

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



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**На тему: «Проект холодильної установки цеху по виробництву
швейцарського сиру продуктивністю 9 тон на добу, розташованого
у м. Одеса»**

Здобувачки: Буюджи Т.Г.

4-го курсу групи ХМ-741

Керівник: доц. Зімін О.В.

Консультанти: доц. Жихарева Н.В.

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
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій та екоенергетики
Кафедра: Холодильних установок і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти: Бакалавр
Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма: «Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри: д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

16 березня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧКИ

Буяджи Тетяни Григорівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект холодильної установки цеху по виробництву швейцарського сиру продуктивністю 9 тон на добу, розташованого у м. Одеса
Затверджена наказом ОНТУ від № 499-03 від 26.09.25 р.
2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: 17.06.26 р.
3. Вихідні дані роботи: Холодильна установка цеху по виробництву швейцарського сиру продуктивністю 9 тон на добу, який розташовано у місті Одеса
4. Перелік питань, які потрібно розробити:
Вступ; Технологія виробництва сиру; Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер; Визначення теплового навантаження камер; Розрахунок повітроохолоджувача; Тепловий розрахунок холодильної системи; Підбір устаткування; Охорона праці; Цивільний захист
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Технологічна схема виробництва; План виробничого цеху; Схема холодильної машини; Ізометрична схема трубопроводів споживачів холоду.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Доц. Жихарєва Н.В.	28.03.2026	28.03.2026

7. Дата видачі завдання: 25.01.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Вступ; Технологія виробництва сиру	01.02.- 15.02.2026 р.	виконано
2	Визначення розмірів, вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер	16.02.- 28.02.2026 р.	виконано
3	Розрахунок повітроохолоджувача	1.03.- 31.03.2026 р.	виконано
4	Тепловий розрахунок холодильної системи Розрахунок магістральних трубопроводів Підбір компресорів та допоміжного устаткування	01.04.- 15.04.2026 р.	виконано
5	Охорона праці	16.04.- 30.04.2026 р.	виконано
6	Розробка креслень проєкту		виконано

Здобувач-дипломник _____ Буяджи Т.Г.

Керівник роботи _____ доц. Зімін О.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 _____ Буяджи Тетяна Григорівна

Анотація

к кваліфікаційної роботі бакалавра на тему

«Проект холодильної установки цеху по виробництву швейцарського сиру продуктивністю 9 тон на добу, розташованого у м. Одеса»

Кваліфікаційна робота включає розрахунково-пояснювальну записку, графічну частину та презентаційні матеріали.

Метою роботи є розробка проекту промислової холодильної установки для цеху з виробництва сиру продуктивністю 9 тон на добу.

У роботі проаналізовано особливості сучасних технологій виробництва сиру, обрано оптимальну технологічну схему та визначено процеси, що потребують застосування холоду. Виконано розрахунок теплових балансів і встановлено необхідні холодильні навантаження для забезпечення технологічних процесів. Розроблено планувальні рішення камер дозрівання упакованого сиру та визначено їх теплове навантаження. Проведено розрахунок повітроохолоджувачів, виконано теплотехнічні розрахунки, а також здійснено підбір основного і допоміжного обладнання.

Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні та модернізації сучасних підприємств, орієнтованих на виробництво сиру та сирної продукції.

Ключові слова: холодильна установка, теплопритоки, повітроохолоджувач, конденсатор.

Abstract
for the Bachelor's Qualification Thesis
on the topic:

“Design of a Refrigeration System for a Swiss Cheese Production Facility with a
Capacity of 9 Tons per Day, Located in Odesa”

The qualification thesis consists of a calculation and explanatory report, a graphical part, and presentation materials.

The aim of the work is to develop a schematic design of an industrial refrigeration system for a cheese production facility with a capacity of 9 tons per day.

The thesis analyzes the features of modern cheese production technologies, selects an optimal technological scheme, and identifies the processes that require refrigeration. Heat balance calculations were performed, and the required refrigeration loads necessary to support the technological processes were determined. Layout solutions for packaged cheese ripening chambers were developed, and their thermal loads were calculated. Air coolers were designed, thermal calculations were carried out, and both main and auxiliary equipment were selected.

The results obtained can be used in the design and modernization of modern enterprises focused on the production of cheese and cheese products.

Key words: refrigeration unit, heat flow, air cooler, condenser.

1 Вступ.....	7
2 Технологія виробництва сиру	19
3 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер.....	27
4 Визначення теплового навантаження камер	31
5 Тепловий розрахунок холодильної машини.....	38
6 Розрахунок повітроохолоджувача.....	43
7 Підбір устаткування.....	52
8 Охорона праці	55
10 Висновки по роботі	69
Список джерел літератури	

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Буяджі Т.Г.			Пояснювальна записка			Літ.	Аркуш		Аркушів		
Перевір.		Зімін О.В.								6		71	
Реценз.								ОНТУ ХМ-741					
Н. Контр.		Зімін О.В.											

1 Вступ

Метою даної роботи є розробка проекту холодильної установки цеху по виробництву 9 тон сиру на добу, розташованого в м. Одеса.

Сучасний розвиток харчової промисловості України безпосередньо пов'язаний із необхідністю забезпечення населення якісними та безпечними продуктами харчування. Однією з найбільш важливих галузей агропромислового комплексу є молочна промисловість, яка забезпечує населення цінними білковими продуктами. Особливе місце серед молочної продукції займають тверді та напівтверді сири, що характеризуються високою поживною цінністю, значним вмістом білків, жирів, мінеральних речовин та тривалим терміном зберігання.

В умовах сучасного ринку спостерігається стабільне зростання попиту на натуральні сирні продукти. Споживачі все частіше віддають перевагу якісним сичужним сирам вітчизняного виробництва, що обумовлено бажанням отримати продукцію з натуральної сировини за доступною ціною. Разом із тим значна частина сирної продукції на українському ринку виробляється на підприємствах, обладнання яких морально та фізично застаріло. Це призводить до підвищення енерговитрат, зниження ефективності виробництва та збільшення собівартості продукції.

У зв'язку з цим будівництво сучасного цеху по виробництву сиру продуктивністю 9 тонн на добу в Одеській області є актуальним та економічно доцільним напрямком розвитку харчової промисловості регіону. Реалізація такого проєкту дозволить забезпечити населення високоякісною продукцією, створити нові робочі місця, збільшити надходження до місцевого бюджету та підвищити рівень переробки молочної сировини в області.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна характеристика молочної галузі України

Молочна промисловість є однією з ключових складових харчової індустрії України. Вона охоплює широкий спектр виробництв, серед яких особливе значення мають підприємства з виробництва сирів. Сири належать до продуктів щоденного споживання та мають стабільний попит незалежно від сезонних коливань.

За останні роки в Україні спостерігається поступове зростання культури споживання сирів. Якщо раніше найбільшим попитом користувалися традиційні дешеві сорти, то сьогодні споживачі все частіше звертають увагу на якість, натуральність та різноманітність асортименту. Особливо популярними стають тверді та напівтверді сири типу швейцарського, російського, голландського та гауди.

Водночас значна частина ринку досі заповнюється імпоротною продукцією. Це свідчить про наявність вільної ніші для розвитку вітчизняного виробництва. Будівництво нових сучасних сироробних підприємств дозволяє зменшити залежність від імпорту та створити конкурентоспроможну продукцію.

Для ефективного розвитку сироробної галузі важливим фактором є наявність стабільної сировинної бази, транспортної інфраструктури, енергетичних ресурсів та ринку збуту. Саме Одеська область має сприятливі умови для реалізації подібного інвестиційного проєкту.

Передумови будування сирного цеху в Одеській області

Одеська область є одним із найбільших регіонів України за площею та чисельністю населення. Вона характеризується розвиненим агропромисловим сектором, вигідним географічним розташуванням та наявністю транспортних шляхів міжнародного значення.

Однією з головних передумов будування сирного цеху є достатня кількість молочної сировини. На території області функціонує значна кількість фермерських господарств та молочнотоварних ферм, які займаються виробництвом коров'ячого молока. Проте частина сировини

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізується за межі області без глибокої переробки. Створення сучасного сирного підприємства дозволить більш раціонально використовувати місцеві ресурси.

Кліматичні умови регіону також сприяють розвитку молочного тваринництва. Помірний клімат, наявність сільськогосподарських угідь та кормової бази забезпечують можливість стабільного виробництва молока протягом року.

Важливим фактором є вигідне логістичне положення Одеської області. Через регіон проходять автомобільні та залізничні магістралі, а також функціонують морські порти. Це створює сприятливі умови для транспортування сировини та готової продукції як по Україні, так і за її межі.

Окрім цього, в області спостерігається значний споживчий ринок. Населення міста Одеса та прилеглих районів формує стабільний попит на молочну продукцію. Важливу роль також відіграє туристична сфера, оскільки Одещина є одним із головних туристичних центрів України.

Обґрунтування вибору продуктивності підприємства

Продуктивність цеху 9 тонн сиру на добу є оптимальною для умов регіонального виробництва. Такий обсяг дозволяє забезпечити ефективне використання обладнання, стабільну роботу підприємства та економічну доцільність виробництва.

При визначенні продуктивності враховувалися наступні фактори:

- наявність молочної сировини;
- потреби регіонального ринку;
- економічна ефективність виробництва;
- можливості збуту готової продукції;
- енергетичні витрати;
- логістичні особливості.

Для виробництва 1 кг твердого сиру необхідно в середньому 10–11 кг молока залежно від сорту та технології виробництва. Таким чином, для виробництва 9 тонн сиру на добу потрібно приблизно 90–100 тонн молока.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такий обсяг є реальним для забезпечення сировиною за рахунок господарств Одеської області.

Підприємство середньої потужності має ряд переваг порівняно з великими комбінатами. Воно є більш гнучким у виробництві, дозволяє швидше адаптуватися до змін ринку та забезпечує можливість випуску різних сортів продукції.

Крім того, будівництво підприємства середньої продуктивності потребує менших капіталовкладень та характеризується коротшим терміном окупності.

Сировинна база підприємства

Одним із ключових факторів успішної роботи сирного цеху є стабільне забезпечення якісною молочною сировиною. Одеська область має значний потенціал у сфері молочного тваринництва, що створює сприятливі умови для організації безперебійного постачання молока.

Основними постачальниками можуть бути:

- великі молочнотоварні ферми;
- фермерські господарства;
- кооперативи;
- приватні сільськогосподарські підприємства.

Для виробництва високоякісного сиру особливе значення має якість молока. Сировина повинна відповідати санітарно-гігієнічним вимогам, мати необхідний вміст жиру та білка, низьку бактеріальну забрудненість і бути придатною для технологічної переробки.

Організація довгострокових договорів із місцевими виробниками молока дозволить забезпечити стабільність поставок та сприятиме розвитку аграрного сектору області.

Також важливим напрямком є створення системи попереднього охолодження молока безпосередньо на фермах. Це дозволить зберігати якість сировини під час транспортування до підприємства.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Асортимент продукції

Проектований цех може спеціалізуватися на виробництві декількох видів сирів, що дозволить забезпечити широкий асортимент продукції та підвищити конкурентоспроможність підприємства.

Основними видами продукції можуть бути:

- швейцарський сир;
- російський сир;
- голландський сир;
- гауда;
- напівтверді сири;
- фасовані сирні продукти.

Виробництво різних сортів дозволяє більш ефективно використовувати виробничі потужності та задовольняти потреби різних категорій споживачів.

Особливо перспективним є виробництво натуральних сирів без використання рослинних жирів та штучних домішок. Сучасний споживач все більше орієнтується на екологічність та натуральність продукції.

Крім основної продукції, підприємство може реалізовувати побічні продукти виробництва, зокрема молочну сироватку, яка використовується у харчовій промисловості, кормовиробництві та виробництві білкових концентратів.

Технологічні особливості виробництва

Сучасне сироробне підприємство повинно бути оснащено високоефективним технологічним обладнанням, що забезпечує автоматизацію виробничих процесів та стабільну якість продукції.

Основними етапами виробництва є:

1. Приймання та охолодження молока.
2. Очищення та нормалізація сировини.
3. Пастеризація молока.
4. Внесення заквасок та ферментів.
5. Формування сирного згустку.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Обробка сирного зерна.
7. Формування та пресування сиру.
8. Соління.
9. Дозрівання.
10. Пакування та зберігання.

Особливе значення в технології сироробства мають холодильні процеси. Охолодження молока, підтримання температурних режимів дозрівання та зберігання продукції безпосередньо впливають на якість готового продукту.

Для забезпечення стабільної роботи підприємства необхідне використання сучасних холодильних установок, систем автоматичного контролю температури та енергоефективного обладнання.

Необхідність використання сучасних холодильних технологій

Виробництво сирів є технологічним процесом, що потребує точного підтримання температурних режимів на всіх етапах. Саме тому холодильне обладнання є однією з найважливіших складових сирного підприємства.

