потребують однакових умов і режимів зберігання, що не викликають функціональні захворювання і розлади один одного, однакові за ступенем зрілості і термінів лежкості. Кожна партія капусти повинна бути розміщена окремо.

При завантаженні в одну камеру партій капусти, різняться за термінами зберігання, партії з меншим терміном зберігання розміщують ближче до місця розвантаження.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Для завантаження камери капостою, упакованими в ящики, формують пакети на плоских піддонах по ГОСТ 9557, укладаючи їх п'ятерик по 20-25 шт. на кожен піддон.

Довжина виступаючих частин пакета ящиків з кожного боку плоского піддона - не більше 0,04 м.

Пакети ящиків на піддонах, піддони ящиків і спеціальні контейнери встановлюють в камерах штабелями висотою: пакети ящиків - не більше трьох ярусів, піддони ящиків і спеціальні контейнери - не більше восьми ярусів.

Відстань між низом виступаючих конструкцій стелі камери і верхом штабеля має бути не менше 0,3 м, а при наявності змонтованих на стелі повітропроводів, охолоджуючих і (або) опалювальних приладів відстань між нижнім рівнем їх розташування і верхом штабеля - не менше 0,8 м ;

- відстань від стін камери, що не мають змонтованих на них охолоджуючих і (або) опалювальних приладів, до штабелів повинна бути не менше 0,3 м, а при наявності таких приладів відстань між ними і штабелями - не менше 0,8 м;

- відстань між штабелями однієї партії має бути 0,05-0,10 м, а між різними партіями - не менше 0,60 м;

- в камері шириною до 12 м біля однієї зі стін по її довжині слід залишати прохід шириною 0,6-0,7 м, а в камері шириною більше 12 м - центральний проїзд шириною 2-3 м.

Тривалість повного завантаження камери капостою не повинна перевищувати 5 діб.

На кожній партії капусти в камері прикріплюють на видному місці паспорт із зазначенням:

1) номери документа про якість при прийманні, а також сертифіката про зміст токсикантів в капусти і дотримання регламентів застосування пестицидів;

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- 2) постачальника;
- 3) помологічного сорту;
- 4) товарного сорту;
- 5) маси партії (брутто, нетто), кг;
- 6) дати завантаження;
- 7) терміну зберігання.

При зберіганні в місцях заготівлі додатково вказують (крім капусти, що заготовляються у населення): дату знімання, квартал саду, вид післязбиральної обробки.

### ФІЗИЧНІ УМОВИ І РЕЖИМ ЗБЕРІГАННЯ

Після закінчення завантаження капусти температуру повітря в камері не більше ніж за 2 доби доводять до нормативних значень, якщо інші значення цієї температури не встановлені в нормативно-технічній документації, затвердженої в установленому порядку для відповідної зони (району, місця) вирощування (наприклад, в республіканських стандартах), при цьому допускається зміна температури повітря в камері в діапазоні не більше 2 ° С.

Режим зберігання, встановлений для кожного помологічного сорту постійний протягом усього періоду зберігання і протягом першого місяця з дня виходу камери на заданий режим температура повітря в камері повинна бути 2-4 ° С, другого місяця 1-3 ° С, наступних місяців зберігання 0-2 ° С.

Температура повітря в холодній точці вільного простору корисного об'єму камери повинна бути не нижче зазначеного в табл.1 нижньої межі температури повітря в камері для даного помологічного сорту.

Відносна вологість повітря в камері повинна бути 90-95%. За відносну вологість повітря в камері приймається середнє арифметичне результатів визначень, отриманих в контрольних точках в кожному циклі вимірювань.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносна вологість повітря в "холодній" точці вільного простору корисного об'єму камери повинна бути не вище 96%.

Циркуляцію повітря в камері здійснюють в період охолодження безперервно з кратністю від 30 до 40 обсягів незавантаженої камери в 1 ч. Після закінчення періоду охолодження (через 3 доби після досягнення заданого температурного режиму) циркуляцію повітря виробляють періодично по одній годині з кратністю від 10 до 20 обсягів незавантаженої камери в годину при загальній тривалості не більше 6 годин на добу.

Обмін повітря в камерах здійснюють через повітроохолоджувач або нагрівальні прилади в перші два тижні зберігання щодня, а наступний період - через кожну добу. Кількість додається зовнішнього повітря - від 1 до 3 обсягів незавантаженої камери на добу.

Після закінчення зберігання або під час вивантаження капусти з камери забезпечують умови, що виключають конденсацію вологи на їх поверхні, наприклад, обдувають капусту теплим повітрям, доводячи температуру їх поверхні до значень на 0,5-1,5 ° С вище температури точки роси повітря приміщення, в яке вони вивантажуються.

При вивантаженні капусти з камери безпосередньо в рефрижераторне транспортний засіб їх утеплення не проводять.

## МЕТОДИ КОНТРОЛЮ

### Контроль якості капусти

Якість капусти перевіряють візуально після закінчення періоду охолодження, далі - не менше двох разів на місяць.

Для прогнозування стійкості капусти до хвороб (при зберіганні понад 4 міс), починаючи з другої половини призначеного строку зберігання, щомісяця від кожної партії відбирають не більше 2 кг плодів, витримують при температурі 18-20 ° С протягом 5 діб, після чого для визначення дефектів м'якоті капусти розрізають.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захворювання капусти, що виникають при зберіганні, - згідно з додатком 2.

Для визначення масової концентрації сухих розчинних речовин в клітинному соку капусти з партії, призначеної для промислової переробки, після закінчення періоду охолодження і далі - через кожні два тижні відбирають не більше 1 кг плодів. Метод визначення цього показника - по ГОСТ 27572.

Результати контролю якості капусти оформляють актом, на підставі якого приймають рішення про можливість подальшого зберігання.

Контроль умов і режимів зберігання

При контролі умов і режимів зберігання капусти перевіряють:

- 1) шляхом зовнішнього огляду технічний і санітарний стан камери, справність і наявність свідоцтв (клейм або протоколів) про перевірку контрольно-вимірювальних приладів, що забезпечують вимір значень параметрів умов і режимів зберігання;
- 2) за допомогою засобів вимірювань температуру і відносну вологість повітря в контрольних точках вільного простору корисного об'єму камери.

Кількість контрольних точок температури повітря у вільному просторі корисного об'єму камери повинно бути не менше трьох.

Перша і друга контрольні точки повинні бути розташовані в зонах, що мають мінімальне ( "холодна" точка) і максимальне ( "тепла" точка) значення температури.

Третя контрольна точка повинна бути розташована в середині центрального або бічного (в камері шириною до 12 м) проходу на висоті 1,5-1,6 м від рівня підлоги.

Примітка. Розташування "теплою" і "холодної" точок у вільному просторі корисного об'єму камери вказують в проектної та експлуатаційної документації на цю камеру або вносять в документацію за результатами атестації камери.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносну вологість повітря в вільному просторі корисного об'єму камери контролюють в першій і третій контрольних точках по п.5.2.2.

Контроль фізичних умов і режимів зберігання капусти слід проводити не рідше двох разів на добу. При наявності дистанційних засобів контролю - не рідше, ніж через кожні 2 ч. Результати спостережень записують в журнал.

Контроль умов і режимів зберігання слід здійснювати за допомогою стандартизованих засобів вимірювань і контролю, які пройшли державну або відомчу перевірку по ГОСТ 8.513 \*, результати якої оформлені в установленому порядку.

Похибка вимірювання значень температури повітря в контрольних точках не повинна перевищувати  $\pm 0,5$  ° С.

Похибка визначення (вимірювання) значень відносної вологості повітря в контрольних точках не повинна перевищувати  $\pm 3\%$ .

Застосовувані первинні вимірювальні перетворювачі засобів вимірювань температури повинні бути стійкі до впливу підвищеної вологості не менше ніж протягом сезону зберігання.

В якості засобів вимірювань відносної вологості повітря слід застосовувати психрометри або пьезосорбційні гігрометри.

Засоби вимірювання, що рекомендуються для застосування при контролі умов і режимів зберігання, наведені в додатку 3.

Допускається застосовувати також інші стандартизовані засоби вимірювань, похибки яких в інтервалах температури і вологості, встановлених цим стандартом.

Порядок і методики вимірювань контрольованих параметрів умов і режимів зберігання - по проектної та (або) експлуатаційної документації на камеру. У разі їх відсутності в цій документації вони повинні бути розроблені і атестовані з ГОСТ 8.010 \*.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Моркву можна зберігати в ящикових піддонах, ящиках, мішках або навалом. Навалом рекомендована висота насипу 2-3 метра. При зберіганні в мішках максимальна висота штабеля 3 метри. Температура зберігання повинна підтримуватися в межах  $0 \dots + 5 \text{ }^\circ \text{C}$ . Оптимальна температура зберігання  $0 \dots + 1 \text{ }^\circ \text{C}$ . Відносна вологість від 95 до 98%. У камерах з примусовою системою вентиляції (без штучного охолодження), в яких температура змінюється від  $+1$  до  $+ 5 \text{ }^\circ \text{C}$ , відносна вологість повітря повинна підтримуватися в межах від 90 до 95%.

Циркуляція повітря повинна забезпечувати можливість підтримки температури і відносної вологості повітря постійними і рівномірними. Циркуляція повітря повинна бути досить інтенсивною, тобто від 100 до 120  $\text{м}^3/\text{т}$  за годину, якщо морква зберігають навалом, а висота насипу може наближатися до встановленого максимального значення. Середній термін лежкості при зберіганні - 4..6 місяців.

Після закінчення повного завантаження камери температуру повітря в ній доводять до  $0 \dots + 1 \text{ }^\circ \text{C}$  не більше ніж за добу, а потім підтримують в цих межах до закінчення зберігання. Температура повітря в "холодній" точці вільного простору корисного об'єму камери повинна бути не нижче  $-1 \text{ }^\circ \text{C}$ . Відносна вологість повітря в камері повинна бути 90-95%.



*Рис. 1 Камера зберігання моркви*

Після закінчення охолодження (через 5 діб після досягнення заданого температурного режиму) циркуляцію проводять періодично по 0.5 години з

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

кратністю не більше 6 обсягів незавантаженої камери в 1 ч при загальній тривалості не більше 3 години на добу.

Періодичну циркуляцію здійснюють при відхиленні температури і відносній вологості повітря від встановлених. Повітряно-обмін в камері здійснюють через повітроохолоджувач або нагрівальні прилади: в період охолодження - щодоби, в наступний період - через кожні 3 доби. Кількість додається зовнішнього повітря - 2-3 обсягу незавантаженої камери на добу.

Після закінчення зберігання або під час вивантаження моркви з камери забезпечують умови виключають конденсацію вологи на її поверхні, наприклад, обдувають морква теплим повітрям, доводячи температуру її поверхні до значень на 0.5-1.5 ° С вище температури точки роси повітря приміщення, в яке вона вивантажується.

Термін реалізації моркви після зняття зі зберігання - не більше 10 діб. На підприємствах торгівлі морква зберігають в закритих вентилятованих приміщеннях при температурі 0 .. + 10 ° С включно не більше 3 діб, понад + 10 ° С не більше 2 діб. Вологість 85-90%.

На даному етапі зберігання оптимальною є наступна температура повітря, що поступає:

Для картоплі – від 12 до 18°C

Для коренеплодів від 7 до 13°C (якщо продукція, що поступає, нижче 7°C необхідно використовувати охолодження до температури зберігання)

Охолоджене повітря на даному етапі подається періодично від чотирьох до шести разів на добу по 20-30 хвилин через рівні тимчасові проміжки. Важливо витримувати швидкість потоку повітря, що знаходиться в діапазоні від 0,12 до 0,5 м/с (режим вентиляції уточнюється для кожного конкретного випадку).

У сховищах тих, що мають велику висоту завантаження, не обладнаними спеціалізованими системами примусової вентиляції процеси

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						19
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

загоєння проходять у край поволі. Пояснюється це виникненням плівки з продуктів обміну ( $H_2O+CO_2$ ), що перешкоджає вільному доступу кисню до пошкодженої ділянки. Повітряний потік, що омиває продукт, порушує цю плівку, слідством є вільний доступ кисню до пошкодженої поверхні. Проте, при значних відхиленнях швидкості потоку від тієї, що рекомендується походить пересихання пошкодженої поверхні плоду, здатної привести до тріщин (протікання процесів загоєння стає неможливим).

У разі, коли продукція, що поступає, через низку обставин, прибрана раніше покладеного терміну наявність правильно спроектованих систем активної вентиляції дозволяє збільшити термін зберігання за рахунок зміцнення непошкоджених тканин плоду.

Метою періоду охолодження продукції є поступове зниження температури овочів до такого рівня, при якому пригноблюється розвиток фітопатогенних мікроорганізмів, але не виникають низькотемпературні порушення знижуючи споживчі властивості продукту.

Важливим параметром періоду охолодження є швидкість охолодження овочів. Даний показник впливає як на термін зберігання продукції, так і на якість товару, що зберігається. Оптимальна швидкість охолодження для картоплі складає  $0,25^{\circ}C$  в добу (при збільшенні швидкості охолодження спостерігаються функціональні розлади м'якоті, що виявляються почорнінням).

Для коренеплодів швидкість охолодження повинна бути істотно вище, оскільки при тривалому прибутті в діапазоні температур від  $3$  до  $5^{\circ}C$  зростає вірогідність розвитку захворювань, а так само значному природному спаду маси продукту.

Охолодження лука так само слід проводити в стислі терміни щоб уникнути втрат маси продукту викликаного диханням.

В період основного зберігання за допомогою активного вентилявання з маси овочів видаляють тепло, що виділяється, і продукти обміну. Основним

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		20

чинником, що відповідає за якість картоплі і овочів, є температура зберігання. Слід враховувати істотне зниження тепловиділення в період зберігання.

Оптимальною температурою зберігання є:

Для картоплі ранніх сортів з коротким періодом зберігання (Воротинський ранній, Фаленський і тд) – від 2 до 3°C;

Для картоплі з середнім періодом зберігання (Вогник, Форан, і тд.), а так само для картоплі з довгим періодом зберігання (Улюбленець, Разваристий, Лорх і тд.) оптимальна температура зберігання від 3 до 4°C.

Температура зберігання брудної картоплі а так само ураженого фітофторозом повинна бути від 1 до 2°C або нижче.

Для насінної картоплі діапазон зберігання лежить в межах від 1 до 3°C.

Проте, вказані температури зберігання в деяких випадках негативно позначаються на органолептичних властивостях продукту.

Промислові обсяги врожаю часнику рекомендується зберігати в складських камерах, оснащених кондиціонуючим і холодильним обладнанням, при постійній підтримці рівня:

температури - в межах -1°C, -3°C;

відносної вологості мікроклімату - 75%;

інтенсивності циркуляції повітря - від 2 до 4 обсягів приміщення за годину.

