

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



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему: Розробка холодильної установки для зберігання  
коренеплодів місткістю 250 т у м. Одеса з використанням природних  
холодоагентів

Здобувача Михайлицький М.Є.

4 курсу ЕН-141 групи

Керівник к.т.н, доц. Яковлева О.Ю.

Консультанти: д.т.н, проф. Хмельнюк М.Г.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від 28.05.2026 р. протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП Михайло ХМЕЛЬНЮК

Одеса - 2026 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
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.

«16» березня 2026 року

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Михайлицький Микита Євгенович

1. Тема роботи Розробка холодильної установки для зберігання коренеплодів  
місткістю 250 т у м. Одеса з використанням природних холодоагентів

Затверджена наказом ОНТУ від 26.09.2025 р. наказ № 499-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28.05.2026 р.

3. Вихідні дані роботи

Овочесховище холодильник місткістю 250 т. Будівля холодильника одноповерхова з  
висотою камер 6 м, з сіткою колон 6x12 м. У 2-х камерах передбачається тривале  
зберігання коренів хрону з температурним режимом при  $t_k = -2^\circ\text{C}$ , відносній вологості  
повітря  $\varphi_k = 0.75$ . В якості холодильного агента передбачається R600a. Теплообмінні  
апарати фірми Güntner. Компресорно-конденсаторний агрегат BITZER.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

Реферат, Вступ, 1. Теоретична частина, Розділ 2. Розрахунок будівельно-ізоляційної  
конструкції камер, Розділ 3. Визначення теплового навантаження камер, Розділ 4.  
Тепловий розрахунок холодильної системи, Розділ 5. Розрахунок повітряного  
конденсатора, Розділ 6. Надходження вологи від продукту, Розділ 7. Підбір  
компресорів та конденсаторів, Розділ 8. Розрахунок магістральних  
трубопроводів, Розділ 9. Охорона праці, Висновки,  
Перелік використаної літератури.

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 видав
Охорона праці	д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.	18.05.2026	22.05.2026

7. Дата видачі завдання 16.03.2026 р.

Керівник Яковлева О.Ю.

Завдання прийняв до виконання Михайлицький М.Є.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	25.05-25.05.2026	виконано
2	Вступ	16.03-20.03.2026	виконано
3	Теоретична частина	20.03-30.03.2026	виконано
4	Розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер	01.04-03.04.2026	виконано
5	Визначення теплового навантаження камер	05.04-10.04.2026	виконано
6	Тепловий розрахунок холодильної системи	11.04-15.04.2026	виконано
7	Розрахунок повітряного конденсатора	16.04-20.04.2026	виконано
8	Надходження вологи від продукту	21.04-25.04.2026	виконано
9	Підбір компресорів та конденсаторів	27.04-10.05.2026	виконано
10	Розрахунок магістральних трубопроводів	11.05-17.05.2026	виконано
11	Охорона праці	18.05-22.05.2026	виконано
12	Висновки	22.05-23.05.2026	виконано
13	Перелік літературних джерел	24.05-25.05.2026	виконано
14	Підготовка графічної частини кваліфікаційної роботи	25.05-27.05.2026	виконано

Здобувач-дипломник Михайлицький М.Є.

Керівник роботи Яковлева О.Ю.

*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 Михайлицький Микита Євгенович

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці проєкту холодильної установки для зберігання коренів хрону місткістю 250 т у м. Одеса з використанням природного холодоагенту R600a. Актуальність роботи зумовлена необхідністю впровадження енергоефективних та екологічно безпечних технологій зберігання плодоовочевої продукції, спрямованих на зниження експлуатаційних витрат, мінімізацію втрат сільськогосподарської продукції та скорочення негативного впливу холодильних систем на навколишнє середовище.

У роботі проведено аналіз сучасних технологій холодильного зберігання коренеплодів та обґрунтовано вибір коренів хрону як об'єкта дослідження. Визначено оптимальні параметри зберігання продукції: температура повітря в холодильній камері становить мінус 2 °С, а відносна вологість підтримується на рівні 90–95 %, що забезпечує тривале зберігання продукції зі збереженням її споживчих та технологічних властивостей.

На основі виконаних теплотехнічних розрахунків визначено необхідну холодопродуктивність холодильної установки, яка становить 26 кВт. Для реалізації прийнятих технічних рішень підібрано компресорно-конденсаторний агрегат **LH135E/4JE-15-40P**, що забезпечує стабільну роботу системи в заданих режимах. Для охолодження повітря в камері зберігання обрано стельовий повітроохолоджувач **Güntner GACC RX 050.1/2-70.A-1820840** холодопродуктивністю 27 кВт при температурі кипіння холодоагенту –8 °С. Також виконано підбір допоміжного обладнання, зокрема ресивера, фільтра-осушувача, терморегулюючого вентиля, електромагнітного клапана, запірної арматури та засобів автоматизації.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпечної експлуатації холодильної установки на природному холодоагенті R600a. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, розроблено заходи щодо забезпечення пожежної та вибухової безпеки, електробезпеки, а також визначено порядок дій персоналу в аварійних ситуаціях.

Результати роботи підтверджують технічну доцільність застосування природного холодоагенту R600a у холодильних системах для зберігання коренеплодів. Запропоновані технічні рішення забезпечують підтримання необхідного температурно-вологісного режиму, зниження втрат продукції, підвищення енергоефективності та екологічної безпеки холодильного комплексу.

**Ключові слова:** холодильна установка, корені хрону, природні холодоагенти, R600a, холодильне зберігання, холодопродуктивність, повітроохолоджувач, компресорно-конденсаторний агрегат, енергоефективність, охорона праці.

									Арк.
									6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16				

## ABSTRACT

The qualification thesis is devoted to the development of a refrigeration system project for the storage of horseradish roots with a capacity of 250 tons in Odesa using the natural refrigerant R600a. The relevance of the study is determined by the need to implement energy-efficient and environmentally friendly technologies for the storage of agricultural products aimed at reducing operating costs, minimizing post-harvest losses, and decreasing the environmental impact of refrigeration systems.

The thesis analyzes modern technologies for refrigerated storage of root vegetables and substantiates the selection of horseradish roots as the object of study. The optimal storage conditions were determined: the air temperature in the refrigerated chamber is maintained at  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , while the relative humidity is kept within the range of **90–95%**, ensuring long-term preservation of the product with retention of its consumer and technological properties.

Based on the performed thermal calculations, the required refrigeration capacity of the system was determined to be **26 kW**. To implement the proposed technical solutions, the **LH135E/4JE-15-40P condensing unit** was selected, providing stable operation of the refrigeration system under the specified operating conditions. For air cooling inside the storage chamber, the ceiling-mounted air cooler **Güntner GACC RX 050.1/2-70.A-1820840** with a cooling capacity of **27 kW** at an evaporation temperature of  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  was chosen. Auxiliary equipment was also selected, including a liquid receiver, filter drier, thermostatic expansion valve, solenoid valve, shut-off valves, and automation and control devices.

Special attention was paid to occupational health and safety issues related to the operation of refrigeration systems using the natural refrigerant R600a. Hazardous and harmful production factors were analyzed, and measures aimed at ensuring fire and explosion safety, electrical safety, and personnel protection in emergency situations were developed. Procedures for personnel response to refrigerant leaks and other emergency events were also considered.

The results of the study confirm the technical feasibility and effectiveness of using the natural refrigerant R600a in refrigeration systems intended for root crop storage. The proposed engineering solutions ensure the maintenance of the required temperature and humidity conditions, reduce product losses, improve the energy efficiency of the refrigeration facility, and minimize its environmental impact.

**Keywords:** refrigeration system, horseradish roots, natural refrigerants, R600a, refrigerated storage, refrigeration capacity, air cooler, condensing unit, energy efficiency, occupational safety.

									Арк.
									7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16

## Зміст

<b>РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....</b>	<b>11</b>
1.1 Сучасний стан та перспективи холодильного зберігання коренеплодів .....	11
1.2 Біологічні особливості коренів хрону та умови їх зберігання.....	13
1.3 Огляд природних холодоагентів та обґрунтування вибору R600a.....	14
Висновки до розділу 1 .....	15
<b>РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КАМЕР.....</b>	<b>16</b>
<b>РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ КАМЕР.....</b>	<b>22</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ..</b>	<b>32</b>
<b>РОЗДІЛ 5.РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА.....</b>	<b>37</b>
<b>РОЗДІЛ 6. НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ ВІД ПРОДУКТУ .....</b>	<b>43</b>
<b>РОЗДІЛ 7. ПІДБІР КОМПРЕСОРІВ ТА КОНДЕНСАТОРІВ, РОЗРАХУНОК МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ.....</b>	<b>48</b>
Güntner GACC RX 050.1/2-70.A-1820840 .....	50
7.3 Підбір допоміжного обладнання холодильної установки.....	51
7.3.1 Лінійний ресивер.....	51
7.3.2 Фільтр-осушувач.....	52
7.3.3 Оглядове скло .....	53
7.3.4 Терморегулюючий вентиль.....	53
7.3.5 Електромагнітний клапан.....	54
7.3.6 Запобіжна та запірна арматура.....	54
7.3.7 Прилади автоматизації та контролю .....	55
Висновки до розділу .....	55
<b>РОЗДІЛ 9 ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>58</b>
9.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів .....	58
9.2 Заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації холодильної установки на R600a.....	60
Вимоги до машинного відділення .....	61
Система контролю витоків холодоагенту .....	61
Вентиляція машинного відділення.....	62
Організаційні заходи безпеки.....	62

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	<i>Розробка холодильної установки для зберігання коренеплодів місткістю 250 т у м. Одеса з використанням природних холодоагентів</i>	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Михайличук М.Е.					6	80
Перевірив		Яковлева О.Ю.				<b>ОНТУ гр. ЕН-141</b>		
Н. Контр.		Яковлева О.Ю.						



