МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Енергетичне машинобудування»
Омельченко О.В.
«____» _____ 2022 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Енергетичне машинобудування»
на тему:

«ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНИХ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК В СИСТЕМІ ХОЛОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СУПЕРМАРКЕТИНГІВ»

Виконав:
здобувач вищої освіти Бураков Костянтин Ігорович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: д.т.н., професор Хорольський В.П. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2022 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Енергетична інженерія

Освітня програма: Холодильні машини і установки

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Гарант освітньої програми
«Енергетичне машинобудування»
Омельченко О.В.
«____» _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Буракову Костянтину Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Підвищення експлуатаційних характеристик холодильних компресорних установок в системі холодозабезпечення супермаркетингів»

Керівник роботи професор кафедри, д.т.н., проф. Хорольський В.П.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від «19 » листопаду 2021 р. № 416-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «1» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Організація роботи холодильного обладнання на підприємствах торгівлі.

3. Технологічне холодильне обладнання сучасних високоавтоматизованих підприємств торгівлі.

4. Розробка компресорного обладнання та холодопостачання супермаркетингів з підвищеними енергоефективними характеристиками.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Середньотемпературна камера КХС-2-6М
2. Збірна холодильна камера.
3. Холодильний прилавок - вітрина.

6. Дата видачі завдання «2» лютого 2021 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	15.03.2022
2	Організація роботи холодильного обладнання на підприємствах торгівлі.	До 15.03.2022
3	Технологічне холодильне обладнання сучасних високоавтоматизованих підприємств торгівлі.	До 15.04.2022
4	Розробка холодильного обладнання та холодопостачання супермаркетингів з підвищеними енергоефективними характеристиками .	До 15.05.2022
5	Висновки по роботі	До 01.06.2022
6	Оформлення роботи і подання до захисту	До 08.06.2022

Здобувач вищої освіти _____ Бураков К.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Хорольський В.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ ……6
Розділ 1. Організація роботи холодильного обладнання на підприємствах торгівлі. ……8
1.1 Аналітичний аналіз торгівельного та технологічного холодильного обладнання великих підприємств торгівлі. ……..8
1.2 Новітні конструкції холодильних шаф ……12
1.3 Технологічне обладнання з системами холодозабеспечення процесів охолодження продуктів. ……..17
Розділ 2. Математичні моделі холодильного обладнання сучасних високоавтоматизованих підприємств торгівлі. ……21
2.1 Математична модель температурних потоків повітря і вологості холодильних камер супермаркетингів. ……...21
2.2 Ситуаційний аналіз оптимізації процесів заморожування. ……29
Розділ 3. Розробка холодильного обладнання та холодопостачання супермаркетингів з підвищеними енергоефективними характеристиками. …...35
3.1 Експлуатаційні характеристики компресорного обладнання супермаркетингів. ……35
3.2 Причинно-наслідкова модель управління експлуатаційними характеристиками холодильного обладнання супермаркетингів. ……..36
3.3 Принципи побудови оптимальних за критерієм енергоспоживання промислових холодильників. ……..42
Висновки…… 47
Список використаних джерел……49
Додатки ……..51

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		*Бураков*			**Підвищення експлуатаційних характеристик холодильних компресорних установок в системі холодозабезпечення супермаркетингів**	Літ.	Арк. 1 / Аркушів 54
Перевір.		*Хорольський*					
Н. Контр.		*Омельченко*				**ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО**	
Затверд.		*Омельченко*					

РЕФЕРАТ

пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра містить сторінок 54, 24 рис.

На тему: «Підвищення експлуатаційних характеристик холодильних компресорних установок в системі холодозабезпечення супермаркетингів»

Об'єкт дослідження – холодильні компресорні установки в системі холодозабезпечення холодильних камер обладнання супермаркетингів.

Мета роботи – дослідження способів підвищення експлуатаційних характеристик компресорних установок та вибір оптимального холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів.

Методи дослідження – холодозабезпечення щодо продуктивності компресорних установок та вибір оптимальних експлуатаційних характеристик.

Основні результати, наукова новизна:

– математичні моделі, методи аналізу і моделі причино-наслідкових зав’язків експлуатаційних характеристик оптимізації холодопродуктивності компресорних установок та вибір оптимальних режимів роботи холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів;

– практичні результати пов’язані з розробкою методів раціонального використання обладнання та його експлуатаційних характеристик в умовах мінімізації енергозатрат.

ВСТУП

Холодильне обладнання сучасних супермаркетингів являє собою різновиди пристроїв, в яких створюється і використовується штучний холод з метою збереження якості м'яса, риби, масла, молока, овочів, фруктів і інших продуктів, що швидко псуються.

Успішне рішення завдань щодо зниження втрат та підвищення якості продуктів харчування можливо за умови створення холодильного компресорного господарства безпосередньо в системах логістики, розподілу та продаж продукції харчування.

Компресорне холодильне обладнання широко застосовується в торгівлі, харчовій промисловості, сільському господарстві, на транспорті та в інших галузях народного господарства. Запорукою успіху в сфері впровадження компресорного господарства на підприємствах торгівлі (супермаркетингам) є системний підхід до проектування сучасних систем холодозабезпечення холодильного обладнання. Супермаркетингам, які торгують продуктами харчування, доводиться зберігати значні запаси товарів, багато з яких відносяться до швидкопсувних. Кращий спосіб їх зберігання – використання штучного холоду в холодильних камерах з холодопостачанням від компресорних установок з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Сучасна стратегія розвитку холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів та інших підприємств торгівлі орієнтована на зниження техногенного навантаження на природне середовище за рахунок проектування сучасних автоматизованих систем холодопостачання

Утім лише вибір оптимальних експлуатаційних характеристик холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів дає найкращі результати щодо забезпечення якості продукції харчування.

Мета роботи – дослідження способів підвищення експлуатаційних характеристик компресорних установок та вибір оптимального холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів.

Відповідно з метою роботи були поставлені і вирішені такі задачі:

- провести аналітичний порівняльний аналіз експлуатаційних характеристик компресорних установок щодо підвищення холодопродуктивності холодильного обладнання супермаркетингів;
- на основі аналізу результатів досліджень енергоефективності холодильного обладнання супермаркетингів обґрунтувати режими роботи
- холодильних установок;
- розробити математичні моделі температурних потоків повітря і вологості холодильних камер та провести ситуаційний аналіз оптимізації режимів заморожування;

– виконати вибір ефективних методів експлуатації холодильного обладнання супермаркетингу щодо підвищення енергоефективності компресорних холодильних установок.

Об'єкт дослідження – холодильні компресорні установки в системі холодозабезпечення холодильних камер обладнання супермаркетингів

Методи дослідження – холодозабезпечення щодо продуктивності компресорних установок та вибір оптимальних експлуатаційних характеристик.

Основні результати, наукова новизна:

– в процесі виконання бакалаврських досліджень побудовані математичні моделі, методи аналізу і моделі причино-наслідкових зав'язків експлуатаційних характеристик оптимізації холодопродуктивності компресорних установок та виконано вибір оптимальних режимів роботи холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів;

– практичні результати пов'язані з розробкою методів раціонального використання компресорного обладнання та його експлуатаційних характеристик в умовах мінімізації енергозатрат.

Розділ 1
Організація роботи холодильного обладнання на підприємствах торгівлі.

1.1 Аналітичний аналіз торгівельного та технологічного холодильного обладнання супермаркетингів

Торговельним холодильним обладнанням називають малі охолоджувальні пристрої, що призначаються для короткотермінового зберігання, демонстрації і продажу швидкопсувних товарів. До них належать збірні холодильні камери, холодильні шафи, охолоджувальні вітрини закритого та відкритого типу, холодильні прилавки, прилавки-вітрини, гірки, бонети. В кожному супермаркетингу є холодильні камери для м’яса великої рогатої худоби для виробництва продукції на власних технологічних лініях (супермаркетинги АТБ).

Однією з найважливіших груп обладнання будь-якого торговельного магазину, супермаркету чи закладу громадського харчування є холодильні камери, призначені для зберігання товарного запасу.

Торговельне холодильне обладнання класифікують:

- за способом охолодження – з машинним, льодосоляним, сухольодовим охолодженням;
- за температурним режимом – середньотемпературне (для охолодження продуктів) з температурою в охолоджуваному об'ємі від 0 до 8 °С; низькотемпературне (для заморожених продуктів) з температурою в охолоджуваному об'ємі не вище ніж -18 °С;
- за кліматичними зонами використання – для південного (температура навколишнього повітря 16-43 °С) і помірного клімату (температура навколишнього середовища 16-32 °С);
- за методами використання – для підприємств з продавцями, для магазинів самообслуговування, для торговельних автоматів;
- за розміщенням агрегату – з вбудованим холодильним агрегатом, з відокремленим холодильним агрегатом, з централізованим холодопостачанням»

Важливим чинником, що впливає на ефективність роботи компресорного холодильного обладнання, є його енергоефективність. Оцінка енергоефективності холодильної системи за основною ознакою, тобто зниження енерговитрат, проводиться або методом емпіричних залежностей (наприклад, шляхом порівняння реальних холодильних коефіцієнтів), або із залученням сторонніх експертів.

Для досягнення енергоефективності проектованих або діючих холодильних установок супермаркетингів необхідно обов'язкове проведення експертної оцінки компресорного обладнання і його компонування для забезпечення оптимальності співвідношення холодопродуктивності і енерговитратності (основних експлуатаційних характеристик).