При дотриманні зазначеного комплексу умов продукція зможе успішно зберігатися до року, при втратах не більше 4%.

Часто початківців фермерів цікавить, як зберігати часник при відсутності обладнаних складських потужностей. Продукцію можна успішно зберігати в вентиляльованих приміщеннях на стелажних полицях, розподіливши шаром 20-40 см, або в пливчастих контейнерах по 10-12 кг, розміщених з урахуванням забезпечення ефективної циркуляції повітря. Після закладки допускається короткочасне зберігання при 10 ° С і вологості 50-70%. Далі необхідно підтримувати температурний режим в рамках -1, -3° С і рівень вологості 65-70%.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						21
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі умови дозволяють впевнено зберегти більше 70% врожаю протягом року. При тривалому зберіганні часнику слід приділяти особливу увагу сортової технології його зберігання. На тривале зберігання в неохолоджувані сховища слід закладати тільки ярові сорти часнику і підтримувати відносну вологість повітря на рівні не вище 75%. У цих умовах ярої часник задовільно зберігається 5-6 місяців, озимий - 3-4, що пов'язане з його біологічними і сортовими особливостями. Озимі сорти часнику швидко виходять зі стану спокою. Втрати за рахунок шлюбу і втрати маси в цих типах сховищ зростають більш ніж на 25%. В охолоджуваних сховищах вирішальний вплив на збереження часнику надає стабільність температурного режиму; відхилення від оптимальних температур викликає втрати як за рахунок шлюбу, так і за рахунок зменшення маси. Найбільш високе збереження забезпечується при температурному режимі від -2°C до -5°C. підвищення температури до 0 ... + 1°C викликає різке збільшення втрат, а підвищення її до + 2 ... + 3°C і більш різко знижує безпеку продукції, викликаючи збільшення втрат як за рахунок убутку маси, так і за рахунок абсолютного браку.

Вид упаковки, характер укладання упаковки на піддоні і самих піддонів в штабель, планування штабелів на вантажній площі камер і їх габарит, тип системи повітрярозподілу і умови обслуговування системи, що охолоджує, є визначальними чинниками у вирішенні проблеми гарантованого збереження якості продукції.

В даний час для станцій попереднього охолодження використовують легкі будівельні конструкції, із застосуванням як будівельно-ізоляційні елементи сендвіч-панелей, що є пінополіуретановими секціями в металевій сорочці.

Як холодильна машина використовуються контейнерні машинні відділення, або децентралізованне устаткування, або в окремому приміщенні, що виконує роль машинного відділення вмонтовується спеціально виготовлена під задані умови агрегатована мультисистема.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						22
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер

Вихідні дані для розрахунку:

Холодильник для зберігання овочів (відповідно до ГОСТ 4427-82 і ГОСТ 4428-82, а також Рекомендації в галузі зберігання рослинницької продукції ( USA, University of Wisconsin, The Ohio State University) («VEGETABLE CROP HANDBOOK 2009» та ін.) приймаємо температуру в камері при зберігання капусти ( $G=500$  тон,  $t_k=2$  °C,  $\phi_k=0.9$ ), картоплі ( $G=150$  тон,  $t_k=1$  °C,  $\phi_k=0.9$ ), моркви ( $G=150$  тон,  $t_k=1$  °C,  $\phi_k=0.9$ ), буряка ( $G=150$  тон,  $t_k=1$  °C,  $\phi_k=0.9$ ) та часник ( $G=150$  тон,  $t_k=-1$  °C,  $\phi_k=0.9$ ), розташований в м. Одеса (відповідно до табл.6 [3] приймаємо розрахункову температуру зовнішнього повітря  $t_n=32$ °C, відносну вологість повітря  $\phi_n=0.76$ ).

### 2.1 Розрахунок площ зберігання вантажу

Приймаємо норму завантаження для зберігання капусти в ящиках  $g_w=0.5$  т/м<sup>3</sup>. Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=500/0.5=1000$  м<sup>3</sup>.

Приймаємо норму завантаження для зберігання картоплі в мішках  $g_w=0.4$  т/м<sup>3</sup>. Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375$  м<sup>3</sup>.

Приймаємо норму завантаження для зберігання буряка в ящиках  $g_w=0.4$  т/м<sup>3</sup>. Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375$  м<sup>3</sup>.

Приймаємо норму завантаження для зберігання моркви в ящиках  $g_w=0.4$  т/м<sup>3</sup>. Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375$  м<sup>3</sup>.

Приймаємо норму завантаження для зберігання часника в ящиках  $g_w=0.4$  т/м<sup>3</sup>. Тоді вантажний об'єм складе:  $V_{гр}=G/g_w=150/0.4=375$  м<sup>3</sup>.

При розрахунку вантажної площі камер приймаємо, що висота вантажу складає  $h_{гр}=4$  м при будівельній висоті  $h_{стр}=6$  м. Тоді вантажна площа:

$$F_{гр}=V_{гр}/h_{гр}=1000/4=250 \text{ м}^3 \text{ – капуста}$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						23
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{картопля}$$

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{буряк}$$

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{морква}$$

$$F_{гр} = V_{гр} / h_{гр} = 375 / 4 = 94 \text{ м}^3 - \text{часник}$$

Приймаємо коефіцієнт використання будівельної площі  $\beta_F = 0.8$ , тоді будівельна площа камер:

$$F_{стр} = F_{гр} / \beta_F = 250 / 0.95 = 260 \text{ м}^2$$

$$F_{стр} = F_{гр} / \beta_F = 94 / 0.85 = 110 \text{ м}^2$$

$$F_{стр} = F_{гр} / \beta_F = 94 / 0.85 = 110 \text{ м}^2$$

За необхідною площею вибираємо 1 камеру  $18 \times 12$  м для зберігання капусти і по одній камері  $9 \times 12$  м для зберігання моркви, картоплі та буряка та одну камеру  $6 \times 27$  м часника.

## 2.2 Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож

Нормативні коефіцієнти теплопередачі огорож камер схову визначаємо по емпіричних залежностях [3].

Температури в камерах схову картоплі і часника відрізняються трохи, тому всі розрахунки проводимо тільки по температурі зберігання картоплі.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$K_{нс} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.1)$$

$$K_{нс} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+2)} = 0.4 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем:

$$K_{чп} = 1.05 K_{нс} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.2)$$

$$K_{чп} = 1.05 \cdot 0.4 = 0.42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок:

$$K_{вс} = 1.18 K_{нс} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (2.3)$$

$$K_{вс} = 1.18 \cdot 0.4 = 0.47 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						24
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина ізоляційного шару:

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{из} \quad [M] \quad (2.4)$$

де  $K$  – відповідний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К);

$\alpha_n, \alpha_k$  – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторін огорожі Вт/(м²К);

$\delta_i$  и  $\lambda_i$  – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару;

$\lambda_{из}$  – розрахункове значення коефіцієнта теплопровідності вибраного ізоляційного матеріалу огорожі, Вт/(м·К).

Визначаємо дійсний коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.1 – Конструкція зовнішніх стін

Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/(м·К)
1. Штукатурка складним розчином по металевій стінці	0.02	0.98
2. Теплоізоляція з пенополіуретану	?	0.022
3. Пароізоляція – два шару гідроізола на бітумній основі	0.004	0.3
4. Штукатурка цементно-піщана	0.02	0.93
5. Кладка цегляна на цементному розчині	0.38	0.81
6. Штукатурка складним розчином	0.02	0.93

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=23$  Вт/(м²К), для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м²К),  $k_{нс}=0.4$  Вт/(м²К)

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из} = (1/0.43 - (1/23 + 0.02/0.98 + 0.004/0.3 + 0.38/0.81 + 0.02/0.93 + 1/9)) \cdot 0.022 = 0.058 \text{ м, приймаємо } \delta_{из} = 0.08 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{нс} = 1 / (1/23 + 1/9 + (0.02 + 0.013 + 0.022 + 0.469 + 0.22 + 0.1/0.08)) = 0.34 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Товщина зовнішньої стінки:  $\delta = 0.524 \text{ м}$ .

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для стелі.

Таблиця 2.2 – Конструкція стелі

Найменування і матеріал шаруючи	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м·К
1. 5 шарів гідроізола на бітумній мастиці	0.012	0.3
2. Стягування з бетону по металевій сітці	0.04	1.86
3. Пароізоляція (шар пергаміну)	0.001	0.15
4. Плиткова теплоізоляція – ПСБ-С	?	0.05
5. Залізобетонна плита покриття	0.035	2.04

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ , для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k = 9 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ ,  $k_{чп} = 0.42 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из} = (1/0.42 - (1/23 + 0.012/0.3 + 0.04/1.86 + 0.001/0.15 + 0.035/2.04 + 1/9)) \cdot 0.05 = 0.099 \text{ м, приймаємо } \delta_{из} = 0.1 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{чп} = 1 / (1/23 + 1/9 + (0.079 + 0.1/0.05)) = 0.42 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Товщина стелі:  $\delta = 0.188 \text{ м}$ .

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		26

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 2.3 – Конструкція внутрішніх стін

Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м·К
1.Залізобетон плита	0.08	1.86
2.Пароізоляція - два шару гідроізола на бітумній основі	0.004	0.3
3. Теплоізоляційна плита з пенополіуретану	?	0.022
4. Штукатурка складним розчином	0.02	0.98

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=8$  Вт/(м<sup>2</sup>К) для коридору, для камер з примусовою циркуляцією  $\alpha_k=9$  Вт/(м<sup>2</sup>К),  $k_n=0.47$  Вт/м<sup>2</sup>·К.

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из}=(1/0.47-(1/9+0.08/1.86+0.004/0.3+0.02/0.98+1/8))\cdot 0.022=0.055 \quad \text{м,}$$

приймаємо  $\delta_{из}=0.08$  м.

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{0д}=1/(1/8+0.08/1.86+0.004/0.3+0.02/0.98+0.08/0.022+1/9)=0.43 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К.}$$

Товщина внутрішньої стінки:  $\delta=0.184$  м.

### 3 Визначення теплового навантаження камер

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування:

$$Q_0=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5, \text{ Вт} \quad (3.1)$$

$Q_1$  – теплопритоки через огорожі;

$Q_2$  – теплопритоки від холодильної обробки вантажів;

$Q_3$  – теплопритоки, пов'язані з вентиляцією приміщень;

$Q_4$  – експлуатаційні теплопритоки;

$Q_5$  – теплопритоки від дихання охолоджених плодів.

#### 3.1 Розрахунок теплопритоків через огорожі

У загальному випадку для будь-якої огорожі теплоприток через огорожу розраховується по формулі:

$$Q_1 = kF(\Delta t + \Delta t_c), \text{ Вт}, \quad (3.2)$$

де  $k$  – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі Вт/(м<sup>2</sup>К);

$F$  – площа огорожі м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою камери;

$\Delta t_c$  – різниця температур від дії сонячного випромінювання.

$$\Delta t_c = p \cdot (q_c \cdot \varepsilon_c / \alpha_n) \quad (3.3)$$

де  $p$  – коеф. проникнення, залежить від масивності огорожі;

$q_c$  – розр. напруга сон. випромінювання для літнього періоду Вт/м<sup>2</sup>;

$\varepsilon_c$  – коеф. поглинання сон. випромінювання поверхнею огорожі;

$\alpha_n$  – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні в навколишнє середовище, Вт/(м<sup>2</sup>К).

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						28
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Із-за навісів теплопритоки від сонячної радіації до зовнішніх стін відсутні. Вибираємо коефіцієнти для стелі з оцинкованого заліза  $\varepsilon=0.65$ , легка конструкція  $p=1$ . Для  $50^\circ$  південної широти для горизонтального плоского даху вибираємо  $q_c=789 \text{ Вт/м}^2$ ,  $\alpha_n=23 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ .

Визначаємо різницю температур від сонячного випромінювання для покриття камер:  $\Delta t_c=1 \cdot 789 \cdot 0.65/23=22.3 \text{ }^\circ\text{C}$

Підлога у камерах схову картоплі не обігрівается, тому визначення теплопритоків через ґрунт ведеться позоно:

$$Q_{\Pi} = (t_n - t_k) \sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i \quad [\text{Вт}] \quad (3.4)$$

де  $F_i$  – площі відповідних зон,  $\text{м}^2$ ;

$k_{yc}$  – коефіцієнт теплопередачі зони,  $\text{Вт/(м}^2\text{К)}$ ;

Розрахунок ведемо для площ тих, що потрапили у відповідну зону. Для обліку компенсації збільшення щільності теплового потоку площу першої зони збільшуємо на  $4 \text{ м}^2$  (один кут).

Коефіцієнти теплопровідності в зони 1,2,3,4-у відповідно:

$K_{ym}=0.48;0.24;0.12;0.07 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$

Таблиця 3.1 – Розрахунок підлоги по зонах

	1-я зона, $F_1, \text{ м}^2$	2-я зона, $F_1, \text{ м}^2$	3-я зона, $F_1, \text{ м}^2$	4-я зона, $F_1, \text{ м}^2$	$\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{ Вт/К}$
Камера №1	42	30	22	18	31.26
Камера №2	42	30	22	18	31.26
Камера №3	42	30	22	18	31.26
Камера №4	48	34	26	22	33.26
Камера №5	54	28	20	16	36.6

Підлога у камері схову часника обігрівается за допомогою електрообігріву при температурі  $+1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таблиця 3.2 – Теплопритоки через огорожі

Камера №1		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,34	54	1	31	0	550
	Захід	0,47	72	1	31	0	1015
	Південь	0,47	54	1	18	0	432
	Схід	0,47	72	1	1	0	0
	Підлога	Кусл	108	1	31	0	938
	Стеля	0,42	108	1	31	22,3	2367
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						
Камера №2		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,34	54	1	31	0	550
	Захід	0,47	72	1	1	0	0
	Південь	0,47	54	1	18	0	432
	Схід	0,34	72	1	1	0	0
	Підлога	Кусл	108	1	31	0	938
	Стеля	0,42	108	1	31	22,3	2327
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						
Камера №3		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,34	54	1	31	0	550
	Захід	0,47	72	1	1	0	0
	Південь	0,47	54	1	18	0	432
	Схід	0,34	72	1	2	0	25
	Підлога	Кусл	108	1	31	0	938
	Стеля	0,42	108	1	31	22,3	2327
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						
Камера №4		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,47	108	2	31	0	1472
	Захід	0,47	72	2	1	0	34
	Південь	0,34	108	2	18	0	588
	Схід	0,47	72	2	31	0	643
	Підлога	Кусл	216	2	31	0	1211
	Стеля	0,42	216	2	31	22,3	4654
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						
Камера №5		К, Вт/(м²К)	F, м²	tk, °C	tn, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
	Північ	0,47	162	-1	18	0	1447
	Захід	0,47	54	-1	18	0	482
	Південь	0,34	162	-1	31	0	1763
	Схід	0,47	54	-1	18	0	482
	Підлога	0,48	162	-1	1	0	1151
	Стеля	0,42	162	-1	31	22,3	3695
	Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						

Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6

Арк.