## ВСТУП

Одним із важливих напрямів розвитку агропромислового комплексу України є зниження післязбиральних втрат плодоовочевої продукції шляхом удосконалення технологій її зберігання. Значна частина коренеплодів характеризується сезонністю виробництва та потребує створення спеціальних умов, що забезпечують збереження їх товарних, смакових та харчових властивостей протягом тривалого часу. Недотримання необхідних параметрів зберігання призводить до інтенсивного перебігу фізіологічних процесів, розвитку мікрофлори, втрати маси та погіршення якості продукції.

Особливе місце серед коренеплодів займає хрін звичайний, який широко використовується у харчовій промисловості та є цінною сировиною для виробництва різноманітної продукції. Високий вміст біологічно активних речовин обумовлює необхідність забезпечення стабільних умов його зберігання. Для тривалого збереження якості коренів хрону рекомендується підтримувати температуру повітря на рівні близько  $-2^{\circ}\text{C}$  та відносну вологість 90–95 %, що дозволяє мінімізувати втрати маси, сповільнити інтенсивність дихання та пригнітити розвиток небажаної мікрофлори.

Одночасно із забезпеченням необхідних технологічних умов дедалі більшої актуальності набувають питання підвищення енергоефективності холодильних систем та зменшення їх негативного впливу на довкілля. Традиційні синтетичні холодоагенти характеризуються високими значеннями потенціалу глобального потепління, що зумовлює поступове обмеження їх використання відповідно до сучасних міжнародних екологічних вимог.

Перспективним напрямом розвитку холодильної техніки є застосування природних холодоагентів. Одним із них є ізобутан (R600a), який характеризується нульовим потенціалом руйнування озонового шару та дуже низьким потенціалом глобального потепління. Крім екологічних переваг, R600a має сприятливі термодинамічні властивості, що забезпечують високі енергетичні показники холодильних установок. Незважаючи на належність до

									Арк.
									8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

горючих холодоагентів класу безпеки А3, дотримання вимог щодо проєктування та експлуатації обладнання дозволяє успішно використовувати його в сучасних холодильних системах малої та середньої холодопродуктивності.

Місто Одеса є одним із найбільших центрів виробництва, перероблення та реалізації сільськогосподарської продукції південного регіону України. Кліматичні умови регіону, що характеризуються високими температурами зовнішнього повітря у теплий період року, потребують застосування надійних та енергоефективних холодильних систем для забезпечення необхідних режимів зберігання продукції.

У зв'язку з цим проєктування холодильної установки для зберігання коренів хрону місткістю 250 т у місті Одеса з використанням природного холодоагенту R600a є актуальним інженерним завданням, спрямованим на підвищення ефективності післязбирального зберігання продукції та впровадження екологічно безпечних технологій.

**Метою роботи** є розроблення проєкту холодильної установки для зберігання коренів хрону місткістю 250 т у м. Одеса з використанням природного холодоагенту R600a, яка забезпечує підтримання температури в камері на рівні  $-2^{\circ}\text{C}$ , високу енергоефективність та безпечність експлуатації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій холодильного зберігання коренеплодів;
- дослідити біологічні особливості та умови зберігання коренів хрону;
- обґрунтувати вибір природного холодоагенту R600a;
- визначити теплоприпливи до холодильних камер і розрахувати необхідну холодопродуктивність установки;
- здійснити вибір та розрахунок основного холодильного обладнання;
- розробити принципову схему холодильної установки;
- оцінити енергетичні та техніко-економічні показники проєктованої

										Арк.
										9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

системи;

– розглянути питання охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації установки.

**Об'єкт дослідження** – холодильна установка на природному холодоагенті R600a для забезпечення умов зберігання коренів хрону місткістю 250 т.

**Предмет дослідження** – процес холодильного зберігання коренів хрону.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо створення екологічно безпечної та енергоефективної холодильної установки, що може бути використана під час проектування нових або модернізації існуючих овочесховищ.

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Сучасний стан та перспективи холодильного зберігання коренеплодів

Зберігання овочевої продукції є одним із найважливіших етапів технологічного ланцюга від виробника до кінцевого споживача. За даними різних досліджень, втрати овочевої продукції під час зберігання можуть становити від 15 до 30 %, а за недотримання необхідних параметрів мікроклімату цей показник може бути ще вищим. Тому застосування сучасних холодильних технологій є необхідною умовою забезпечення продовольчої безпеки та економічної ефективності підприємств агропромислового комплексу.

Коренеплоди займають важливе місце у структурі виробництва овочевої продукції України. До цієї групи належать морква, столові буряки, коренева петрушка, селера, пастернак, хрін та інші культури. Спільною особливістю коренеплодів є те, що навіть після збирання вони залишаються живими організмами, у яких продовжуються процеси дихання, випаровування вологи та біохімічних перетворень. Інтенсивність цих процесів безпосередньо залежить від температури та вологості навколишнього середовища.

Основними причинами втрат коренеплодів під час зберігання є:

- природне зменшення маси внаслідок випаровування вологи;
- витрати поживних речовин у процесі дихання;
- механічні пошкодження продукції;
- розвиток бактеріальних та грибкових захворювань;
- проростання;
- підмерзання або перегрів продукції.

Для забезпечення тривалого зберігання використовують різні способи створення необхідних умов мікроклімату.

Таблиця 1.1 – Основні способи зберігання коренеплодів

Спосіб зберігання	Температура, °С	Переваги	Недоліки
Польові бурти та траншеї	0...+4	Низькі капітальні витрати	Значні втрати продукції









## РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬНО-ІЗОЛЯЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КАМЕР

Холодильник для зберігання коренеплодів проектується відповідно до вимог чинної нормативно-правової бази України у сфері проектування холодильних підприємств, будівництва та забезпечення безпечності харчових продуктів. Під час вибору технологічного режиму зберігання враховувалися положення ДБН В.2.2-42:2021 «Будівлі і споруди. Холодильники», ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування», вимоги Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», а також рекомендації щодо післязбирального зберігання плодоовочевої продукції, наведені у науково-технічній літературі та галузевих методичних виданнях. Додатково були враховані сучасні міжнародні рекомендації з технології зберігання овочевої продукції, зокрема матеріали університетських дослідницьких центрів США та Європи, що стосуються оптимальних режимів зберігання коренеплодів. Такий підхід дозволяє забезпечити відповідність проєктованого холодильного об'єкта сучасним вимогам енергоефективності, безпечності та збереження якості продукції.

Враховуючи біологічні особливості обраного об'єкта зберігання – коренів хрону (*Armoracia rusticana*), для забезпечення максимальної тривалості зберігання та мінімізації природних втрат приймається температурний режим у холодильній камері  $t_k = -2^{\circ}\text{C}$ . Саме за такої температури сповільнюються процеси дихання рослинної тканини, зменшується інтенсивність випаровування вологи, пригнічується розвиток більшості мікроорганізмів та забезпечується збереження товарних, смакових і технологічних властивостей продукції протягом тривалого періоду.

Поряд із температурою важливим фактором є підтримання оптимальної відносної вологості повітря в камері. Згідно з рекомендаціями вітчизняних та зарубіжних дослідників, для коренів хрону вона повинна становити **90–95 %**,

									Арк.
									16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16				



## 2.1 Розрахунок площ зберігання вантажу

Приймаємо норму завантаження для зберігання коренів хрону в ящиках  $g_w=0.35$  т/м<sup>3</sup>. Тоді вантажний об'єм складе:

$$V_{гр} = G/g_w \quad (2.1)$$
$$V_{гр} = 250/0.35 = 714,2 \text{ м}^3$$

При розрахунку вантажної площі камер приймаємо, що висота вантажу складає  $h_{гр}=3,6$  м при будівельній висоті  $h_{стр}=6$  м. Тоді вантажна площа:

$$F_{гр} = V_{гр}/h_{гр} \quad (2.2)$$
$$F_{гр} = 714,2/3,6 = 198,4 \text{ м}^2$$

Приймаємо коефіцієнт використання будівельної площі  $\beta_F=0.75$ , тоді будівельна площа камери:

$$F_{стр} = F_{гр}/\beta_F \quad (2.3)$$
$$F_{стр} = 198,4/0.8 = 248 \text{ м}^2$$

Кількість будівельних прямокутників сіткою 6х12:

$$n = F_{стр}/f \quad (2.4)$$
$$F_{стр} = 248/72 = 3,44$$

Визначаємо дійсний коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін.

Товщина ізоляційного шару:

$$\delta_{из} = \left[ \frac{1}{K} - \left( \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{из} \quad [\text{м}] \quad (2.5)$$

де  $K$  – відповідний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2</sup>К);

$\alpha_n$ ,  $\alpha_k$  – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторін огорожі Вт/(м<sup>2</sup>К);

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

									Арк.
									18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Товщина зовнішньої стінки:  $\delta=0.103$  м.

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

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из}=(1/0.43-(1/23+0.1/0,021+0,003/16+1/9))\cdot 0.05$$

$$\delta_{из} = 0.097 \text{ м, приймаємо } \delta_{из}=0.1 \text{ м.}$$

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{чп}^{\prime}=1/(1/23+1/9+(4,76+0,0002+0.1/0.05)) = 0.15 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Товщина стелі:  $\delta=0.11$  м.