Холод застосовується для:

- охолодження молока після доїння;
- зберігання сировини;
- охолодження після пастеризації;
- підтримання температури в камерах соління;
- дозрівання сирів;
- зберігання готової продукції.

Сучасні холодильні установки дозволяють значно знизити енергоспоживання та забезпечити стабільність технологічних процесів.

Для підприємства продуктивністю 9 тонн на добу доцільним є використання автоматизованої холодильної системи з енергоефективними компресорами та сучасними теплообмінними апаратами.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також важливим є правильний вибір холодильного агенту. У сучасних умовах особлива увага приділяється екологічній безпеці та енергоефективності холодоагентів.

Економічна доцільність проєкту

Будівництво сирного цеху є перспективним інвестиційним проєктом, що має значний економічний потенціал.

Основними економічними перевагами є:

- стабільний попит на сирну продукцію;
- можливість отримання високої доданої вартості;
- розвиток місцевого аграрного сектору;
- створення нових робочих місць;
- збільшення податкових надходжень.

Сир є продуктом із відносно високою рентабельністю. У порівнянні з реалізацією сирого молока виробництво готової продукції дозволяє значно збільшити прибутковість підприємства.

Додатковим фактором економічної ефективності є можливість комплексного використання сировини. Побічні продукти виробництва можуть бути реалізовані або використані для подальшої переробки.

Важливим аспектом є також скорочення логістичних витрат за рахунок розташування підприємства поблизу сировинної бази та ринку збуту.

Соціальне значення будівництва підприємства

Реалізація проєкту матиме позитивний вплив на соціально-економічний розвиток регіону.

Будівництво цеху сприятиме:

- створенню нових робочих місць;
- розвитку сільських територій;
- підвищенню рівня зайнятості населення;
- збільшенню доходів фермерських господарств;
- розвитку транспортної та енергетичної інфраструктури.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо важливим є стимулювання розвитку молочного тваринництва в області. Наявність стабільного споживача молока мотивує фермерів збільшувати виробництво та покращувати якість сировини.

Також підприємство може стати базою для підготовки фахівців у сфері харчових та холодильних технологій.

Екологічні аспекти проєкту

Сучасне харчове підприємство повинно відповідати екологічним вимогам та забезпечувати мінімальний вплив на навколишнє середовище.

Основними екологічними заходами є:

- використання енергоефективного обладнання;
- очищення стічних вод;
- утилізація відходів виробництва;
- зниження споживання енергоресурсів;
- використання екологічно безпечних холодоагентів.

Особливу увагу необхідно приділити очищенню виробничих стоків, які містять органічні речовини. Для цього доцільно використовувати локальні очисні споруди.

Також перспективним напрямком є впровадження систем рекуперації теплоти, що дозволяють повторно використовувати теплову енергію.

Перспективи розвитку підприємства

У майбутньому підприємство може розширювати асортимент продукції та збільшувати виробничі потужності.

Основними напрямками розвитку можуть бути:

- виробництво елітних сортів сирів;
- випуск фасованої продукції;
- вихід на експортні ринки;
- автоматизація виробничих процесів;
- впровадження енергозберігаючих технологій.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки вигідному географічному розташуванню Одеська область має перспективи розвитку зовнішньоекономічної діяльності. Сирна продукція може постачатися не лише на внутрішній ринок, а й до інших країн.

Будівництво цеху по виробництву сиру продуктивністю 9 тонн на добу в Одеській області є технічно та економічно обґрунтованим проєктом. Регіон має сприятливі умови для розвитку сироробної галузі, зокрема достатню сировинну базу, вигідне транспортне розташування та значний ринок збуту.

Створення сучасного підприємства дозволить забезпечити населення якісною продукцією, підвищити рівень переробки молочної сировини та сприятиме розвитку агропромислового комплексу області.

Використання сучасних холодильних технологій та енергоефективного обладнання забезпечить стабільність виробництва, зниження енергоспоживання та високу якість продукції.

Проєкт матиме позитивний соціально-економічний ефект, сприятиме створенню нових робочих місць, розвитку фермерських господарств та збільшенню податкових надходжень до бюджету.

Таким чином, реалізація даного проєкту є перспективним напрямком розвитку харчової промисловості Одеської області та відповідає сучасним вимогам до виробництва молочної продукції.

Сир є харчовим продуктом, який виготовляють із молока шляхом коагуляції молочного білка з подальшою обробкою отриманого згустку та його дозріванням. Під час утворення згустку в ньому утримуються вода, жири, кульки та інші складові молока. У процесі подальшої обробки частина сироватки відокремлюється, разом із нею виводяться вода, лактоза, мінеральні речовини, вітаміни та ферментні компоненти.

На етапі дозрівання сирна маса проходить складні біохімічні зміни, унаслідок яких формуються характерні для певного виду сиру структура, консистенція та внутрішній рисунок. Висока харчова цінність сирів пояснюється значним вмістом повноцінного білка, молочного жиру, мінеральних речовин і вітамінів, що знаходяться у збалансованому та

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

легкозасвоюваному вигляді. У 100 г жирного сиру міститься приблизно 28–30 г білків, 32–33 г жирів, близько 1 г кальцію та 0,8 г фосфору. Крім того, сир багатий на вільні амінокислоти, серед яких присутні всі незамінні.

За енергетичною цінністю сири займають одне з провідних місць серед продуктів харчування. Наприклад, 100 г голландського сиру мають енергетичну цінність близько 1674 кДж, а голландського брускового — приблизно 1510 кДж. Разом із продуктами тваринного походження людина отримує значну частину необхідних поживних речовин: орієнтовно 30 % добової потреби у білках і жирах, близько 60 % кальцію та майже половину потреби у фосфорі й залізі. Таку кількість поживних компонентів можуть забезпечити 140–150 г зрілого жирного сиру. Для отримання аналогічної кількості корисних речовин при заміні сиру іншими продуктами необхідно спожити приблизно 250–300 г м'яса або 300–350 г риби.

Технологічний процес виготовлення сиру складається з кількох основних стадій та операцій.

Підготовка молока до виробництва сиру включає:

- перевірку якості та сортування молока;
- резервування сировини;
- дозрівання молока;
- нормалізацію складу;
- теплову обробку;
- вакуумну обробку;
- ультрафільтрацію;
- перекисно-каталазну обробку.

Підготовка молока до згортання передбачає:

- внесення хлориду кальцію;
- додавання нітрату калію або натрію;
- використання бактеріальних заквасок і спеціальних

препаратів.

Стадія отримання та обробки згустку охоплює:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- згортання молока;
- обробку згустку та сирного зерна.

Наступним етапом є формування сиру.

Процес виробництва сирів характеризується низкою особливостей, серед яких важливу роль відіграють якість вихідної сировини, склад мікрофлори молока, бактеріальних препаратів і сирної маси, способи обробки сирного зерна, вологість після пресування, температура другого нагрівання, рівень кислотності, концентрація кухонної солі та умови дозрівання продукції.

Якість молока визначається його хімічним складом, видовим складом мікроорганізмів і ступенем зрілості. Для окремих видів сирів використовують молоко з підвищеною зрілістю, коли кислотність перевищує 22 °Т, а для інших — сировину з нижчою кислотністю, не більше 19 °Т. Різний ступінь зрілості молока суттєво впливає на подальший перебіг технологічних процесів.

Формування характерних властивостей сиру відбувається під дією ферментативних систем мікроорганізмів, що беруть участь у дозріванні. У виробництві використовуються молочнокислі, пропіоновокислі, лужноутворювальні бактерії сирного слизу, а також мікроскопічні гриби. Способи обробки сирного зерна передбачають регулювання температури та тривалості обробки, проведення чедеризації, вибір температури другого нагрівання, часткове соління зерна та додавання води під час повторного нагрівання.

Одні види сирів виробляють із використанням низьких температур другого нагрівання — у межах 36–41 °С, інші — за високих температур 50–60 °С. Для деяких сортів сирну масу направляють на дозрівання ще до формування, після чого її підплавляють у гарячій сироватці та формують готовий продукт. В окремих технологіях перед формуванням застосовують стадію дозрівання сирної маси — чедеризацію.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

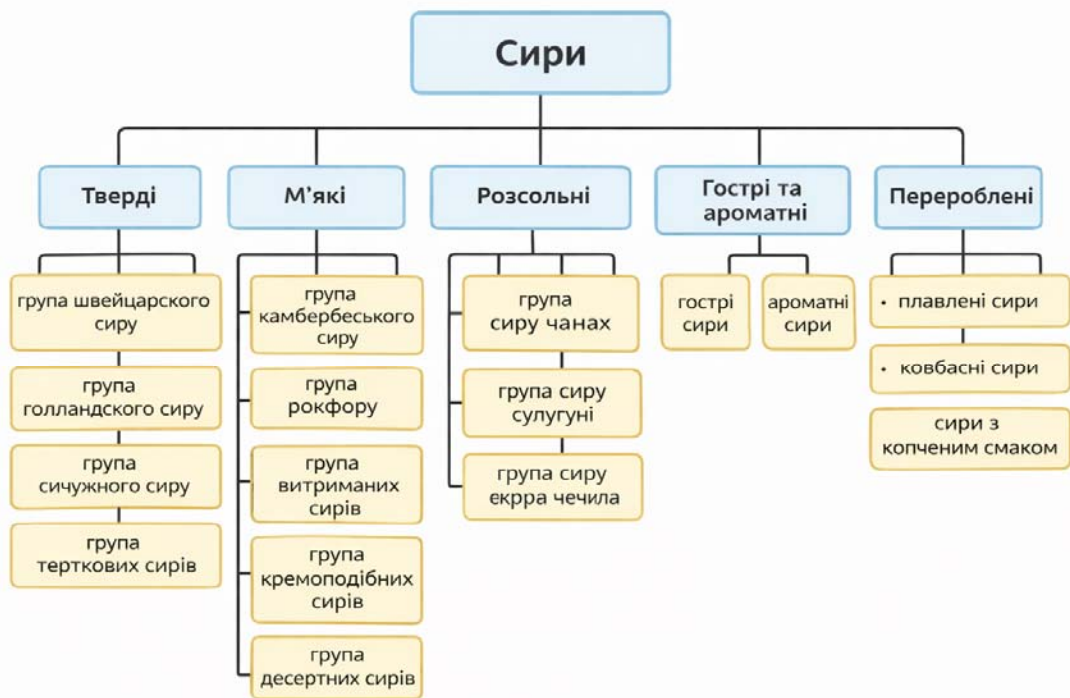


Рис.1.1. – Товарознавча класифікація сирів

До характерних особливостей технології виробництва сирів належать процеси самопресування та примусового пресування, а також способи і тривалість дозрівання продукції. Для окремих видів сирів період дозрівання є доволі тривалим, тоді як деякі м'які та кисломолочні сири споживаються практично відразу після виготовлення у свіжому вигляді. Важливу роль у формуванні якості готового продукту відіграють умови дозрівання, зокрема температура та відносна вологість повітря, характеристики покриттів сирної кірки та інші фактори.

Кожний вид сиру відрізняється власними геометричними параметрами, формою та масою головок, станом поверхні й кірки, а також специфічними фізико-хімічними та органолептичними показниками. Сири, які мають подібні споживчі властивості, товарні характеристики, особливості технології виробництва та параметри процесу, об'єднують у відповідні групи (рис. 1.1).

Відповідно до сучасних принципів товарознавчої класифікації, основу поділу сирів становлять їх споживчі та товарні властивості. За цими ознаками сири класифікують на такі групи:

- I. Тверді сичужні сири типу швейцарського, костромського, голландського, чеддера, російського та інших;
- II. Напівтверді сичужні сири типу латвійського, пікантного та подібних;
- III. М'які сичужні та сичужно-кислотні сири, як дозрілі, так і свіжі;
- IV. Сичужні розсільні сири;
- V. Овечі сичужні сири;
- VI. Сичужні сири та сирна маса, що використовуються для виробництва плавлених сирів;
- VII. Плавлені та перероблені сири;
- VIII. Кисломолочні сири.

Для цеху, що проєктується, як основний вид продукції приймаються тверді сичужні сири, які належать до групи швейцарських сирів.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Технологія виробництва сиру

Важливою особливістю технології виробництва швейцарського блокового сиру є формування великих прямокутних блоків масою нетто 30–35 кг, які на період дозрівання герметично упаковують у полімерні плівкові матеріали.

Швейцарський блоковий сир виготовляють як із сирого молока, переважно в період пасовищного утримання худоби, так і з пастеризованої сировини. Молоко, що використовується для виробництва, повинно характеризуватися достатнім ступенем зрілості, доброю здатністю до згортання та високими санітарно-гігієнічними показниками. У ньому не допускається наявність соматичних клітин, бактерій групи кишкової палички та маслянокислих мікроорганізмів.