30

Всі розрахунки проводимо по двох режимах: первинне охолодження вантажу і подальше його тривале зберігання.

### 3.2 Розрахунок теплопритоков від вантажів при їх холодильній обробці

Теплопритоки від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

$$Q_2=(Q_{2гр}+Q_{2тары})\cdot(\tau_{ц}/\tau_p) \text{ [Вт]}, \quad (3.5)$$

де  $Q_{2гр}$  – теплопритоки від добового надходження овочів, Вт;

$Q_{2тары}$  – теплопритоки від тари, що поступає з вантажем, Вт;

$\tau_{ц}$  – тривалість циклу холодильної обробки, з урахуванням завантаження і вивантаження продукту час;

$\tau_p$  – час, в перебігу якого споживається холод, год;

$$Q_{2гр}= E\cdot(h_1-h_2) \text{ [Вт]}, \quad (3.6)$$

де  $h_1, h_2$  – ентальпія овочів при початковій і кінцевій температурі, відповідно, кДж/кг;

$E$  – ємність камери, кг. Ємність по капусти 500 т, з розрахунку ємності 3-х камер в кожній розміщується 150 т вантажу. Ємність по часнику 150 т.

Овочі поступають на зберігання при температурі навколишнього середовища в період збору урожаю (орієнтування приймаємо 20 °С). Під час вступу овочів камера завантажується повністю, потім в перебігу декількох тижнів температура вантажу поступово знижується до температури тривалого зберігання. Виходячи з особливостей охолодження, приймаємо максимальне зниження температури вантажу в перебігу доби 1 °С. Тоді максимальний теплоприток від вантажу розраховуватиметься виходячи із зниження температури від 20 °С до 19 °С. Для овочів різниця ентальпій складе  $\Delta h=4$  кДж/кг.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

Зберігання відбувається в дерев'яних закритих гратчастих ящиках 622\*396\*168 (маса тари 3 кг, місткість 15 кг). Ящики укладаються на плоскі дерев'яні піддони 800\*1200\*150 (маса 20 кг), утворюючи пакети 1268\*800\*1326 (28 ящиків в пакеті). Штабелювання пакетів відповідно до схеми, по 3 пакети у висоту, в камері 300 пакетів. Таким чином, всього в камері при повному завантаженні:

$$G=300 \cdot 28 \cdot 15=126000 \text{ кг}$$

При цьому маса тари ящиків:

$$G_T=300 \cdot 28 \cdot 3=25200 \text{ кг.}$$

При зберіганні фрукти приходять з рефрижераторів з температурою 8 °С по 10% від загального завантаження камери в добу.

Теплопритоки від холодильної обробки вантажу розраховують по формулі:

$$Q_2=Q_{2гр}+Q_{2тары} \text{ [Вт]}, \quad (3.4)$$

де для камери схову  $Q_{2гр}$  – теплопритоки від добового надходження фруктів, Вт.

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot G \cdot (h_1-h_2) \text{ [Вт]}, \quad (3.5)$$

де  $h_1, h_2$  – ентальпія фруктів при температурі рефрижератора і камери схову, відповідно, кДж/кг.

Камера 1, 2 та 3

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot 150000 \cdot (302-279)/(3.6 \cdot 24)=3993 \text{ Вт.}$$

Камера 4

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot 350000 \cdot (302-279)/(3.6 \cdot 24)=9317 \text{ Вт.}$$

Камера 5

$$Q_{2гр}=0.1 \cdot 200000 \cdot (302-279)/(3.6 \cdot 24)=5324 \text{ Вт.}$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						32
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$Q_{2\text{тари}}$  – теплопритоки від тари, що поступає з вантажем, Вт.

$$Q_{2\text{тари}}=0.1 \cdot G_{\text{T}} \cdot C_{\text{T}} \cdot (t_1-t_2) \quad [\text{Вт}], \quad (3.6)$$

де  $C_{\text{T}}$  – теплоємність тари, кДж/(кг·К);

$t_1, t_2$  – температура тари в рефрижераторі і камері схову, відповідно, °С.

$$Q_{2\text{тари}}=0.1 \cdot 25200 \cdot 2.5 \cdot (8-2)/(3.6 \cdot 24)=437,5 \text{ Вт.}$$

Загальний теплоприток від обробки вантажу:

Камера 1, 2 та 3

$$Q_2=3993+437=4430 \text{ Вт}$$

Камера 4

$$Q_2=9317+437=9754 \text{ Вт}$$

Камера 5

$$Q_2=5324+437=5761 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання  $Q_2=0$

### 3.3. Розрахунок теплопритоків при вентиляції камери

Теплопритоки від вентиляції камери визначаються по формулі:

$$Q_3=V_{\text{стр}} \cdot a \cdot \rho_{\text{к}} \cdot (h_{\text{н}}-h_{\text{к}}) \quad [\text{Вт}], \quad (3.8)$$

де  $V_{\text{стр}}$  – будівельний об'єм камери м<sup>3</sup>,  $V_{\text{стр}}=12 \cdot 9 \cdot 6=648 \text{ м}^3$ ;

$a$  – кратність повітрообміну в добу, у режимі охолодження приймаємо  $a=6$ , в режимі зберігання  $a=3$ ;

$\rho_{\text{к}}$  – щільність повітря при температурі і відносній вологості камери, кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{\text{к}}=1.016 \text{ кг/м}^3$ ;

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		33

$h_n, h_k$  – ентальпії повітря при температурі зовнішньої і камери, кДж/кг,  $h_n=74$  кДж/кг,  $h_k=12$  кДж/кг.

Теплоприток від вентиляції:

у режимі охолодження:  $Q_3=1296 \cdot 6 \cdot 1.016 \cdot (74-12)/(3.6 \cdot 24)=5669$  Вт

у режимі зберігання:  $Q_3=1296 \cdot 3 \cdot 1.016 \cdot (74-12)/(3.6 \cdot 24)=2835$  Вт.

### 3.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

До експлуатаційних теплопритоків відносяться теплопритоки від людей, що працюють в приміщенні, від освітлення камери, від електродвигунів повітроохолоджувачів і допоміжного устаткування, інфільтрація через двері камери.

Сумарні експлуатаційні теплопритоки визначаються по формулі:

$$Q_4=Q_4'+Q_4''+Q_4''' +Q_4'''' \quad [\text{Вт}], \quad (3.10)$$

де  $Q_4'$  - теплопритоки от ел. освітлення, Вт;

$Q_4''$  - теплопритоки от електродвигунів, Вт;

$Q_4'''$  - теплопритоки от працюючих людей, Вт;

$Q_4''''$  - теплопритоки при відкритті дверей, Вт.

Теплоприток від електричного освітлення визначається по формулі:

$$Q_4'=q_4' \cdot j_{св} \cdot F_{стр} \quad [\text{Вт}], \quad (3.11)$$

де  $q_4'$  – норма щільності освітлення, приймаємо 3 Вт/м<sup>2</sup>;

$j_{св}$  – коефіцієнт одночасності роботи світильників, приймаємо  $j_{св}=0.5$  в режимі охолодження,  $j_{св}=0.3$  в режимі зберігання.

Теплоприток від освітлення:

$$Q_4'=3 \cdot 0.5 \cdot 72=108 \text{ Вт}$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						34
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

у режимі охолодження:  $Q_4' = 3 \cdot 0.5 \cdot 702 = 1053$  Вт

у режимі зберігання:  $Q_4' = 3 \cdot 0.3 \cdot 702 = 632$  Вт

Теплоприток від електродвигунів повітроохолоджувачів визначаємо по формулі:

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \cdot \sum N_{\text{дв}} \text{ [Вт]}, \quad (3.12)$$

де  $j_{\text{дв}}$  – коефіцієнт одночасності роботи, в режимі охолодження приймаємо  $j_{\text{дв}} = 0.5$ , в режимі зберігання приймаємо  $j_{\text{дв}} = 0.25$ ;

$\sum N_{\text{дв}}$  – розрахункова потужність ел.дв., Вт.

Оскільки холодильник знаходиться на стадії проектування і потужність електродвигунів апаратів, встановлених в камері, є величиною невідомою, то орієнтовано  $\sum N_{\text{дв}}$  можна розрахувати по формулі:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot m \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (3.13)$$

де  $m$  – коефіцієнт відношення потужності електродвигуна до його холодопродуктивності, при холодильній обробці приймаємо  $m = 0.23$ , У режимі зберігання  $m = 0.08$ .

У режимі охолодження:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (5300 + 4430 + 5669) = 4250 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (8602 + 5761 + 5669) = 5529 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (9020 + 4430 + 5669) = 5277 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (5300 + 4430) = 935 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (8602 + 5761) = 1379 \text{ Вт}$$

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (9020 + 9754) = 1803 \text{ Вт}$$

Визначаємо теплоприток від електродвигунів апаратів:

У режимі охолодження:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						35
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_4''=0.5 \cdot 4250=2125 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.5 \cdot 5529=2765 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.5 \cdot 5277=2639 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$Q_4''=0.3 \cdot 935=281 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.3 \cdot 1379=414 \text{ Вт}$$

$$Q_4''=0.3 \cdot 1803=541 \text{ Вт}$$

Теплопритоки від людей, що працюють в камері, визначаються по формулі:

$$Q_4'''=(270-6 \cdot t_k) \cdot n \text{ [Вт]}, \quad (3.14)$$

де  $n$  – кількість людей, що працюють в камері, приймаємо  $n=2$  при площі менше  $200\text{м}^2$ .

Визначуваний теплоприток від людей:

$$Q_4'''=(270-6 \cdot 2) \cdot 2=516 \text{ Вт.}$$

Теплопритоки від інфільтрації через двері визначаються по формулі:

$$Q_4''''=V \cdot F_{\text{стр}} \text{ [Вт]}, \quad (3.15)$$

де  $V$  – витрати холоду при відкритті дверей  $\text{Вт/м}^2$ , приймаємо для камер площею  $108 \text{ м}^2$  и будівельною висотою  $6 \text{ м}$  –  $V=9 \text{ Вт/м}^2$ .

Теплоприток від інфільтрації через двері:

$$Q_4''''=9 \cdot 108=972 \text{ Вт.}$$

Сумарні експлуатаційні теплопритоки:

У режимі охолодження:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						36
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_4=1053+2125+516+972=4666 \text{ Вт}$$

$$Q_4=1053+2765+516+972=5306 \text{ Вт}$$

$$Q_4=1053+2639+516+972=5180 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$Q_4=632+281+516+972=2401 \text{ кВт}$$

$$Q_4=632+414+516+972=2534 \text{ кВт}$$

$$Q_4=632+541+516+972=2661 \text{ кВт}$$

#### 4.5 Розрахунок теплопритоков від дихання охолоджених плодів

У загальному випадку для фруктосховищ теплопритоки від дихання охолоджених плодів розраховуються по формулі:

$$Q_5=q_5' \cdot G_{\text{п}} + q_5'' \cdot (E-G_{\text{п}}), [\text{Вт}], \quad (3.16)$$

де  $q_5'$  - тепловиділення плодів при температурі їх надходження в камеру, Вт/т;

$q_5''$  - тепловиділення плодів при температурі зберігання, Вт/т;

$G_{\text{п}}$  – максимальне одноразове надходження плодів в камеру, т.

При охолодженні обробляється одночасно весь вантаж, тому розрахунок ведемо по формулі

$$Q_5=q_5' \cdot E, [\text{Вт}], \quad (3.17)$$

де  $q_5'$  - тепловиділення плодів при температурі їх надходження в камеру, Вт/т;

Тепловиділення плодів визначаються:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						37
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_t = q_0 \cdot e^{bt} \text{ [Вт/т]}, \quad (3.18)$$

де  $q_0$  – тепловиділення плодів при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$b$  – температурний коефіцієнт швидкості дихання,  $^\circ\text{C}^{-1}$ .

Для  $t_{\text{п}}=20 \text{ }^\circ\text{C}$ :

Для картоплі –  $q_5' = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 20} = 34.3 \text{ Вт/т}$ .

Для капусти –  $q_5' = 14,5 \cdot e^{0.0778 \cdot 20} = 68.7 \text{ Вт/т}$ .

Для моркви –  $q_5' = 13,5 \cdot e^{0.1319 \cdot 20} = 76.6 \text{ Вт/т}$ .

Для буряка –  $q_5' = 13,9 \cdot e^{0.1319 \cdot 20} = 79.2 \text{ Вт/т}$ .

Для часника –  $q_5' = 11.1 \cdot e^{0.0668 \cdot 20} = 42.2 \text{ Вт/т}$ .

Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі охолодження:

Для картоплі –  $Q_5 = 34.3 \cdot 350 = 12005 \text{ Вт}$ .

Для капусти –  $Q_5 = 68.7 \cdot 150 = 10305 \text{ Вт}$ .

Для моркви –  $Q_5 = 76.6 \cdot 150 = 10724 \text{ Вт}$ .

Для буряка –  $Q_5 = 79.2 \cdot 150 = 11880 \text{ Вт}$ .

Для часника –  $Q_5 = 42.2 \cdot 200 = 8440 \text{ Вт}$ .

У режимі зберігання теплоприток розраховується від дихання всього вантажу при температурі зберігання.

Для  $t_{\text{п}}=2 \text{ }^\circ\text{C}$ :

Для картоплі при  $t_{\text{п}}=2 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $q_5' = 10 \cdot e^{0.0617 \cdot 2} = 11.3 \text{ Вт/т}$ .

Для  $t_{\text{п}}=1 \text{ }^\circ\text{C}$ :

Для капусти –  $q_5' = 14,5 \cdot e^{0.0778 \cdot 1} = 15.7 \text{ Вт/т}$ .

Для моркви –  $q_5' = 13,5 \cdot e^{0.1319 \cdot 1} = 15.4 \text{ Вт/т}$ .

Для буряка –  $q_5' = 13,9 \cdot e^{0.1319 \cdot 1} = 16.3 \text{ Вт/т}$ .

Для часника при  $t_{\text{п}}=-1 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $q_5' = 11.1 \cdot e^{0.0668 \cdot (-1)} = 10.4 \text{ Вт/т}$ . Визначаємо теплопритоки від дихання овочів в режимі зберігання: Для картоплі –  $Q_5 = 11.3 \cdot 350 = 3955 \text{ Вт}$ .

Для капусти –  $Q_5 = 15.7 \cdot 150 = 2355 \text{ Вт}$ .

Для моркви –  $Q_5 = 15.4 \cdot 150 = 2310 \text{ Вт}$ .

Для буряка –  $Q_5 = 16.3 \cdot 150 = 2445 \text{ Вт}$ .

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		38

Для часника –  $Q_5=10.4 \cdot 200=2080$  Вт.