Обладнанню, в залежності від рівня споживання енергії, присвоюється клас енергетичної ефективності. Існують «Правила визначення виробниками та імпортерами класу енергетичної ефективності товару та іншої інформації про його енергетичну ефективність». Згідно з цими правилами, встановлені класи і характеристики для холодильного обладнання. Найбільшою енергетичною ефективністю володіють прилади класу А + і А ++ .

EER – індекс енергетичної ефективності при роботі на охолодження. Вказує на відношення холодопродуктивності ($Q_х$) при найвищому навантаженні до використовуваної потужності ($N_{спож.}$). Визначається формулою:

$$EER = Q_х / N_{спож.} \quad (1.1)$$

Існуючі показники енергоефективності холодильного обладнання, що визначають при сертифікаційних випробуваннях обладнання, не можуть характеризувати енергоефективність всієї системи холодозабезпечення для конкретного об'єкта (з урахуванням профілю теплового навантаження та інших особливостей).

Енергоефективність системи холодопостачання пропонується оцінювати показником річної енергоефективності ЕР, що розраховується за формулою:

$$EP = (Q_х + Q_т) / Q_{ел}. \quad (1.2)$$

Торговельне холодильне обладнання позначають буквено-цифровою індексацією. Початкові букви становлять назву обладнання ПХС (П – прилавок, Х – холодильний, С – середньотемпратурний), перша цифра після тире – розміщення агрегату (1 – вбудований агрегат, 2 – винесений агрегат), наступні цифри – номінальний внутрішній об'єм, м^3; південне використання – Ю, середньотемпературне – С, низькотемпературне – Н. Наприклад, КХС-2-6 – камера холодильна середньотемпратурна з окремо розміщеним холодильним агрегатом, номінальним внутрішнім об'ємом 6 м^3 для районів з помірним кліматом».

Розглянемо більш детальніше загальні характеристики збірно-розбірних холодильних камер, принципи їх розміщення в закладах торгівлі та громадського харчування.

Камера КХС-6 (рис. 1.1) має одне відділення. Камеру КХС-12 промисловість випускає в двох варіантах: з двома однаковими відділеннями, розділеними глухою перегородкою (кожне відділення має свої двері), і з одним відділенням (без перегородки) і одними дверима. Охолоджувальні

камери, мають випарник по обидва боки камери або в середині її. Камера КХС-18Б складається з двох відділень, розділених глухою перегородкою, і у кожного відділення є свої двері.

а

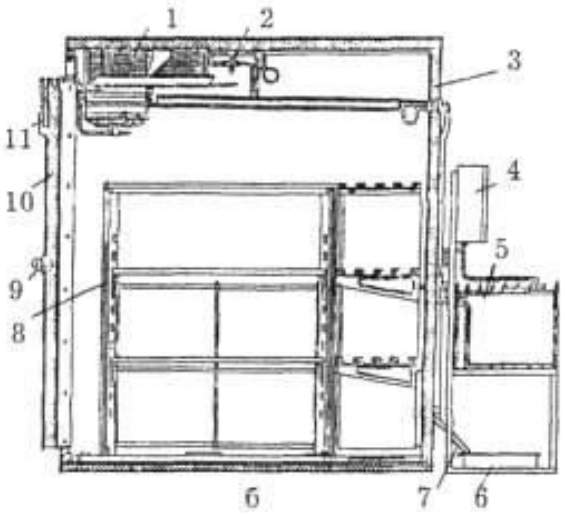


Рисунок 1.1 – Середньотемпературна камера КХС-2-6М

а – загальний вигляд; б – розріз; 1 – повітроохолоджувач; 2 – терморегулюючий вентиль; 3 – панель огородження; 4 – шафа електрообладнання; 5 – холодильний агрегат; 6 – посудина для збору талої води; 7 – трубка для відведення талої води; 8 – стелаж для харчових продуктів; 9 – замок дверей; 10 – двері; 11 – пульт керування

Камери обладнані стелажами з решітчастими знімними полицями для розміщення дрібних продуктів, вішалами для м'ясних туш і напольними гратами для розміщення продуктів у тарі. Кожна камера охолоджується окремими компресорно-конденсаторними агрегатами. Випаровувачі холодильної машини розміщують у камері над полицями. Під випаровувачами встановлюють піддони для збору конденсату.

Камера-склад може бути облаштована системою сигналізації: пожежною, аварійною і "людина в камері".

Основними складовими холодильного обладнання, що забезпечують функціонування холодильної камери є холодильний агрегат і повітроохолоджувач (теплообмінник). Як правило, агрегат адаптований до умов помірного клімату, має продуману систему обслуговуючої сервісної і запірної арматури, що дозволяє грамотно обслуговувати холодильну установку.

На окремо змонтованих камерах-складах застосовується центральна система холодопостачання з безпосереднім кипінням холодоагенту в пристроях охолодження. Це дозволяє значно збільшити тривалість експлуатації компресорів і значно знизити споживання електроенергії.

Збірні камери КХС-6Ю і КХС-12Ю призначені для роботи в південних районах. Їх пристрій не відрізняється від пристрою камер КХС-6 і КХС-12, але вони укомплектовані більш потужними агрегатами. На відміну від інших

камери КХС-2-6М, КХС-12Б і КХС-18Б мають фанерну обшивку зовнішньої поверхні щитів.

Збірна низькотемпературна камера КХН-1-8,0К призначена для зберігання заморожених продуктів. За конструкцією камера КХН-1-8,0К аналогічна камері КХС-1-8,0К. Відмінність полягає в тому, що на стелі розміщені дві холодильні машини МХНК-630, що працюють на R502. Холодильні агрегати встановлюють поза збірно-розбірними камер в безпосередній близькості від них.

Камера КХН-2-6См складається з охолоджуваного обсягу і машинного відділення. Охолоджуваний обсяг утворений панелями, що являють собою дерев'яні рами, облицьовані з обох сторін металевими листами. Простір між обліцовками заповнено теплоізоляційним матеріалом – пінопластом ПСБ-С - теплоізоляція типу «Сендвіч». Для доступу в камеру передбачена двері, обладнані запором та замком.

Стаціонарні холодильні камери підприємств торгівлі і громадського харчування можуть розташовуватися в підвалах або на першому поверсі у вигляді окремого блоку. Вхід в камери здійснюється з тамбура, що дозволяє зменшувати притоки, що вносяться з повітрям при відкриванні дверей в камеру. Поряд з камерами розташовується машинне відділення»

Середньотемпературні камери і склади забезпечують зберігання продуктів при температурах від + 10°С до -5°С.

Холодильні камери для фруктів та овочів Камери тривалого зберігання фруктів та овочів. При проектуванні холодильних камер враховуються особливості приміщень, призначених для установки камер, даються необхідні рекомендації.

Низькотемпературні камери і склади забезпечують зберігання продуктів при температурах від -5°С до - 25°С.

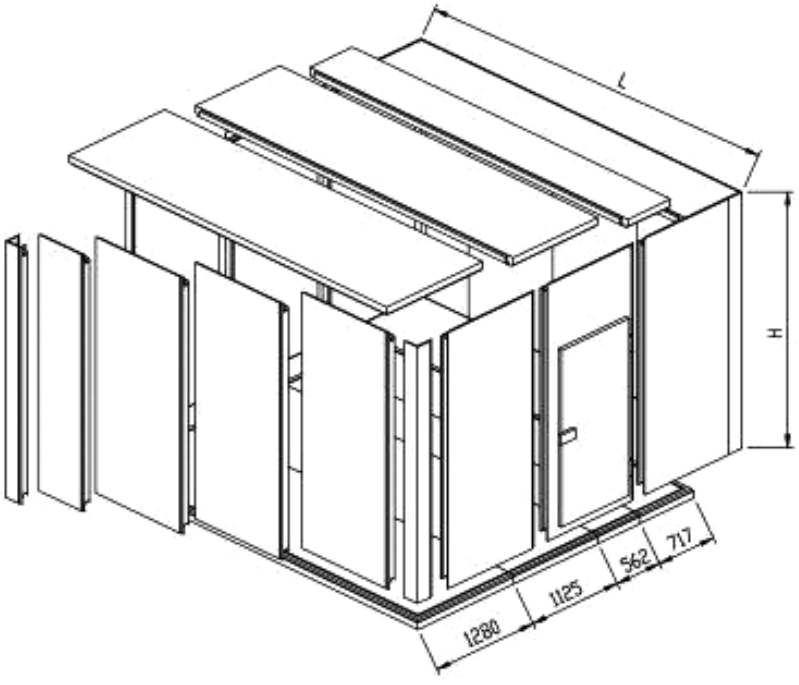


Рисунок 1.2 – Збірна холодильна камера

Швидкомонтовані збірні холодильні камери стандартного ряду (рис. 1.2) з товщиною ізоляції 100 мм призначені для зберігання продуктів при низьких (від -18 ° С до -24 ° С) температурах.

Камери об'ємом від 1,9 м^3 і висотою від 2,24 м збираються з готових замкових панелей за профілем «шип-паз» з кріпленням між собою стяжними замками, вмонтованими в ізоляцію.

Модульна конструкція дозволяє змінювати обсяг і форму камери шляхом додавання стандартних панелей з кроком 562 та 1125 мм. Кути камер утворюються за допомогою кутових елементів зі сторонами 175 мм.

До низькотемпературних камер належать наступні: КХН-6, КХН-9, КХН-12, КХН-18, КХН-24

За призначенням виділяють наступні низькотемпературні холодильні камери: камери-тунелі шокового заморожування; холодильні камери для продуктів харчування

Камери-тунелі шокового заморожування забезпечують швидке консервування продуктів при температурі до -40°С.