Операції приймання, оцінки якості, сортування, дозрівання, нормалізації та пастеризації молока проводять відповідно до встановлених технологічних вимог. До нормалізованого й пастеризованого молока при температурі згортання додають водний розчин хлориду кальцію у кількості приблизно (20 ± 10) г безводної солі на 100 кг перероблюваного молока, а також бактеріальну закваску.

Для виготовлення швейцарського блокового сиру застосовують виробничі закваски, до складу яких входять мезофільні та термофільні молочнокислі палички, зокрема культури *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus lactis*, а також термофільний стрептокок *Streptococcus thermophilus*. Додатково використовують культури пропіоновокислих бактерій і препарати мезофільних молочнокислих паличок виду *Lactobacillus plantarum*.

Схема технологічної лінії виробництва швейцарського сиру представлена на рис. 2.1.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

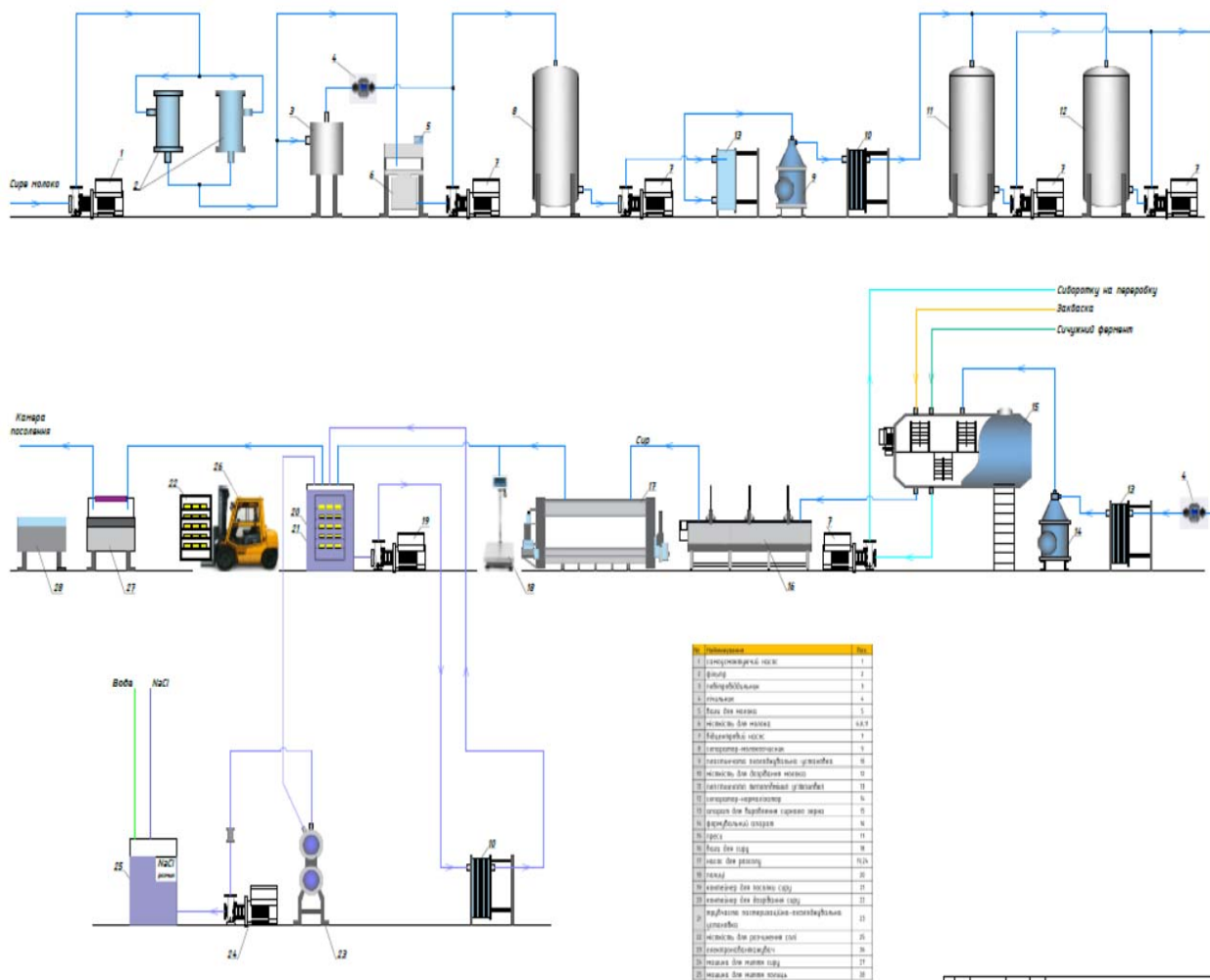


Рисунок 2.1 – Схема технологічної лінії виробництва швейцарського сиру :

1 — самоусмоктуючий насос; 2 — фільтр; 3 — повітровіддільник; 4 — лічильник; 5 — ваги для молока; 6, 8, 11 — місткість для молока; 7 - відцентровий насос; 9 — сепаратор-молокоочисник; 10 — пластинчаста охолоджувальна установка; 12 — місткість для дозрівання молока; 13 — пластинчаста теплообмінна установка; 14 — сепаратор-нормалізатор; 15 — апарат для вироблення сирного зерна; 16 — формувальний апарат; 11 — преси; 18 — ваги для сиру; 19, 24 — насос для розсолу; 20 — полиці; 21 — контейнер для посолки сиру; 22 — контейнер для дозрівання сиру; 23 — трубчаста пастеризаційна-охолоджувальна установка; 25 — місткість для розчинення солі; 26 — електронавантажувач; 27 — машина для миття сиру; 28 — машина для миття полиць.

Згортання молока, а також подальшу обробку сирного згустку та сирного зерна проводять у спеціальних сировиготовлювачах, конструкція яких забезпечує можливість одночасного виймання цілісного шару сирної маси. Для коагуляції молока використовують 2,5 %-й розчин сичужного ферменту при температурі 30–34 °С. Дозування ферменту підбирають таким чином, щоб тривалість згортання молочної суміші становила приблизно (30 ± 5) хвилин. Готовий згусток повинен мати достатню щільність, а на місці розлому утворювати чіткі краї з виділенням прозорої сироватки.

Під час розрізання згустку та постановки сирного зерна відбирають близько (30 ± 10) % сироватки від загальної кількості перероблюваного молока. Після утворення зерна його вимішують до набуття необхідної пружності, коли при легкому натисканні пальцями зерно не деформується і не руйнується. За нормального перебігу молочнокислого процесу тривалість вимішування до другого нагрівання складає близько (40 ± 20) хвилин.

Температуру другого нагрівання підтримують у межах 52–58 °С. Якщо під час нагрівання сирне зерно швидко втрачає клейкість, застосовують нижню межу температурного режиму. Після завершення другого нагрівання вимішування продовжують до досягнення готовності зерна. При цьому готове сирне зерно повинно зберігати певну клейкість і не бути надмірно сухим.

Сформовану сирну масу пресують у вигляді блоків. Суміш сирного зерна та сироватки через розподільний пристрій подають у попередньо підготовлені перфоровані форми, які встановлені на знімному днищі прес-ванни. Під час заповнення форм контролюють, щоб рівень сироватки у ванні перевищував рівень сирного зерна. Після повного вивантаження сирної маси із сировиготовлювача вставки з форм видаляють, сир накривають кришками, а сироватку відводять із прес-ванни.

Далі сир залишають для самопресування приблизно на (30 ± 5) хвилин, після чого переходять до примусового пресування. На початковому етапі

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пресування виконують маркування продукції. У процесі пресування блоки сиру перевертають п'ять разів для забезпечення рівномірного ущільнення.

Після завершення пресування сир витримують у формах протягом (10 ± 2) годин, після чого його зважують та направляють у солильні басейни. Швейцарський блоковий сир солять у розсолі температурою $(10 \pm 2) ^\circ\text{C}$ упродовж (4 ± 2) діб залежно від вологості продукту після пресування. Концентрація хлориду натрію в розсолі повинна становити близько $(22 \pm 2) \%$. Після закінчення процесу соління сир виймають із розсолу та транспортують до пакувального відділення. Перед пакуванням блоки, отримані після розрізання відпресованого пласта, обов'язково зважують.

Упакування сирних блоків у полімерну плівку здійснюють двома способами. Якщо дозрівання проходить у контейнерах, використовують безвакуумне пакування. У випадку дозрівання на стелажах застосовують вакуумне пакування в термоусадкові пакети.

Після пакування сир направляють у камери дозрівання, де підтримується температура $(12 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Тривалість дозрівання складає приблизно (45 ± 2) діб. Відносна вологість повітря в камерах не повинна перевищувати 80 %. У період дозрівання сир щонайменше двічі на місяць перевертають, а за необхідності виконують повторне пакування.

Готовий швейцарський блоковий сир упаковують у дерев'яні або картонні ящики. Перед укладанням продукції дерев'яні ящики вистилають обгортковим папером. Також допускається використання іншої тари з матеріалів, дозволених для контакту з харчовими продуктами. Кожен блок сиру пакують окремо. У разі фасування брусків масою від 2 до 6 кг в один ящик укладають продукцію одного сорту та однієї дати виготовлення.

У відповідність з вищеприведеної технологією, холод при виробництві сиру використовується в наступних операціях:

1. Дозрівання молока в танках-резервуарах при температурі $8-12 ^\circ\text{C}$ на протязі 12-14 годин.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Молоко поступає о 6-8 годині вечора з ферм, охолоджене до температури 10 °С. Відповідно до технології, для виробництва 9 тон сиру на добу потрібні 90 тон молока. Приймаємо для процесу дозрівання три циліндричні резервуари з охолоджувальними сорочками. Розміри резервуарів: висота 4 м, діаметр 2.5 м. Резервуари виконані з нержавіючої сталі, охолоджувальна сорочка - труба, яка навіта по зовнішній поверхні, усередині якої циркулює крижана вода. Поверх охолоджувальної сорочки теплоізоляція - шар пінополіуретану товщиною $\delta_{із}=0.1$ м і коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{із}=0.04$ Вт/(м²К).

У цьому процесі необхідно компенсувати теплопритоки, що поступають з довкілля.

Площа зовнішньої поверхні резервуарів :

$$F=2 \cdot (2 \cdot 0.25 \cdot \pi \cdot (2.5+2 \cdot 0.1)^2 + \pi \cdot (2.5+2 \cdot 0.1) \cdot (4+2 \cdot 0.1))=94.1 \text{ м}^2$$

Приймаємо температуру зовнішнього повітря в приміщеннях 21 °С, коефіцієнт тепловіддачі від зовнішнього повітря до зовнішньої поверхні резервуарів 8 Вт/(м²К). Термічним опором силової стінки резервуару нехтуємо. Середня температура дозрівання молока 10° С.

Сумарні теплопритоки в резервуари:

$$Q_{0p}=K \cdot F \cdot \Delta t=(1/8+0.1/0.04)^{-1} \cdot 94.1 \cdot (21-10)=394 \text{ Вт}$$

2. Охолодження молока після пастеризації від температури 76 °С до температури закваски 34 °С.

Процес пастеризації-охолодження починається на підприємстві о 8 годині ранку і триває протягом 8 годин. Відповідно до даних програми Термокул при середній жирності молока 3.2% різниця ентальпії при охолодженні молока від 76 °С до 34 °С складає 167.5 кДж/кг. Навантаження в процесі охолодження складе: $Q_{0охл}=(90000/(6 \cdot 3600)) \cdot 167.5=698$ кВт.

По необхідній витраті молока підбираємо два стандартні пастеризатора-охолоджувача заводського виконання А1-ОК2-ЛІ5.

Технічні характеристики пластинчатого охолоджувача А1-ОК2-ЛІ5

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивність при температурі пастеризації 76°C, не менше, л/г	5000
Температура продукту, що поступає, °C	10
Температура пастеризації, °C	76
Температура продукту, що максимально досягається, °C	95
Температура охолодженого продукту (при співвідношенні продукт/вода-1/3), відносно температури холодагенту, °C	34
Час витримки при температурі пастеризації, не менше, с	25
Рівень рекуперації теплової енергії в регенераторі, не менше, %	80
Встановлена потужність, не більше, кВт	66,0



Рисунок 2.1 - Пластинчатий охолоджувач-пастеризатор А1-ОК2-Л5

В якості холодоносія в апаратах використовується крижана вода, що поступає при температурі 1 °C.

3. Посолка формованого сиру в розсолі з концентрацією солі 18% і температурою 10 °C в течії 3 діб.