Таблиця 3.3 – Звідна таблиця теплопритоків

		$Q_1$ , Вт	$Q_2$ , Вт	$Q_3$ , Вт	$Q_4$ , Вт	$Q_5$ , Вт	$\Sigma Q_{\text{кам}}$ , Вт
Камера№1	Охолодження	5302	4430	5669	4666	10724	30791
	Зберігання	5302	0	2835	2401	2310	12848
Камера№2	Охолодження	4246	4430	5669	4666	10305	29316
	Зберігання	4246	0	2835	2401	2355	10837
Камера№3	Охолодження	4246	4430	5669	4666	11880	30891
	Зберігання	4246	0	2835	2401	2445	11927
Камера№4	Охолодження	8602	9756	5669	5306	12005	41338
	Зберігання	8602	0	2835	2534	3955	17926
Камера№5	Охолодження	9020	5671	5669	5180	8440	33980
	Зберігання	9020	0	2835	2661	2445	16961

Таким чином, сумарне навантаження на прилади в режимі охолодження в кожній камері складає  $Q_0=34 \div 42$  кВт. Для уніфікації устаткування прилади охолодження для всіх камер підбираємо по максимальному навантаженню. У камерах, як прилади, що охолоджують, будуть використані пові-

троохолоджувачі з безпосереднім кипінням аміаку усередині труб, в кількості 2 штук в кожній камері, які забезпечать рівномірне температурно-вологове поле в процесі охолодження. Відповідно, навантаження на один апарат для камер зберігання картоплі, моркви, буряка, часника  $Q_{во}=34/2=17$  кВт, капусти  $Q_{во}=42/2=22$  кВт.

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі охолодження вантажу:  $\Sigma Q_0=30791+29316+30891+41338+33980=166316$  кВт

Сумарне навантаження на компресора системи в режимі зберігання вантажу:  $\Sigma Q_0=70499$  кВт.

Таким чином, встановлюємо паралельно 5(1) компресори з холодопродуктивністю 24,5 кВт, що мають загальну лінію всмоктування і нагнітання. У режимі охолодження вони забезпечать повний технологічний режим, а в режимі зберігання одночасно працюватиме один з них, з перемиканням по виробленню моторесурсу.

Теплове навантаження на один компресор, визначається з урахуванням втрат в системі при безпосередньому охолодженні у розмірі 6 %,  $k=1.06$ , і коефіцієнта робочого часу  $b=0.85$ :

$$Q_{0 \text{ комп}} = k \cdot Q_0 / b = 1.06 \cdot 24,5 / 0.85 = 30 \text{ кВт} \quad (3.19)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40

## 4 ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуватимуться повітряні конденсатори. Температура конденсації для повітряних конденсаторів приймається на 10-12 °С вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря:

$$t_k = 32 + 10 = 42 \text{ °C}$$

Як прилади охолодження в камерах будуть використані підвісні повітроохолоджувачі. Температура кипіння агента в таких апаратах приймається на 7-10 °С нижче за розрахункову температуру повітря в камері.

При роботі на фреоні R717, який використовуватиметься як холодильний агент, немає необхідності в додатковому перегріві на всмоктуванні, для забезпечення безпечної роботи компресорів, тому регенеративний теплообмінник в системі відсутній.

Тепловий розрахунок буде проводитися за наступними даними:

- холодильний агент – R717(аміак)
- температура кипіння R717  $t_0 = -6 \text{ °C}$ ;
- потрібна холодопродуктивність  $Q_{0 \text{ комп}} = 24.5 \text{ кВт}$ ;
- температура конденсації агента  $t_k = 42 \text{ °C}$ ;
- сумарний перегрів на всмоктуванні  $\Theta = 20 \text{ °C}$ ;
- переохолодження після конденсатора  $\Delta t_{\text{по}} = 5 \text{ °C}$ .

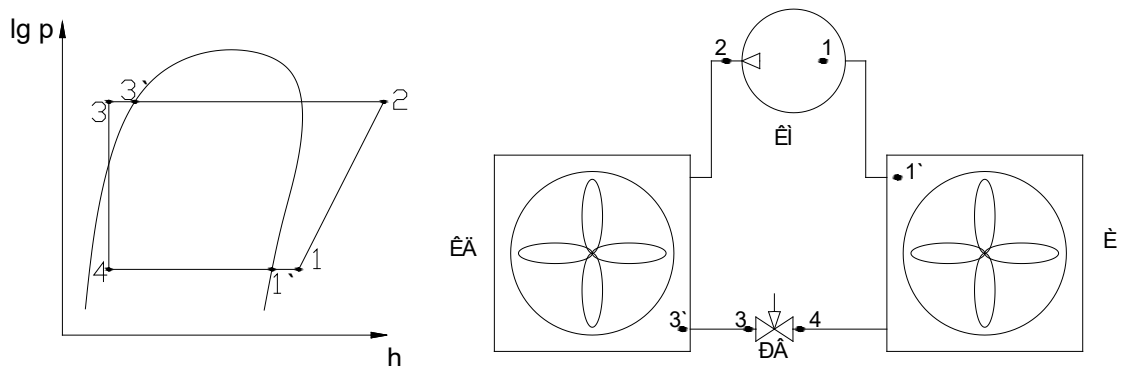


рис. 4.1 – Термодинамічний цикл і умовна схема холодильної машини

Процеси, відбиті в циклі:

1-2 – стискування в компресорі;

2-3 – конденсація;

3-4 – дроселювання агента;

4-5 – кипіння у випарнику;

1'-1 – перегрівши на всмоктуванні;

3'-3 – переохолодження після конденсатора.

Таблиця 4.1 – Розрахункові дані циклу холодильної машини

	1'	1	2	3	4
t, °C	-6	-1	80	38	-6.3
P, бар	5	5	19	19	5
h, кДж/кг	1366	1384	1413	1258	1258
v, м <sup>3</sup> /кг	-	0.045	-	-	

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_{1'} - h_4 = 1366 - 1258 = 108 \text{ кДж/кг} \quad (4.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 1108 / 0.045 = 2400 \text{ кДж/м}^3 \quad (4.2)$$

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 1413 - 1384 = 29 \text{ кДж/кг} \quad (4.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 24.5 / 108 = 0.23 \text{ кг/с} \quad (4.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.23 \cdot 0.045 = 0.01 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.5)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_c = 1 - 0.03 \cdot [(P_k/P_0)^{1/m} - 1] = 1 - 0.03 \cdot [(19/5) - 1] = 0.916 \quad (4.6)$$

$$\lambda'_w = (T_0 + \Theta) / (\alpha \cdot T_k + \beta \cdot \Theta) = (267 + 20) / (1.12 \cdot 315 + 0.5 \cdot 20) = 0.79$$

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda'_w = 0.916 \cdot 0.79 = 0.72$$

Об'єм, описаний поршнями компресора:

$$V_h = V_d / \lambda = 0.01 / 0.72 = 0.014 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.7)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \cdot l = 0.23 \cdot 29 = 6.67 \text{ кВт} \quad (4.8)$$

Індикаторний ККД компресора:

$$\eta_i = \lambda'_w + b \cdot t_0 = 0.79 - 6 \cdot 0.001 = 0.784 \quad (4.9)$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = N_a / \eta_i = 6.67 / 0.784 = 8.5 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

Потужність тертя:

$$N_{тр} = V_h \cdot P_{тр} = 0.014 \cdot 40 = 0.56 \text{ кВт}, \quad (4.11)$$

де  $P_{тр}$  - середній тиск тертя, для фреонових компресорів  $P_{тр} = 40$  кПа.

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_i + N_{тр} = 8.5 + 0.56 = 9.06 \text{ кВт} \quad (4.12)$$

Електрична потужність компресора:

$$N_{ел} = N_e / \eta_{ел} = 9.06 / 0.9 = 10.07 \text{ кВт}, \quad (4.13)$$

де  $\eta_{ел}$  - ККД електродвигуна компресора.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Результати теплового розрахунку

Параметри	
Холодопродуктивність, кВт	24.5
Температура кипіння, °С	-6
Температура конденсації, °С	42
Перегрів в випарнику °С	5
Переохолодження в конденсаторі, °С	5
Тиск кипіння/конденсації, бар	5/19
Теор. об'єм, описаний поршнями, м <sup>3</sup> /с	0.014
Ефективна потужність компресора, кВт	9.06
Електрична потужність компресора, кВт	10.07

## 5 РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА

За результатами теплового розрахунку:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 3 \cdot (24.5 + 10.1) = 100 \text{ кВт}$$

Приймаємо для відведення теплоти конденсації повітряний конденсатор з продуктивністю  $Q_k = 100 \text{ кВт}$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження:  $Q_k = 100 \text{ кВт}$

Розрахункова температура зовнішнього повітря:  $t_H = 32 \text{ }^\circ\text{C}$

Відносна вологість зовнішнього повітря:  $\varphi_H = 0.6$

Зовнішній діаметр труби:  $d = 0.022 \text{ м}$

Внутрішній діаметр труби:  $d_{\text{вн}} = 0.02 \text{ м}$

Товщина ребра:  $\delta = 0.0008 \text{ м}$

Крок ребер:  $u = 0.008 \text{ м}$

Ширина ребра:  $B = 0.044 \text{ м}$

Матеріал труб/ребер: сталь

Крок труб по ходу/проти ходу повітря:  $S_1/S_2 = 0.044/0.088 \text{ м}$

Розташування труб в пучку: шахове

Форма ребра: пластинчасте

Агент: R717

### 5.1 Тепловий розрахунок конденсатора

Приймаємо підігрів повітря в конденсаторі  $\Delta t = 5 \text{ К}$ , тоді температура повітря на виході з апарату:

$$t_2 = t_H + \Delta t = 32 + 5 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Температура конденсації для повітряних конденсаторів приймається на 10-12 К вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря:

$$t_k = 32 + 10 = 42 \text{ }^\circ\text{C}$$

Задаємося швидкістю повітря в живому перетині апарату –  $w = 8 \text{ м/с}$ .

Розраховуємо геометричні характеристики ребра:

- зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = B^2 - 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 + 4 \cdot B \cdot \delta = 0.044^2 - 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.022^2 + 4 \cdot 0.044 \cdot 0.0008 = 1.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

$$f_{тр} = \pi \cdot d \cdot (u - \delta) = 3.14 \cdot 0.022 \cdot (0.008 - 0.0008) = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

$$f_{вн} = \pi \cdot d \cdot u = 3.14 \cdot 0.022 \cdot 0.008 = 0.55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

$$f_{п} = f_p + f_{тр} = 1.7 \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot 10^{-3} = 2.2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

- коефіцієнт обребрення  $\beta$  и ступінь обребрення  $\phi_n$ :

$$\beta = f_{п} / f_{вн} = 2.2 / 0.55 = 4$$

$$\phi_n = f_{п} / f_{тр} = 2.2 / 0.5 = 4.4$$

За довідковими даними [2] вибираємо теплофізичні властивості повітря при  $t_n$ :

- кінематична в'язкість  $\nu = 16.2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda = 0.027 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;
- число Прандтля  $Pr = 0.7$ ;
- щільність  $\rho = 1.16 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- теплоємність  $c = 1.005 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Визначальний розмір для умов тепловіддачі від поверхні конденсатора до повітря для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_3=2 \cdot (S_1-d) \cdot (u-\delta) / (S_1-d+u-\delta), \text{ м} \quad (5.1)$$

$$d_3=2 \cdot (0.044-0.022) \cdot (0.008-0.0008) / (0.044-0.022+0.008-0.0008)=0.011 \text{ м}$$

Критерій Рейнольдса визначаємо по формулі:

$$Re=w \cdot d_3 / \nu \quad (5.2)$$

$$Re=8 \cdot 0.011 / 16.2 \cdot 10^{-6}=5358$$

Критерій Нуссельта для пластинчастого ребра визначаємо по формулі:

$$Nu=0.178 \cdot [(S_1-d) / d_3]^{-0.14} \cdot Re^{0.6} \quad (5.3)$$

$$Nu=0.178 \cdot [(0.044-0.022) / 0.011]^{-0.14} \cdot 5358^{0.6}=27.8$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ребра до повітря визначаємо по формулі:

$$\alpha_k=Nu \cdot \lambda / d_3 \quad (5.4)$$

$$\alpha_k=27.8 \cdot 0.027 / 0.011=69.1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Умовна висота ребра для пластинчастих ребер визначаємо по формулі:

$$h^*=0.5 \cdot d \cdot (1.15 \cdot B/d-1)(1+0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot B/d)), \text{ м} \quad (5.5)$$

$$h^*=0.5 \cdot 0.022 \cdot (1.15 \cdot 0.044/0.022-1)(1+0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot 0.044/0.022))=0.018 \text{ м}$$

Для сталевих труб коефіцієнт теплопровідності стінки  $\lambda_{тр}=47 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ,  
для сталевих ребер  $\lambda_p=47 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

$$E = \tanh[(2 \cdot \alpha_k / (\delta \cdot \lambda_p))^{0.5} \cdot (h' + 0.5 \cdot \delta)] / [(2 \cdot \alpha_k / (\delta \cdot \lambda_p))^{0.5} \cdot (h' + 0.5 \cdot \delta)] \quad (5.6)$$

$$E = \tanh[(2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 47))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] / [2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 47)]^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008) = 0.91$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

$$\alpha_{пр} = \alpha_k \cdot (f_p \cdot E / f_{п1} + 1 / \varphi_H), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5.7)$$

$$\alpha_{пр} = 69.1 \cdot (1.7 \cdot 0.91 / 2.2 + 1 / 4.4) = 64.2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Розрахункові дані для визначення термічного опору шару мастила:

товщина –  $\delta_M = 0.0005 \text{ м}$ ;

коефіцієнт теплопровідності –  $\lambda_M = 0.12 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні апарату визначимо по формулі:

$$K = [(1 / \alpha_{пр} + 8 \cdot f_{п1} / (\pi \cdot (d^2 + d_{вн}^2))) \cdot (0.5 \cdot (d - d_{вн}) / \lambda_{тр} + \delta / \lambda_p + \delta_M / \lambda_M)]^{-1}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (5.8)$$

$$K = [(1 / 64.2 + 8 \cdot 2.2 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot (0.022^2 + 0.002^2))) \cdot (0.5 \cdot (0.022 - 0.02) / 47 + 0.0008 / 47 + 0.0005 / 0.12)]^{-1} = 23.8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Властивості агента (R717) визначаємо за довідковими даними [2] при визначальній температурі конденсації  $t_k$ :

- щільність конденсату  $\rho_k = 1120 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- коефіцієнт теплопровідності конденсату  $\lambda_k = 0.0756 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- коефіцієнт динамічної в'язкості конденсату  $\mu_k = 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;
- теплота паротворення  $r = 165 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