*Таблиця 2.4 – Конструкція підлоги*

Найменування і матеріал шару	$\delta$ , м	$\lambda$ , Вт/м·К
1.Наливна підлога	0,036	1,1
2. Штукатурка складним розчином	0,1	1,6
3.Пароізоляція - два шару гидроизола на бітумній основі	0.006	0.3
4. Теплоізоляційна плита ПСБ-С	0,2	0.05
5. Бетонна стяжка	0.05	0.98
6. Грунт	-	-

Приймаємо для відповідних умов  $\alpha_n=8$  Вт/(м<sup>2</sup>К), 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:

$$\delta_{из}=(1/0.47-1/9+0,036/1,1+0,1/1,6+0,006/0,3+0,2/0,05+0,05/0,98+1/8))\cdot 0.05$$

$$\delta_{из} = 0.392 \text{ м,}$$

приймаємо  $\delta_{из}=0.4$  м.

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Знаходимо дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_d = 1 / \left( \frac{1}{8} + \frac{0,036}{1,1} + 0,1/1,6 + 0,006/0,3 + 0,2/0,05 + 0,05/0,98 + 1/8 + 1/9 \right) = 0.43 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

Мета теплового розрахунку охолоджуваних приміщень – це визначення правильності вибору холодильного обладнання підбирається на підставі теплового розрахунку, що враховує всі види теплопритоків, які можуть вплинути на зміну температурного режиму в камері.

Охолодження обладнання визначають тепловим розрахунком.

Теплоприток камеру  $Q_{заг}$ , Вт, визначається як сума окремих теплопритоків.

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

### РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ КАМЕР

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

де  $Q_1$  - теплоприток через огороження конструкції приміщення;

$Q_2$  - теплоприток від продуктів при їх холодній обробці;

$Q_3$  - теплоприток від зовнішнього повітря при вентиляції приміщень;

$Q_4$  - теплоприток від різних джерел при вентиляції приміщень;

$Q_5$  - теплоприток при диханні овочів.

3.1 Розрахунок теплопритоків  $Q_1$  через огорожі охолоджуючих приміщень.

Визначається теплоприток  $Q_1$  визначається за виразом:

$$Q_1 = Q_{1T} + Q_{1c}, \text{ Вт} \quad (3.2)$$

де  $Q_{1T}$  - теплоприток через огорожі охолоджуючих приміщення, Вт

$Q_{1c}$  - теплової приплив від сонячної радіації, Вт.

Теплопритоки  $Q_{1T}$  і  $Q_{1c}$  визначають за формулою:

$$Q_{1T} = k F (t_n - t_{в}), \text{ Вт} \quad (3.3)$$

$$Q_{1c} = k F \blacktriangle t_c, \text{ Вт} \quad (3.4)$$

де  $k$  - коефіцієнт теплопередачі огороження, Вт / (м<sup>2</sup> \* К)

$F$  - площа теплопередаючої поверхні огороження, м<sup>2</sup>

$t_n$  - зовнішня розрахункова річна температура повітря, °С

$t_{в}$  - розрахункова температура в камері, °С

$\blacktriangle t_c$  - Надлишкова різниця температур характеризує дію сонячної радіації в літній час, 0С.

Стіни

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

зовнішня стіна схильна до сонячної радіації, тому  $\Delta t_c = 7,2 \text{ }^\circ\text{C}$

а) стіна північна ( $k = 0,15 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}$ ,

$F_{\text{стіни}} = 6 * 18 = 108, \text{ м}^2$ ;  $t_{\text{н}} = \text{C}$ ;  $t_{\text{в}} = -2, \text{ }^\circ\text{C}$ ).

$$Q_{1T} = 0,15 * 6 * 18 * (33 - (-2)) = 567 \text{ Вт}$$

б) стінка східна  $Q_{1T} = 0,15 * 6 * 9 * (33 - (-2)) = 283,5 \text{ Вт}$

$$Q_{1c} = 0,15 * 6 * 9 * 7,2 = 58,3 \text{ Вт}$$

в) південна..  $Q_{1T} = 0,15 * 6 * 18 * (33 - (-2)) = 572 \text{ Вт}$

$$Q_{1c} = 0,15 * 6 * 18 * 7,2 = 116,4 \text{ Вт}$$

г) стінка західна  $Q_{1T} = 0,15 * 6 * 9 * (33 - (-2)) = 285 \text{ Вт}$

$$Q_{1c} = 0,15 * 6 * 9 * 7,2 = 58,3 \text{ Вт}$$

Підлога

$$Q_{1T} = 0,43 * 9 * 18 * (5 - (-2)) = 278,6 \text{ Вт}$$

$$Q_{1c} = 0$$

Стеля (безчердачне перекриття)

$$Q_{1T} = 0,16 * 9 * 18 * (33 - (-2)) = 907 \text{ Вт}$$

Для стелі  $\Delta t_c$  (надлишкову різниця температури) приймають  $17,7 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_{1c} = 0,16 * 9 * 18 * 17,7 = 458 \text{ Вт}$$

Загальна

$$Q_{1\text{об}} = \Sigma Q_{1T} + \Sigma Q_{1c}, \text{ Вт}$$

$$Q_{1\text{об}} = 683,4 + 341,8 + 701,5 + 343,2 + 278,6 + 1365 = 3134,9$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Таблиця 3.1 Теплопритоки через огорожі

	К, Вт/(м²К)	F, м²	tк, °С	tн, °С	Δtc, °С	Q1+ Q1c, Вт
Північ	0,15	108	-2	32	7,2	683,4
Захід	0,15	54	-2	33	7,2	341,8
Південь	0,15	108	-2	34	7,2	701,5
Схід	0,15	54	-2	33	7,2	343,2
Підлога	0,42	162	-2	34	0	278,6
Стеля	0,16	162	-2	5	13,7	1365
Сумарні теплопритоки по камері, ΣQ1, Вт						3134,9

### 3.3 Визначення теплопритоків Q2 від продуктів при їх холодильній обробці

Q2 - визначається в залежності від добового надходження продуктів в камеру, виду продукту, температури надходження і випуску, а так само часу холодильної обробки:

$$Q2 = M_{\text{пост}} (i_{\text{пост}} - i_{\text{вип}}) 10^6 / (\tau * 3600), \quad (3.5)$$

де Q2 - теплоприток від продуктів при їх тепловій обробці, Вт.

M<sub>пост</sub> - добове надходження продуктів в камеру, т. На добу;

i<sub>пост</sub> - питома ентальпія продукту надходить в камеру при температурі надходження i<sub>пост</sub>, кДж / кг

i<sub>вип</sub> - питома ентальпія продукту випускається з камери при температурі випуску i<sub>вип</sub>, кДж / кг

τ - тривалість холодильної обробки продукту, ч.

Визначається  $Q_2$  ін. Знаходиться спочатку добове надходження в камеру, якщо для овочесховищ  $M_{сут}$  в камери схову приймають рівним 10% місткості камери.

Якщо місткість камери зберігання часнику дорівнює  $V_{хр.к} = 250$ т (з розділу 3 «Розрахунки площ»), то:

$$M_{сут} = 10\% * 250 = 0,1 * 250 = 25 \text{ т / добу}$$

Надходження і випуску продукту дорівнює:

$$I_{пост} = 347,4 \text{ кДж / кг, при } t_{пост} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$I_{вип} = 264,0 \text{ кДж / кг, при пост } t_{вип} = -2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Продовжити холодну обробку продукту  $I = 24$ г.

$$Q_{2обпр} = 25 (347,4 - 274,0) 106 / (24 * 3600) = 14676 \text{ Вт}$$

б) Визначаємо теплоприток  $Q_{2т}$  від тари за виразом:

$$Q_{2т} = M_t C_t (t_{пост} - t_{вип}) 106 / (\tau 3600), \quad (3.6)$$

де  $M_t$  - добове надходження тари, що приймається пропорційно добовому надходженню продукту, т / добу;

$C_t$  - питома теплоємність матеріалу тари, кДж / кг

$t_{пост} - t_{вип}$  - температура тари надходить і випускається з камери,  $^\circ\text{C}$

$\tau$  - тривалість холодильної обробки (приймається по продукту), ч.

(табл.2.3.1).

Масу пластикових контейнерів (ящиків) для овочів приймають рівною 10% від маси овочів.

Добове надходження тари визначається за формулою:

$$M_t = M_{сут.прод.} * 10\%, \text{ т / добу} \quad (3.7)$$

$$M_t = 25 * 0,1 = 2,5 \text{ т / добу}$$

									Арк.
									25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Теплоприток  $Q_3$  від зовнішнього повітря при вентиляції охолоджуючих приміщень відносять однаково і на компресор і на камерне устаткування.

$$Q_{3об} = Q_{3км} \\ = 1985 \text{ Вт}$$

### 3.4 Визначення експлуатаційного теплопритоку $Q_4$ , Вт

$Q_4$  – виникає внаслідок освітлення камерИ, знаходження в ней людей, роботи електрообладнання та відкривання дверей.