Посолка здійснюється в соляних ваннах. Сумарний об'єм ванн повинен відповідати засолюванню впродовж 3 діб. Приймаємо кратність циркуляції розсолу у ванні рівною 1 тонна розсолу на 1 тону продукту на добу. Таким чином, загальна масова витрата розсолу складе:

$$G_p = 3 \cdot 9000 / (24 \cdot 3600) = 0.36 \text{ кг/с.}$$

Приймаємо, що при хімічних реакціях і зовнішніх теплопритоках, температура циркулюючого розсолу збільшується на 2 °C. Середня теплоємність розсолу 20% дорівнює 3 кДж/кг. Сумарні теплопритоки від циркулюючого розсолу складуть: $Q_{0p} = 0.36 \cdot 3 \cdot 2 = 2.16 \text{ кВт}$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Обсушування посоленого сиру в камері з температурою 10 °С і вологістю 90% впродовж 2 діб.

5. Дозрівання упакованого сиру в камері з температурою 12 °С і вологістю 90% впродовж 45 діб.

У камерах обсушування і дозрівання для підтримки режиму температурної вологості будуть встановлені пристінно-стельові повітроохолоджувачі. В якості холодоносія в апаратах буде використана крижана вода.

Обсушування і дозрівання сиру здійснюється на спеціальних контейнерах з дерев'яними полицями. Переміщення таких контейнерів і їх штабелювання в камерах здійснюється електронавантажувачами. Завантаження сиру в контейнер і його вивантаження здійснюється вручну. Розміри контейнера $A*B*N=1200*800*1200$ м. Маса сиру, завантаженого в один контейнер, - 320 кг. Контейнери в камерах завантажуються по 3 ряди у висоту.

Загальна маса сиру, що одночасно знаходиться в камерах обсушування, дорівнює 18 тонам.

Кількість контейнерів в цих камерах: $N_o=18000/320=54$ шт.

Приймаємо для сушки дві камери, з внутрішніми розмірами $A*B*N=6000*6000*5000$ м. У кожній камері розміщено по 27 контейнерів, сумарною масою 9 тон. Завантаження-розвантаження камер здійснюється по черзі.

Загальна маса сиру, що одночасно знаходиться в камерах дозрівання, дорівнює 405 тонам. Кількість контейнерів в цій камерах: $N_c=1270$ шт.

Приймаємо для дозрівання три камери, з внутрішніми розмірами $A*B*N=12000*12000*5000$ м. У кожній камері розміщено по 423 контейнера. Відстань між рядами палет дозволяє здійснювати механізоване завантаження-розвантаження камер, з розрахунку +/- 9 тон сиру. Продукт маркірується відповідно до дати початку дозрівання.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Вибір і розрахунок будівельно-ізоляційної конструкції камер

Теплоізоляція на даному підприємстві встановлюватиметься в камерах дозрівання, експедиції та сушки сиру. З урахуванням того, що температура в камерах дозрівання та експедиції $t_k=12\text{ }^{\circ}\text{C}$ трохи відрізняється від робочої температури в камерах сушки $t_k=10\text{ }^{\circ}\text{C}$, розрахунок ізоляції ведемо по нижчій температурі.

Всі розрахунки будівельно-ізоляційної конструкції камер та теплопритоків в камери проводимо за методикою, яка представлена у методичних вказівках до проектування холодильників [6]

Визначення коефіцієнтів теплопередачі огорож

Нормативні коефіцієнти теплопередачі огорож камер визначаємо по емпіричних залежностях.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$K_{nc} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+t_k)} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (3.1)$$

$$K_{nc} = 0.16 \cdot e^{0.022(40+10)} = 0.48 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Коефіцієнт теплопередачі стелі з горищем:

$$K_{чп} = 1.05 K_{nc} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (3.2)$$

$$K_{чп} = 1.05 \cdot 0.48 = 0.5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт теплопередачі внутрішніх стін і перегородок:

$$K_{bc} = 1.18 K_{nc} \quad [\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})] \quad (3.3)$$

$$K_{bc} = 1.18 \cdot 0.46 = 0.57 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

Товщина ізоляційного шару:

$$\delta_{из} = \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_k} \right) \right] \cdot \lambda_{из} \quad [\text{м}] \quad (3.4)$$

де K – відповідний коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

α_n, α_k – розрахункові значення коефіцієнтів тепловіддачі із зовнішньої і внутрішньої сторін огорожі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

δ_i і λ_i – товщина і коефіцієнт теплопровідності кожного будівельного шару;

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

Як теплоізоляцію використовуємо матеріал ПСБ-С з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda = 0.05 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ і стандартною товщиною 40 мм.

Дійсний коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін.

Таблиця 3.1 – Конструкція зовнішніх стін

Найменування і матеріал шару	δ , м	λ , Вт/(м·К)
1. Штукатурка складним розчином по металевій стінці	0.02	0.98
2. Теплоізоляція з ПСБ-С	?	0.05
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	0.38	0.81

розчині		
6. Штукатурка складним розчином	0.02	0.93

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

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из}=(1/0.48-(1/23+0.02/0.98+0.004/0.3+0.38/0.81+0.02/0.93+1/9))\cdot 0.05=$$

$$=0.07 \text{ м, приймаємо } \delta_{из}=0.08 \text{ м.}$$

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{нс}=(0.08/0.05+(1/23+0.02/0.98+0.004/0.3+0.38/0.81+0.02/0.93+1/9))^{-1}=$$

$$=0.44 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}).$$

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для стелі.

Таблиця 3.2 – Конструкція стелі

Найменування і матеріал шару	δ , м	λ , 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 пергаменту)	0.001	0.15
4. Плиткова теплоізоляція – ПСБ-С	?	0.05
5. Залізобетонна плита покриття	0.035	2.04

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

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{из}=(1/0.5-(1/23+0.012/0.3+0.04/1.86+0.001/0.15+0.035/2.04+1/9))\cdot 0.05=$$

$$=0.085 \text{ м, приймаємо } \delta_{из}=0.08 \text{ м.}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{\text{чп}} = 0.5 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}.$$

Визначення дійсного коефіцієнта теплопередачі для внутрішніх стін

Таблиця 3.3 – Конструкція внутрішніх стін

Найменування і матеріал шару	δ , м	λ , Вт/м·К
1. Кладка цегляна на цементному розчині	0.24	0.81
2. Пароізоляція - два шару гідроізола на бітумній основі	0.004	0.3
3. Теплоізоляційна плита ПСБ-С	?	0.05
4. Штукатурка складним розчином	0.02	0.98

Приймаємо для відповідних умов $\alpha_n = 8 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ для коридору, для камер з примусовою циркуляцією $\alpha_k = 9 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$.

Орієнтовна товщина ізоляції:

$$\delta_{\text{из}} = (1/0.57 - (1/9 + 0.24/0.81 + 0.004/0.3 + 0.02/0.98 + 1/8)) \cdot 0.05 = 0.059 \text{ м},$$

приймаємо $\delta_{\text{из}} = 0.08 \text{ м}$.

Дійсне значення коефіцієнта теплопередачі:

$$k_{0 \text{ д}} = (0.08/0.05 + (1/9 + 0.24/0.81 + 0.004/0.3 + 0.02/0.98 + 1/8))^{-1} = 0.54 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}.$$

Перелік приміщень, які мають примусове охолодження:

Камера №1 – камера обсушування сиру, $t_{\text{кам}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{\text{кам}} = 36 \text{ м}^2$.

Камера №2 – камера обсушування сиру, $t_{\text{кам}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{\text{кам}} = 36 \text{ м}^2$.

Камера №3 – камера дозрівання сиру, $t_{\text{кам}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{\text{кам}} = 144 \text{ м}^2$.

Камера №4 – камера дозрівання сиру, $t_{\text{кам}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{\text{кам}} = 144 \text{ м}^2$.

Камера №5 – камера дозрівання сиру, $t_{\text{кам}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{\text{кам}} = 144 \text{ м}^2$.

Експедиція – $t_{\text{кам}} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, $F_{\text{кам}} = 72 \text{ м}^2$.

4 Визначення теплового навантаження камер

Загальне теплове навантаження на холодильне устаткування:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

Q_1 – теплопритоки через огорожі, Вт;

Q_2 – теплопритоки від холодильної обробки вантажів, Вт;

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

Q_4 – експлуатаційні теплопритоки, Вт;

Q_5 – теплопритоки від дихання охолоджених плодів, Вт.

4.1 Розрахунок теплоприпливів скрізь огорожі.

Теплоприплив скрізь огорожу визначається по формулі:

$$Q_1 = kF(\Delta t + \Delta t_c), \text{ Вт}, \quad (4.2)$$

де k – розрахунковий коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К);

F – площа огорожі, м²;

Δt – різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою;

Δt_c – різниця температур від дії сонячного випромінювання.

$$\Delta t_c = p \cdot (q_c \cdot \varepsilon_c / \alpha_n) \quad (4.3)$$

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

q_c – розрахункова напруга сонячного випромінювання для літнього періоду, Вт/м²;

ε_c – коеф. поглинання сол. випромінювання поверхнею огорожі;

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої сонцем поверхні в навколишнє середовище, Вт/(м²К).

Підприємство буде розташовано в м. Одеса. Приймаємо розрахункову літню температуру зовнішнього повітря $t_n = 32$ °С. Відповідно до прийнятого

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плану холодильника сонячні теплопритоки поступають до західної і південної стіни та крізь стелю.

Підбираємо коефіцієнти: $\varepsilon=0.4$ (стіни покриті світлою штукатуркою), $\varepsilon=0.65$ (дах покрит оцинкованим залізом), $p=0.75$ (масивна конструкція), для західної стіни $q_c=461 \text{ Вт/м}^2$, для південної стіни $q_c=384 \text{ Вт/м}^2$, для стелі $q_c=789 \text{ Вт/м}^2$, $\alpha=23 \text{ Вт/(м}^2\text{K)}$ [3].

Для західної стіни $\Delta t_c=0.75 \cdot 461 \cdot 0.4/23=6 \text{ }^\circ\text{C}$

Для південної стіни $\Delta t_c=0.75 \cdot 384 \cdot 0.4/23=5 \text{ }^\circ\text{C}$

Для стелі $\Delta t_c=0.75 \cdot 789 \cdot 0.65/23=16.7 \text{ }^\circ\text{C}$

Підлога не обігрівається, тому визначення теплопритоків через ґрунт ведеться позонно:

$$Q_{\Pi} = (t_n - t_k) \sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i \quad [\text{Вт}] \quad (4.4)$$

де F_i – площі відповідних зон, м^2 ;

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

Розрахунок ведемо для площ тих, що потрапили у відповідну зону. Для обліку компенсації збільшення щільності теплового потоку площу першої зони збільшуємо на 4 м^2 (один кут). Умовні коефіцієнти теплопередачі по зонах приймаємо $0.48; 0.24; 0.12; 0.07 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ відповідно до довідкових даних [3].

Таблиця 4.1 – Розрахунок підлоги по зонах

	1-я зона, $F_1, \text{м}^2$	2-я зона, $F_2, \text{м}^2$	3-я зона, $F_3, \text{м}^2$	4-я зона, $F_4, \text{м}^2$	$\sum_{i=1}^4 (k_{yc})_i F_i, \text{Вт/К}$
Камера №1	22	16	-	-	11.4
Камера №2	22	16	-	-	11.4
Камера №3	88	66	48	34	74.6
Камера №4	58	58	58	62	56.36
Камера №5	88	66	48	34	74.6
Експедиція	72	16	-	-	38.4

Розрахунок теплоприпливів в камери зводимо в таблицю 4.2

Таблиця 4.2 – Теплоприпливи у камери крізь огорожі

	K, Вт/(м²К)	F, м²	tк, °C	tн, °C	Δtc, °C	Q1, Вт
Кам.№1						
Північ	0,44	30	10	32	0	290
Захід	0,54	30	10	18	0	130
Південь	0,54	30	10	10	0	0
Схід	0,54	30	10	18	0	130
Підлога	1	11,4	10	32	0	251
Стеля	0,5	36	10	32	16,7	697
Сумарні теплопритоки по камері №1, ΣQ1, Вт						1497
Кам.№2						0
Північ	0,54	30	10	10	0	0
Захід	0,54	30	10	18	0	130
Південь	0,54	30	10	18	0	130
Схід	0,54	30	10	18	0	130
Підлога	1	11,4	10	32	0	251
Стеля	0,5	36	10	32	16,7	697
Сумарні теплопритоки по камері №2, ΣQ1, Вт						1336
Кам.№3						0
Північ	0,44	60	12	32	0	528
Захід	0,44	60	12	32	6	686
Південь	0,54	60	12	12	0	0
Схід	0,54	60	12	18	0	194
Підлога	1	74,6	12	32	0	1492
Стеля	0,5	144	12	32	16,7	2642
Сумарні теплопритоки по камері №3, ΣQ1, Вт						5543
Кам.№4						
Північ	0,54	60	12	12	0	0
Захід	0,44	60	12	32	6	686
Південь	0,54	60	12	12	0	0
Схід	0,54	60	12	18	0	194
Підлога	1	56,36	12	32	0	1127
Стеля	0,5	144	12	32	16,7	2642
Сумарні теплопритоки по камері №4, ΣQ1, Вт						4650
Кам.№5						
Північ	0,44	60	12	12	0	0
Захід	0,44	60	12	32	0	528
Південь	0,54	60	12	32	5	810
Схід	0,54	60	12	18	0	194
Підлога	1	74,6	12	32	0	1492
Стеля	0,5	144	12	32	16,7	2642
Сумарні теплопритоки по камері №5, ΣQ1, Вт						5667
Експ.						
Північ	0,54	30	12	18	0	97
Захід	0,54	60	12	18	0	194
Південь	0,44	30	12	32	5	330
Схід	0,54	60	12	18	0	194
Підлога	1	38,4	12	32	0	768
Стеля	0,5	72	12	32	16,7	1321
Сумарні теплопритоки по експедиції, ΣQ1, Вт						2905

4.2 Розрахунок теплоприпливів від вантажів при їх холодильній обробці

Вантаж поступає в усі приміщення вже охолоджений до температури камер відповідно технологічному процесу. Таким чином, теплопритоки від вантажу відсутні.