Щільність теплового потоку з боку конденсуючого холодильного агента, використовуючи загальну температуру стінки труби  $t_{ст}$ , можна виразити по формулі:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q = \beta^{-1} \cdot 0.72 \cdot [9.81 \cdot r \cdot \rho_k^2 \cdot \lambda_k^3 \cdot (\mu_k \cdot d_{BH})^{-1}]^{0.25} \cdot (t_k - t_{CT})^{-0.75}, \text{ Вт/м}^2 \quad (5.9)$$

$$q = 4^{-1} \cdot 0.72 \cdot [9.81 \cdot 165 \cdot 10^3 \cdot 1120^2 \cdot 0.0756^3 \cdot (2.2 \cdot 10^{-4} \cdot 0.02)^{-1}]^{0.25} \cdot (42 - t_{CT})^{-0.75} = 678 \cdot (42 - t_{CT})^{-0.75}$$

Щільність теплового потоку з боку повітря, використовуючи загальну температуру стінки труби  $t_{CT}$ , можна виразити по формулі:

$$q = K \cdot (t_{CT} - t_H), \text{ Вт/м}^2 \quad (5.10)$$

$$q = K \cdot (t_{CT} - t_H) = 23.8 \cdot (t_{CT} - 32)$$

Вирішуючи спільно систему рівнянь 5.9 і 5.10, визначимо шукану щільність теплового потоку через стінку:  $q = 168.2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

Повну оребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

$$F = Q_k \cdot 10^3 / q, \text{ м}^2 \quad (5.11)$$

$$F = 100 \cdot 10^3 / 168.2 = 595 \text{ м}^2$$

## 5.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат:

$$V = Q_k / (c \cdot \rho \cdot \Delta t), \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.12)$$

$$V = 100 / (1.16 \cdot 1.005 \cdot 6) = 17.15 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа «живого» перетину конденсатора:  $F_{ж} = V/w = 14.3/8 = 1.7 \text{ м}^2$

Сумарна довжина труб в апараті:  $\sum L = F_{ж} / f_{п} = 1.7 / (2.2 \cdot 10^{-3}) = 772 \text{ м}$

Площу «живого» перетину одного ребристого елемента визначимо по формулі:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_{ж} = S_1 \cdot u - (2 \cdot h \cdot \delta + d \cdot u), \text{ м}^2 \quad (5.13)$$

$$f_{ж} = 0.044 \cdot 0.008 - (2 \cdot 0.018 \cdot 0.0008 + 0.022 \cdot 0.008) = 0.1465 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Число ребристих елементів у фронтальному перетині пучка труб апарату:  $n_{рз} = F_{ж} / f_{ж} = 1.7 / 0.1465 \cdot 10^{-3} = 11604$

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\phi} = u \cdot n_{рз} = 0.008 \cdot 11604 = 92.8 \text{ м}$$

$$\text{Площа фронтального перетину апарату: } S_{\phi} = S_1 \cdot \sum L_{\phi} = 0.044 \cdot 92.8 = 4.1 \text{ м}^2$$

По графіках характеристик вентиляторів [6] вибираємо чотири вентилятори марки ВО-12-303-6,3 при орієнтовному натиску  $H = 130 \text{ Па}$ .

Діаметр вентиляторів  $D_{в} = 0.63 \text{ м}$ , кількість  $z = 4$

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

- ширина  $B_{к} = (S_{\phi} / z)^{0.5} = (4.1 / 4)^{0.5} = 1.01 \text{ м}$ ;

- довжина  $L_{к} = B_{к} \cdot z = 1.01 \cdot 4 = 4.04 \text{ м}$ .

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

$$N_{\phi} = B_{к} / S_1 = 1.01 / 0.044 = 23$$

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

- ширина  $B_{к} = N_{\phi} \cdot S_1 = 23 \cdot 0.044 = 1.01 \text{ м}$ ;

- довжина  $L_{к} = S_{\phi} / B_{к} = 4.1 / 1.01 = 4.06 \text{ м}$ .

Число труб уздовж потоку повітря, з округленням до більшого цілого:

$$N = \sum L / \sum L_{\phi} = 772 / 92.8 \approx 9$$

$$\text{Висота секції: } H_{к} = S_2 \cdot N = 0.088 \cdot 9 = 0.79 \text{ м}$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

У розрахунку використовуються наступні дані:

- холодопродуктивність апарату  $Q_0=10000$  Вт;
- температура повітря камери  $t_k=2$  °С;
- відносна вологість повітря камери  $\phi_k=0.9$ ;
- швидкість повітря в живому перетині  $V_B=3$  м/с;
- форма ребра – кругле;
- матеріал труб сталь  $\lambda_{тр}=50$  Вт/(м·К),  $d_H=0.02$  м,  $d_{BH}=0.016$  м;
- матеріал ребер сталь  $\lambda_p=50$  Вт/(м·К),
- крок ребер  $u=0.008$  м, висота ребра  $h_p=0.02$  м, товщина ребра у підстави  $\delta_{op}=0.002$  м, у вершини  $\delta_{вр}=0.0006$  м діаметр ребра  $D_p=0.063$  м;
- температура кипіння агента (R 717)  $t_0=-6$  °С;
- товщина інею, що осів  $\delta_i=0.0015$  м,  $\lambda_i=0.2$  Вт/(м·К).

Розрахунок

Приймаємо по графіку залежності від  $t_k$  підохолодження в апараті  $\Delta t=2$ .

Температура на виході з апарату:

$$t_B=t_k-\Delta t=2-2=0 \text{ °С}$$

Середня температура повітря:

$$t_c=0.5 \cdot (t_k + t_B)=0.5 \cdot (2+0)=1 \text{ °С}$$

Задаємося середньою температурою поверхні ПО, покритою інеєм:

$$t_H=-2.9 \text{ °С.}$$

					КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:  
 $t_k - d_k'' = 0.0044$  кг/кг;  $t_{п} - d_{п}'' = 0.003$  кг/кг;  $t_B - d_B'' = 0.0038$  кг/кг.  
 Вологовміст повітря в камері при  $t_k$  по таблиці  $d_k = 0.0039$  кг/кг

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

$$d_B = d_k - (d_k - d_{п}'' ) \cdot (t_k - t_B) / (t_k - t_{п}) \quad [\text{кг/кг}] \quad (6.1)$$

$$d_B = 0.0039 - (0.0039 - 0.003) \cdot (2 + 0) / (2 + 2.8) = 0.0035 \text{ кг/кг.}$$

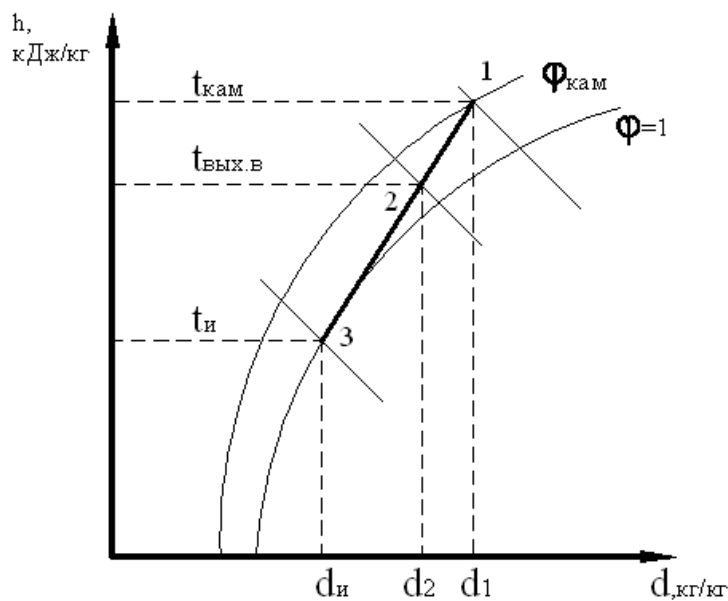


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітроохолоджувачі в h-d діаграмі.

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\phi_B = d_B / d_B'' = 0.0035 / 0.0038 = 0.93$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

$$h = 1.006 \cdot t + (2835 + 2.09 \cdot t) \cdot d \quad [\text{кДж/кг}] \quad (6.2)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_k = 1.006 \cdot 2 + (2835 + 2.09 \cdot 2) \cdot 0.0039 = 13.08 \text{ кДж/кг}$$

$$h_b = 1.006 \cdot 0 + (2835 + 2.09 \cdot 0) \cdot 0.0035 = 9.97 \text{ кДж/кг}$$

$$h_{\pi} = 1.006 \cdot (-2.8) + (2835 + 2.09 \cdot (-2.8)) \cdot 0.0038 = 5.61 \text{ кДж/кг}$$

Поперечний і подовжній крок труб при коридорній компоновці:

$$S_1 = S_2 = D_p + 2 \cdot \delta_i + 0.003 = 0.063 + 2 \cdot 0.0015 + 0.003 = 0.069 \text{ м}$$

Геометричні параметри прийнятого ребристого елемента.

Зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = 0.5 \cdot \pi \cdot (D_p^2 - d_n^2) + \pi \cdot D_p \cdot \delta_{вр} = 0.5 \cdot \pi \cdot (0.063^2 - 0.02^2) + \pi \cdot 0.063 \cdot 0.0006 = 5.7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

$$f_{тр} = \pi \cdot d_n \cdot (u - \delta_{ор}) = 3.14 \cdot 0.02 \cdot (0.008 - 0.0002) = 3.77 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Внутрішня поверхня труби ребристого елемента:

$$f_{вн} = \pi \cdot d_{вн} \cdot u = 3.14 \cdot 0.016 \cdot 0.008 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

$$f_{\pi} = f_p + f_{тр} = (5.7 + 3.77) \cdot 10^{-3} = 6.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт оребрення:

$$\beta = f_{\pi} / f_{вн} = 6.1 / 0.4 = 15.2$$

Ступінь оребрення:

$$\phi = f_{\pi} / (\pi \cdot d_n \cdot u) = 6.1 / (\pi \cdot 0.02 \cdot 0.008) = 12.14$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Умовний ступінь оребрення:

$$\beta_n = f_n / f_{тр} = 6.1 / 0.38 = 16.19$$

Геометричні характеристики поверхні інею.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

$$\begin{aligned} f_{рi} &= 0.5 \cdot \pi \cdot [(D_p + 2 \cdot \delta_i)^2 - (d_n + 2 \cdot \delta_i)^2] + \pi \cdot (D_p + 2 \cdot \delta_i) \cdot (\delta_{вр} + 2 \cdot \delta_i) = 0.5 \cdot \pi \cdot \\ &\cdot [(0.053 + 2 \cdot 0.0015)^2 - (0.02 + 2 \cdot 0.0015)^2] + \pi \cdot (0.063 + 0.003) \cdot (0.0006 + 0.003) = \\ &= 6.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Внутрішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

$$\begin{aligned} f_{тр i} &= \pi \cdot (d_n + 2 \cdot \delta_i) \cdot (u - \delta_{ор} - 2 \cdot \delta_i) = 3.14 \cdot (0.02 + 0.003) \cdot (0.008 - 0.0002 - 0.003) = \\ &= 2.2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

$$f_i = f_{тр i} + f_{р i} = (6.8 + 0.22) \cdot 10^{-3} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт оребрення поверхні, покритої інеєм:

$$\beta_i = f_i / f_{вн} = 7 / 0.4 = 17.3$$

Площа `живого` перетину одного ребристого елемента з інеєм:

$$\begin{aligned} f_{ж} &= (S_1 - d_n - 2 \cdot \delta_i) \cdot u - 2 \cdot h_p \cdot [0.5 \cdot (\delta_{вр} + \delta_{ор}) + 2 \cdot \delta_i] = (0.069 - 0.02 - 0.003) \cdot 0.008 - \\ &- 2 \cdot [0.5 \cdot (0.0006 + 0.0002) + 0.003] = 4.4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \end{aligned}$$

Теплообмін з боку повітря.

Теплофізичні властивості повітря при  $t_c$ :

- кінематична в'язкість  $\nu_B = 13.28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_B = 0.0244 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;
- число Прандтля  $Pr_B = 0.707$ ;

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- щільність  $\rho_B=1.293$  кг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт вологовипадіння визначається по формулі:

$$\xi=1+(d_k \cdot \varphi_k - d_p) \cdot (2835 - 2.09 \cdot t_p) / [(1.006 + 1.87 \cdot d_p) \cdot (t_k - t_p)] \quad (6.3)$$

$$\xi=1+(0.0044 \cdot 0.9 - 0.003) \cdot (2835 - 2.09 \cdot (-2.8)) / [(1.006 + 1.87 \cdot 0.003) \cdot (2 + 2.8)] = 1.073$$

По таблицях розрахункових залежностей для прийнятого типу трубного пучка ребристого елемента і відповідної сфери застосування вибираємо визначальний розмір і розрахункову залежність для визначення критерію Нусельта.