Камери-тунелі шокового заморожування продуктів харчування призначені для швидкого заморожування: м'яса; м'яса пташиного; риби і рибного філе; субпродуктів; овочів, фруктів, грибів; різноманітних напівфабрикатів (пельмені, вареники, сардельки, блінчики, пиріжки та ін.); морозива.

Продуктивність таких камер може бути від 200 до 1200 кг/год., в залежності від виду продукції, що заморожується і потужності холодильного обладнання.

В камерах шокового заморожування продуктів харчування використовують спеціальні повітроохолоджувачі "підлогового" типу, які забезпечують рівномірне обдування продукту охолодженим повітряним по всіх ярусах стелажа. Для більш інтенсивного процесу заморожування в камерах додатково використовують стельові повітроохолоджувачі»

1.2 Новітні конструкції холодильних шаф.

Найважливішим видом торгівельного холодильного обладнання є торгівельні холодильні шафи, призначені для зберігання, демонстрації і продажу швидкопсувних товарів.

При характеристиці окремих модифікацій шаф головними ознаками є їх корисний об'єм, температурний режим, матеріал і конструкція дверей, кількість полиць і наявність підсвічування і вентиляторів в охолоджуваному обсязі.

Більшість пропонованих шаф з вбудованими холодильними агрегатами мають об'єм 160-1400 л.

На світовому ринку в основному пропонуються два види охолоджуваних шаф: середньо і низькотемпературні, демонструються - острівний варіант.

а) б) в)

Рисунок 1.3 – Холодильна шафа:
а) з верхнім розташуванням агрегата, із розпашними скляними (прозорими) дверима;
б) з нижнім розташуванням агрегата, із розсувними скляними (прозорими) дверима;
в) з верхнім агрегатом, з глухими (непрозорими) металевими дверима.

У більшості шаф випарник конструктивно розташований під стелею шафи. Холодне повітря, маючи велику щільність, опускається до нижньої полиці шафи, охолоджуючи на своєму шляху продукти, які зберігаються в шафі. При такій природній циркуляції повітря в окремих моделях шаф перепад температур по висоті може доходити до декількох градусів. У маркуванні цих моделей шаф іноді використовуються літери St, що означає "природне охолодження".

Рівномірності охолодження по всьому об'єму шафи можна також досягти, застосовуючи особливу конструкцію полиць, ребрами жорсткості яких є трубки випарника. Недоліки цієї конструкції – жорсткість кріплення полиць і неможливість зміни відстані між ними.

За місцем розташування компресорно – конденсаторного агрегату розрізняють два варіанти: верхнє і нижнє. Не надаючи будь-якого впливу на температурний режим, місцерозташування агрегату зумовлює зручність обслуговування і ремонту, а також в деякій мірі довговічність і надійність.

Сучасні холодильні вітрини є необхідним елементом будь-якого магазину, кафе, бару. Вітчизняні та зарубіжні фірми поставляють на ринок різноманітне холодильне обладнання, яке відрізняється один від одного формою, розмірами, зовнішнім оздобленням. Часто зразки різних фірм схожі зовні, однак мають різну ціну, від прийнятною до вельми високою.

Ці моделі, як правило, функціонують за принципом природної циркуляції охолодженого повітря. "Шар" холоду (повітряний потік) в таких вітринах лежить на рівні випарника або трохи нижче, тобто вище на 10-20 см від поверхні лотків для викладення продуктів

Перейдемо до аналізу конструкцій холодильних прилавків і прилавки-вітрини

Холодильні прилавки використовують для короткочасного зберігання , демонстрації і продажу розфасованих та упакованих охолоджених і заморожених продуктів перед їх продажем.

Режими зберігання можуть бути ті ж, що і в холодильних шафах. Вони можуть бути з вбудованим або комплектуватися окремо вмонтовуваним холодильним агрегатом, а також підключатися до системи централізованого холодопостачання.

Рисунок 1.4 – Холодильний прилавок відкритого типу, +4…+8

Рисунок 1.5 – Холодильний прилавок відкритого типу, +4…+8

Холодильні прилавки можуть складатися з декількох секцій, що з'єднуються торцевими сторонами на місці установки. Зовні кожна секція облицьована сталевими листами, покритими білою емаллю, всередині – алюмінієвими. Між облицюваннями покладений пінопласт, що виконує роль теплоізоляції.

Холодильні прилавки-вітрини – це комплексне обладнання, яке складається з прилавка, в якому зберігається запас продуктів, і вітрини, встановленої на прилавку і служить для демонстрації і продажу продуктів. Холодильні прилавки-вітрини займають значний сегмент всього ринку торгового холодильного обладнання.

Холодильне обладнання з виносним агрегатом зручно для великих супермаркетингів, оскільки до одного такого агрегату можна підключити декілька одиниць обладнання, що дозволяє скоротити енергоспоживання. Однак при централізованому холодопостачанні у разі виходу агрегату з ладу перестає працювати все обладнання, приєднане до нього. Таке обладнання невигідно купувати невеликим магазинам або супермаркетам, для яких більш зручні прилавки-вітрини з вбудованим агрегатом.

Середньотемпературні прилавки-вітрини бувають з природною і примусовою вентиляцією охолодженого повітря. В останніх вентилятор рівномірно розподіляє повітря по всьому об’єму.

Рисунок 1.6 – Холодильний прилавок-вітрина .

Вивчимо конструктивні можливості холодильні ларів

З урахуванням основних параметрів (об’єм, температурний режим, конструкція кришки) ларя умовно поділяються на два типи: морозильні та холодильні. Морозильні ларі призначені для зберігання заморожених продуктів та морозива, холодильні – для охолодження напоїв.

Типові моделі холодильних ларів показані на рисунку 1.7.

Рисунок 1.7 – Холодильні ларі

Важливими деталями ларів є їх комплектуючі та аксесуари:

Холодильні гірки також є оптимальним рішенням для магазинів самообслуговування, але відмінно впишуться і в інтер'єр торгової точки великої площі. Дозволяють розміщувати велику кількість товарів, забезпечують легкий доступ. Випускаються в чотирьох модифікаціях: фруктові, м'ясні, гастрономічні і гірки для пресерв.

а)

б)

Рисунок 1.8 – Гірка гастрономічна/фруктова

1.3 Технологічне обладнання з системами холодозабезпечення процесів охолодження продуктів

До них віднесемо дефростаційні камери, які оснащені логічним управлінням. Дефростаційні камери, що використовують потоки повітря, теплову та холодильну техніку, дозволяють розморожувати і заморожувати упаковане м'ясо, рибу та інші продукти харчування в оптимальному і високо економічному режимі. Тільки цей метод дозволяє уникнути втрат у разі розмороження м'яса. Принцип виконання процесу дефростації постійно контролюється датчиками температури в м'ясі, на поверхні продукту, а також у камері.

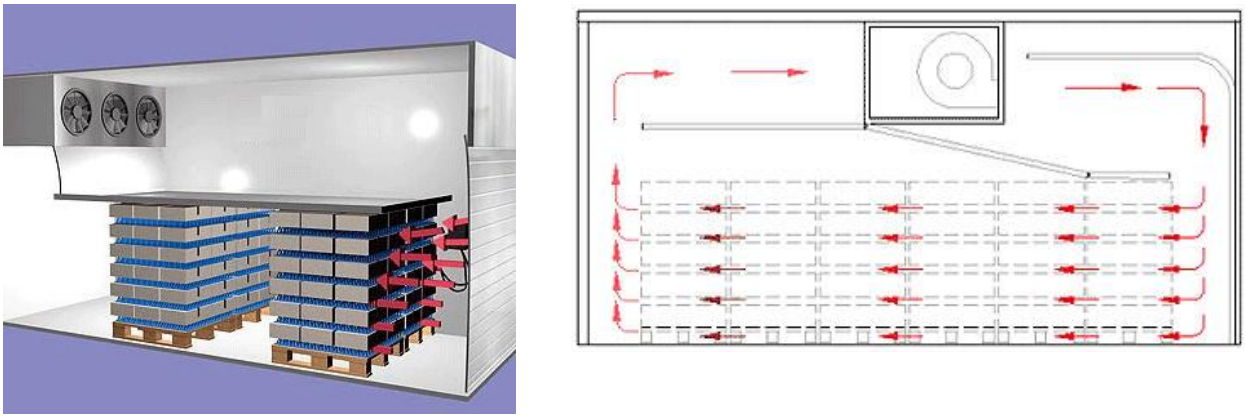


Рисунок 1.9 – Дефростаційно-морозильна камера з горизонтальною подачею потоку повітря.

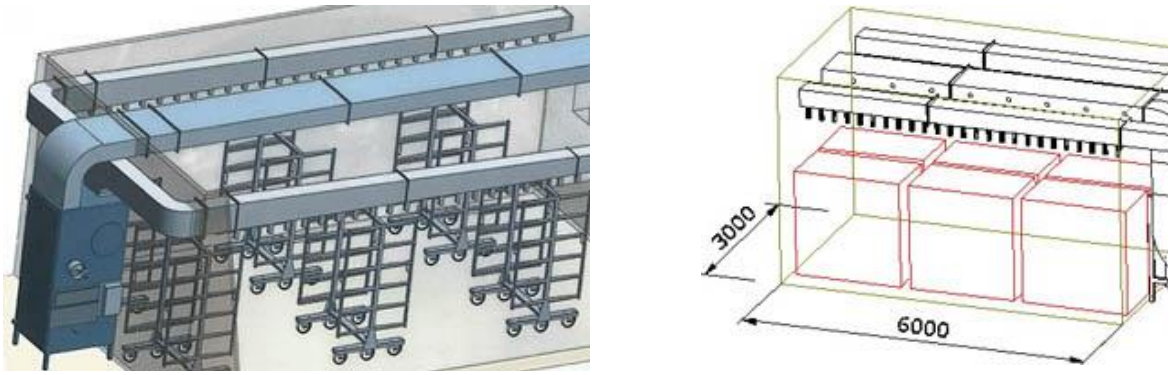


Рисунок 1.10 – Дефростаційно-морозильна камера з вертикальною подачею потоку повітря.