Теплоприток  $Q_4$  визначається за виразом:

$$Q_4 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \text{ Вт (5.10)}$$

де  $q_1$  – теплоприток від освітлення, Вт;

$q_2$  – теплоприток від перебування людей, Вт;

$q_3$  – теплоприток від роботи електрообладнання, Вт;

$q_4$  – теплоприток при відкриванні дверей в охолоджені приміщення, Вт;

а) визначається теплоприток  $q_1$  від освітлення:

$$q_1 = AF, \text{ Вт (3.11)}$$

де  $A$  – питомий теплоприток від освітлення в одиницю часу віднесений до  $q_1$  м<sup>2</sup> площі, Вт / м<sup>2</sup> ( $A = 2,3$  Вт / м<sup>2</sup> для камер зберігання);

$F$  – площа камери, м<sup>2</sup>;  $q_1 = 2,3 \times 162 = 372.6$  Вт

б) Обчислюється теплоприток  $q_2$  від перебування людей в охолоджуваних приміщеннях:

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_2 = 350 n, \text{ Вт} \quad (3.12)$$

де 350 – тепловиділення одну працюючу людину, Вт / чол;

n – число працюючих в приміщенні людей;

$$n = 2 \text{ чол.}$$

$$Q_2 = 350 \times 2 = 700 \text{ Вт}$$

в) Розраховуємо теплоприток  $q_3$  від роботи електричного обладнання:

Теплоприток від електродвигунів повітроохолоджувачів визначаємо по формулі:

$$q_3 = j_{\text{дв}} \cdot \sum N_{\text{дв}} \text{ [Вт]}, \quad (3.12)$$

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:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.23 \cdot (3134 + 9485 + 1985) = 4030 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot 0.08 \cdot (3134 + 1985) = 491 \text{ Вт}$$

Визначаємо теплоприток від електродвигунів апаратів:

									Арк.
									28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

У режимі охолодження:

$$q_3 = 0.5 \cdot 4030 = 2015 \text{ Вт}$$

У режимі зберігання:

$$q_3 = 0.25 \cdot 491 = 122.75 \text{ Вт}$$

г) Визначаємо теплоприток  $q_4$  при відкриванні дверей в охолоджувані приміщення:

$$q_4 = VF, \text{ Вт (5.14)}$$

де  $V$  – питома теплоприток через відкриті двері, віднесений до 1 м<sup>2</sup> площі камери, Вт / м<sup>2</sup>

$F$  – площа камери, м<sup>2</sup>

$$q_4 = 4 \times 162 = 648 \text{ Вт}$$

Визначається загальний теплоприток  $Q_4$ , який позначається на камерному обладнанні.

$$Q_{4\text{об}} = 372.6 + 700 + 2015 + 648 = 3735.6 \text{ Вт}$$

Навантаження  $Q_{4\text{км}}$  на компресор з  $Q_{4\text{об}}$  – навантаження на камерне устаткування, береться 25-30%.

$$Q_{4\text{км}} = 25\% \times Q_{4\text{об}}, \text{ Вт (3.15)}$$

$$Q_{4\text{км}} = 0.25 \times 3735.6 = 933.9 \text{ Вт}$$

3. Визначення теплопритоків  $Q_5$ , що виділяється овочами при «диханні» (Вт)

									Арк.
									29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Теплопровідність  $Q_5$  визначається за виразом:

$$Q_5 = V (0,1 q_{\text{пост}} + 0,9 q_{\text{км}}), \text{ Вт (3.16)}$$

де  $V$  – місткість камери, т;

$q_{\text{пост}}$ ,  $q_{\text{км}}$  – тепловиділення плодів при температурах надходження і зберігання, Вт / т (температура надходження приймається рівною 20 °С);

0,1 і 0,9 – необхідні постійні коефіцієнти

Визначається  $Q_5$ , якщо відомо:

$$V = 200\text{т};$$

$$q_{\text{пост}} = 44 \text{ Вт / т (для часнику)}$$

$$t_{\text{пост}} = 20 \text{ °С};$$

$$q_{\text{хр}} = 22 \text{ Вт / т}$$

$$t_{\text{хр}} = -2 \text{ °С то звідси:}$$

$$Q_5 = 200 (0,1 * 44 + 0,9 * 22) = 4840 \text{ Вт.}$$

Даний теплоприток  $Q_5$  відносять повністю при визначенні теплового навантаження на камерне устаткування і на компресор.

	$Q_1$ , Вт	$Q_2$ , Вт	$Q_3$ , Вт	$Q_4$ , Вт	$Q_5$ , Вт	$\Sigma Q_{\text{кам}}$ , Вт
Облад.	3134,9	15485	1985	3735	4840	26050
КМ	3134,9	10840	1985	2629	4840	20300

Таким чином, встановлюємо паралельно 2 компресори з холодопродуктивністю 14 кВт, що мають загальну лінію всмоктування і нагнітання. У режимі охолодження вони забезпечать повний технологічний

										Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>					

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 %,  $\kappa=1.06$ , і коефіцієнта робочого часу  $b=0.85$ :

$$Q_{0 \text{ комп}} = \kappa \cdot Q_0 / b \quad (3.17)$$

$$Q_{0 \text{ комп}} = 1.06 \cdot 21 / 0.85 = 26 \text{ кВт}$$

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

## РОЗДІЛ 4. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Для відведення теплоти конденсації в даній холодильній системі використовуватимуться повітряні конденсатори. Температура конденсації для повітряних конденсаторів приймається на 7-10 К вище за розрахункову температуру зовнішнього повітря:

$$t_k = 33 + 7 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

Компресора будуть використані напівгерметичні, тому сумарний перегрів на всмоктуванні приймаємо з урахуванням підігріву на обмотках компресора  $\Theta = 20 \text{ К}$ .

При роботі на хладон R600a, 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 проводитись за наступними даними:

- температура кипіння R600a  $t_0 = -10^\circ\text{C}$ ;
- потрібна холодопродуктивність  $Q_{0 \text{ комп}} = 26 \text{ кВт}$ ;
- температура конденсації агента  $t_k = 40^\circ\text{C}$ ;
- сумарний перегрів на всмоктуванні  $\Theta = 20^\circ\text{C}$ ;
- переохолодження після конденсатора  $\Delta t_{\text{по}} = 5^\circ\text{C}$ .

									Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Таблиця 4.1 – Розрахункові дані циклу холодильної машини

	1'	1	2	3	4
t, °C	-10	10	64	38	-10
P, бар	3.5	3.5	13.6	13.6	3.5
h, кДж/кг	563	600	670	290	290
v, м³/кг	-	0.14	-	-	

Питомі характеристики циклу:

- питома масова продуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4 = 640 - 296 = 374 \text{ кДж/кг} \quad (4.1)$$

- питома об'ємна продуктивність

$$q_v = q_0 / v_1 = 374 / 0.14 = 2671 \text{ кДж/м}^3 \quad (4.2)$$

- питома адіабатна робота стискування

$$l = h_2 - h_1 = 670 - 600 = 70 \text{ кДж/кг} \quad (4.3)$$

Масова витрата агента:

$$M_a = Q_0 / q_0 = 26 / 270 = 0.07 \text{ кг/с} \quad (4.4)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \cdot v_1 = 0.07 \cdot 0.14 = 0.01 \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.5)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda_c = 1 - 0.03 \cdot [(P_k / P_0)^{1/m} - 1] = 1 - 0.03 \cdot [(14.5 / 3.5) - 1] = 0.914 \quad (4.6)$$

$$\lambda'_w = (T_0 + \Theta) / (\alpha \cdot T_k + \beta \cdot \Theta) = (263 + 20) / (1.12 \cdot 313 + 0.5 \cdot 20) = 0.77$$

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda'_w = 0.914 \cdot 0.77 = 0.704$$



Таблиця 4.2 – Результати теплового розрахунку

Параметри	
Холодопродуктивність, кВт	26
Температура кипіння, °С	-10
Температура конденсації, °С	40
Перегрів, °С	20
Переохолодження в конденсаторі, °С	5
Тиск кипіння/конденсації, бар	3.5/13.6
Теор. об'єм, описаний поршнями, м <sup>3</sup> /с	0.014
Ефективна потужність компресора, кВт	7
Електрична потужність компресора, кВт	7.8

## РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ПОВІТРЯНОГО КОНДЕНСАТОРА

За результатами теплового розрахунку:

$$\sum Q_k = (Q_{0 \text{ комп}} + N_e) = (26 + 7.8) = 33,8 \text{ кВт}$$

Приймаємо для відведення теплоти конденсації повітряний конденсатор з продуктивністю  $Q_k = 34 \text{ кВт}$

Дані для розрахунку:

Теплове навантаження:  $Q_k = 34 \text{ кВт}$

Розрахункова температура зовнішнього повітря:  $t_n = 33 \text{ }^\circ\text{C}$

Відносна вологість зовнішнього повітря:  $\phi_n = 0.6$

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: мідь/алюміній

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: R600a

### 5.1 Тепловий розрахунок конденсатора

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

$$t_2 = t_n + \Delta t = 33 + 5 = 38 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$t_k = 33 + 10 = 43 \text{ }^\circ\text{C}$$

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:

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

									Арк.
									38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

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

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 мідних труб коефіцієнт теплопровідності стінки  $\lambda_{\text{тр}} = 400 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ , для алюмінієвих ребер  $\lambda_p = 200 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Коефіцієнт ефективності ребра визначаємо по формулі:

									Арк.
									39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

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

$$E = \tanh[(2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 200))^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008)] / [2 \cdot 69.1 / (0.0008 \cdot 200)]^{0.5} \cdot (0.018 + 0.5 \cdot 0.0008) = 0.91$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі визначаємо по формулі:

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

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

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:

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

$$K = [(1 / 64.2 + 8 \cdot 2.2 \cdot 10^{-3} / (\pi \cdot (0.022^2 + 0.002^2))) \cdot (0.5 \cdot (0.022 - 0.02) / 400 + 0.0008 / 200 + 0.0005 / 0.12)]^{-1} = 23.8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Властивості агента (R600a 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:

						Арк.
					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$q=4^{-1}\cdot 0.72\cdot [9.81\cdot 165\cdot 10^3\cdot 1120^2\cdot 0.0756^3\cdot (2.2\cdot 10^{-4}\cdot 0.02)^{-1}]^{0.25}\cdot (40-t_{CT})^{-0.75}= \\ =678\cdot (40-t_{CT})^{-0.75}$$

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

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

$$q=K\cdot (t_{CT}-t_H)=23.8\cdot (t_{CT}-33)$$

Вирішуючи спільно систему рівнянь 5.9 і 5.10, визначимо шукану щільність теплового потоку через стінку:  $q=170,1 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ .

Повну обребрену поверхню апарату визначаємо по формулі:

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

$$F=34\cdot 10^3/170,1=200 \text{ м}^2$$

## 5.2 Конструктивний розрахунок апарату

Об'ємна витрата повітря через апарат визначається по формулі:

$$G_B=Q_k/(C_p\cdot (t_2-t_1)), \text{ кг/с} \quad (5.12)$$

$$G_B=34\cdot 10^3/(1.006\cdot (37-33))=6.8 \text{ кг/с}$$

$$V_B=G_B/\rho, \text{ м}^3 \quad (5.13)$$

$$V_B=6,5/1,165=5,1 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа «живого» перетину конденсатора:

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>					

$$F_{жс} = V_B / w_B = 5,1/8 = 0,64 \text{ м}^2$$

Сумарна довжина труб в апараті:

$$\sum L = F_{жс} / f_{\pi} = 0.64 / (2.2 \cdot 10^{-3}) = 290 \text{ м}$$

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

$$f_{ж} = S_1 \cdot u - (2 \cdot h \cdot \delta + d \cdot u), \text{ м}^2 \quad (5.14)$$

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

Число ребристих елементів у фронтальному перетині пучка труб апарату:

$$n_{рз} = F_{жс} / f_{ж} = 0.64 / 0.1465 \cdot 10^{-3} = 4368$$

Сумарна довжина труб у фронтальному перетині пучка:

$$\sum L_{\phi} = u \cdot n_{рз} = 0.008 \cdot 4368 = 35 \text{ м}$$

Площа фронтального перетину апарату:

$$S_{\phi} = S_1 \cdot \sum L_{\phi} = 0.044 \cdot 89.6 = 1.53 \text{ м}^2$$

Діаметр вентиляторів  $D_B = 0.5 \text{ м}$ , кількість  $z = 2$

Орієнтовні геометричні розміри конденсатора:

- ширина  $B_k = (S_{\phi} / z)^{0.5} = (1.53 / 2)^{0.5} = 0.85 \text{ м}$ ;

- довжина  $L_k = B_k \cdot z = 0.85 \cdot 2 = 1,7 \text{ м}$ .

Число труб у фронтальному перетині апарату з округленням до цілого:

$$N_{\phi} = B_k / S_1 = 0.9 / 0.044 = 21$$

Дійсні геометричні розміри конденсатора:

- ширина  $B_k = N_{\phi} \cdot S_1 = 21 \cdot 0.044 = 0.9 \text{ м}$ ;

- довжина  $L_k = S_{\phi} / B_k = 1.53 / 0.9 = 1.7 \text{ м}$ .

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

$$N = \sum L / \sum L_{\phi} = 290 / 35 \approx 8$$

Висота секції:  $H_k = S_2 \cdot N = 0.07 \cdot 8 = 0.56 \text{ м}$

										Арк.
										42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

## РОЗДІЛ 6. НАДХОДЖЕННЯ ВОЛОГИ ВІД ПРОДУКТУ

Через неможливість точно спрогнозувати технологічні умови роботи камери, а також з метою зменшення обсягу інженерних розрахунків, прийняті наступні спрощення: повітря по всьому об'єму камери має однакові параметри; всі процеси в камері зберігання стаціонарні; тепловий потік через огороження практично відсутня. тоді:

6.1. Надходження вологи від продукту:

$$G_{\text{прод}} = g_{\text{прод}} \times M_{\text{прод}}, \text{ кг / год} \quad (6.1)$$

де  $g_{\text{прод}}$  - вологовиділення продукту, кілограм на тон в годину;

$M$  - маса зберігається продукту, тонн.

Беручи усереднене вологовиділення часнику при зберіганні  $g_{\text{прод}} = 6,2$  г/т на годину, очікуване надходження вологи в камеру з продукту:

$$G_{\text{прод}} = 200 \cdot 0,0062 = 1,24 \text{ кг / год}$$

6.2. Надходження вологи від вентиляції камери в найважчих кліматичних умовах (температура

що надходить в камеру повітря 3 С, відносна вологість 100%):

$$G_{\text{вент}} = V_{\text{вент}} \cdot \rho_{\text{вент}} (d_{\text{вент}} - d_{\text{кам}}), \text{ кг / ч} \quad (6.2)$$

де  $V_{\text{вент}}$  - витрата припливного повітря, м<sup>3</sup> / ч;

$\rho_{\text{вент}}$  - щільність припливного повітря, приймаєт-

ся рівною 1,278 кг / м<sup>3</sup>;

$d_{\text{вент}}$  - вологовміст припливного повітря, при-

ймається рівним 0,00472 кг / кг;

$d_{\text{кам}}$  - вологовміст повітря камери при нормованій температурі і відносній вологості, кг / кг (знаходиться з h-D діаграми або за рівняннями стану).

Вплив припливно-витяжної вентиляції необхідно враховувати, оскільки вона може, як сприяти осушенню повітря камери, так і перешкоджати

йому. У холодний період року навіть насичений водяними парами повітря, нагріте в припливній установці, має низьку  $\phi$ . З іншого боку, якщо

										Арк.
										43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

туман і температура зовнішнього повітря близька до температури камери, а його вологість дорівнює 100%, приплив надмірної вологи від вентиляції буде значним.

В даному прикладі при  $t = -2 \text{ C}$ ,  $\phi_{\text{кам}} = 75\%$ ,

$d = 0,00283 \text{ кг / кг}$ , можливе надходження надмірної вологи від вентиляції складе

$$G = 121.5 \cdot 1,278 (0,00472 - 0,00283) = 0,293 \text{ кг / год}$$

6.3. Сумарне надходження вологи в камеру:

$$G_{\text{общ}} = G_{\text{прод}} + G_{\text{вент}}, \text{ кг / год.} \quad (6.3)$$

$$G_{\text{общ}} = 1,24 + 0,293 = 1,533 \text{ кг / год.}$$

За отриманим показником обираємо осушувач повітря:

Обираємо Адсорбційний осушувач повітря Desiccant Technologies Group MDC450



*Рис. 6.1 Зовнішній вигляд осушувача*

Осушувач адсорбційний роторний MDC450 призначений для осушення повітря всередині приміщень, які мають особливі вологості і температурні параметри (складів, підвалів, насосних станцій) і використання в процесах сушіння. Адсорбційні

						КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			44

осушувачі повітря МДС мають високу продуктивність і незамінні при потребі в низькій вологості при низьких температурах.

Осушувачі укомплектовані: сілікагелевой ротором з приводом, РТС-нагрівачем, вентиляторами, повітряними фільтрами. Можуть працювати як автономний пристрій, так і в комбінації з системою обробки повітря. Відмінні властивості адсорбційного осушувача – висока ефективність при низьких температурах, досягнення і підтримка дуже низької вологості повітря.

Крім вирішення названих проблем за допомогою адсорбційних роторних осушувачів можна:

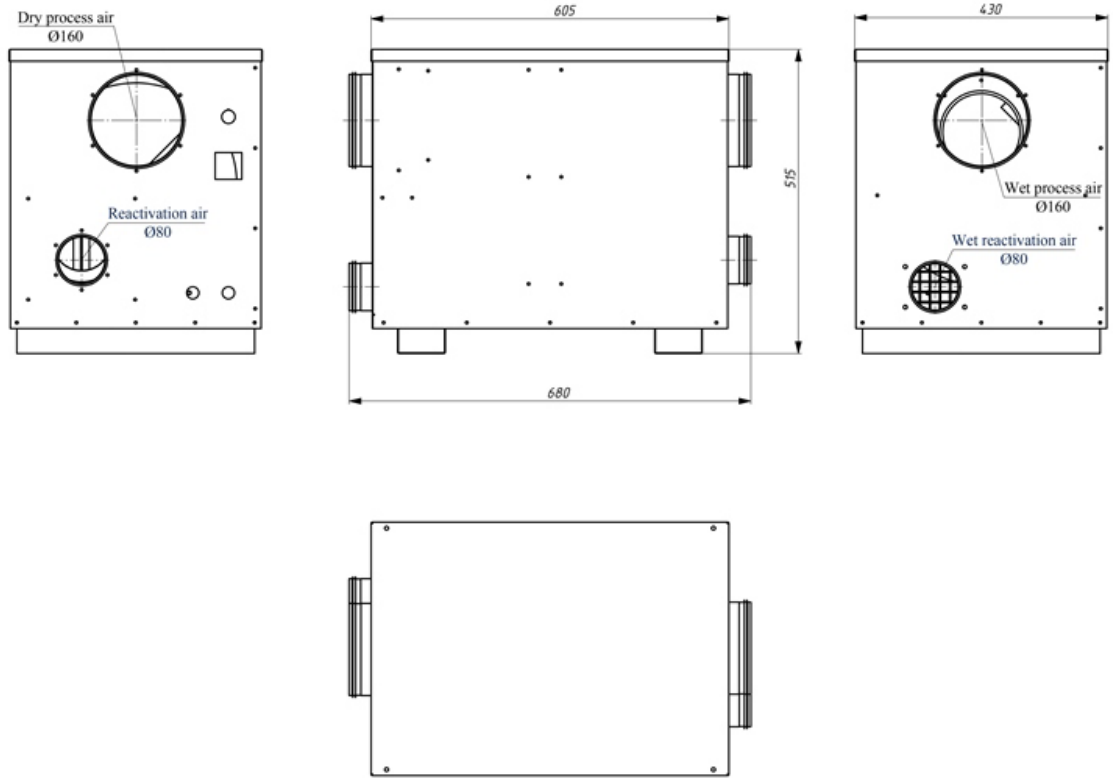
- захищати від запотівання вікна і скляні стелі в адміністративних і житлових будівлях;
- підвищити якість оздоблювальних робіт при ремонті квартир за рахунок просушування без температурних деформацій використаних стін, підлоги і стелі;
- ліквідувати наслідки повеней, просушувати нові будівельні об'єкти;
- збільшувати тривалість зберігання гігроскопічних матеріалів: ліків, пральних порошків, будівельних матеріалів та інших сипучих продуктів;
- підтримувати низький рівень вологості при виробництві харчових продуктів, деревини, гумових виробів і пластмас, при виробленні хутряних шкурок;
- зберігати товарний вигляд одягу і упаковки;
- знижувати зростання бактерій і т.д.