4.3. Розрахунок теплоприпливів при вентиляції камери.

При вентиляції камери існують теплоприпливи від зовнішнього повітря, що поступає:

$$Q_3 = V_{\text{стр}} \cdot a \cdot \rho_k \cdot (h_n - h_k) \text{ [Вт]}, \quad (4.8)$$

де $V_{\text{стр}}$ – будівельний об'єм камери, м^3 ;

a – кратність повітрообміну в добу;

ρ_k – щільність повітря при температурі і відносній вологості камери, $\text{кг}/\text{м}^3$;

h_n, h_k – ентальпії повітря при температурі зовнішньою і камери, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Розрахунки зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Теплоприпливи при вентиляції приміщень

	$V_{\text{буд}}, \text{м}^3$	a	$h_n,$ Дж/кг	$h_k,$ Дж/кг	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	$Q_3, \text{Вт}$
Кам №1	180	10	74	23	1,016	93
Кам №2	180	10	74	23	1,016	93
Кам №3	720	3	74	25	1,016	108
Кам №4	720	3	74	25	1,016	108
Кам №5	270	3	74	25	1,016	40
Експед.	360	2	74	25	1,016	36

4.4. Розрахунок експлуатаційних теплопритоків

$$Q_4 = Q_4' + Q_4'' + Q_4''' + Q_4'''' \quad [\text{Вт}], \quad (4.10)$$

де Q_4' - теплоприпливи від ел. освітлення, Вт;

Q_4'' - теплоприпливи від електродвигунів, Вт;

Q_4''' - теплоприпливи від працюючих людей, Вт;

Q_4'''' - теплоприпливи при відкритті дверей, Вт.

Теплоприплив від електричного освітлення.

$$Q_4' = q_4' \cdot j_{\text{св}} \cdot F_{\text{стр}} \quad [\text{Вт}], \quad (4.11)$$

де q_4' – норма щільності освітлення, приймаємо для виробничих приміщень $q_4' = 7.5 \text{ Вт/м}^2$ (камери обсушування та експедиція), для камер дозрівання $q_4' = 3.5 \text{ Вт/м}^2$

$j_{\text{св}}$ – коефіцієнт одночасності роботи світильників.

Теплоприплив від електродвигунів повітроохолоджувачів.

$$Q_4'' = j_{\text{дв}} \cdot \sum N_{\text{дв}} \quad [\text{Вт}], \quad (4.12)$$

де $j_{\text{дв}}$ – коефіцієнт одночасності роботи.

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

Орієнтовано $\sum N_{\text{дв}}$ можна розрахувати як:

$$\sum N_{\text{дв}} = 1.2 \cdot m \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (4.13)$$

де m – коефіцієнт відношення потужності електродвигуна до його холодопродуктивності, приймаємо $m = 0.07$.

Теплоприпливи від працюючих людей.

$$Q_4''' = (270 - 6 \cdot t_{\text{к}}) \cdot n \quad [\text{Вт}], \quad (4.14)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де n – кількість людей, що працюють в камері.

Теплопритоки від інфільтрації через двері.

$$Q_{4''''} = B \cdot F_{\text{стр}} [\text{Вт}], \quad (4.15)$$

де B – витрати холоду при відкритті дверей Вт/м^2 .

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.4

Таблиця 4.3 – Експлуатаційні теплоприпливи

	јсв	F, м²	Q₄', Вт	јдв	ΣN _{дв} , Вт	Q₄'', Вт	n, чол	Q₄''', Вт	B	Q₄'''', Вт	Q₄, Вт
Кам №1	1	36	270	0,5	125	63	1	210	14	504	660
Кам №2	1	36	270	0,5	113	57	1	210	14	504	654
Кам №3	0,33	144	166	0,5	696	348	3	594	6	864	2773
Кам №4	0,33	144	166	0,5	610	305	3	594	6	864	2730
Кам №5	0,33	144	166	0,5	716	358	3	594	6	864	2783
Експед.	0,67	72	362	0,5	474	237	3	594	23	1656	2849

Результати розрахунків теплоприпливів зводимо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Звідна таблиця теплоприпливів по камерам на ПО

	Q₁,Вт	Q₂,Вт	Q₃,Вт	Q₄,Вт	Q₅,Вт	Q₀к,Вт
Кам №1	1497	0	93	660	0	2250
Кам №2	1336	0	93	654	0	2083
Кам №3	5543	0	108	2773	0	8424
Кам №4	4650	0	108	2730	0	7488
Кам №5	5667	0	40	2783	0	8490
Експед.	2905	0	36	2849	0	5790

Як прилади охолодження в камерах використовуємо прістіно-стельові повітроохолоджувачі, які працюють на крижаний воді. В першій та другій камерах встановлюємо по одному апарату холодопродуктивністю $Q_{01}=2.3$ кВт, в камерах № 3,4,5 по 2 апарата холодопродуктивністю $Q_{02}=4.3$ кВт, у експедиції 1 повітроохолоджувач холодопродуктивністю $Q_{03}=5.8$ кВт.

Навантаження на систему крижаної води при температурі подачі води 2°C з урахуванням втрат в системі у розмірі 3 % і коефіцієнта робочого часу 0.85 [3]:

$$Q_{0к}=1.03 \cdot (2250+2083+8424+7488+8490+5790)/0.85=41836 \text{ Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 Тепловий розрахунок холодильної системи

Приймаємо, що для забезпечення санітарних норм та централізації роботи всього устаткування холодозабезпечення всіх споживачів буде проводитися від системи крижаної води, яку ми будемо отримувати при необхідних параметрах у агрегатованому водоохолоджувачі (чілері).

Загальне навантаження на водоохолоджувач можна знайти як суму всіх навантажень по споживачам:

$$Q_{0\text{вод}}=698+2.16+41.84=742 \text{ кВт}$$

Приймаємо параметри водоохолоджувача одноступеневу аміачна холодильну машину з двома гвинтовими компресорами. Компресори працюють паралельно, холодопродуктивність кожного по 371 кВт. У якості системи відведення теплоти конденсації приймаємо пластинчатий водяний конденсатор.

Дані для розрахунку:

Холодопродуктивність: $Q_0=371 \text{ кВт}$

Температура кипіння аміаку: $t_x=-2 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура конденсації аміаку: $t_x=35 \text{ }^\circ\text{C}$

Будуємо цикл і визначаємо термодинамічні параметри у вузлових точках циклу.

	1	2 _c	2 _a	2 _м	3	4
T, °C	10	112	100	81	35	-2
P, бар	4,3	13,5	13,5	13,5	13,5	4,3
h, кДж/кг	1501	1700	1675	1629	340	340
v, м³/кг	0,31					

Процес стискання в гвинтовому маслозаповненому компресорі (процес 1-2м) можна умовно представити таким чином. Спочатку відбувається

стискання робочої речовини - процес 1-2с, потім - відведення теплоти від робочої речовини маслом, - процес 2с - 2м.

Стан робочої речовини в точці 2с визначається по рівнянню:

$$h_{2c} = h_1 + \frac{h_{2a} - h_{2c}}{\eta_i} \quad [\text{кДж/кг}]$$

де η_i - ККД гвинтового компресора умовного процесу «сухого» стиску ($\eta_i \approx \lambda$).

Коефіцієнт подання гвинтового компресора розраховуємо по формулі:

$$\lambda = 0,92 - 0,02 \cdot \beta_n$$

де

$$\beta_n = \frac{P_0}{P_\kappa}$$

$$\beta_n = \frac{13,48}{4,29} = 3,14$$

$$\lambda = 0,92 - 0,02 \cdot 3,14 = 0,86$$

$$h_{2c} = 1500 + \frac{1674 - 1500}{0,86} = 1702 \quad [\text{кДж/кг}]$$

Температура кінця стискування в гвинтовому компресорі знаходиться в межах 60÷90 °С, приймаємо температуру кінця стискування 80 °С. Виходячи з цього знаходимо ентальпію в точці 2м.

$$h_m = 1628 \quad \text{кДж/кг.}$$

Питома масова холодопродуктивність холодоагенту в розрахунковому режимі:

$$q_0 = h_1 - h_4 \quad [\text{кДж/кг}]$$

$$q_0 = 1500 - 341 = 1159 \quad [\text{кДж/кг}]$$

5. Масова витрата холодильного агента через компресор

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G = \frac{Q_0}{q_0} \quad [\text{кг/с}]$$

$$G = 341/1159 = 0.294 \quad [\text{кг/с}]$$

Дійсна об'ємна продуктивність гвинтового компресора

$$V = v_{ec} \cdot G \quad [\text{м}^3/\text{с}]$$

$$V = 0.294 \cdot 0.309 = 0.09 \quad [\text{м}^3/\text{с}]$$

Теоретичний об'єм, описаний в гвинтовому компресорі

$$V_m = \frac{V}{\lambda} \quad [\text{м}^3/\text{с}]$$

$$V_m = 0.09/0.86 = 0.105 \quad [\text{м}^3/\text{с}]$$

Приймаємо число зубів на ведучому роторі $z_1=4$, на веденому $z_2=6$.

Розраховуємо необхідний об'єм парної порожнини - суму об'ємів однієї западини ведучого і однієї западини веденого ротора :

$$W_n = \frac{V_m}{z_1 \cdot n_1} \quad [\text{м}^3]$$

де n_1 - частота обертання ведучого ротора, приймаємо $n_1=85$ 1/с.

$$W_n = \frac{0,093}{4 \cdot 85} = 273 \cdot 10^{-6} \quad [\text{м}^3]$$

За величиною W_n по таблицям підбираємо варіант роторів з значенням W_n більше, чим W_n .

k_e	$f_{1n} \cdot 10^4$	$f_{2n} \cdot 10^4$	D, мм	W_n , м ³
0,9	17,77	12,12	160	434

Перевіряємо, чи виконується співвідношення:

$$\frac{U_{1\min}}{\pi \cdot n} \leq D \leq \frac{U_{1\max}}{\pi \cdot n_1}$$

де,

$$U_{1\min} = 35,4 + 0,95 \cdot \beta_n \quad [\text{м/с}] \quad U_{1\min} = 35,4 + 0,95 \cdot 3,14 = 38,38 \quad [\text{м/с}]$$

$$U_{1\max} = 46,9 + 0,71 \cdot 3,14 = 49,13 \quad [\text{м/с}]$$

$$144 \leq 160 \leq 184$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо дійсні значення V , G , Q_0

$$V = \lambda \cdot z_1 \cdot n_1 \cdot W_n \quad [\text{м}^3/\text{с}]$$

$$V = 0,84 \cdot 4 \cdot 85 \cdot 434 \cdot 10^{-6} = 0,124 \quad [\text{м}^3/\text{с}]$$

$$G = \frac{V}{v_{\text{св}}} \quad [\text{кг/с}] \qquad G = \frac{0,124}{0,309} = 0,401 \quad [\text{кг/с}]$$

$$Q_0 = q_0 \cdot G \quad [\text{кВт}] \qquad Q_0 = 1159 \cdot 0,401 = 465 \quad [\text{кВт}]$$

Задаємося геометричною мірою стискування гвинтового компресора

$\beta = 2,6$ при $\beta_n \leq 4$, і розраховуємо ефективний ККД компресора по формулі

$$\eta_e = 0,636 + 0,0712 \cdot \beta_n - 0,00111 \cdot \beta_n^2$$

$$\eta_e = 0,636 + 0,0712 \cdot 3,14 - 0,00111 \cdot 3,14^2 = 0,848$$

Визначаємо ефективну потужність компресора

$$N_e = \frac{G \cdot l_a}{\eta_e} \quad [\text{кВт}]$$

де l_a - питома робота оборотного адіабатного процесу стискування в розрахунковому режимі.

$$l_a = h_{2a} - h_1 \quad [\text{кДж/кг}] \qquad l_a = 1674 - 1500 = 174 \quad [\text{кДж/кг}]$$

$$N_e = \frac{0,401 \cdot 174}{0,848} = 82,3 \quad [\text{кВт}]$$

Обчислюваний механічний ККД гвинтового компресора

$$\eta_m = 0,985 - 0,0077 \cdot \beta_n$$

$$\eta_m = 0,985 - 0,0077 \cdot 3,14 = 0,96$$

і індикаторну потужність

$$N_i = N_e \cdot \eta_m \quad [\text{кВт}]$$

$$N_i = 82,3 \cdot 0,96 = 79 \quad [\text{кВт}]$$

Визначаємо відносну витрату масла, що подається в компресор:

$$q_m = 0,2 + 0,67 \cdot \beta_n$$

$$q_m = 0,2 + 0,67 \cdot 3,14 = 2,3$$

Масова витрата масла

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G' = G \cdot q_m \quad [\text{кг/с}]$$

$$G' = 0,401 \cdot 2,3 = 0,92 \quad [\text{кг/с}]$$

Теплота конденсації розраховується по формулі (на два компресора)

$$Q_\kappa = Q_0 + N_e \quad [\text{кВт}]$$

$$Q_\kappa = 742 + 2 \cdot 82,3 = 906,6 \quad [\text{кВт}]$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 Розрахунок повітроохолоджувача

Для учбового розрахунку апарату вибираємо повітроохолоджувач, що встановлюється в камерах дозрівання сиру. В якості холодоносія в апараті використовується крижана вода, розрахункове навантаження на повітроохолоджувач 4.3 кВт.