Охолоджувач напоїв типу ВІН (рис. 1.11) складається з прозорих ємкостей (ОН-30-2 – дві ємкості по 15л; ОН-30-3 – три ємкості, одна на 15 л і дві по 7,5 л) із знімними кришками для різних напоїв, кранів для їх видачі, машинного відділення і підставки для склянок (каплезбірника).

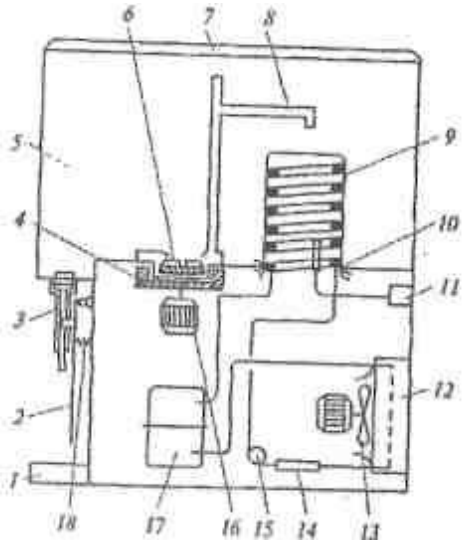


Рисунок 1.11 – Схема охолоджувача напоїв ОН-30-2:
1 – каплезбірник; 2 – важіль крана; 3 – трубка видачі напою; 4 – магнітна муфта; 5 – ємкість; 6 – відцентровий насос; 7– кришка ємкості; 8 – трубка подачі напою; 9 – випарник; 10 – манжета; 11 – реле температури; 12 – конденсатор холодильної машини; 13 – вентилятор; 14 – фільтр-осушувач; 15 – капілярна трубка; 16 – електродвигун насоса; 17 – компресор; 18 – пружина.

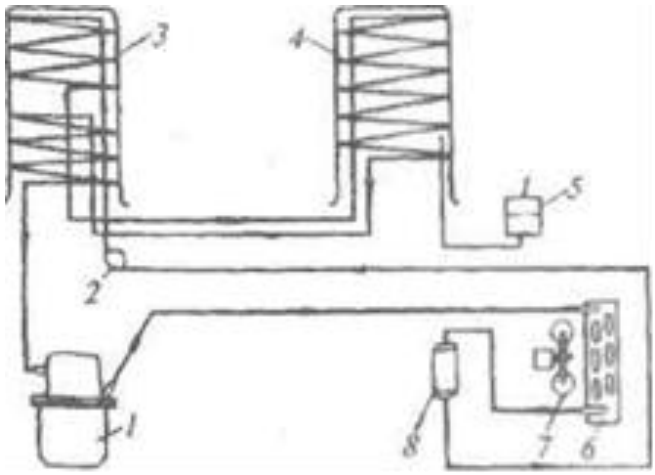


Рисунок 1.12 – Схема холодильної машини охолоджувача напоїв ВШ-30-2: 1 – компресор; 2 – капілярна трубка; 3,4 – випарники; 5 – реле температури; 6 – конденсатор; 7 – вентилятор; 8 – переохолоджувач

У машинному відділенні розміщена холодильна машина (рис. 1.12), що працює на хладоні, з герметичним однофазним компресором 1 і повітряним конденсатором 6, що обдувається за допомогою вентилятора 7. З конденсатора рідкий хладон проходить через фільтр-осушувач і, дроселює (пониження температури і тиску) в капілярній трубці 2, заповнює змійовик випарника 3, 4, який припаяний до циліндра. Поглинаючи теплоту соку, хладагент кипить, і його пара відсмоктується компресором. Всі з'єднання холодильної машини виконані паянням. При охолоджуванні соку в посудині до заданої температури термореле 5 термобалон який притиснутий до

випарників 3 і 4, вимикає компресор, і електродвигун вентилятора конденсатора.

Охолоджувач соків та інших напоїв активаторного типу (рис. 1.13) складається з 3 прозорих ємкостей кожна з яких має місткість 5 л із знімними кришками для різних соків, кранів для видачі соків, машинного відділення і підставки для склянок.

Рисунок 1.13 – Охолоджувач соків активаторного типу:

1.– важіль крана для видачі соку; 2 – трубка зливу соку; 3 – машинне відділення; 4 – ємкості для соку; 5 – кришка ємкості; 6 – підставка.

Льодогенератори. Льодогенератори призначені для виготовлення харчового льоду і підрозділяються на ті, що виробляють лускатий (безформний) лід, і ті, що формовані (кубиками, циліндрами, усіченими конусами), веде до поломок.

Льодогенератор ЛТ-50 (рис. 1.14) складається з двох блоків-відділень: для приготування льоду і машинного. В відділенні для виготовлення льоду у вигляді циліндриків поступає у ванну 13, а готовий лід зберігається в теплоізольованому бункері 14. У лівій частині ванни встановлений насос 3, частково занурений у ванну з водою. Над ванною 13 під ґратами 10 розміщена зрошувальна трубка з форсунками, яка з'єднує з нагнітальним патрубком насоса трубкою. Щоб запобігти попаданню у бункер води, що виходить з форсунок зрошувальної трубки у вигляді фонтанчиків, передбачена захисна шторка.

Над зрошувальною трубкою встановлений випарник 9 у вигляді прямокутної пластмасової ванни, в яку вставлені 56 порожнистих мідних пальців, з'єднаних між собою послідовно мідними калачами; всередині кожного пальця є вертикальна перетинка. Під випарником установлені похилі грати, 10, за якими лід скочується у бункер 14. Корпус відділення для приготування льоду теплоізольований. У машинному відділенні розміщені холодильний агрегат з теплообмінником 15 і електрощит.

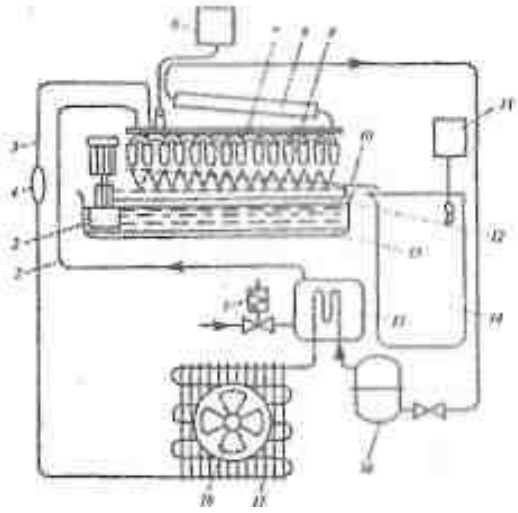


Рисунок 1.14 – Схема льодогенератора ЛТ-50:
1 – електромагнітний вентиль; 2 – трубка подачі води; 3 – водяний насос; 4 – фільтр-осушувач; 5 – капілярна трубка; 6 – реле температури випарника; 7 – ванни випарника; 8 – віддільника рідкого хладагенту; 9 – випарник; 10 – грати; 11 – реле температури бункера; 12 – колектор з форсунками; 13 – ванна водяного насоса; 14 – бункер для льоду; 15 – теплообмінник; 16 – компресор; 17– конденсатор; 18 – вентилятор.

Таким чином, нами детально розглянуто експлуатаційні характеристики торговельного холодильного обладнання , що дає змогу виокремити їх основні чинники, які впливають на холодопродуктивність компресорних установок.

З метою вибору оптимальних експлуатаційних характеристик компресорних установок необхідно:

- детально дослідити температурні режими їх роботи,
- побудувати математичні моделі потоків повітря і вологості в холодильних камерах холодильного обладнання супермаркетингів.
- побудувати ситуаційні моделі балансу енергопродуктивності компресорних машин з метою мінімізації витрат енергії та оптимізації енергетичних характеристик.

Розділ 2
Математичні моделі холодильного обладнання сучасних високоавтоматизованих підприємств торгівлі
2.1 Математична модель температурних потоків повітря і вологості холодильних камер супермаркетингів

Визначення основних робочих характеристик заморожування (охолодження) з метою мінімізації втрати їх якості розпочнемо з аналізу температурних потоків повітря в охолоджених камерах холодильників. Такі охолоджувальні приміщення будемо називати холодильними камерами з холодильного середовища та візуалізації геометрії (форми) заморожуваного (охолодженого) продукту харчування. Торгівельне підприємство, як правило, має N-холодильних камер, а розрахунок теплонадходжень, тобто побудову математичної моделі виконаємо для найбільш характерної камери збереження (замороження) туш великої рогатої худоби (ВРХ).

Втім з метою оцінки чинників зниження температури повітря в закритому приміщенні (холодильної камери) і підтриманні її на заданому рівні холодильну камеру потрібно охолодити, тобто відвести з неї теплотунаприклад за допомогою компресорних установок. З моменту зниження температури холодильної камери (контейнера) $t_{х.к.}$ прямо. Швидкість зміни температури $t_{х.к.}$ прямо пропорційна різниці між теплопритоком $Q_Т$ в приміщенні (кількість теплоти в джоулях, які надходять в приміщення і виділяється в ньому в одиницю часу, за сек.) і тепловідведенням $Q_В$ із нього (холодильною потужністю у Ваттах випарника ХМ або встановлених в холодильній камері приладів охолодження) і зворотно пропорційна коефіцієнту теплової єдності С об'єкта

$$dt_{х.к.} / dt = (Q_Т – Q_В) / C \qquad (2.1)$$

Тут коефіцієнт теплової ємності С (Дж/К) представляє собою кількість тепла, яке потрібно підвести до об'єкта або відвести від нього, для того щоб змінити температуру холодильної камери на 1К.