#### 6.1 Особливості

- Корпус має високу корозійну стійкість і виготовлений з нержавіючої листової сталі товщиною 1,0 мм; деякі компоненти виконані з нержавіючої листової сталі товщиною 1,5 і 2,0 мм для підвищення жорсткості і міцності осушувача;

									Арк.
									45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					





*Рис. 6.2 Схематичне креслення осушувача*

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

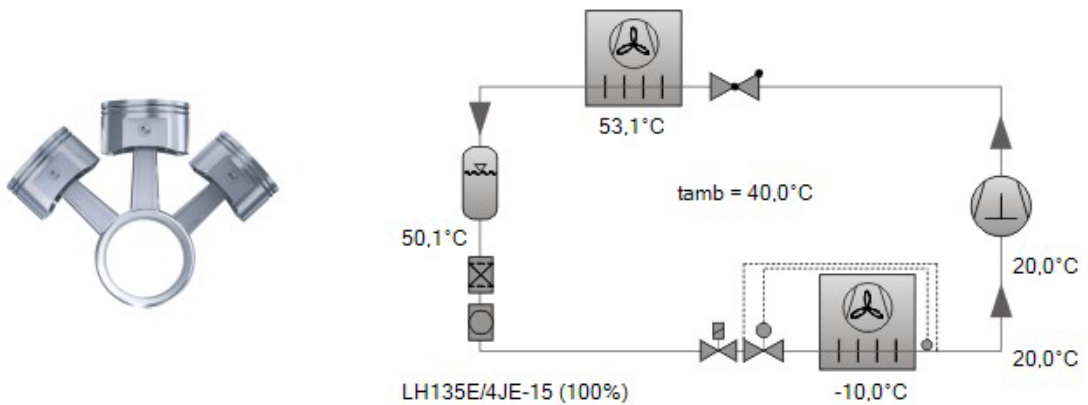
## РОЗДІЛ 7. ПІДБІР КОМПРЕСОРИВ ТА КОНДЕНСАТОРІВ

### 7.1 Підбираємо компресорно-конденсаторний агрегат

Використовуючи програмне забезпечення BITZER Software 7.1

Обираємо агрегат з необхідною холодопродуктивністю  $Q_0 = 26 \text{ кВт}$

За даних умов використовуємо LH135E/4JE-15-40P.



← Previous

Next →

Unit Type **LH135E/4JE-15-40P**

Capacity steps 100%

Cooling capacity 28,9 kW

Evaporator capacity 28,9 kW

Power input 13,84 kW

Current (400V) 22,9 A

Voltage range 380-420V

Mass flow 653 kg/h

Condensing SDT 53,1 °C

Liquid subcooling 3,00 K

Operating mode Standard

Рис. 7.1 Скріншот ПЗ BITZER Software 7.1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

LH135E/4JE-15

### Technical Data

Weight	343 kg
Total width	1591 mm
Total depth	1000 mm
Total height	998 mm
Connection suction line	42 mm - 1 5/8"
Connection liquid line	22 mm - 7/8"
Voltage (50Hz, more on request)	230V-1-50Hz (Standard)
Current / Power consumption of each fan (50Hz)	1,6 A / 315 W
Air flow condenser 50Hz	10400 m³/h
Voltage (60Hz, more on request)	230V-1-60Hz (Standard)
Current / Power consumption of each fan (60Hz)	2,0 A / 340 W
Air flow condenser 60Hz	10400 m³/h
Coil Volume	4,9 dm³

### Extent Of Delivery (Standard)

Liquid receiver with shut-off valve	Standard
Discharge gas line	Standard
Connection for pressure relief valve	Standard
Fans: Number	2 x EC
Protective charge	Standard

Рис. 7.2 Скріншот ПЗ BITZER Software 7.1

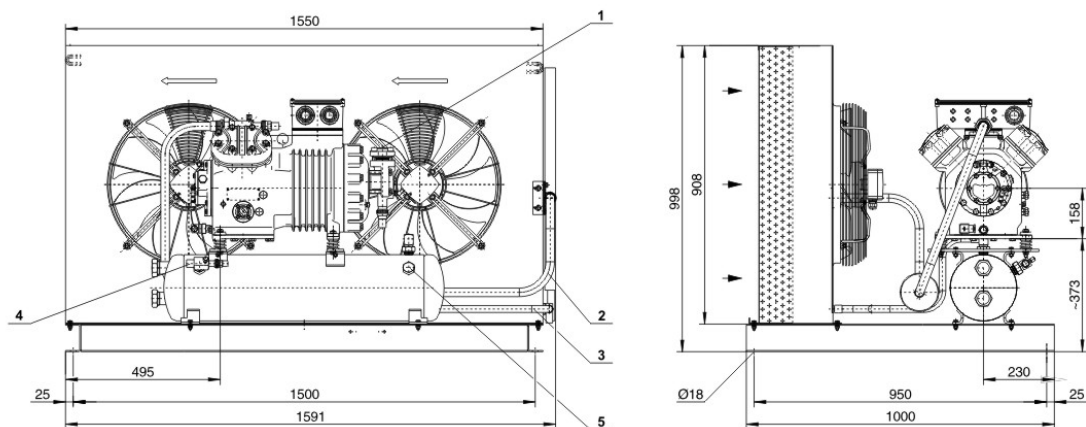


Рис. 7.3 Компрессорно-конденсаторный агрегат LH135E/4JE-15-40P

									КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						49



### 7.3 Підбір допоміжного обладнання холодильної установки

Надійність, безпечність та енергоефективність роботи холодильної установки значною мірою визначаються правильним вибором не лише основного обладнання, а й допоміжних елементів системи. До складу допоміжного обладнання холодильної установки, що працює на природному холодоагенті R600a, входять ресивер, фільтр-осушувач, оглядове скло, терморегулюючий вентиль, електромагнітний клапан, запірна арматура, прилади контролю та захисту, а також автоматика керування.

При проектуванні установки особлива увага приділяється питанням безпеки, оскільки холодоагент R600a належить до класу горючих холодоагентів А3. У зв'язку з цим усі елементи системи повинні бути сумісними з вуглеводневими холодоагентами та відповідати вимогам ДСТУ EN 378.

#### 7.3.1 Лінійний ресивер

Для накопичення запасу рідкого холодоагенту та забезпечення стабільної роботи системи після конденсатора встановлюється лінійний ресивер.

Об'єм ресивера приймається із розрахунку забезпечення 70–80 % заповнення за нормального режиму роботи. Для холодильної установки продуктивністю близько 26 кВт доцільно застосувати вертикальний ресивер об'ємом 18–20 л.

Для проекту приймається:

**Ресивер Frigomec RV-20.**

									Арк.
									51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



### 7.3.3 Оглядове скло

Для візуального контролю стану холодоагенту після фільтра-осушувача встановлюється оглядове скло з індикатором вологості.

Приймається:

**Danfoss SGN 16.**

Таблиця 7.4 – Характеристика оглядового скла

Показник	Значення
Тип	SGN 16
Приєднання	5/8"
Максимальний тиск	52 бар
Індикатор вологості	Наявний

Встановлення оглядового скла дозволяє контролювати наявність бульбашок у рідинній магістралі та своєчасно виявляти підвищення вологості в системі.

### 7.3.4 Терморегулюючий вентиль

Для регулювання подачі рідкого холодоагенту до повітроохолоджувача використовується терморегулюючий вентиль (ТРВ), який підтримує задане значення перегріву пари на виході з випарника.

Для установки приймається:

**Danfoss TE2 із змінним соплом №04.**

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



- сервісні штуцери;
- манометричні вентилі;
- зворотні клапани.

Усі елементи повинні бути допущені до роботи з вуглеводневими холодоагентами та відповідати вимогам ДСТУ EN 378.