Визначальний розмір:

$$L_0 = d_H / \beta_H + (1 - \beta_H^{-1}) [0.785 \cdot (D_p^2 - d_H^2)]^{0.5} \quad (6.4)$$

$$L_0 = 0.2 / 16.19 + (1 - 16.19^{-1}) [0.785 \cdot (0.063^2 - 0.02^2)]^{0.5} = 0.051 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re_B = w_B \cdot L_0 / \nu_B \quad (6.5)$$

$$Re_B = 3 \cdot 0.051 / (13.28 \cdot 10^{-6}) = 11498$$

Число Нусельта:

$$Nu_B = 0.18 \cdot C_s \cdot C_z \cdot Re_B^{0.65 \cdot \beta_H^{0.07}} \cdot \beta_H^{-0.7} \quad (6.6)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Оскільки  $S_2/d_H=3.45>2$  і кількість труб по передумовах більше 4 шт, то коефіцієнти  $C_s=C_z=1$ .

$$Nu_B=0.18 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 11498^{0.65} \cdot 16.2^{0.07} \cdot 16.2^{-0.7} = 41.3$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітроохолоджувача до повітря:

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \lambda_B / L_0 \quad (6.7)$$

$$\alpha_B = 41.3 \cdot 0.0244 / 0.051 = 19.8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(\alpha_B \cdot \xi)^{-1} + \delta_i / \lambda_i]^{-1} \quad (6.8)$$

$$\alpha_{B \text{ пр}} = [(19.8 \cdot 1.073)^{-1} + 0.0015 / 0.2] = 18.3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Умовна висота ребра:

$$h' = h_p \cdot [1 + 0.35 \cdot \ln(D_p / d_H)] = 0.02 \cdot [1 + 0.35 \cdot \ln(0.063 / 0.02)] = 0.028 \text{ м}$$

Безрозмірний комплекс

$$mh' = [4 \cdot \alpha_{B \text{ пр}} / ((\delta_{B \text{ пр}} + \delta_{op}) \cdot \lambda_p)]^{0.5} \cdot h' = 2 \cdot [18.3 / (0.008 \cdot 150)]^{0.5} = 0.384$$

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = [\tanh(mh')] / mh' \quad (6.9)$$

$$E = [\tanh(0.384)] / 0.384 = 0.953$$

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

$$\psi = 1 - 0.058 \cdot mh' = 1 - 0.058 \cdot 0.384 = 0.977$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента:

$$\alpha_{в пр} = \alpha_{в пр} \cdot (f_p \cdot E \cdot \psi + f_{тр}) / f_{п} \quad [Вт/(м^2 \cdot К)] \quad (6.10)$$

$$\alpha_{в пр} = 18.3 \cdot (0.0057 \cdot 0.953 \cdot 0.977 + 0.0004) / 0.006 = 17.1 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$$

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_{в} = \alpha_{в} \cdot \xi \cdot \beta_i \cdot (t_c - t_{п}) \quad [Вт/м^2] \quad (6.11)$$

$$q_{в} = 17.1 \cdot 1.073 \cdot 17.34 \cdot (1 + 2.9) = 1436 \text{ Вт}/м^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_0 = 32 \cdot \omega p^{0.47} \cdot q_{в}^{0.15} [Вт/(м^2 \cdot К)] \quad (6.12)$$

де  $\omega p$  – масова швидкість агента, по графіку залежності від щільності теплового потоку знаходимо  $\omega p = 80 \text{ кг}/(м^2 \cdot с)$

$$\alpha_0 = 32 \cdot 80^{0.47} \cdot 1436^{0.15} = 747 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$K_{ні} = [\beta_i / \alpha_0 + 1 / \alpha_{в пр i} + \phi \cdot (0.5 \cdot (d_n - d_{вн}) / \lambda_{т})]^{-1} \quad [Вт/(м^2 \cdot К)] \quad (6.13)$$

$$K_{ні} = [17.34 / 747 + 1 / 17.1 + 12.14 \cdot (0.5 \cdot (0.02 - 0.016) / 50)]^{-1} = 12.19 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

$$K_n = K_{ni} \cdot \beta / \beta_i = 12.19 \cdot 15.17 / 17.34 = 10.67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею:

$$q_n = K_{ni} \cdot (t_c - t_0) = 10.67 \cdot (1 + 6) = 85.3 \text{ Вт}/\text{м}^2;$$

- розрахункова різниця температур:

$$\Delta t_p = q_n / (\alpha_B \cdot \xi) = 85.3 / (19.8 \cdot 1.073) = 4.02 \text{ }^\circ\text{C};$$

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

$$\varepsilon = [|\Delta t_p - (t_c - t_{п})| / \Delta t_p] \cdot 100\% = |[4.02 - (1 + 2.9)] / 4.02| \cdot 100\% = 3 \%$$

Оскільки відносна погрішність задовольняє необхідній погрішності розрахунку (<5%), тоді шукана зовнішня поверхня повітроохолоджувача:

$$F_n = Q_0 / [K_n \cdot (t_c - t_0)] = 10000 / (10.67 \cdot 7) = 133.7 \text{ м}^2$$

Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача.

Конструктивно проєктований повітроохолоджувач складатиметься з двох однакових теплообмінних секцій, через які прокачуватиметься вентиляторами тепле повітря, що відводиться з штабелів вантажу.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відповідно, холодопродуктивність і зовнішня площа кожної секції складатиме половину від розрахункових.

Об'ємна витрата повітря через секцію повітроохолоджувача:

$$V_B = Q_0 \cdot 10^{-3} / [\rho_B \cdot (h_K - h_B)] \quad (6.14)$$

$$V_B = 3.35 / [1.29 \cdot (13.08 - 9.62)] = 0.75 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо 2 вентилятор марки ВО-12-303-4 при орієнтовному натиску  $H=120$  Па з діаметром вентилятора  $D_B=0.4$  м.

Мінімальний `живий` перетин повітроохолоджувача:

$$F_{ж} = V_B / w_B = 0.75 / 3 = 0.25 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\phi} = F_{ж} \cdot S_1 \cdot u / f_{ж} = 0.25 \cdot 0.069 \cdot 0.008 / 0.00044 = 0.32 \text{ м}^2$$

Задаємося орієнтовною довжиною теплообмінної секції  $L'=1$  м, тоді ширина секції :  $H'=F_{\phi} / L' = 0.32 / 1 = 0.32$  м.

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до цілого:

$$z_1 = H' / S_1 = 0.32 / 0.069 = 4.6$$

Приймаємо дійсне число труб  $z_1=5$  шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 5 \cdot 0.069 = 0.345 \text{ м}$$

$$L = F_{\phi} / H = 0.32 / 0.345 = 0.92 \text{ м}$$

Кількість труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого:  $z_2 = F_H / [f_{п} \cdot (F_{ж} / f_{ж})] = 40 / [0.0061 \cdot (0.25 / 0.00038)] = 10$  шт

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L = L \cdot z_1 \cdot z_2 = 0.81 \cdot 12 \cdot 10 = 97.2 \text{ м};$$

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_d = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 97.2 \cdot 3.14 \cdot 0.016 \cdot 15.17 = 74.1 \text{ м}^2;$$

- глибина секції:

$$B = S_2 \cdot z_2 = 0.069 \cdot 10 = 0.69 \text{ м}.$$

Перевірка по аеродинамічному опору.

Аеродинамічний опір пучків оребрених труб з круглими ребрами визначається по формулі:

$$\Delta P = 0.26 \cdot C_Z \cdot C_L \cdot C_t \cdot (\omega \rho)^{1.92} \quad (6.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Еквівалентний діаметр: } d_s &= 2 \cdot [u \cdot (S_1 - d_n) - 2 \cdot \delta_p \cdot h_p] / (2 \cdot h_p + u) = \\ &= 2 \cdot [0.008 \cdot (0.069 - 0.02) - 2 \cdot 0.0013 \cdot 0.02] / (2 \cdot 0.02 + 0.008) = 0.014 \text{ м} \end{aligned}$$

Коефіцієнт, що враховує лінійні розміри ребер:

$$C_L = L_0^{0.22} / d_s^{0.3} = 0.051^{0.22} / 0.014^{0.3} = 1.87$$

Коефіцієнт, що враховує фізичні властивості повітря:

$$C_t = v_B^{0.08} / \rho_B^{0.92} = (13.28 \cdot 10^{-6})^{0.08} / 1.293^{0.92} = 0.322$$

Коефіцієнт, що враховує режим течії  $C_Z = z_2$ , оскільки  $z_2 > 6$

Т.ч.

$$\Delta P = 0.26 \cdot 1.87 \cdot 0.322 \cdot 14 \cdot (3 \cdot 1.293)^{1.92} = 60 \text{ Па}$$

При виборі вентилятора натиск був прийнятий 120 Па, звідки витікає, що вибраний тип вентилятора забезпечить нормальну циркуляцію повітря через теплообмінну поверхню.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7 ПІДБІР КОМПРЕСОРІВ ТА ДОПОМІЖНОГО УСТАТКУВАННЯ

### 7.1 Підбір компресорів, конденсаторів та повітроохолоджувачів

Підбір компресорів здійснимо по потрібній холодопродуктивності на один компресор в режимі зберігання  $Q_0=25$  кВт з параметрами роботи, представленими при тепловому розрахунку. Вибираємо шість поршневих компресори фірми Bitzer марки 6J-22.Y-40P (Додаток 1) з холодопродуктивністю за даних умов  $Q_0=125$  кВт і споживаною електричною потужністю  $N_{эл}=60.2$  кВт.

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуємо повітряні конденсатори. Розрахункове теплове навантаження може бути визначена за даними теплового розрахунку як:

$$\sum Q_k = 3 \cdot (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = 3 \cdot (125 + 60) = 555 \text{ кВт}$$

Вибираємо шість повітряних конденсатори фірми Alfa-Laval марки ACS802B-C (Додаток 2) кожний потужністю 86.8 кВт при розрахунковій температурі конденсації  $t_k=42$  °С.

У камерах схову вантажу для забезпечення температурного режиму і рівномірного температурного поля буде встановлено по 2 підвісних стельових повітроохолоджувача з розрахунковою холодопродуктивністю по  $Q_0=20$  кВт. Приймаємо по два повітроохолоджувач марки Alfa-Laval TGL36-S4P (Додаток 3) з холодопродуктивністю апарату  $Q_0=10.4$  кВт.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

## 7.2 Підбір допоміжного устаткування

Лінійний ресівер призначений для рівномірної подачі рідкого агента на пристрої, що дроселюють, і його зберігання у той час коли система не працює.

Лінійний ресівер для даної холодильної системи безпосереднього охолодження підбирається з розрахунку, що його об'єм складає не менше 60% об'єму повітроохолоджувачів. При цьому робоче заповнення ресівера складає 50%. Загальний внутрішній об'єм повітроохолоджувачів можна визначувати виходячи їх конструктивних характеристик і числа повітроохолоджувачів:  $V_{исп}=24 \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot d_{вн}^2 \cdot \Sigma L = 24 \cdot 0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.016^2 \cdot 97.2 = 0.47 \text{ м}^3$ .

Відповідно до правил техніки безпеки розрахунковий об'єм також збільшують на 20%, оскільки його заповнення не повинне перевищувати 80%. Т.ч., місткість лінійного ресівера можна визначити як:

$$V_{л} = (0.6 \cdot V_{исп} / 0.5) \cdot 1.2 = (0.6 \cdot 0.47 / 0.5) \cdot 1.2 = 0.68 \text{ м}^3.$$

Як лінійні ресівери використовують горизонтальні або вертикальні циліндрові судини. По місткості підбираємо горизонтальний ресівер 0.75PB, який може використовуватися при робочому тиску до 1.8 мПа в діапазоні температур від -15 до +47 °С. Обичайки ресівера зварні, запобіжні клапани мають умовний прохід  $D_y$  15мм.

Віддільники рідини включають в систему для захисту компресора від попадання в них рідкого хладагента. Віддільник рідини повинен бути забезпечений автоматичними приладами, що вимикають компресор при небезпечній зміні рівня рідини в судині. У системах безпосереднього кипіння, при регулюванні заповнення приладів охолодження по перегріву пари при нормальній експлуатації, в судині не повинно бути рідини.

Рідина відділяється від пари унаслідок різкої зміни швидкості і напряму руху холодильного агента. Швидкість пари в судині не повинна перевищувати 0.5 м/с. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною,

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

що має патрубки і штуцера для приєднання рідинної і парових ліній, зрівняльної лінії, автоматичних приладів і манометра. Судина розрахована на робочий тиск не більше 1,5 мПа в робочому діапазоні температур от -50 до +40 °С. Підбираємо віддільник рідини фірми Sanrong марки SR-208.

Масловіддільники призначені для відділення масла, що відноситься з компресорів разом з холодильним агентом. Підбір масловіддільників проводиться по діаметру нагнітального патрубка компресора. Вибираємо масловіддільник циклонного типу марки 50МО.

Мастилозбірник призначений для перепускання в нього масла з апаратів і подальшого видалення його з системи при низькому тиску. Він є зварною вертикальною циліндровою судиною, розрахованою на робочий тиск не більше 1,8 мПа в робочому діапазоні температур від -40 до +150 °С. Вибираємо мастилозбірник марки 10МЗС (Снежняскхиммаш).

Для захисту віддільника рідини від переповнювання, а так само зберігання агента при тривалій зупинці холодильної машини, в системі передбачений захисний дренажний ресівер. Підбір апарату здійснюється аналогічно лінійному ресіверу, т.ч. як дренажний вибираємо горизонтальний ресівер 0.75РВ.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## 8 РОЗРАХУНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Об'ємна витрата агента:

$$V_a = M_a / \rho, \text{ [м}^3/\text{с]}, \quad (8.1)$$

де  $\rho$  – щільність агента за відповідних умов,  $\text{кг/м}^3$ .

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

$$d = 1.13 \cdot (V_a / w)^{0.5}, \text{ [м]}, \quad (8.2)$$

де  $w$  – орієнтовна швидкість агента, що приймається виходячи з умов роботи трубопроводу  $\text{м/с}$ .

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

При  $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $P_k = 19 \text{ бар}$  – щільність агента  $\rho_2 = 86.6 \text{ кг/м}^3$ .

$$V_a = 0.53 / 86.6 = 0.0061 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.0061 / 14)^{0.5} = 0.023 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні сталеву трубу  $24 \times 1.5$ .

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

При  $t_1 = -6 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $P_0 = 5 \text{ бар}$  визначаємо щільність агента  $\rho_1 = 24.4 \text{ кг/м}^3$ .

$$V_a = 0.53 / 24.4 = 0.022 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.022 / 12)^{0.5} = 0.028 \text{ м}.$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу  $32 \times 2$ .

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресівера:

При  $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $P_k = 19 \text{ бар}$  визначаємо щільність агента  $\rho_3 = 964 \text{ кг/м}^3$ .

$$V_a = 0.53 \cdot 3 / 964 = 0.0016 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n = 1.13 \cdot (0.0012 / 1)^{0.5} = 0.016 \text{ м}.$$

Приймаємо на рідинному зливі сталеву трубу  $18 \times 1.6$ .

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

## 9 ОХОРОНА ПРАЦІ

Проектоване підприємство призначене для тривалого зберігання капусти. Холодильна установка, що забезпечує підтримку технологічного режиму зберігання в камерах, використовує холодильний агент аміак.

В компресорному цеху знаходиться холодильна машина, апарати якої знаходяться в тому ж приміщенні. Випарний конденсатор розташовано поза будівлею. Висота стелі складає 5,5 м. Компресорний цех має два виходи один з яких безпосередньо назовні. Апарати що вимагають постійного обслуговування обладнанні спеціальними майданчиками і сходами. Майданчики і сходи огороженні поручнем. Колектор приборів охолодження знаходиться в компресорному цеху, що дозволяє негайно відрегулювати подачу холодоагенту. Усе устаткування розміщене з необхідними проходами, без труднощів обслуговування. Загальна площа компресорного цеху складає 108 м<sup>2</sup>.

Аміак R717, хімічна формула NH<sub>3</sub>. Нормальна температура кипіння мінус 33,35 °С. При атмосферному тиску аміак — безбарвний газ, легше за повітря, з різким задушливим запахом.

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

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

Категорія приміщення за вибухопожежною та пожежною безпекою

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Приміщення аміачних машинних і апаратних відділень по вибухопожежно небезпеці відносяться до категорії "А" (клас вибухонебезпеки В-1б). Їх розміщують, як правило, в одноповерхових будівлях, прибудованих до корпусу холодильника або виробничої будівлі, в якій розміщені споживачі холоду.

У машинному відділенні передбачають не менше двох виходів, один з яких — безпосередньо назовні (через тамбур для середньої і північної смуги). Виходи розташовують на максимально можливій відстані один від одного.