Рівності $dt_{х.к.} / dt = 0$ відповідає виникнення рівноваги між теплоприйомом і тепловідведенням, яку будемо характеризувати рівнянням теплового балансу

$$Q_Т=Q_В \qquad (2.2)$$

Встановлення визначеної температури повітря $t_{х.к}$ в холодильній камері (контейнері для зберігання продуктів харчування) будемо називати рівновластною температурою.

Рівняння теплового балансу, який включає теплоприлив від різних джерел при стаціонарному режимі може мати наступний вигляд

$$Q_B = Q_{ОГ} + Q_{ВАН} + Q_{ВП} \quad (2.3)$$

де

$Q_{ОГ}$ – теплоприлив через огородження;

$Q_{ВАН}$ – теплоприлив від відпрацьованих вантажів;

$Q_{ВП}$ – внутрішній теплоприлив від джерел, розташованих в приміщенні (від людей, від приладів освітлення, від двигунів тощо). Схема теплового балансу охолоджувального приміщення (холодильної камери) наведена на рисунку 2.1

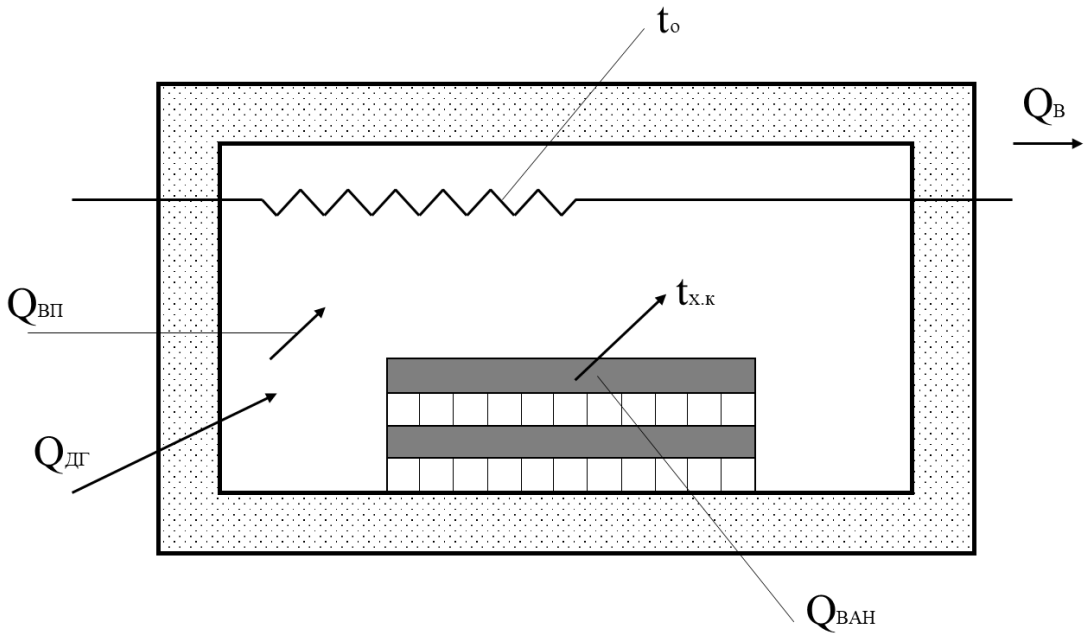


Рисунок 2.1 – Схема теплового балансу охолоджувального приміщення (холодильної камери)

Така рівновага утім, є нелінійною системою. Холодильні установки працюють при змінних зовнішніх умовах, тобто постійно виводяться із стану рівноваги. Якщо теплоприлив $Q_Т$ стає більшим тепловідведення $Q_{В,}$ то це визиває підвищення температури $t_{х.к.}$.

Якщо теплоприлив стане менше тепловідведення, то результатом такого стану нерівності буде зниження температури в приміщенні (холодильної камери).

В зв’язку з цим важливо знайти, як веде себе дана система, будучі виведеною із рівноваги. Якщо спростити цю ситуацію, тобто вважати, що в охолоджувальне приміщення тепло надходить від одного джерела – лише через зовнішнє огородження.

З цією ціллю розрахунок будемо вести в стаціонарному режимі.

Кількість теплоти (Дж), яка протікає через огородження в одиницю часу

$$Q_T = Q_{ОГ} = K_{T.ОГ} * F_{ОГ} * (t_{ЗП} - t_{х.к.}) \quad (2.4)$$

де
$K_{T.ОГ}$ –коефіцієнт теплопередачі огородження;
$t_{ЗП}$ – температура зовнішнього повітря.

З іншого боку, кількість тепла (Вт) за секунду, яке відводиться приладами охолодження, визначається виразом:

$$Q_B = K_O * F_O * (t_{х.к.} - t_{о.}) \quad (2.5)$$

де
K_O – коефіцієнт теплопередачі приладів охолодження;
F_O – площина поверхні приладів охолодження;
$t_о$–температура охолодженого середовища (якщо не враховувати (нехтувати) термічним опором внутрішньої тепловіддачі і стінок труби, її можливо прийняти рівній температурі поверхні охолоджувальних приладів).
Тоді, відповідно з виразом (2.2)

$$K_{T.ОГ} * F_{ОГ} * (t_{ЗП} - t_{х.к.}) = K_O * F_O * (t_{х.к.} - t_{о.}) \quad (2.6)$$

Якщо зовнішні умови змінились, наприклад підвищилась температура зовнішнього повітря, то це визиває зростання температури притоку тепла Q_T, як слідує із виразу (2.6) і його підвищення над тепловідведенням Q_O, в результаті якого виникає підвищення температури в холодильній камері.

Останнє, в свою чергу, визиває зростання відведення тепла, яке характеризується виразом (2.6). Утім підвищування температури повітря $t_{х.к.}$ буде зменшувати зростання притоку тепла через огородження до тих пір, поки притік тепла не зрівняється зі зростанням відведення тепла (тобто зростанням продуктивності випарника) у випадку нового значення температури $t_{х.к.}$

Таке власне вирівнювання температури охолодженого приміщення (об'єкта) не завжди вирішує задачу автоматичного регулювання цього параметра. Величина власнерегульованого параметру може вийти за встановлені у даному випадку межі, і для її збереження всередині цих меж параметрів необхідно мати відповідні засоби.

Якщо із рівняння балансу (2.6) знайти величину рівновісної температури повітря в холодильній камері.

$$t_{х.к} = (K_{T.ОГ} * F_{ОГ} * t_{ЗП} + K_O * F_O * t_{о.}) / (K_{T.ОГ} * F_{ОГ} + K_O * F_O) \quad (2.7)$$

Тоді вираз (2.7) включає і величини, впливаючи на які, можливо досягти зміни температури в холодильній камері $t_{х.к}$ у бажаному напрямку.

Оскільки в рівнянні (2.1) регулюючим впливом є холодопродуктивність випарника Q_B, то для системи автоматичного регулювання температури $t_{х.к}$ слідує змінювати величини K_O, F_O, t_o.

Змінюючи швидкість циркуляції повітря (наприклад, зупинкою або запуском вентилятора) можливо змінювати інтенсивність теплообміну в приборах охолодження і, відповідно, величину K_O включенням частини або усіх приладів охолодження можливо змінювати площину її поверхні F_O.

Декілька по іншому впливає температура кипіння t_o так як вона по-перше не постійна і отже власнерегулюється при зміні K_O і F_O. Інколи можливо безпосередньо змінювати температуру t_o наприклад, збільшуючи або зменшуючи холодильну потужність компресора або при охолодженні холодильної камери холодоносієм знижуючи його температуру (в цьому випадку температура поверхні охолоджувальних приладів буде не температурі кипіння робочого тіла, а температурі холодоносія).

Якщо у виразі (2.7) розділити всі члени на $K_O * F_O$, то він прийме вигляд

$$t_{х.к.} = \{[K_{Т.ОГ}F_{ОГ}/K_OF_O]t_{ЗП}t_O\}/\{[K_{Т.ОГ}F_{ОГ}/K_OF_O] + 1\} \qquad (2.8)$$

При значному збільшенні $K_O F_O$ над $K_{ТОГ} F_{ОГ}$, тобто $K_O F_O \geq K_{ТОГ} F_{ОГ}$ урівноважена температура $t_{х.к}$(як видно із виразу 2.8) буде наближатись до t_o. Аналогічним перетворенням доведемо, що при $K_O F_O \leq K_{ТОГ} F_{ОГ}$ урівноважена температура повітря буде наближатись до $t_{ЗП}$. Таким чином, температура $t_{х.к}$ (об'єкта – холодильної камери) може встановлюватись в межах від t_o до температури зовнішнього повітря $t_{ЗП}$. Змінюючи холодильну потужність Q_B можливо досягти встановлення в приміщенні холодильної камери температури на заданому рівні.

Наявність інших теплопритоків $Q_{ІН}$ в охолоджувальну холодильну камеру не вносить кількісних змін у наведених висновках. Рівновагова температура у цьому випадку може бути визначена з виразу, аналогічному (2.7)

$$t_{х.к} = (K_{Т.ОГ} * F_{ОГ} * t_{ЗП} + K_O * F_O * t_{o.} + Q_{ІН}) / (K_{Т.ОГ} * F_{ОГ} + K_O * F_O) \qquad (2.9)$$

Тому що теплоприливи $Q_{ПР}$ є зовнішнім збуренням, то їх вплив буде компенсований зміною Q_B.