### 7.3.7 Прилади автоматизації та контролю

Для автоматичного керування роботою установки передбачаються:

- реле високого тиску;
- реле низького тиску;
- диференціальне реле захисту компресора;
- електронний контролер температури камери;
- датчики температури повітря;
- датчики завершення відтайки;
- аварійна світлова та звукова сигналізація.

Для реалізації системи автоматичного керування рекомендується використання контролера **Danfoss ERC 213**, який забезпечує підтримання температури в камері на рівні  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , керування циклами відтайки та захист обладнання.

### Висновки до розділу

У результаті виконаного підбору основного та допоміжного обладнання сформовано повний склад холодильної установки для зберігання коренів хрону місткістю 250 т. Обране обладнання забезпечує стабільну роботу системи з холодоагентом R600a, підтримання необхідного температурного режиму, підвищення енергоефективності та відповідність сучасним вимогам безпеки при використанні горючих природних холодоагентів.

						КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			55



При  $t_3=38$  °C и  $P_k=13,6$  бар визначаємо щільність агента  $\rho_3=957$  кг/м<sup>3</sup>.

$$V_a=0.42/957=0.00045 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_H=1.13 \cdot (0.0045/1)^{0.5}=0.023 \text{ м.}$$

Приймаємо на рідинному зливні мідну трубу 24×1.5.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## РОЗДІЛ 9 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 9.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Експлуатація холодильних установок, призначених для зберігання харчової продукції, супроводжується впливом на обслуговуючий персонал комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Їх своєчасне виявлення та розроблення комплексу організаційних і технічних заходів дозволяють забезпечити безпечні умови праці, знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та запобігти професійним захворюванням.

Проектований об'єкт являє собою холодильне сховище для зберігання коренів хрону місткістю 250 т, обладнане компресорною холодильною установкою, що працює на природному холодоагенті R600a (ізобутані). Холодоагент R600a належить до класу безпеки A3 відповідно до ДСТУ EN 378, тобто характеризується низькою токсичністю та високою горючістю. Це обумовлює необхідність приділення особливої уваги питанням пожежної та вибухової безпеки.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами при експлуатації холодильного комплексу є:

- наявність рухомих частин обладнання (приводи вентиляторів, електродвигуни, компресори);
- підвищений рівень шуму та вібрації від роботи компресорного обладнання;
- небезпека ураження електричним струмом під час експлуатації та технічного обслуговування електрообладнання;
- вплив низьких температур у холодильних камерах;
- можливість витоку холодоагенту R600a;
- небезпека виникнення пожежі або вибуху при утворенні горючих концентрацій холодоагенту в повітрі;
- недостатня освітленість окремих виробничих зон;

										Арк.
										58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

- підвищені фізичні навантаження під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт;
- ризик травмування під час переміщення навантажувачів та складської техніки.

Таблиця 9.1 – Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Небезпечний фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
Низька температура	Холодильні камери	Переохолодження організму
Витік R600a	Холодильна система	Пожежа, вибух
Електричний струм	Електрообладнання	Електротравми
Шум	Компресори, вентилятори	Погіршення слуху, втома
Вібрація	Компресорне обладнання	Професійні захворювання
Рухомі механізми	Вентилятори, навантажувачі	Механічні травми
Недостатнє освітлення	Складські приміщення	Підвищення травматизму

Відповідно до вимог Закону України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний забезпечити функціонування системи управління охороною праці, організувати проведення інструктажів, навчання персоналу безпечним методам роботи та здійснювати контроль за дотриманням встановлених вимог безпеки.

Працівники, які обслуговують холодильну установку, повинні проходити вступний, первинний та періодичний інструктажі з охорони праці, а також перевірку знань правил безпечної експлуатації обладнання. До виконання робіт допускаються особи, які пройшли медичний огляд та відповідне навчання.

Проведений аналіз свідчить, що найбільшу небезпеку для персоналу проєктованого об'єкта становлять можливі витіки горючого холодоагенту R600a, ураження електричним струмом та дія низьких температур. Саме на усунення або мінімізацію впливу зазначених факторів повинні бути спрямовані подальші заходи з охорони праці та безпечної експлуатації холодильного обладнання.

## **9.2 Заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації холодильної установки на R600a**

Проектowana холодильна установка працює на природному холодоагенті R600a (ізобутані), який відповідно до вимог ДСТУ EN 378 належить до класу безпеки A3. Даний клас характеризується низькою токсичністю та високою займистістю холодоагенту. У зв'язку з цим під час проєктування, монтажу та експлуатації холодильної установки необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на запобігання виникненню аварійних ситуацій та забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Основними причинами виникнення аварійних ситуацій у системах, що працюють на R600a, є:

- порушення герметичності холодильного контуру;
- механічне пошкодження трубопроводів;
- помилки під час монтажу або ремонту обладнання;
- використання несправного електрообладнання;
- виникнення джерел запалювання в зоні можливого скупчення холодоагенту;
- порушення вимог технологічної експлуатації.

Для забезпечення безпечної роботи установки необхідно дотримуватись таких вимог:

- застосовувати обладнання, сертифіковане для роботи з вуглеводневими холодоагентами;

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60



Газоаналізатори рекомендується розташовувати у нижній зоні приміщення, оскільки ізобутан має густину більшу за густину повітря та накопичується поблизу підлоги.

При досягненні встановлених порогових значень система повинна автоматично:

- подавати звуковий і світловий сигнал;
- вмикати аварійну вентиляцію;
- знеструмлювати обладнання, що не належить до систем безпеки;
- передавати сигнал оператору.

### **Вентиляція машинного відділення**

Для виключення утворення вибухонебезпечних концентрацій холодоагенту приміщення компресорної обладнується припливно-витяжною вентиляцією.

Вентиляція повинна забезпечувати:

- видалення надлишкового тепла від працюючого обладнання;
- підтримання нормативних параметрів повітряного середовища;
- швидке видалення холодоагенту у разі аварійного витоку.

Аварійна вентиляція повинна вмикатися автоматично від сигналу газоаналізатора та дублюватися ручним керуванням, розташованим біля евакуаційного виходу.

### **Організаційні заходи безпеки**

Працівники, що обслуговують холодильну установку, повинні:

- проходити навчання та перевірку знань з охорони праці;
- проходити інструктажі з безпечного поводження з горючими холодоагентами;
- використовувати засоби індивідуального захисту;
- знати порядок дій у разі аварійної ситуації;

									Арк.
									62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

- не допускати використання відкритого вогню поблизу холодильного обладнання;
- виконувати ремонтні роботи лише після відключення електроживлення та перевірки відсутності витoku холодоагенту.

### **Засоби індивідуального захисту**

Для обслуговуючого персоналу повинні бути передбачені такі засоби індивідуального захисту:

- спеціальний одяг та взуття;
- захисні рукавиці;
- захисні окуляри;
- діелектричні рукавички;
- переносний газоаналізатор (під час проведення ремонтних робіт);
- аптечка першої медичної допомоги.

Таким чином, безпечна експлуатація холодильної установки на природному холодоагенті R600a забезпечується комплексом технічних та організаційних заходів, спрямованих на запобігання витокам холодоагенту, виключення джерел займання, своєчасне виявлення аварійних ситуацій та підготовку персоналу до дій у разі їх виникнення. Реалізація зазначених заходів дозволяє мінімізувати ризики для здоров'я працівників і забезпечити надійну роботу холодильної установки протягом усього терміну її експлуатації.

### **9.3 Забезпечення пожежної та вибухової безпеки холодильної установки**

Пожежна та вибухова безпека є одним із найважливіших аспектів експлуатації проектованої холодильної установки, оскільки як холодоагент використовується ізобутан (R600a), що належить до класу безпеки А3 – малотоксичні та легкозаймисті холодоагенти. За певних умов витік R600a

						Арк.
					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## Основні причини виникнення пожежі

Найбільш імовірними причинами виникнення пожежонебезпечних ситуацій є:

- порушення герметичності холодильного контуру;
- механічне пошкодження трубопроводів;
- виконання вогневих робіт без відповідного дозволу;
- несправність електрообладнання;
- виникнення іскріння контактів;
- накопичення статичної електрики;
- недотримання персоналом вимог пожежної безпеки.

## Заходи щодо забезпечення пожежної безпеки

Для запобігання виникненню пожежі у проєкті передбачаються такі заходи:

- використання обладнання, допущеного до роботи з вуглеводневими холодоагентами;
- забезпечення герметичності холодильного контуру;
- встановлення автоматичних систем контролю витоку холодоагенту;
- улаштування аварійної вентиляції машинного відділення;
- заземлення всього електрообладнання;
- застосування кабельної продукції з негорючою ізоляцією;
- заборона використання відкритого вогню та паління;
- проведення регулярних профілактичних оглядів;
- навчання персоналу правилам пожежної безпеки.

У компресорному приміщенні повинні бути розміщені знаки безпеки: «Вогненебезпечно», «Не палити», «Стороннім вхід заборонено», а також схема евакуації персоналу.

						КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			65



Таким чином, реалізація передбачених проектом організаційних та технічних заходів забезпечує належний рівень пожежної та вибухової безпеки холодильного комплексу для зберігання коренів хрону місткістю 250 т та мінімізує ризик виникнення надзвичайних ситуацій під час експлуатації холодильної установки на природному холодоагенті R600a.