У розрахунку використовуються наступні дані:

Холодопродуктивність апарату $Q_{\text{в0}}=4.3$ кВт

Температура повітря камери $t_{\text{к}}=12$ °C

Відносна вологість повітря камери $\varphi_{\text{к}}=0.9$

Швидкість повітря в живому перетині $V_{\text{в}}=4$ м/с

Середня температура крижаної води $t_0=2$ °C

Основні параметри поверхні теплообміну:

- форма ребра – пластинчатє;
- матеріал труб сталь $\lambda_{\text{тр}}=50$ Вт/(м·K), $d_{\text{н}}=0.025$ м, $d_{\text{вн}}=0.0218$ м;
- матеріал ребер сталь $\lambda_{\text{р}}=50$ Вт/(м·K),
- крок ребер $u=0.008$ м, висота ребра $h_{\text{р}}=0.025$ м, товщина ребра $\delta_{\text{р}}=0.0005$ м;
- розташування труб - коридорний пучок;
- шаг труб $S_1=S_2=0.064$ м.

Розрахунок

Приймаємо по графіку залежності [2] від $t_{\text{к}}$ підохолодження в апараті $\Delta t=2$.

Температура на виході з апарату:

$$t_{\text{в}}=t_{\text{к}}-\Delta t=12-2=10 \text{ °C}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середня температура повітря:

$$t_c = 0.5 \cdot (t_k + t_b) = 0.5 \cdot (12 + 10) = 11 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Температурний напір:

$$\theta = t_c - t_0 = 11 - 2 = 9$$

Задаємося середньою температурою поверхні повітроохолоджувача:

$$t_{\pi} = 5.7 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

По таблицях визначаємо вологовміст насиченого повітря при:

$$t_k - d_k'' = 0.007 \text{ кг/кг}; t_{\pi} - d_{\pi}'' = 0.0057 \text{ кг/кг}; t_b - d_b'' = 0.0078 \text{ кг/кг}.$$

Вологовміст на виході з повітроохолоджувача:

$$d_b = d_k - (d_k - d_{\pi}'') \cdot (t_k - t_b) / (t_k - t_{\pi}) \text{ [кг/кг]} \quad (6.1)$$

$$d_b = 0.00702 - (0.007 - 0.0057) \cdot (12 - 10) / (12 - 5.5) = 0.0069 \text{ кг/кг}.$$

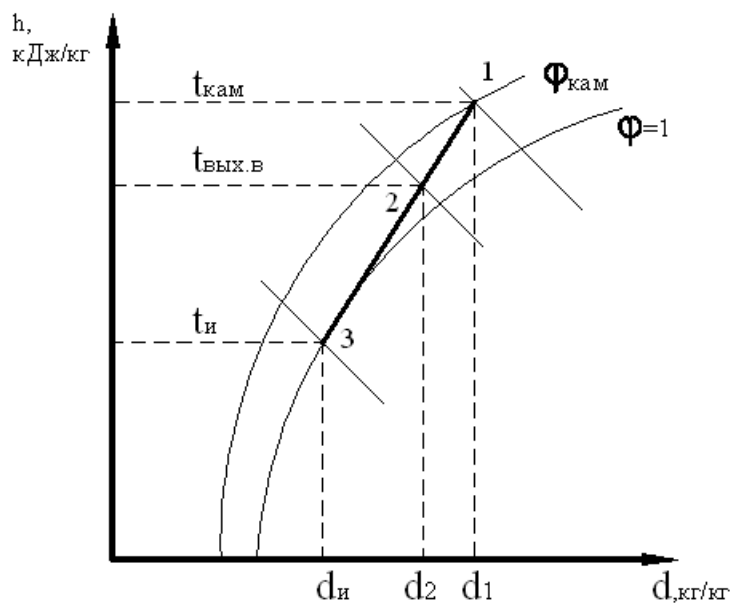


рис. 6.1 – Процес обробки повітря у повітряох-че в h-d діаграмі.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Відносна вологість на виході з апарату:

$$\phi_B = d_B / d_B'' = 0.0069 / 0.0078 = 0.96$$

Ентальпія повітря визначається по формулі:

$$h = 1.006 \cdot t + (2501 + 1.87 \cdot t) \cdot d \quad [\text{кДж/кг}] \quad (6.2)$$

$$h_K = 27.6 \text{ кДж/кг}$$

$$h_B = 24.4 \text{ кДж/кг}$$

$$h_{\Pi} = 19.8 \text{ кДж/кг}$$

6.1 Геометричні параметри прийнятого ребристого елементу

Зовнішня поверхня ребра:

$$f_p = 2 \cdot (S_1^2 - 0.5 \cdot \pi \cdot d_n^2) = 2 \cdot (0.064^2 - 0.5 \cdot \pi \cdot 0.025^2) = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

$$f_{\text{тр}} = \pi \cdot d_n \cdot (u - \delta_p) = 3.14 \cdot 0.025 \cdot (0.008 - 0.0005) = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Внутрішня поверхня труби ребристого елементу:

$$f_{\text{вн}} = \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot u = 3.14 \cdot 0.0218 \cdot 0.008 = 0.55 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня ребристого елементу:

$$f_{\Pi} = f_p + f_{\text{тр}} = (7.5 + 0.6) \cdot 10^{-3} = 8.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Коефіцієнт оребрення:

$$\beta = f_{\Pi} / f_{\text{вн}} = 8.1 / 0.55 = 14.72$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ступінь оребрення:

$$\phi = f_n / (\pi \cdot d_n \cdot u) = 8.1 / (\pi \cdot 0.025 \cdot 0.008) = 12.82$$

Умовний ступінь оребрення:

$$\beta_n = f_n / f_{tr} = 8.1 / 0.6 = 13.7$$

6.2 Теплообмін з боку повітря

Теплофізичні властивості повітря при середній температурі повітря t_c [1]:

- кінематична в'язкість $\nu_v = 14.16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- коефіцієнт теплопровідності $\lambda_v = 0.0251 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;
- число Прандтля $Pr_v = 0.705$;
- щільність $\rho_v = 1.247 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Коефіцієнт вологовипадіння визначається по формулі:

$$\xi = 1 + (d_k - d_n) \cdot \phi_k \cdot (2835 - 2.09 \cdot t_n) / [(1.006 + 1.87 \cdot d_n) \cdot (t_k - t_n)] \quad (6.3)$$

$$\xi = 1 + (0.00702 \cdot 0.9 - 0.00572) \cdot (2835 - 2.09 \cdot 5.5) / [(1.006 + 1.87 \cdot 0.00572) \cdot (10 - 5.5)] = 1.065$$

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

Визначальний розмір:

$$d_3 = 2 \cdot (S_1 - d_n) \cdot (u - \delta_p) / (S_1 - d_n + u - \delta_p) \quad (6.4)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_3 = 2 \cdot (0.064 - 0.025) \cdot (0.008 - 0.0005) / (0.064 - 0.025 + 0.008 - 0.0005) = 0.0126 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re_B = w_B \cdot d_3 / \nu_B \quad (6.5)$$

$$Re_B = 4 \cdot 0.013 / (14.16 \cdot 10^{-6}) = 3570$$

Число Нуссельта:

$$Nu_B = 0.178 \cdot Re_B^{0.6} \cdot (S_2/d_3)^{-0.14} \quad (6.6)$$

$$Nu_B = 0.178 \cdot 3570^{0.6} \cdot (0.065/0.013) = 19.2$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні повітряохолоджувача до повітря:

$$\alpha_B = Nu_B \cdot \lambda_B / d_3 \quad (6.7)$$

$$\alpha_B = 19.2 \cdot 0.0251 / 0.013 = 38.2 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Приведений коефіцієнт тепловіддачі:

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

$$\alpha_{B \text{ пр}} = (38.2 \cdot 1.06)^{-1} = 40.5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Умовна висота ребра:

$$h' = d_H \cdot 0.5 \cdot (1.15 \cdot S_2/d_H - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot S_2/d_H)) =$$

$$= 0.025 \cdot 0.5 \cdot (1.15 \cdot 0.064/0.025 - 1) \cdot (1 + 0.35 \cdot \ln(1.15 \cdot 0.064/0.025)) = 0.0286 \text{ м}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Безрозмірний комплекс

$$mh' = [2 \cdot \alpha_{впр} / (\delta_p \cdot \lambda_p)]^{0.5} \cdot h' = [2 \cdot 40.4 / (0.0005 \cdot 50)]^{0.5} \cdot 0.028 = 1.55 \text{ 1/м}$$

Коефіцієнт ефективності ребра:

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

$$E = [\tanh(1.545)] / 1.545 = 0.51$$

Коефіцієнт, що враховує нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра:

$$\psi = 1 - 0.058 \cdot mh' = 1 - 0.058 \cdot 1.545 = 0.894$$

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елементу:

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

$$\alpha_{в пр}' = 40.4 \cdot (0.00747 \cdot 0.504 \cdot 0.89 + 0.00059) / 0.00806 = 19.7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби:

$$q_v = \alpha_v \cdot \xi \cdot \beta \cdot (t_c - t_{п}) \quad [\text{Вт}/\text{м}^2] \quad (6.11)$$

$$q_v = 19.71 \cdot 1.06 \cdot 14.7 \cdot (9 - 5.5) = 2100 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Тепловіддача в трубах апарата.

Число Рейнольдса:

$$Re_w = 0.3 \cdot 0.0218 / (1.3 \cdot 10^{-6}) = 5030$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Число Нуссельта:

$$Nu_w = 0.021 \cdot 5030^{0.8} \cdot 9.52^{0.43} = 50.6$$

Коефіцієнт тепловіддачі в трубах апарату:

$$\alpha_w = 50.6 \cdot 0.574 / 0.0218 = 1330 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до зовнішньої поверхні сухої поверхні:

$$K_H = [\beta / \alpha_w + 1 / \alpha_{в \text{ пр.}} + \phi \cdot (0.5 \cdot (d_H - d_{вн}) / \lambda_T)]^{-1} \quad [\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}] \quad (6.13)$$

$$K_H = [14.7 / 1333 + 1 / 19.71 + 12.8 \cdot (0.5 \cdot (0.025 - 0.0218) / 50)]^{-1} = 19.7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Перевіряємо раніше прийняту температуру поверхні апарату:

- щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні:

$$q_H = K_H \cdot (t_c - t_0) = 19.7 \cdot (9 - 5.5) = 137.8 \text{ Вт/м}^2;$$

- розрахункова різниця температур:

$$\Delta t_p = q_H / (\alpha_{в} \cdot \xi) = 137.8 / (38.1 \cdot 1.06) = 3.4 \text{ }^\circ\text{C};$$

- відносна погрішність прийнятої і розрахункової різниці температур:

$$\varepsilon = [|\Delta t_p - (t_c - t_H)| / \Delta t_p] \cdot 100\% = |[3.4 - (11 - 5.5)] / 3.42| \cdot 100\% = 2.3 \%$$

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

$$F_H = Q_0 / [K_H \cdot (t_c - t_0)] = 4300 / (19.72 \cdot 3.5) = 62.3 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.4 Компонувальний розрахунок повітроохолоджувача

Об'ємна витрата повітря через повітроохолоджувач:

$$V_B = Q_0 / [\rho_B \cdot (h_K - h_B)] \quad (6.14)$$

$$V_B = 4300 / [1.247 \cdot (27.7 - 24.3)] = 1.3 \text{ м}^3/\text{с}$$

По графіках характеристик вентиляторів вибираємо два вентилятор марки ВО-12-303-6.3 при орієнтовному натиску $H=150$ Па з діаметром вентилятора $D_B=0.63$ м.