Урівноважена відносна вологість повітря у холодильній камері. Відносна вологість повітря $Ф_П$ в охолоджувальній холодильній камері стабілізується під дією балансу вологи, тобто в результаті бажання до рівноваги між вологопотоком $W_П$ в ХК і відведення вологи W_O із неї.

Швидкість становлення відносної вологи в холодильній камері.

$$dФ_П = (W_П - W_O) / D \qquad (2.10)$$

де
D– коефіцієнт ємності ХК за кількістю вологи, який представляє собою кількість вологи (кг), яку потрібно подати в холодильну камеру або відвести з неї для того, щоб змінити вологість повітря на одиницю (наприклад, на 1% відносної вологи) у випадку стійкості, тобто постійної відносної вологості.

$$d\Phi_П / dt = 0 \text{і } W_П = W_O \tag{2.11}$$

Один із важливих притоків вологи – випарювання вологи з поверхні продуктів харчування ΔG. Крім цього потік вологи W може бути від різних джерел, а саме, при подачі вологи системою автоматичного регулювання вологи в ХК.

Відведення вологи W_O в ХК виконується конденсацією водяної пари із повітря поверхні охолоджуваних приладів. Отже баланс вологи буде мати вигляд

$$\Delta G + W = W_O \tag{2.12}$$

В ситуаціях зміни балансу вологості в ХК, зв'язаної зі зміною притоку вологи або відведення вологи, в системі, яка має властивості власнерегулювання, виникають процеси, які бажають встановити рівновагу, але новому значенні відносної вологості. Так, при збільшенні притоку вологи за рахунок додаткового теплонадходження за внесення в ХК теплих продуктів, ліва частина залежності (1.12) буде більше правої. Це приведе до збільшення вологи повітря в ХК, а відповідно і вологовідведення W_O до тих пір, поки знову не буде досягнуто рівновагу для деякого підвищення вологи в ХК, яка і буде новим значенням рівноваговою вологістю повітря холодильної камери.

Кількість вологи ΔG (кг/с), яка витрачається продуктами, підчиняється закономірностями поверхневого випарювання вологи.

$$\Delta G = \beta_{ПР} * F_{ПР} * (P_Г^{II} - P_{ВДП})$$

де
$\beta_{ПР}$ – коефіцієнт випарювання з поверхні продуктів, кг/м2*с*Па;
$F_{ПР}$ – площина поверхні продуктів, м2;
$P_Г^{II}$ – тиск продуктів, Па;
$P_{ВДП}$–порційний тиск водяного пару в повітрі холодильної камери, Па.

Чисельне значення коефіцієнта випарювання для води у випадку вільного руху повітря по Леві

$$\beta_{ПР} = (89 \div 98) * 10^{-10} \text{ кг/м2*с*Па}$$

а для поверхні, наприклад м'яса туша ВРГ

$$\beta_{ПР} = (65 \div 71) * 10^{-10} \text{ кг/м2*с*Па}$$

При достатньо довгому збереженні продуктів в ХК можливо допустити, що температура їх поверхні t_n за рахунок випарювання вологи знижується нижче температури повітря приміщення (холодильної камери)

$t_{х.к.}$, наближаючись до температури мокрого термометра. Стан вологого повітря в ХК і насиченого повітря над продуктом наведені в діаграмі i-d точками К і П (див. рис. 2.2)

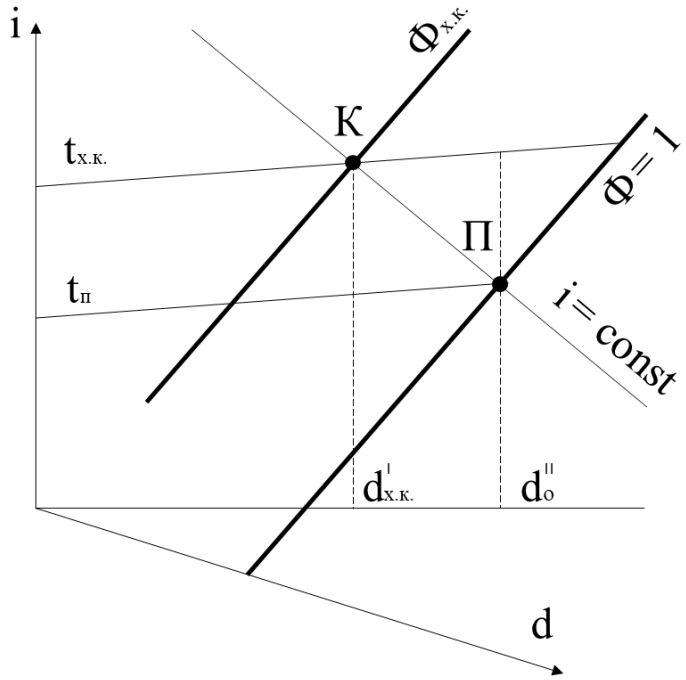


Рисунок 2.2 – Стан вологого повітря в холодильній камері.

Тоді взаємозв'язок між параметрами цих станів можливо одержати із теплового балансу мокрого термометра, у відповідності з яким конвективна теплота, яка передається від повітря холодильної камери до одиниці поверхні продукту в цілому іде на випарювання вологи з цієї поверхні

$$\alpha_П = (t_{х.к.} - t_П) = \beta_{ПР} * r * (P_Г^{II} - P_{ВДП}) \quad (2.13)$$

де
$\alpha_П$ – коефіцієнт тепловіддачі;
r – теплота пароутворення, Дж/кг;

У деякому перетвореному вигляді ця залежність несе назву психометричної формули

$$(P_П^{II} - P_{ВДП}) = A * (t_{х.к.} - t_П) \quad (2.14)$$

де
$A = \alpha_П * (\beta_{ПР} * r)$– психометричний коефіцієнт, який залежить від швидкості руху повітря.
При барометричному тиску 10^6 Па і швидкості повітря 4 м/с А=66,6
При барометричному тиску 10^6 Па і швидкості повітря 0,8 м/с А=73,5
При барометричному тиску 10^6 Па і швидкості повітря 0,1 м/с А=13,33
Так як $\Phi_П = P_П^I / P_П^{II}$, то

$$\Delta G = \beta_{ПР} * F_{ПР} * (P^{II}_{П} - \Phi_{П} * P_{ВДП}) \quad (2.15)$$

$$P^{II}_{П} - \Phi_{П} * P^{II}_{ВДП} = A * (t_{х.к.} - t_{П}) \quad (2.16)$$

Залежність (2.16) дозволяє визначити величину $P^{II}_{ВДП}$ через параметри повітря холодильної камери. Температура поверхні продуктів $t_{П}$ зв'язана з тиском насиченого пару над цією поверхнею логарифмічною залежністю. З метою спрощеного рішення і для одержання чіткого уявлення про якісні залежності процесів регулювання вологості можливо припустити, що інтервал температур змінюється в межах 10К, а між тиском і температурою існує залежність

$$P^{II} = a + bt \quad (2.17)$$

де

a i b– коефіцієнти, постійні у даному інтервалі температур, чисельне значення яких наведено в табл. 2.1

Якщо замінити значення температури в рівнянні (2.16) тиском насиченого пару і користуючись залежністю (2.17), то одержимо

$$P^{II}_{П} - \Phi_{П} * P^{II}_{ВДП} = A * (P^{II}_{ВДП} - P^{II}_{П}) * b \quad (2.18)$$

звідки

$$P^{II}_{П} = P_{ВДП} * (A + b\Phi_{П}) / (A + b) \quad (2.19)$$

Визначене значення $P^{II}_{П}$ може бути представлене у виразі

$$\Delta G = \beta_{ПР} * F_{ПР} * \left\{P^{II}_{ВДП} * (A + b\Phi_{П})/(A + b)\right\} \quad (2.20)$$

$$\Delta G = \beta_{ПР} * F_{ПР} * P^{II}_{ВДП} * [(1 - \Phi_{П})/M] \quad (2.21)$$

де

$M = 1+b/A$ – коефіцієнт для холодильної камери з визначеною температурою і швидкістю руху повітря, тобто є постійною величиною.

Залежність (2.20) показує, що випарювання вологи з поверхні продукту зменшується зі збільшенням вологості повітря та повністю призупиняється у насиченому повітрі, коли $\Phi_{П} = 1$.

Величина усушки залежить від температури повітря в холодильній камері, оскільки ΔG є функцією $P^{II}_{ВДП}$ та зменшується зі зниженням температури.

Це дуже важливий чинник, щодо прагнення до створення оптимальних параметрів мікроклімату в ХК для зберігання продуктів та мінімізації втрати їх якості. Зазвичай, що втрати вологи продуктами пропорційно величині

поверхні, з якої проходе випарування. Нарешті, на величину усихання впливає інтенсивність вологообміну, яка характеризується коефіцієнтом випарювання $\beta_{ПР}$. Останній, як і коефіцієнт тепловіддачі, залежить від швидкості руху повітря. Внаслідок цього усихання продуктів в одиницю часу збільшується при підсиленні циркуляції повітря.

Кількість вологи (кг), яка відводиться шляхом конденсації пари на охолоджуючих приладах, визначається виразом:

$$W_O = \beta_O * F_O * (P^{II}_{ВДП} - P^{II}_O) \quad (2.22)$$

або

$$W_O = \beta_O * F_O * (\Phi_П P^{II}_{ВДП} - P^{II}_O) \quad (2.22)$$

де

β_O – коефіцієнт конденсації пари на поверхні охолоджувальних приладів;

P^{II}_O – тиск насиченого водяного пару над поверхнею приладів охолодження;

Приток вологи від інших джерел зазвичай не великий, тоді величину W в рівнянні (2.19) можна використовувати в інформаційній системі керування мікрокліматом ХК.