#### **9.4 Електробезпека холодильного обладнання**

Електрообладнання холодильної установки є джерелом підвищеної небезпеки, оскільки його експлуатація пов'язана з використанням трифазної електричної мережі напругою 380/220 В, підвищеною вологістю окремих приміщень, наявністю металевих конструкцій та застосуванням горючого холодоагенту R600a. Недотримання вимог електробезпеки може призвести до ураження персоналу електричним струмом, виникнення пожежі або виходу з ладу технологічного обладнання.

Забезпечення електробезпеки проектового холодильного комплексу здійснюється відповідно до вимог:

- Закону України «Про охорону праці»;
- Правил улаштування електроустановок (ПУЕ);
- Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів;
- Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98);
- ДСТУ EN 60204-1 «Безпечність машин. Електрообладнання машин»;
- ДСТУ EN 378 «Холодильні системи та теплові насоси. Вимоги щодо безпеки та охорони довкілля».

									Арк.
									67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

## Аналіз небезпеки ураження електричним струмом

До основних причин виникнення електротравм належать:

- випадковий дотик до струмовідних частин, що перебувають під напругою;
- поява напруги на металевих корпусах обладнання внаслідок пошкодження ізоляції;
- порушення правил виконання ремонтних робіт;
- використання несправного електроінструменту;
- відсутність або несправність захисного заземлення;
- незадовільний технічний стан електрообладнання.

У складі проєктованої холодильної установки основними споживачами електроенергії є:

- компресорний агрегат;
- вентилятори повітроохолоджувача Güntner;
- вентилятори конденсатора;
- електронагрівачі системи відтайки;
- насоси (за наявності);
- система автоматики та сигналізації;
- освітлення приміщень.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

## Захисне заземлення

Одним із найбільш ефективних засобів захисту від ураження електричним струмом є захисне заземлення. Заземленню підлягають усі металеві неструмовідні частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції.

У проєктованій установці заземленню підлягають:

- корпус компресорного агрегату;
- корпуси повітроохолоджувачів;
- конденсатор;
- електрощити керування;
- електродвигуни;
- металеві кабельні конструкції;
- технологічні металеві конструкції машинного відділення.

Опір захисного заземлення для електроустановок напругою до 1000 В відповідно до вимог ПУЕ не повинен перевищувати **4 Ом**.

Для виконання заземлювального пристрою передбачається використання вертикальних сталевих електродів діаметром 16 мм та довжиною 3 м, з'єднаних між собою сталевією смугою перерізом 40×4 мм.

## Автоматичне відключення живлення

Для захисту електрообладнання від коротких замикань та перевантажень передбачається встановлення автоматичних вимикачів.

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Захист від струмів витоку здійснюється шляхом встановлення пристроїв захисного відключення (ПЗВ).

Таблиця 9.4 – Засоби електричного захисту

<b>Засіб захисту</b>	<b>Призначення</b>
Автоматичні вимикачі	Захист від коротких замикань і перевантажень
ПЗВ 30 мА	Захист персоналу від ураження струмом
Захисне заземлення	Усунення небезпечної напруги на корпусах
Реле контролю фаз	Захист електродвигунів
Теплові реле	Захист від перевантаження
Аварійне відключення	Швидке знеструмлення обладнання

### **Вимоги до експлуатації електрообладнання**

До обслуговування електрообладнання допускаються працівники, які:

- досягли 18-річного віку;
- пройшли медичний огляд;
- пройшли навчання та перевірку знань з електробезпеки;
- мають відповідну групу з електробезпеки (не нижче III для електротехнічного персоналу);
- пройшли вступний та первинний інструктажі з охорони праці.

Перед проведенням ремонтних робіт необхідно:

- відключити обладнання від мережі живлення;
- вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди»;

									Арк.
									70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					





Вихід з ладу автоматики	Зупинка обладнання	Аварійне обслуговування
Відмова вентиляції	Накопичення холодоагенту	Евакуація, запуск резервної системи

### Порядок дій при витокі холодоагенту R600a

У разі спрацювання газоаналізатора або виявлення ознак витокі холодоагенту персонал повинен діяти відповідно до затвердженої інструкції.

Алгоритм дій передбачає:

1. негайно повідомити відповідальну особу.
2. Натиснути кнопку аварійного вимкнення обладнання.
3. Заборонити використання відкритого вогню та іскроутворюючих інструментів.
4. Організувати евакуацію людей із небезпечної зони.
5. Увімкнути аварійну вентиляцію (у разі її автоматичного невмикання).
6. Обмежити доступ сторонніх осіб.
7. Викликати аварійну службу за необхідності.
8. Локалізувати місце витокі після отримання дозволу на проведення відповідних робіт.

Після ліквідації аварійної ситуації холодильна установка може бути введена в експлуатацію лише після перевірки герметичності системи та оформлення відповідного запису в експлуатаційній документації.

### Дії персоналу у разі пожежі

У випадку виникнення пожежі працівники повинні:

– повідомити пожежно-рятувальну службу за номером 101;

											Арк.
											73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

- повідомити керівника зміни;
- відключити електроживлення обладнання;
- організувати евакуацію працівників відповідно до плану евакуації;
- використати первинні засоби пожежогасіння, якщо це не загрожує життю;
- забезпечити доступ пожежно-рятувальних підрозділів до місця події.

Забороняється самотійно гасити пожежу у випадку загрози вибуху або інтенсивного поширення полум'я.

### **Заходи щодо забезпечення евакуації**

Для забезпечення безпечної евакуації персоналу у проєкті передбачаються:

- не менше двох евакуаційних виходів із виробничої зони;
- евакуаційне освітлення;
- фотолюмінесцентні покажчики напрямку руху;
- схема евакуації, розміщена на видимих місцях;
- вільний доступ до евакуаційних виходів;
- періодичне проведення навчальних тренувань.

### **Підготовка персоналу**

Працівники підприємства повинні проходити:

- вступний інструктаж з питань цивільного захисту;
- первинний інструктаж на робочому місці;

					<i>КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74



## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано проєкт холодильного комплексу для зберігання коренів хрону місткістю 250 т у м. Одеса з використанням природного холодоагенту R600a. Актуальність роботи обумовлена необхідністю зменшення втрат плодоовочевої продукції під час зберігання, підвищенням енергоефективності холодильних систем та впровадженням екологічно безпечних технологій відповідно до сучасних вимог щодо скорочення використання синтетичних холодоагентів із високим потенціалом глобального потепління.

У теоретичній частині роботи проведено аналіз сучасних способів зберігання коренеплодів, досліджено біологічні особливості коренів хрону та визначено оптимальні параметри їх тривалого зберігання. Встановлено, що для забезпечення мінімальних втрат маси та збереження споживчих властивостей продукції необхідно підтримувати температуру повітря у холодильній камері на рівні мінус 2 °С та відносну вологість 90–95 %. Також виконано огляд природних холодоагентів та обґрунтовано вибір ізобутану R600a як робочої речовини холодильної установки.

У розрахунковій частині роботи визначено теплоприпливи до холодильних камер та встановлено, що необхідна холодопродуктивність системи становить **26 кВт**. Отримані результати стали основою для підбору основного та допоміжного холодильного обладнання.

Для забезпечення необхідної холодопродуктивності прийнято компресорно-конденсаторний агрегат **LH135E/4JE-15-40P**, технічні характеристики якого відповідають розрахунковим умовам роботи холодильної установки. Використання даного агрегату дозволяє забезпечити стабільне підтримання заданого температурного режиму та ефективну роботу системи на природному холодоагенті R600a.

Для охолодження повітря в камері зберігання підібрано стельовий повітроохолоджувач **Güntner GACC RX 050.1/2-70.A-1820840** з

									Арк.
									76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

холодопродуктивністю 27 кВт при температурі кипіння холодоагенту  $-8^{\circ}\text{C}$ . Запас продуктивності становить близько 3,8 %, що знаходиться в межах допустимих значень та забезпечує надійну роботу системи в умовах можливих відхилень експлуатаційних параметрів.

Крім основного обладнання, виконано підбір допоміжних елементів холодильної системи, зокрема ресивера, фільтра-осушувача, терморегулюючого вентиля, електромагнітного клапана, оглядового скла, запірної арматури та засобів автоматичного керування і захисту. Обране обладнання забезпечує безпечну, стабільну та енергоефективну роботу холодильної установки.

У розділі з охорони праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, характерних для холодильних установок із використанням горючих природних холодоагентів. Розроблено комплекс заходів щодо забезпечення безпечної експлуатації обладнання, пожежної та вибухової безпеки, електробезпеки та цивільного захисту персоналу. Передбачено застосування систем контролю витоків холодоагенту, аварійної вентиляції, засобів пожежогасіння, захисного заземлення та автоматичного відключення електроживлення.

Результати виконаної роботи свідчать про технічну можливість та доцільність застосування холодильної установки на природному холодоагенті R600a для зберігання коренів хрону місткістю 250 т у кліматичних умовах м. Одеса. Запропоновані технічні рішення забезпечують необхідний температурно-вологісний режим зберігання, дозволяють мінімізувати втрати продукції, знизити негативний вплив на навколишнє середовище та підвищити енергетичну ефективність холодильного комплексу.

Таким чином, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута, а всі визначені завдання виконані в повному обсязі. Розроблений проєкт може бути використаний як основа для реалізації сучасного енергоефективного овочесховища із застосуванням природних холодоагентів у підприємствах агропромислового комплексу України.

										Арк.
										77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						





інженерія» денної та заочної форм навчання / Хмельнюк М.Г., Трандафілов В.В., Яковлева О.Ю. – Одеса: ОНТУ, 2022 р. – 164 с.

22.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.

23.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.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.16	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80