Мінімальний 'живий' перетин повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ж}} = V_B / w_B = 1.3 / 4 = 0.335 \text{ м}^2$$

Мінімальний 'живий' перетин одного ребристого елемента:

$$f_{\text{ж}} = (S_1 - d_n) \cdot (u_p - \delta_p) = (0.064 - 0.025) \cdot (0.008 - 0.0005) = 0.00035 \text{ м}^2$$

Площа фронтального перетину повітроохолоджувача:

$$F_{\text{ф}} = F_{\text{ж}} \cdot S_1 \cdot u / f_{\text{ж}} = 0.33 \cdot 0.064 \cdot 0.008 / 0.00035 = 0.568 \text{ м}^2$$

Перевіряємо забезпечення хорошого розподілу повітря $1.8 < e < 2.6$:

$$e = F_{\text{ф}} / (0.25 \cdot \pi \cdot D_B^2) = 0.568 / (0.25 \cdot 3.14 \cdot 0.6^2) = 2.265$$

Орієнтовні геометричні розміри теплообмінної секції повітроохолоджувача у фронтальному перетині:

$$\text{- ширина } H' = (F_{\text{ф}} / n)^{0.5} = (0.57 / 2)^{0.5} = 0.53 \text{ м};$$

$$\text{- довжина } L' = H' \cdot n = 0.533 \cdot 2 = 1.06 \text{ м}.$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Число труб у фронтальному перетині пучка з округленням до парного цілого: $z_1 = H / S_1 = 0.533 / 0.064 = 8$ шт

Дійсна ширина і довжина секції:

$$H = z_1 \cdot S_1 = 8 \cdot 0.064 = 0.53 \text{ м}$$

$$L = (F_{\phi} / n)^{0.5} = (0.52 / 2)^{0.5} = 1.09 \text{ м}$$

Число труб по ходу повітря з округленням до найближчого більшого цілого: $z_2 = F_n / [f_{\Pi} \cdot (F_{\text{ж}} / f_{\text{ж}})] = 41.3 / [0.0081 \cdot (0.33 / 0.0003)] = 6$ шт

Розрахункові параметри теплообмінної поверхні:

- сумарна довжина труб апарату:

$$\Sigma L = L \cdot z_1 \cdot z_2 = 1.09 \cdot 8 \cdot 6 = 52.4 \text{ м};$$

- площа зовнішньої поверхні:

$$F_d = \Sigma L \cdot \pi \cdot d_{\text{вн}} \cdot \beta = 52.4 \cdot 3.14 \cdot 0.0218 \cdot 14.7 = 52.6 \text{ м}^2;$$

- глибина секції:

$$B = S_2 \cdot z_2 = 0.064 \cdot 6 = 0.395 \text{ м}.$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7 Підбір устаткування

Для забезпечення роботи устаткування для охолодження в системі буде використано комплекс: водоохолоджувач, напірні баки, водяні насоси та трубопроводи постачання крижаної води.

Водоохолоджувач (чілер) підбираємо відповідно до розрахованого навантаження: чілер фірми Grasso FX PP2x400 Duo NH₃.



Рисунок 7.1 – Водоохолоджувач фірми Grasso FX PP2x400 Duo NH₃

До складу агрегатованої машини входять 2 гвинтових аміачних компресора. Як конденсатор використовується водяний пластинчатий теплообмінник, роботу якого забезпечує вентиляторна градирня. Підбираємо градирню фірми Baltimore VXT N380.

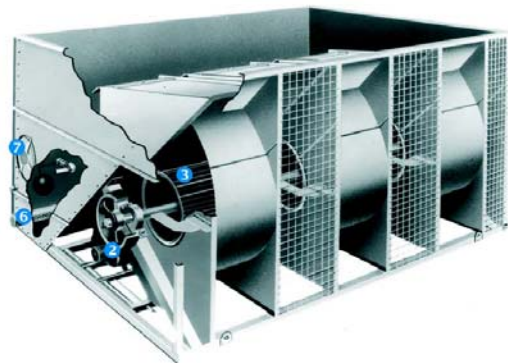


Рисунок 7.1 – Верхня та нижня секції градирні Baltimore VXT N380

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Підбір насосів здійснимо по потрібним витратам, які в свою чергу можливо отримати відповідно тепловому навантаженню:

- на чілер с потрібною витратою 147 м³/год приймаємо два основних та один резервний насос фірми Grundfos NB 50-125/14;
- на пастеризатор с потрібною витратою 120 м³/год приймаємо один основний та один резервний насос фірми Grundfos DN 65-160/149;
- на камери, експедицію та технологію с потрібною витратою 12 м³/год приймаємо один основний та один резервний насос фірми Grundfos CM 15-2;
- на градирню с потрібною витратою 220 м³/год приймаємо два основних та один резервний насос фірми Grundfos NB 65-160/149.

Розрахунок магістральних трубопроводів

Об'ємна витрата агенту:

$$V_a = M_a / \rho, [\text{м}^3/\text{с}], \quad (7.1)$$

де ρ – щільність агента за відповідних умов, кг/м³.

Діаметр трубопроводу, що розраховується:

$$d = 1.13 \cdot (V_a / w)^{0.5}, [\text{м}], \quad (7.2)$$

де w – орієнтовна швидкість агента, що приймається виходячи з умов роботи трубопроводу м/с.

Нагнітальний трубопровід для одного компресора:

При $t_2 = 81$ °С и $P_k = 13.5$ бар – щільність агенту $\rho_2 = 8.33$ кг/м³.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_a=0.262/8.33=0.03 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$d_n=1.13 \cdot (0.03/14)^{0.5}=0.054 \text{ м}.$$

Приймаємо на нагнітанні сталеву трубу 57×3.5.

Всмоктуючий трубопровід для одного компресора:

При $t_1=10^\circ\text{C}$ и $P_0=4.3$ бар визначаємо щільність агенту $\rho_1=3.2 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a=0.262/3.2=0.083 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n=1.13 \cdot (0.083/12)^{0.5}=0.088 \text{ м}.$$

Приймаємо на всмоктуванні сталеву трубу 89×3.5.

Трубопровід на сливі від конденсаторів до ресивера:

При $t_3=35^\circ\text{C}$ и $P_k=13.5$ бар визначаємо щільність агента $\rho_3=590 \text{ кг/м}^3$.

$$V_a=0.26 \cdot 2/590=0.009 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_n=1.13 \cdot (0.009/1)^{0.5}=0.031 \text{ м}.$$

Приймаємо на рідинному зливі сталеву трубу 32×2.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9 Охорона праці

На сьогодні у великих холодильних установках, що працюють у діапазоні помірно низьких температур, найбільш широко застосовується аміак (R717).

Аміак (R717) має хімічну формулу NH_3 . Його нормальна температура кипіння становить $-33,35\text{ }^{\circ}\text{C}$. За атмосферного тиску це безбарвний газ із різким задушливим запахом, який є легшим за повітря.

До найбільш небезпечних властивостей аміаку належать його токсичність та вибухонебезпечність. Перебування людини навіть протягом кількох хвилин у середовищі з об'ємною часткою аміаку в повітрі 0,5–1 % може призвести до важкого отруєння або летального наслідку. Температура самозаймання аміаку становить близько $630\text{ }^{\circ}\text{C}$. За концентрації в повітрі понад 11 % у присутності відкритого джерела вогню аміак здатний горіти.

Суміші аміаку з повітрям при концентрації 15–28 % є вибухонебезпечними, причому максимальний тиск вибуху досягає приблизно 0,45 МПа. Процес термічного розкладання аміаку починається за температур понад $250\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Категорія приміщень за вибухопожежною небезпекою

Приміщення аміачних машинних і апаратних відділень відносяться до категорії «А» (клас вибухонебезпеки В-1б). Як правило, їх розміщують в одноповерхових будівлях, що прилягають до холодильного або виробничого корпусу зі споживачами холоду.

У машинному відділенні передбачається не менше двох евакуаційних виходів, один із яких має безпосередній вихід назовні (через тамбур для середніх і північних кліматичних зон). Виходи розташовують на максимально можливій відстані один від одного.

Об'ємно-планувальні рішення компресорного цеху

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У нашому випадку у компресорному цеху розміром 12*12 м розміщується агрегатована холодильна машина на базі двох великих гвинтових компресорів. Градирня встановлюється поза межами будівлі. Висота приміщення становить 5 м, що відповідає нормативним вимогам.

Цех обладнаний двома виходами, один із яких веде безпосередньо назовні. Агрегати, що потребують регулярного обслуговування, оснащені спеціальними майданчиками та сходами з огороженням. Колектор системи охолодження розташований у межах компресорного цеху, що забезпечує оперативне регулювання подачі холодоагенту.

Усе обладнання розміщене з дотриманням необхідних технологічних проходів, що забезпечує зручність і безпечність обслуговування. Загальна площа приміщення становить 144 м².

Забезпечення вибухобезпеки експлуатації

Аміачна холодильна установка є герметичною системою, в якій холодоагент циркулює по замкненому контуру без втрат. У процесі роботи відбуваються лише термодинамічні процеси та фазові переходи аміаку (пара–рідина та рідина–пара).

За нормальних умов експлуатації витoki холодоагенту відсутні, а отже, не утворюються вибухонебезпечні суміші аміаку з повітрям. Ризик вибуху або пожежі виникає лише у разі аварійних або позаштатних ситуацій техногенного чи природного характеру.

Захист обладнання, трубопроводів та арматури від руйнування через надлишковий тиск забезпечується конструктивними особливостями системи, застосуванням запобіжних клапанів і засобів автоматичного захисту.

Підбір запобіжного клапана

Пропускnu здатність запобіжного клапана визначають таким чином, щоб тиск у посудині не перевищував допустимий рівень: не більше ніж на 0,05 МПа для посудин із робочим тиском до 0,3 МПа; на 15 % — для тиску до 6 МПа; та на 10 % — для тиску понад 6 МПа.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка запобіжних клапанів проводиться щонайменше один раз на 12 місяців із подальшим їх опломбуванням.

Визначимо мінімальну площу перетину клапана

$$F = \frac{M}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (P_1 - P_2)}} \text{ [м}^2\text{]}, \quad (8.1)$$

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

μ – 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;

ρ – 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

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \text{ [м]}, \quad (8.3)$$

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

Обираємо діаметр клапану з стандартного ряду $d = 0,020$ м.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Організація безпечної експлуатації холодильних установок

Основною метою організаційних заходів з охорони праці на холодильних установках є забезпечення безпечних умов роботи. Це досягається завдяки систематичному контролю за дотриманням вимог до монтажу, експлуатації та ремонту обладнання і систем, а також шляхом підтримання належного рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Адміністрація підприємства зобов'язана укомплектувати холодильну установку необхідною кількістю працівників. Чисельність машиністів і слюсарів-ремонтників визначається відповідно до встановлених нормативів обслуговування холодильних установок. Як правило, експлуатація установки здійснюється щонайменше двома машиністами в зміну. Робота в одну особу допускається лише за умови, що технологічний процес дозволяє тимчасово припинити подачу холоду шляхом відключення установки.

Заземлення

Заземлення необхідно виконувати для корпусів електричних машин, трансформаторів, реостатів, металевих оболонок вимикачів, запобіжників і розеток, каркасів електрощитів, кабельних оболонок, приводів електрообладнання, а також інших металевих частин, які в нормальному режимі не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею у разі пошкодження ізоляції.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок штучного заземлення

Метою розрахунку штучного заземлення є визначення його основних параметрів: кількості заземлювачів, їх геометричних розмірів, а також схеми розміщення як самих заземлювальних елементів, так і з'єднувальних провідників.

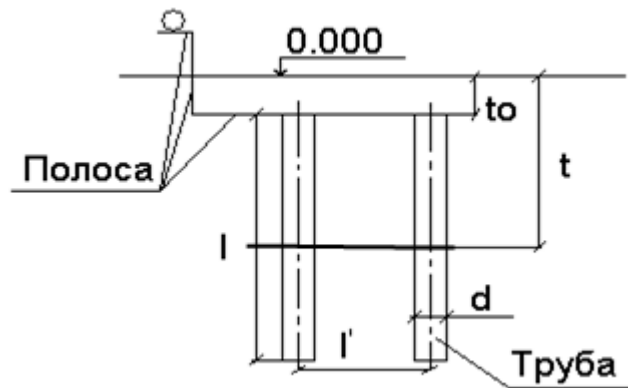


Рис.8.1 – Схема заземлювання

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

Визначимо розрахункове значення питомого опору ґрунту

$$\rho_p = \rho_\phi \cdot \psi, \quad (8.4)$$

де ρ_ϕ – питомий опір ґрунту – опір 1 м³ 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]

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

приймаємо $\psi = 1,1$.