#### Забезпечення вибухобезпеки експлуатації устаткування

Аміачна холодильна установка – герметична технологічна система, в якій по замкнутому контуру, без виробничих витрат, циркулює холодильний агент. В елементах АХУ відбуваються тільки термодинамічні процеси та пов'язані з ними фазові перетворення аміаку (пара→рідина та рідина→пара).

У приміщеннях та на ділянках аміачної холодильної установки, у суміжних приміщеннях/ділянках, поза приміщеннями, а також у самій установці, за умов нормальної експлуатації технологічної системи витоків холодильного агента не відбувається, вибухопожежно небезпечна суміш пари аміаку з повітрям не утворюється. Небезпека виникнення вибуху та пожежі з'являється тільки внаслідок позаштатних аварійних ситуацій, аварій, НС техногенного чи природного походження. Захист технологічного устаткування, трубопроводів та арматури від зруйнування під дією надлишкового тиску в системі забезпечений конструктивним виконанням елементів установки, системою захисних клапанів, приладами автоматичного захисту АХУ.

#### Підбір запобіжного клапану

Пропускна здатність запобіжного клапану вибирається так, щоб у посудині або балоні не створився тиск, що перевищує робочий більш ніж на

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

0.05 МПа для посудин з робочим тиском до 0.3 МПа включно; на 15 % для посудин із  $P_{\text{раб}} = 6$  МПа; на 10 % для посудин із  $P_{\text{раб}} > 6$  МПа.

Не рідше одного разу в 12 місяців запобіжний клапан перевіряють на стендах з наступним опломбуванням.

Визначимо мінімальну площу перетину клапана

$$F = \frac{M}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2)}} \text{ [м}^2\text{]}, \quad (9.1)$$

де  $M$  – масова витрата рідини чи газу,  $M = 1.168$  кг/с;

$\mu$  – коефіцієнт витрати газу (рідини) для даної конструкції клапану визначається експериментально і записується у його паспорті,  $\mu = 0.75$ ;

$B$  – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості газу при робочих параметрах та залежить від показника адіабати  $k = 1.13$  й

відношення тисків  $\frac{P_2}{P_1} = 0.076$ ;

$$B = 1.59 \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}}$$

$P_1, P_2$  – відповідно тиск спрацювання клапану та абсолютний тиск за клапаном,  $P_2 = 0.1$  МПа,  $P_1 = 1.3$  МПа;

$\rho$  – щільність середовища при тиску  $P_1$  та температурі перед клапаном,

$$\rho = 13.5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$F = \frac{1.168}{0.75 \cdot 0.909 \sqrt{2 \cdot 13.5 \cdot (1.3 - 0.1) \cdot 10^6}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Діаметр клапану

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \text{ [м]}, \quad (9.2)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 3 \cdot 10^{-4}}{3.14}} = 0.019 \text{ м}$$

Обираємо діаметр клапану з стандартного ряду  $d = 0.02 \text{ м}$ .

Організація безпечної експлуатації на холодильних установках.

Мета організаційних заходів щодо техніки безпеки на холодильних установках — створення безпечних умов праці шляхом постійного контролю за дотриманням правил монтажу, експлуатації і ремонту устаткування і систем установок, а також шляхом підтримки технічних знань обслуговуючого персоналу на необхідному рівні.

Адміністрація підприємства забезпечує холодильну установку необхідним штатом персоналу. Чисельність машиністів і слюсарів - ремонтників для обслуговування установки повинна відповідати «Нормативам чисельності робочих холодильних установок». Холодильна установка обслуговується, як правило, не менше чим двома машиністами в зміну. Обслуговування установки одним машиністом в зміну допускається тільки в тому випадку, якщо за умовами технологічного процесу можливе тимчасове припинення холодопостачання з виключенням холодильної установки.

Заземлювання.

Заземлювання потрібно підключати до корпусів електричних машин, трансформаторів, реостатів, металевим корпусам вимикачів, запобіжників та штепселів, каркасам щитів, металевим оболонкам кабелів, приводам електроустаткування, металевим частинам прожекторів та іншим не струмопровідним частинам.

Розрахунок штучного заземлювання

Мета розрахунку полягає у визначенні основних параметрів штучного заземлювання – число, розміри та порядок розміщення окремих заземлювачів та заземлюючих провідників.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

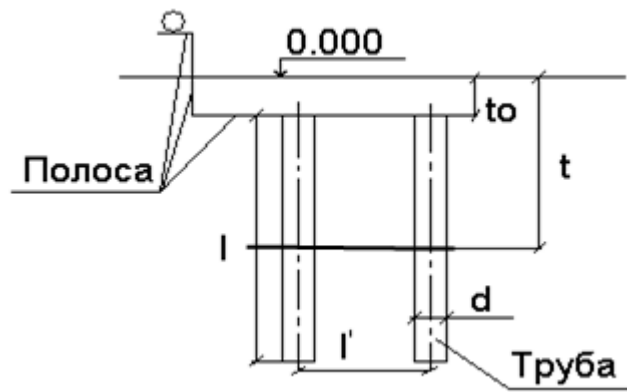


Рис.9.1 – Схема заземлювання

Потрібний опір заземлюючого пристрою в електроустановках з напругою до 1000 В складає  $R_{тр} = 4$  Ом [6].

Визначимо розрахункове значення питомого опору ґрунту

$$\rho_p = \rho_\phi \cdot \psi, \quad (9.3)$$

де  $\rho_\phi$  – питомий опір ґрунту – опір  $1 \text{ м}^3$  ґрунту між протилежними гранями, до яких прикладені вимірювальні електроди. Питомий опір ґрунту залежить від структури ґрунту, її вологості, розчиненої солі, а також від пори року;

приймаємо  $\rho_\phi = 40$  Ом·м для глини [6]

$\psi$  – кліматичний коефіцієнт, враховуючий сезонні коливання вологості ґрунту,  $\psi = 1,1..2$  [6]

приймаємо  $\psi = 1,1$ .

$$\rho_p = 1,1 \cdot 40 = 44 \quad \text{Ом} \cdot \text{м}.$$

Для штучного заземлювання приймаємо електроди – вертикальні сталеві труби діаметром 40 мм, полосова сталь  $9 \times 3$  мм. Спочатку обираємо систему розташування вертикальних заземлювачів – в ряд.

Задаємося довжиною вертикального заземлювача з умови

$$\frac{l'}{l} = 1; 2; 3, \quad (9.4)$$

де  $l'$  – відстань між заземлювачами,  $l' = 6$  м;

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$l$  – довжина заземлювача.

$$l = \frac{l'}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м}$$

приймаємо, що  $t_0 \geq 0.5$  м – глибина, на яку заглиблюються заземлювачі

$$t = \frac{l}{2} + t_0 = \frac{3}{2} + 0.5 = 2 \text{ м}$$

Розрахуємо опір одного вертикального заземлювача

$$R_0 = \frac{\rho_p}{2\pi l} \cdot \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) [\text{Ом}], \quad (9.5)$$

$$R_0 = \frac{44}{2\pi \cdot 3} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0.035} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 12.93 \text{ Ом}$$

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{тр}}} = \frac{12.93}{4} = 3.23 \text{ шт}$$

обираємо стандартну кількість заземлювачів  $n' = 4$  шт.

Визначимо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{\text{св}} = \frac{R_0}{n' \cdot \eta_B}, \quad (9.6)$$

де  $\eta_B$  – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів,

$$\eta_B = 0,77 [6].$$

$$R_{\text{св}} = \frac{12.93}{4 \cdot 0.89} = 3.63 \text{ Ом}$$

Визначимо опір з'єднувальної смуги:

Довжина смуги:

$$L = (n' - 1) \cdot l' = (4 - 1) \cdot 6 = 18 \text{ м}$$

Довжина смуги не повинна перевищувати 150 м

Опір смуги:

$$R_n = \frac{\rho_p}{2\pi L \eta_r} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot t_0}, \quad (9.7)$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\eta_r$  – коефіцієнт використання горизонтальних заземлювачів,  
 $\eta_r = 0.92$  [6].

$d = 0.5$ ;  $b = 0.5 \cdot 0.012 = 0.006$  м – для смуги шириною  $b$

$$R_n = \frac{44}{2\pi \cdot 18 \cdot 0.92} \cdot \ln \frac{18^2}{0.006 \cdot 0.5} = 4.9 \text{ Ом}$$

Визначимо загальний опір системи

$$R_c = \frac{R_n \cdot R_{cb}}{R_n + R_{cb}} < R_{тр}$$

$$R_c = \frac{4.9 \cdot 3.63}{4.9 + 3.63} = 2.08 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Протипожежні заходи

Протипожежні заходи забезпечуються комплексом проектних рішень, спрямованих на попередження пожежі та вибуху, а також створення умов, які сприяють успішному гасінню пожежі, перешкоджають її поширенню та забезпечують можливість евакуації працівників та матеріальних цінностей.

Згідно діючих типових "Правил пожежної безпеки для промислових підприємств", "Правилам пристроїв і безпечною експлуатації аміачних холодильних установок", ВНТП-СНиП-46-25.96 у приміщенні компресорної передбачається установка щиту первісних засобів гасіння пожежі з комплектом засобів :

- вогнегасник пінний – 2 шт.;
- вогнегасник вуглекислотний – 1 шт.;
- ящик з піском ( $V=0.1 \text{ м}^3$ ) та лопата;
- лопата;
- багор;
- відро.

Визначення об'єму недоторканого запасу води для гасіння пожежі

Розрахуємо ємність пожежного резервуару для гасіння пожежі на промисловому підприємстві виходячи з наступних даних:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм приміщення компресорного цеху  $V=494 \text{ м}^3$

категорія приміщення – А

Ємність водоймища визначимо з умови забезпечення необхідної за нормами витрати води на зовнішнє пожежогасіння протягом розрахункового часу [6]

$$V_a = \frac{k \cdot g \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600 \text{ [м}^3\text{]}, \quad (9.8)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1.1..1.2$ , приймаємо  $k = 1,2$ ;

$g$  – витрата води на зовнішнє пожежогасіння,  $g = 10 \frac{\text{л}}{\text{с}}$ ;

$n$  – кількість одночасних пожеж, згідно зі СНиП 2.04.02-84, приймаємо  $n = 1$ ;

$\tau$  – тривалість гасіння пожежі.

Згідно зі СНиП 2.04.02-84 при ступені вогнестійкості I и II з виробництвами категорій Г та Д розрахункову тривалість гасіння пожежі слід приймати рівною двом годинам; в інших випадках – три години, приймаємо  $\tau = 3 \text{ г.}$

$$V_a = \frac{1.2 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 3}{1000} \cdot 3600 = 130 \text{ м}^3$$

### Виробнича санітарія

Попередження виникнення шкідливих виробничих факторів можливо тільки за умов суворого дотримання санітарно-технічних вимог та норм, визначених санітарними нормами відповідних розділів будівельних норм та правил и Держстандарту.

Вимоги особистої гігієни та виробничої санітарії, засоби виявлення першої медичної допомоги при нещасних випадках розглядаються у вступному інструктажі.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вентиляція

Вид вентиляції залежить від вживаного хладагента. Машинні і апаратні відділення аміачних холодильних установок повинні бути обладнані системами витяжної вентиляції з кратністю повітрообміну в годину, визначуваною розрахунком, але не менше 2 для притоки і 3 для витяжки.

Тамбури-шлюзи і приміщення щитів автоматизації, суміжні з машинними відділеннями, обладнали окремими системами вентиляції приточування, що постійно діяли, забезпечують кратність повітрообміну не менше 5 об'ємів в годині Системи вентиляції мають резервні вентилятори, що автоматично включаються при виході з ладу основних.

Визначимо видатність вентиляції з кратності повітрообміну

$$L = k \cdot V_{\text{пом}} \left[ \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right], \quad (9.9)$$

де  $k$  – кратність повітрообміну, приймаємо для робочої вентиляції:

а) припливної  $k = 2 \text{ год}^{-1}$ ; б) витяжної  $k = 3 \text{ год}^{-1}$ ; в) аварійної  $k = 8 \text{ год}^{-1}$

$V_{\text{пом}}$  – об'єм приміщення,  $V_{\text{пом}} = 594 \text{ м}^3$ .

тоді

$$L_{\text{прит}} = 2 \cdot 938 = 1876 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$L_{\text{выт}} = 3 \cdot 938 = 2814 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$L_{\text{ав}} = 8 \cdot 938 = 7504 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначимо потужність вентилятора

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot 3.6 \cdot 10^6} \text{ [кВт]}, \quad (9.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,05..1,5$ ;

$L$  – видатність вентиляції,  $\frac{\text{м}^3}{\text{год}}$ ;

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta P_n$  – втрати тиску в мережі повітроводів;

приймаємо для робочої вентиляції:

– високонапірні вентилятори ( $2900 < \Delta P_n < 4500$ ) Па;

$\eta_v$  – КПД вентилятора,  $\eta_v = 0,6..0,8$ ; приймаємо  $\eta_v = 0,7$ ;

$\eta_{пр}$  – КПД приводу при клиноремінній передачі  $\eta = 0,95$ .

$$\text{припливна} - N = \frac{1.2 \cdot 1876 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 1.88 \text{ кВт}$$

$$\text{витяжна} - N = \frac{1.2 \cdot 2814 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 2.82 \text{ кВт}$$

$$\text{аварійна} - N = \frac{1.2 \cdot 7504 \cdot 2000}{0.7 \cdot 0.95 \cdot 3.6 \cdot 10^6} = 7.52 \text{ кВт}$$

Приймаю для аварійної вентиляції відцентровий вентилятор Ц4-70 № 8 при  $n = 720$  об/мин; для припливної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 6 при  $n = 960$  об/мин; для витяжної вентиляції осьовий вентилятор МЦ № 5 при  $n = 1440$  об/мин.

#### Освітлення

У приміщеннях машинних і апаратних відділень холодильних установок передбачають наступні види штучного освітлення: робоче, аварійне і місцеве (для ремонту, огляду і т. п.).

Освітленість робочих поверхонь в машинних і апаратних відділеннях, що створюється робочим освітленням, повинна складати не менше, 75 лк при використанні ламп накаливання або не менше 150 лк при використанні люмінесцентних ламп .

Освітленість приладів контролю повинна складати не менше 300 лк при використанні будь-яких ламп.

Окрім робочого освітлення, в приміщеннях машинних і апаратних відділень передбачають аварійне освітлення від незалежного джерела, що автоматично включається при відключенні основного джерела освітлення. У машинних відділеннях автоматизованих хладонових установок аварійне освітлення може не передбачатися.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для місцевого освітлення при огляді, ремонті і очищенні внутрішніх порожнин машин і апаратів аміачних холодильних установок застосовують переносні світильники у вибухозахищеного виконання напругою не вище 12В.