Використовуючи рівняння (2.21) і (2.22) можна записати рівняння балансу вологи у вигляді

$$\beta_{ПР} * F_{ПР} * P^{II}_{ВДП} * [(1 - \Phi_П)/M] + W = \beta_O * F_O * (\Phi_П P^{II}_{ВДП} - P^{II}_O) \quad (2.23)$$

Із рівняння (1.23) визначається рівновісна вологість повітря холодильної камери

$$[\beta_{ПР} * F_{ПР} + \beta_O * F_O * M * (P^{II}_O / P^{II}_{ВДП} + WM / P^{II}_{ВДП}] / [\beta_{ПР} * F_{ПР} + \beta_O * F_O * M] \quad (2.24)$$

З метою спрощення рівняння (2.24) введемо наступні позначення

$$\beta_{ПР} * F_{ПР} / \beta_O * F_O = f(F)$$

$$P^{II}_O / P^{II}_{ВДП} = \Phi_O$$

Якщо вважати, що $\beta_{ПР}$ і β_O приблизно постійні і близькі одна до одної, то $f(F)$буде представляти відношення площини поверхні продуктів до площини продуктів охолодження. З врахуванням прийнятих раніш позначень вираз (2.24) може бути перетворено, якщо його чисельник і знаменник розділити на $\beta_O * F_O$

$$\Phi_П = [f(F) + \Phi_O * M + W * M / (\beta_O * F_O * P^{II}_{ВДП})] / [f(F) + M] \quad (2.25)$$

Вираз (2.25) дозволяє проаналізувати ряд технологічних ситуацій (прецедентів), корисних щодо аналізу умов встановлення заданих параметрів вологи повітря в холодильній камері. Спочатку потрібно проаналізувати випадок, коли $W=0$, тобто відсутність будь-якого виділення вологи в ХК, крім усихання продукту. Тоді рівнозважена вологість повітря $\Phi_П$ буде пов'язана лише с випарюванням вологи з поверхні продуктів і дорівнює:

$$\Phi_П = [f(F) + \Phi_o M] / [f(F) + M] \qquad (2.26)$$

Як очевидно із рівняння (2.26) рівнозважена вологість $\Phi_П$ залежить від співвідношення між поверхнею продуктів і поверхнею охолоджувальних приладів, а також від величини Φ_o.

2.2 Ситуаційний аналіз оптимізації режимів заморожування

Розглянемо дві технологічні ситуації; коли значення $f(F)$ відповідає мінімальному і максимальному значенням.

1. Площина поверхні приладів заморожування дуже велика в порівнянні з площиною поверхні цих продуктів, тобто $\beta_O F_O \geq \beta_{ПР} F_{ПР}$. Цією властивістю характеризується і недозавантажене приміщення холодильної камери, або коли в камері немає продуктів. В цьому випадку $\Phi_П = \Phi_O$. Таким чином, будемо вважати, що Φ_O – рівнозважена вологість холодильної камери, яка встановлюється при відсутності в приміщенні виділення вологи.

Так як при $\Phi_П = \Phi_O$ повинно бути $Р_П = P_O^{II} / P_П^{II}$, то рівність парціальних тисків пари спонукає до рівноваги вмісту вологи, тобто $d_{ВДП} = d_D^{II}$. Це означає, що в діаграмі *i-d* вологого повітря точка К, яка відповідає стану повітря в холодильній камері буде лежати на лінії постійного значення вологи, яка проведена через точку D, що характеризує стан насиченого повітря над поверхнею охолоджувальних приладів (див. рис. 1.3). Потрібно показати, що $Ф_О$ – найбільш низька відносна вологість, яка може встановлюватись в холодильній камері з температурою $t_{х.к.}$ при температурі поверхні охолодження t_o.

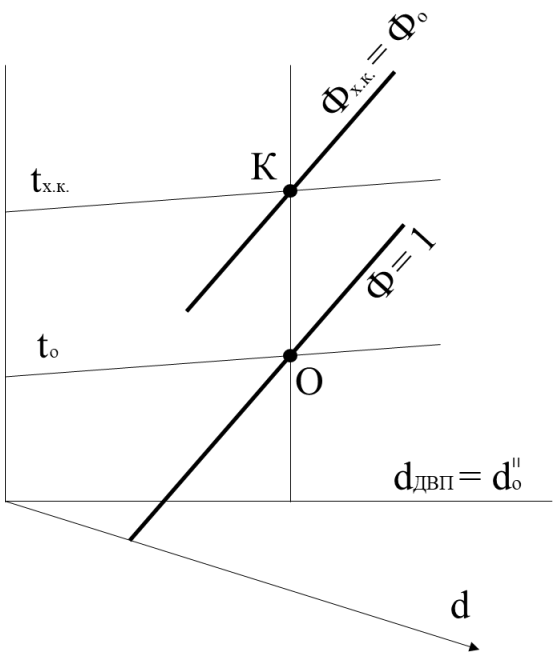


Рисунок 2.3 – Рівнозважена вологість повітря в холодильній камері при відсутності виділення вологи

2. Площина поверхні приладів охолодження дуже мала у порівнянні з площиною поверхні продуктів, тобто f(F) = ∞. В цьому випадку $\Phi_{П} = 1$.

Використання залежності (2.26) не обмежується цими двома способами. Вона дозволяє аналізувати не лише умови встановлення рівнозваженої вологи повітря, але і її зміни у бажаному напрямку. По-перше можливо стверджувати, що величина рівнозваженої відносної вологи повітря встановлюється в межах $\Phi_{о} \leq \Phi_{х.к.} \leq 1$. У випадку одного джерела притоку вологи – випарювання вологи з поверхні продуктів, а також постійних співвідношеннях між поверхнею продуктів і поверхнею приладів охолодження. Чим менше продуктів знаходиться в холодильній камері тим нижче в неї відносна вологість повітря. При збереженні упакованих продуктів величина коефіцієнтів випарювання для них буде малою в упорядкуванні з коефіцієнтом конденсації на поверхні приладів охолодження. Це визиває зменшення *f(F)* і зниження вологи повітря в приміщенні холодильної камери.

У випадку необхідності утримувати відносну вологу на заданому рівні між $\Phi_{о}$ та Випадку 1 за співвідношенням (2.26) можна знайти величини, на які слід впливати для зміни відносної вологи у бажаному напрямку, а саме в цій ситуації такими параметрами є *f(F)*і $\Phi_{о}$.

Функція *f(F)* може змінювати свою величину при зміні не лише $F_{о}$ але і $\beta_{о}$. В той же час величина вологи $\Phi_{о}$ залежить від температури поверхні $t_{о}$. Таким чином, регулювання відносної вологи виконується за допомогою тих же самих факторів, які використовуються при регулюванні температури повітря в холодильній камері, тобто зміною площини поверхні приладів охолодження, швидкості циркуляції повітря і температури охолоджуваного середовища. Будемо вважати, що в даному випадку ці фактори визивають

зміни вмісту вологи повітря (кількості вологи), збільшуючи або зменшуючи інтенсивність випарювання вологи з поверхні продуктів і інтенсивність конденсації вологи на поверхні приладів охолодження.

Особливістю процесу регулювання вологи повітря в холодильних камерах великої продуктивності є їх практично постійна однобічність, пов'язана з постійним відведенням вологи в результаті безперервної конденсації пари на приладах охолодження. З цієї причини у багатьох випадках лише зволожувати повітря холодильних камер і підвищувати тим самим її відносну вологу. У тих же випадках, коли потрібно знижувати вологість, висушувати повітря можливо тими же засобами, які витікають із залежності (2.26):

– зниженням температури поверхні, збільшенням площини охолоджувальної поверхні (при тій же температурі) та інтенсифікацією процесу обміну вологи (збільшенням), наприклад, при підвищенні швидкості руху повітря.

Зволоження повітря може виконуватись не лише відомими методами, але і за рахунок подачі кількості вологи W в холодильну камеру у відповідності із залежністю (2.25).

Волога в холодильну камеру може надходити у вигляді водяного пару або крапельної води, яку розпилюємо за допомогою ультразвукових форсунок. Процес підмішування водяного пару до вологого повітря виконується приблизно по ізотермі, тобто зволоження повітря паром визиває лише незначне підвищення температури повітря холодильної камери, в той же час як процес підмішування крапельної води протікає приймано по ізоєнтальпі, тобто при цьому можливе незначне зниження температури повітря.

Вираз (2.25) з врахуванням (2.26) можна записати наступним чином:

$$\Phi_П = \Phi_o WM / \{P^{II}_{ВДП} \beta_o F_o [f(F)+M]\} \qquad (2.27)$$

Залежність (2.27) дозволяє попередити ситуацію з можливим невірним виведенням із балансу вологи (2.12). Можливо передбачити, що для припинення висушування ΔG в холодильній камері для збереження продуктів при будь-якій, навіть при незначній вологості повітря достатньо подати в ХК таку замінюючу кількість водяного пару. Утім, як доведено в [5,6], зменшити висихання додаванням водяного пару в повітря можливо лише і тому випадку, якщо в холодильній камері буде підтримуватись волога повітря $\Phi_П$, більш висока, ніж $\Phi^{II}_П$, тому що значення W може бути позитивним лише при $\Phi_П > \Phi^{II}_П$.