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

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Задаємося довжиною вертикального заземлювача з умови

$$\frac{l'}{l} = 1; 2; 3, \quad (8.5)$$

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

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

$$R_0 = \frac{\rho_p}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) [\text{Ом}], \quad (8.6)$$

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

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{тр}}} = \frac{15.29}{4} = 3.23 \text{ шт}$$

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

Визначимо опір системи вертикальних заземлювачів

$$R_{\text{св}} = \frac{R_0}{n' \cdot \eta_b}, \quad (8.7)$$

де η_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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір смуги:

$$R_n = \frac{P_p}{2\pi L \eta_r} \cdot \ln \frac{L^2}{d \cdot t_0}, \quad (8.8)$$

де η_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

$$R_c = \frac{R_n \cdot R_{св}}{R_n + R_{св}} < R_{тр} \quad R_c = \frac{4.9 \cdot 3.63}{4.9 + 3.63} = 2.08 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Протипожежні заходи

Протипожежний захист забезпечується сукупністю інженерних і організаційних рішень, спрямованих на запобігання виникненню пожеж і вибухів. Крім того, передбачаються заходи, що створюють умови для ефективного гасіння пожежі, обмеження її поширення, а також безпечної евакуації персоналу і збереження матеріальних цінностей.

Відповідно до чинних нормативних документів, зокрема «Правил пожежної безпеки для промислових підприємств», «Правил будови і безпечної експлуатації аміачних холодильних установок» та ВНТП-СНиП 46-25.96, у приміщенні компресорного цеху передбачається встановлення щита з первинними засобами пожежогасіння. До його складу входять: два пінних вогнегасники, один вуглекислотний вогнегасник, ящик із піском об'ємом 0,1 м³ із лопатою, додаткова лопата, багор та відро.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення об'єму недоторканого запасу води для пожежогасіння

Розрахунок ємності пожежного резервуара для промислового підприємства виконується на основі таких вихідних даних: об'єм приміщення компресорного цеху становить $V = 720 \text{ м}^3$; категорія приміщення — А.

Необхідний об'єм резервуара визначається з урахуванням забезпечення нормативної витрати води на зовнішнє пожежогасіння протягом розрахункового часу [6]

$$V_a = \frac{k \cdot g \cdot n \cdot \tau}{1000} \cdot 3600 \text{ [м}^3\text{]}, \quad (8.9)$$

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 $n = 1$;

τ – тривалість гасіння пожежі.

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

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

Виробнича санітарія

Запобігання виникненню шкідливих виробничих факторів можливе лише за умови чіткого дотримання санітарно-технічних вимог і норм, встановлених відповідними розділами будівельних норм і правил, а також державними стандартами.

Питання особистої гігієни працівників, вимоги виробничої санітарії та порядок надання першої медичної допомоги у разі нещасних випадків розглядаються під час проведення вступного інструктажу.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вентиляція

Тип вентиляційної системи визначається видом застосовуваного холодоагенту. Машинні та апаратні відділення аміачних холодильних установок повинні бути оснащені витяжною вентиляцією. Кратність повітрообміну встановлюється розрахунком, але має становити не менше 2 для припливу та 3 для витяжки.

Тамбури-шлюзи та приміщення з щитами автоматизації, які прилягають до машинних відділень, обладнуються окремими системами припливної вентиляції безперервної дії. Такі системи повинні забезпечувати кратність повітрообміну не менше ніж 5 разів на годину. Вентиляційні установки передбачають наявність резервних вентиляторів, які автоматично вмикаються у разі відмови основного обладнання.

Визначимо видатність вентиляції з кратності повітрообміну

$$L = k \cdot V_{\text{пом}} \left[\frac{\text{м}^3}{\text{год}} \right], \quad (8.10)$$

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, $V_{\text{пом}} = 720 \text{ м}^3$.

$$L_{\text{прип}} = 2 \cdot 720 = 1440 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_{\text{вит}} = 3 \cdot 720 = 2160 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$L_{\text{авар}} = 8 \cdot 720 = 5760 \text{ м}^3/\text{год}$$

Визначимо потужність вентилятора

$$N = \frac{k \cdot L \cdot \Delta P_n}{\eta_v \cdot \eta_{\text{пр}} \cdot 3.6 \cdot 10^6} \text{ [кВт]}, \quad (8.11)$$

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

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

ΔP_n – втрати тиску в мережі повітроводів;

приймаємо для робочої вентиляції:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

η_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 машинних та апаратних відділеннях холодильних установок передбачають кілька видів штучного освітлення: робоче, аварійне та місцеве, яке використовується під час проведення оглядів, ремонтних робіт тощо.

Рівень освітленості робочих поверхонь у цих приміщеннях має відповідати встановленим нормам: не менше 75 лк при використанні ламп розжарювання та не менше 150 лк — при застосуванні люмінесцентних ламп. Освітленість контрольно-вимірювальних приладів повинна бути не нижчою за 300 лк незалежно від типу джерела світла.

Крім основного освітлення, у машинних і апаратних відділеннях обов'язково передбачається аварійне освітлення, яке живиться від незалежного джерела та автоматично вмикається у разі відключення основної мережі. Водночас для автоматизованих хладонових установок допускається відсутність аварійного освітлення.

Для виконання огляду, очищення та ремонту внутрішніх частин обладнання аміачних холодильних установок застосовують переносні світильники у вибухозахищеному виконанні з напругою не більше 12 В.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок освітлення

Розміри приміщення $A \times B \times H = (12 \times 12 \times 5)$ 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

$$N = \frac{A \cdot B}{L^2} [\text{шт}], \quad (8.12)$$

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

Визначимо світловий потік одного світильника

$$\Phi = \frac{E_n \cdot k \cdot z \cdot S \cdot 100}{N \cdot \eta} [\text{лм}], \quad (8.13)$$

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, $S = 12 \cdot 12 = 144 \text{ м}^2$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку залежить від:

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

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

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

Компонуємо світильник:

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Потужність освітлювальної установки

$$P = N \cdot n \cdot p \text{ [Вт]}, \quad (8.14)$$

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 при отруєнні аміаком та ураженні електричним струмом

Ураження електричним струмом

Надання першої долікарської допомоги при ураженні електричним струмом включає два основні етапи: усунення впливу струму на потерпілого та подальше надання необхідної допомоги.

Найбільш ефективним способом звільнення людини від дії струму є негайне відключення відповідної ділянки електроустановки. Якщо це неможливо зробити оперативно, при напрузі до 1000 В допускається перерізання проводів інструментом із дерев'яною ручкою або відтягування потерпілого від струмопровідних частин, тримаючись за сухий одяг. Також можна відкинути провід за допомогою сухого дерев'яного предмета.

У разі напруги понад 1000 В необхідно застосовувати спеціальні засоби захисту, такі як діелектричні рукавиці, боти, ізолюючі штанги або кліщі, розраховані на відповідний рівень напруги.

Подальші дії залежать від стану потерпілого. Якщо людина перебуває у свідомості, але раніше була непритомною або тривалий час під дією струму, їй необхідно забезпечити повний спокій до прибуття медиків або негайно транспортувати до лікарні.

Якщо постраждалий без свідомості, але збережені дихання та серцева діяльність, його слід зручно покласти, розстебнути тісний одяг,

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити доступ свіжого повітря. Рекомендується використання нашатирного спирту, обтирання холодною водою та зігрівання.

При порушеннях дихання (нерівномірне, судомне або слабке) необхідно виконувати штучне дихання. У разі відсутності ознак життя слід одночасно проводити штучну вентиляцію легень і непрямий масаж серця.

Отруєння аміаком

У разі отруєння аміаком потерпілого потрібно негайно вивести на свіже повітря або перемістити у добре провітрюване тепле приміщення. За необхідності застосовується штучне дихання.

Слід зняти або послабити одяг, що ускладнює дихання, замінити забруднений одяг і забезпечити повний спокій. Рекомендується проводити інгаляції теплою парою (через паперову трубку) з використанням 1–2% розчину лимонної кислоти. Потерпілому дають теплі напої — чай, каву, лимонад або 3% розчин молочної кислоти.

У всіх випадках доцільно застосовувати кисневу терапію протягом 30–45 хвилин та забезпечити зігрівання (наприклад, за допомогою грілок), дотримуючись обережності, щоб уникнути опіків.

При подразненні слизових оболонок носоглотки необхідно проводити полоскання 2% розчином соди або водою. Незалежно від тяжкості стану потерпілого обов'язково направляють до медичного закладу.

У разі задухи або сильного кашлю транспортування здійснюється у лежачому положенні.

Для надання долікарської допомоги в операторській компресорного цеху повинна бути укомплектована аптечка, яка містить: розчини лимонної (1–2%) та борної (2–4%) кислот, 1% розчин новокаїну, кодеїн (або його аналоги), етиловий спирт, соду, перев'язувальні матеріали (бинти, вату, марлеві серветки), а також лікувальні мазі (наприклад, мазь Вишневського або антибактеріальні засоби) і йод.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок

Дотримання вимог безпеки дозволяє мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій, своєчасно визначати небезпечні зони та ефективно ліквідовувати їх наслідки. Водночас слід пам'ятати, що рівень безпеки як працівників, так і навколишнього середовища значною мірою залежить від відповідальності самих людей. Суворе виконання правил охорони праці є запорукою запобігання нещасним випадкам і аваріям на виробництві.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9 Висновки по роботі

1. Спроектовано сучасне підприємство харчової промисловості, орієнтоване на виробництво сиру.
2. Проаналізовано технологічний процес виробництва, виконано розрахунок і підбір обладнання, що забезпечує роботу споживачів холоду на підприємстві.
3. Підібрана будівельна та теплоізоляційна конструкція, розраховані теплопритоки до споживачів холоду.
4. Для реалізації технологічних процесів здійснено розрахунок і підбір аміачної холодильної установки.
5. Розроблено розділи з охорони праці.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список джерел літератури

1. Апарати холодильних установок [Текст] : посіб. до проведення практ. занять та самост. роботи студентів / А. Ю. Лагутін. — Одеса : ОДАХ, 2006. — 60 с.
2. Апарати холодильних установок : посіб. до курсового проектування [Електронний ресурс] : для здобувачів освіти спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" / О. В. Зімін, О. М. Томчик ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2022. — 23 с.
3. Проектування поршневого компресора холодильних машин та теплових насосів [Електронний ресурс] : посібник для самост. роботи : для здобувачів вищої освіти за спец. 142 "Енергетичне машинобудування" / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, Б. Г. Грудка, А. В. Мошкатюк ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса, 2021. — Електрон. текст. дані: 113 с.
4. Холодильні установки. Проектування: Навч. посібник/І.Г. Чумак, А.Ю. Лагутін, В.П. Чепурненко, С.Ю. Лар'яновський та ін; за ред. докт. техн. н. проф. І.Г. Чумака.- 3-тє вид., перераб. та доп.- Одеса: Друк, 2007.- 480 с.
5. Холодильні установки [Текст] : підручник / І. Г. Чумак, В. П. Чепурненко, С. Ю. Лар'яновський, Е. Г. Парцхаладзе ; під заг. ред. І.Г. Чумака; Одес. держ. акад. холоду. — Одеса : Рефпринтінфо, 2003. — 536 с
6. Мнацаканов Г.К. Основи проектування холодильників [Текст] : навч. посіб. — Одеса : ОГАХ, 2006. — 58 с.
7. Кваліфікаційна робота : метод. вказівки до виконання та оформлення роботи для здобувачів СВО "Бакалавр" [Електронний ресурс] : спец. 142 "Енергетичне машинобудування", галузі знань 14 "Електрична інженерія" ден. та заоч. форм навчання / М. Г. Хмельнюк, Л. І. Морозюк, О. Ю.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Яковлева та ін. ; відп. за вип. М. Г. Хмельнюк ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2021. — 20 с.

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

9. Холодильні установки спеціального призначення [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. — 488 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 483.

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

11. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості [Текст] : навч. посіб. / О. С. Тітлов, С. Ф. Горикін. — Львів : Новий Світ-2000, 2012. — 286 с. : табл., рис. — (Вища освіта в Україні). — Бібліогр.: с. 219.

12. Хорольський В.П., Коренець Ю.М., Основи проектування холодильних систем: навчальний посібник — Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2023. 218 с.

13. Холодильні машини [Електронний ресурс] : конспект лекцій та посібник для самост. роботи : для студентів галузі знань 14 "Електрична інженерія", спец. 142 "Енергетичне машинобудування". Ч. 2 / Л. І. Морозюк, В. В. Соколовська-Єфименко, С. В. Гайдук, Б. Г. Грудка ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Одеса, 2017. — Електрон. текст. дані: 59 с.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.1	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		