Розрахунок освітлення

Розміри приміщення  $A \times B \times H = (12 \times 9 \times 5.5)$  м. Світильники прийняті у вибухозахищеному виконанні; лампи – люменісцентні; система освітлення – загальна.

Визначимо відстань, між центрами світильників виходячи з умови

$$\frac{L}{H_p} = 1.5 \Rightarrow L = 1.5 \cdot H_p, \text{ м}$$

$$L = 2.8 \cdot 1.5 = 4.2 \text{ м}$$

Визначимо кількість світильників

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2} \text{ [шт]}, \quad (9.11)$$

$$N = \frac{12 \cdot 9}{4.2^2} = 6.12 = 7 \text{ шт}$$

Визначимо світловий потік одного світильника

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot S \cdot 100}{N \cdot \eta} \text{ [лм]}, \quad (9.12)$$

де  $E_n$  – нормована мінімальна освітленість,  $E_n = 150$  лк [7];

$k$  – коефіцієнт запасу,  $k = 1,5$ ;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $z = 1,1$ ;

$S$  – площа приміщення,  $S = 12 \cdot 9 = 108 \text{ м}^2$ ;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку залежить від:

КПД та кривої розподілення сили світла світильника, коефіцієнту відбиття від стелі та стін ( $\rho_{ст}$ ,  $\rho_{п}$ ), висоти підвісу світильників над робочей поверхнею, показника приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{12 \cdot 9}{2.8 \cdot (12 + 9)} = 1.83 \quad \text{тоді приймаємо } \eta = 33 \text{ [7].}$$

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1.5 \cdot 1.1 \cdot 108 \cdot 100}{7 \cdot 33} = 11571 \text{ лм}$$

									Арк.
									75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>				

Компонуємо світильник:

Беремо 6 ламп марки ЛДЦ40 зі світловим потоком однієї лампи 2100 лм. Знаходимо сумарний світловий потік одного світильника  $\Sigma \Phi = 12600$  лм.

Припустиме відхилення у розрахунку (-10% ÷ +20%).

$$\Delta = \frac{|\Phi - \Sigma \Phi|}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{|11571 - 12600|}{11571} \cdot 100\% = 8.9\%$$

Потужність освітлювальної установки

$$P = N \cdot n \cdot p \text{ [Вт]}, \quad (9.13)$$

де  $n$  – кількість ламп у світильнику,  $n = 6$  шт;

$p$  – потужність лампи,  $p = 40$  Вт;

$$P = 7 \cdot 6 \cdot 40 = 1680 \text{ Вт.}$$

Долікарська допомога у випадку отруєння аміаком та ураженні електричним струмом

Ураження електричним струмом

Перша долікарська допомога у нещасних випадках від електричного струму складається з двох етапів: звільнення потерпілого від дії струму та надання йому медичної допомоги.

Звільнення потерпілого від дії струму найбільш простий та правильний спосіб – це відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення швидко зробити неможна через будь-які причини, при напрузі до 1000 В перерубати дроти сокирою з дерев'яною рукояткою або відтягнути потерпілого від струмопровідної частини, тримаючись за його одяг, якщо він сухий, відкинути від нього дріт за допомогою дерев'яної палиці та ін.

При напрузі більше 1000 В слід застосовувати діелектричні рукавиці, боти та в необхідних випадках ізолюючу штангу або ізолюючі кліщі, розраховані на відповідну напругу.

Заходи першої медичної допомоги потерпілому від електричного струму залежать від його стану. Якщо потерпілий у свідомості, але до цього був в непритомності або тривалий час знаходився під струмом, йому

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або терміново доставити до лікувальної установи.

За відсутності свідомості, але диханні, що збереглося, і роботі серця потрібно рівно і зручно укласти постраждалого на м'яку підстилку, розстебнути пояс і одяг, забезпечити притоку свіжого повітря. Слід давати нюхати нашатирний спирт, окропляти потерпілого холодною водою, розтирати і зігрівати тіло.

Якщо постраждалий погано дихає - рідко, судорожно або якщо дихання поступово погіршується, тоді як у всіх цих випадках продовжується нормальна робота серця, необхідно робити штучне дихання.

За відсутності ознак життя треба робити штучне дихання і зовнішній масаж серця.

#### Отруєння аміаком

Постраждалий від отруєння аміаком повинен бути винесений на свіже повітря або в чисте тепле приміщення. При необхідності слід застосувати штучне дихання. Постраждалий повинен бути звільнений від перешкоджаючого диханню одягу, на ньому треба змінити забруднений одяг і надати йому повний спокій. Зробити інгаляцію теплою парою (через паперову трубочку) з чайника, що містить 1-2% розчин лимонної кислоти в гарячій воді. Дати випити солодкий чай, каву, лимонад або 3% розчин молочної кислоти. Рекомендується у всіх випадках отруєння вдихати кисень в течію 30-45 хв., зігріти постраждалого (обкласти грілками).

У разі глибокого сну і можливого зниження больової чутливості слід дотримуватися обережності, щоб не викликати опіків грілками.

За наявності явищ роздратування носоглотки необхідне полоскання її 2% розчином соди або водою. Незалежно від стану постраждалий повинен бути направлений до лікаря.

У разі задухи, кашлю потерпілого слід транспортувати в лежачому положенні.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Для надання долікарської допомоги в операторській аміачного компресорного цеху є аптечка, в якій повинні бути:

- 1–2 % розчин лимонної кислоти;
- 2–4% розчин борної кислоти;
- 1% розчин новокаїну, кодеїну (або діоніну);
- етиловий спирт, сода;
- бинти, вата, марлеві серветки;
- мазь Вишневського (або пеніциллінова мазь), йод.

### ЗАХИСТ РОБОЧИХ І СЛУЖБОВЦІВ ВІД СИЛЬНО ДІЮЧИХ ОТРУЮЧИХ РЕЧОВИН (АМІАК)

Безпека і надійність роботи персоналу забезпечується суворим дотриманням технологічних режимів експлуатації основних виробничих агрегатів і перевантажувальних комплексів, своєчасним проведенням капітальних і регламентних ремонтів.

Основні напрямки діяльності адміністрації в питаннях попередження локалізації і ліквідації надзвичайних ситуацій:

1. Попередження виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру і забезпечення мінімізації збитку у разі стихійного лиха, аварій, катастроф, вибухів:

- планування заходів щодо попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій; прогнозування можливості виникнення надзвичайних ситуацій і масштабів їх розвитку; безперервний контроль за станом навколишнього природного середовища; забезпечення необхідного рівня оснащення і підготовки аварійно-рятувальних формувань; організація їх підготовки для дій з призначення; створення необхідних запасів матеріальних засобів, зв'язку, засобів індивідуального захисту, медичного устаткування.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

2. Оповіщення персоналу і населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій, постійне інформування про обстановку, що складається:

- створення локальних систем оповіщення;
- забезпечення ефективної роботи диспетчерської служби;

3. Виконання заходів щодо захисту основних виробничих фондів (забезпечення стійкості систем водопостачання, теплопостачання, електропостачання, газопостачання і так далі).

4. Підготовка і перепідготовка осіб керівного, інженерно-технічного складу по питаннях охорони праці, цивільній обороні, пожежній безпеці.

5. Захист персоналу заводу від наслідків надзвичайних ситуацій:

- забезпечення засобами захисту, приладами контролю;
- укриття в захисних спорудах;
- евакуація;
- медичне забезпечення.

6. Організація і проведення рятувальних і інших невідкладних робіт, організація життєзабезпечення персоналу у разі надзвичайних ситуацій:

- планування заходів щодо ліквідації надзвичайних ситуацій і ведення рятувальних і інших невідкладних робіт (план ЦО, об'єктова підсистема, інструкції);
- забезпечення управління підприємством в екстремальних умовах;
- організація рятувальних і інших невідкладних робіт.

Для своєчасного реагування на можливі надзвичайні ситуації, пов'язані з викидом (протокою) аміаку і інших шкідливих речовин в атмосферу, на заводі є автоматизована система контролю навколишнього середовища (АСКНС), що забезпечує постійний контроль і своєчасне виявлення шкідливих речовин в повітрі на території заводу і в довколишніх населених пунктах.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Система АСКНС включає п'ять станцій багатокомпонентного контролю атмосфери, які автоматично, в постійному режимі передають інформацію на комп'ютер диспетчера про наявність в атмосфері наступних речовин: аміаку, метанолу, окислу вуглецю, двоокиси сірі, водяної пари, окислу і двоокису азоту.

Є система моніторингу аміаку в місцях виробництва, перевантаження і зберігання аміаку, що складається з 31 датчика, які в автоматичному режимі передають інформацію про наявність аміаку в атмосфері на комп'ютер диспетчера заводу і в ЦПУ цехів виробництва аміаку, перевантаження аміаку і виробництва карбаміду, а також оперативному черговому Головного управління МНС в Одеській області.

На підприємстві впроваджена автоматизована комп'ютерна система моделювання і розрахунку зон ураження при розливах аміаку, що дозволяє в режимі реального часу і на будь-який прогнозований період визначити території, що потрапили в зону зараження, і концентрацію аміаку в них. При цьому автоматично враховується вплив метеорологічних параметрів: швидкість і напрям вітру, температура, вологість, стан атмосфери, які поступають на комп'ютер з автоматичної метеостанції.

Межі допустимої концентрації аміаку:

- у населеному пункті – 0.2 мг/м<sup>3</sup>;
- на території підприємства – 7 мг/м<sup>3</sup>;
- вражаюча концентрація – 250 мг/м<sup>3</sup>;
- смертельна концентрація – 1000 мг/м<sup>3</sup>;

Запах аміаку відчувається при концентрації більше 0.5 мг/м<sup>3</sup>.

Безпека персоналу підприємства забезпечується наявністю індивідуальних і колективних засобів захисту. Кожному працівникові заводу виданий протигаз з коробкою мазкі КД, орієнтовний час захисної дії якого наступний:

- при концентрації 100 мг/м<sup>3</sup> – 75 годин; 300 мг/м<sup>3</sup> – 25 годин;
- 2000 мг/м<sup>3</sup> – 4 години.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Є три захисні споруди, призначені для укриття і захисту людей від отруйливих речовин, проникаючої радіації, світлового випромінювання, ударної хвилі, радіоактивного пилу, бактерійних засобів, місткістю 600 чоловік кожне, із ступенем ослаблення проникаючої радіації - 2000.

Устаткування захисних споруд забезпечує їх експлуатацію в режимах:

I – чистій вентиляції;

II – фільтровентиляція повітря;

III – повній ізоляції від зовнішнього повітря, з регенерацією і створенням підпору повітря.

На підставі Закону України Про цивільну оборону України, Закону України "Про єдину державну систему по попередженню і реагуванню на надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру" на заводі є відділ по питаннях надзвичайних ситуацій і цивільній обороні.

Штатний склад відділу - 4 людини.

Відділ по питаннях НС і ГО здійснює:

- роботу по впровадженню і реалізації на заводі державних правових норм у сфері цивільної оборони, захисту працюючого персоналу і територій від надзвичайних ситуацій;

- розробку планів цивільної оборони і здійснення організаційних в інженерно-технічних заходів, направлених на попередження надзвичайних ситуацій і підвищення стійкості функціонування заводу в надзвичайних ситуаціях;

- організацію взаємодії аварійно-рятувальних служб заводу;

- забезпечення взаємодії з місцевими виконавськими органами і координацію дій з органами управління територіальних структур МНС України при реагуванні на надзвичайні ситуації і ліквідації їх наслідків;

- організацію роботи диспетчерської служби заводу по сповіщенню працюючого персоналу ОПЗ, розташованих поблизу заводу підприємств і населення при загрозі і виникненні надзвичайних ситуацій;

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- забезпечення роботи автоматизованих систем аналізу і прогнозу хімічної обстановки і технічних засобів сповіщення;

- підтримка в постійній готовності до використання колективних засобів захисту, запасного пункту управління цивільної оборони і запасного диспетчерського пункту;

- підготовку і навчання персоналу заводу по питаннях цивільної оборони, попередження і реагування на надзвичайні ситуації.

Зовнішній і внутрішній контури системи контролю рівня загазованості повинні мати два рівні контролю концентрації аміака в повітрі:

- I рівень. Гранично допустима концентрація (ГДКр.з);

- II рівень. Аварійний витік фреону - концентрація фреону у місцях установки датчиків досягла величини, рівної 25 ГДКр.з

е) Система повинна бути обладнана автоматичними засобами, що дозволяють контролювати рівень загазованості на промисловому майданчику (I рівень зовнішнього контура контролю) і прогнозувати розповсюдження зони хімічного зараження за територію об'єкту. Таке оснащення повинне бути обгрунтоване оцінкою можливих наслідків аварії, підтвердженої відповідними розрахунками.

ж) Для фреонових холодильних установок, що мають в своєму складі технологічні блоки III категорії вибухонебезпеки.

з) Допускається установка сигналізаторів концентрації пари фреону, що спрацьовують при заданих значеннях концентрацій. Об'єм інформації від встановлених сигналізаторів повинен бути достатнім для формування відповідних дій, що управляють.

и) Система контролю рівня загазованості при перевищенні заданої величини концентрації фреону повинна забезпечувати автоматичне виконання наступних дій:

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

## Висновок

Виконуючи усі вимоги по захисту ми огороджуємо себе від небезпеки, вчасно визначитись зоною аварії, нам дає час на ліквідування осередків. Необхідно пам'ятати, що безпека людини та навколишнього середовища в значній мірі знаходиться в руках самої людини. Тому суворе дотримання правил та вимог охорони праці на підприємстві надасть можливість уникнути нещасних випадків та аварій на виробництві.

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

## Список використаної літератури

1. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса: ОНТУ, 2022 р. – 164 с.

2. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 46 с.

3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 122 с.

4. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Аналіз та проектування енергетичних систем» для студентів СВО «Бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» галузі знань 14 «Електрична інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса ОНТУ, 2022. – 70 с.

5. Плодоовочесховища: проектування, оптимізація, розрахунки [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, В. П. Кочетов, А. В. Форсюк, Н. В. Жихарева ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ; Одес. нац. акад. харч. технологій, Нац. ун-т харч. технологій. — Одеса : Бондаренко М. О., 2018. — 228 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 222-223.

6. Низькопотенційна енергетика [Текст] : навч. посіб. / А. О. Редько, М. К. Безродний, М. В. Загорученко та ін. ; Нац. техн. ун-т України "Київський політехнічний університет", Одес. нац. акад. харч. технологій, Харків. нац. ун-т будівництва та архітектури, Вінниц. нац. техн. ун-т. — Харків : Друкарня Мадрид, 2016. — 412 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 404-405.

7. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко ; під заг. ред. М.Г. Хмельнюка; Одеська нац. академія харчових технологій. — Херсон : Грінь Д.С., 2014. — 484 с. : іл.

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

					<i>КРБ.ХУКП.1.487-03.2.6</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84