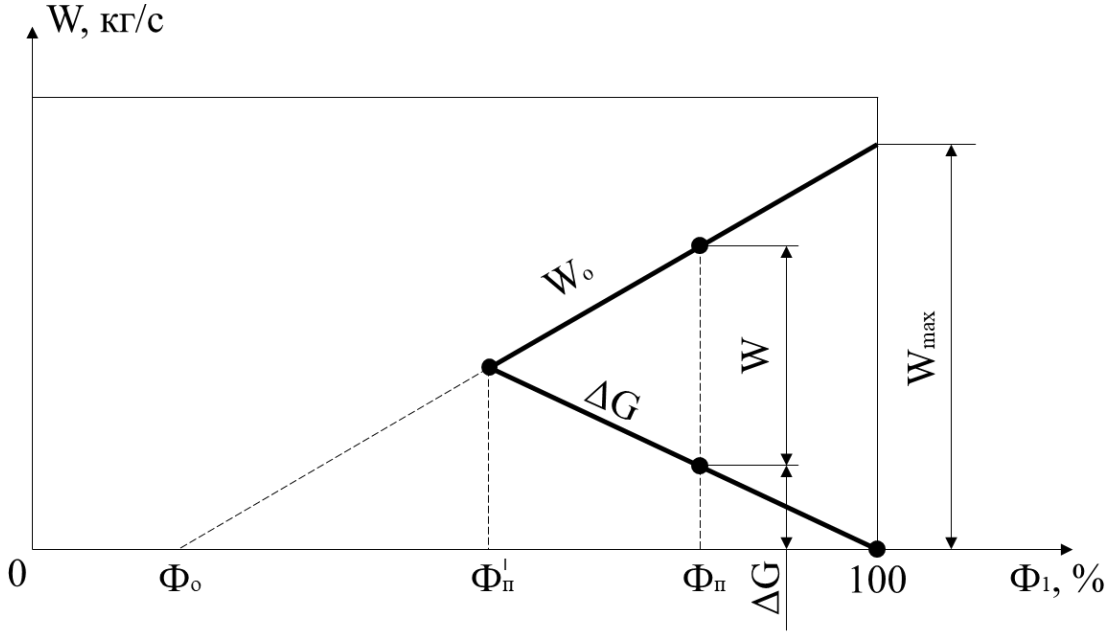


Рисунок 2.4 – Зміна чинників балансу вологи при зволоженні повітря холодильної камери.

Співвідношення між складовими балансу вологи для різної вологи повітря $Ф_П$ наведено на рисунку 2.4. При даній величині *f(F)*, тобто при деякому відношенні площини поверхні продуктів і площини поверхні приладів охолодження, при заданій температурі приміщення $t_п$ в ХК встановлюється відносна волога $Ф_П$. Їй відповідає максимальна в даних умовах висихання продуктів $ΔG_м$. Якщо потім у повітря холодильної камери подавати вологу, наприклад, водяну пару, то зі зростанням вологи повітря зменшується всихання продуктів. Втім при зростанні вологи повітря кількість вологи, необхідної для насичення повітря, все ж зменшиться, так як кількість находженої (впрыскиваемой) вологи *W* зросте за рахунок збільшення конденсату на приладах охолодження.

Максимальна кількість вологи (кг/с), яка необхідна для доведення повітря до насиченого стану, буде одержано із рівняння (2.27), якщо представити $Ф_П$ із рівняння (2.26).

$$W_{max} = (1 - Ф_о)\, P^{II}_{ВДП} \beta_О F_О \qquad (2.28)$$

Із рисунка 2.4 слідує, що вся кількість вологи буде конденсуватись на приладах охолодження. Якщо в холодильній камері зберігається продукт – ВРХ, з поверхні якого не викликає випарювання вологи, а задана кількість вологи повітря $Ф_П$ більша ніж $Ф_о$, то для її встановлення необхідно подати вологу в кількості

$$W = (Ф_П - Ф_о)\, P^{I}_{ВДП} \beta_О F_О \qquad (2.29)$$

Залежності (2.26-2.29) показують, що кількість вологи, яка надходить для зволожування повітря холодильної камери, залежить не лише від заданої вологості.

Вона зростає при підвищенні температури повітря, при збільшенні площини поверхні приладів охолодження і підвищення інтенсивності віддачі вологи. Підвищення вологи повітря в холодильній камері шляхом подачі до неї вологи не вимагає збільшення площини поверхні приладів охолодження, але при цьому зростає необхідна холодильна потужність компресора і утворення інею на охолоджувальній поверхні, що з одного боку є недоліком цього методу керування, а з іншого боку – створення оптимального мікроклімату в холодильній камері в умовах зміни параметрів її завантаження-розвантаження вимагає за допомогою інтелектуальних технологій звернути увагу проектантів на цей метод.

Керування процесом зберігання продуктів харчування (особливо м'яса), мінімізуючи втрати якості продукту в процесі його зберігання. В той же час при достатній потужності холодильної установки зволоження повітря шляхом подачі вологи не суттєво впливає на температуру повітря в холодильній камері. Цим останній метод керування процесами охолодження (заморожування) вигідно відрізняється від способів розглянутих вище.

З метою оптимального вибору параметрів холодильної камери необхідно оцінити тепловий баланс приміщень та загальну кількість теплоти, що надходить в охолоджуване приміщення ХК промислового холодильника.

Перейдемо до аналізу теплового балансу приміщень і теплонадходжень від продуктів (вантажів) при їх термічному обробленні.

В холодильних камерах супермаркетингів торгівельних підприємств виконуються наступні види термічної обробки продуктів (вантажів), які супроводжуються відведенням теплоти із продуктів: охолодження, заморожування і дозаморожування.

Охолодження тіла завжди приводить до зниження його температури, а для тіла, які маюсь рідинну фазу, охолодження переходить в заморожування при досягненні температури початку фазового перетворення рідини в твердий стан.

Процес заморожування може виконуватись лише в тілі, яке має рідку фазу (харчові продукти – м'ясо), тому що основним явищем цього процесу є перетворення рідкої фази в тверде становище.

Процес дозаморожування полягає в збільшенні кількості вимороженої вологи в продукті.

У загальному вигляді кількість тепла, яка відводиться від 1 кг тіла при його термічному обробленні, може вимірюватись зміною тепловмісту (ентальпія) тіла (кДж/кг) до оброблення і після неї, оскільки ці процеси теплообміну протікають при постійному тиску

$$q_2 = t_1 - t_2 \qquad (2.30)$$

Загальний секундний прилив тепла (Вт) від оброблюваних вантажів, загальне виділення тепла при хімічних реакціях складають при максимальному добовому надходженні вантажів або максимальній добовій продуктивності пристроїв для термічного оброблення G^1 (кг/доб.)

$$Q_2 = G^1 (t_1 – t_2)10^3 / (3600*24) \quad (2.31)$$

Якщо задана не добова, а погодинна продуктивність G^1 (кг/год.), то вираз притоку тепла Q_2 від відпрацьованих вантажів

$$Q_2 = G^1 (t_1 – t_2) / 3,6 \quad (2.32)$$

Вираз (2.32) дає середнє за добу значення теплоприпливу за секунду і воно вірне для технологічних пристроїв безперервної дії; для апаратів періодичної дії надходження тепла слід визначати лише для часу дійсного споживання холоду.

В цьому випадку середнє значення притоку тепла за секунду від оброблення туш ВРХ повинно визначатись за рівнянням:

$$Q_2 = G^1 (t_1 – t_2) * (t_ц / t_{рп}) / (3,6 * 24) \quad (2.33)$$

де

$t_ц$ – тривалість циклу технологічного оброблення продукту, яка включає і час на завершення додаткових операцій%

$t_{рп}$ – тривалість робочого періоду, за час якого споживається холод.

Проведений вище аналіз холодозабезпечення ХК дозволяє проектантам розробити методи підвищення експлуатаційних характеристик компресорних установок в системі холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів.

Розділ 3
Розробка компресорного обладнання супермаркетингів з підвищеними енергоефективними характеристиками.

3.1 Експлуатаційні характеристики компресорного обладнання супермаркетингів

Метою розділу є розв'язання актуальної задачі вибору оптимальної траєкторії холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингів за рахунок вибору раціональних режимів роботи компресорів

Це поставлене завдання можливо досягти зменшенням витрат енергетичних характеристик компресорів та впливу збурень вхідних характеристик продукції заморожування (охолодження) на параметри електроспоживання компресорного обладнання супермаркетингу за рахунок розробки системи оптимального керування комплексом і прогнозування витрат активної і реактивної потужностей електроприводів холодильних машин з постійним контролем геометрії внутрішньо камерного завантаження (в період термічного оброблення продуктів (вантажів), які супроводжуються відведенням теплоти від продуктів технологічними процесами охолодження, заморожування, доморожування).

Супермаркетинги харчової промисловості Придніпровського регіону логістично утворюють з м'ясокомбінатами, молокозаводами, рибокомбінатами, підприємства з переробки плодоовочевої продукції, промислові холодильники), об'єднані в єдиний комплекс з реалізації смарт-продуктів харчування з навантаженням від 5,0 до 10 МВт і відносяться до середніх споживачів електрики. Більшість технологічних виробництв електропостачання цих підприємств згідно ПУЕ відносяться до I, II категорій електроприймачів [20].

Цей важливий аналіз розпочнемо з переваг застосування сучасних холодоносіїв, які забезпечують оптимізацію енергетичних характеристик.

На рисунку 3.1 наведено схеми включення компресорних установок супермаркетинга з високими енергетичними характеристиками холодозабезпечення холодильного обладнання. Такі схеми холодозабезпечення будемо називати каскадними.

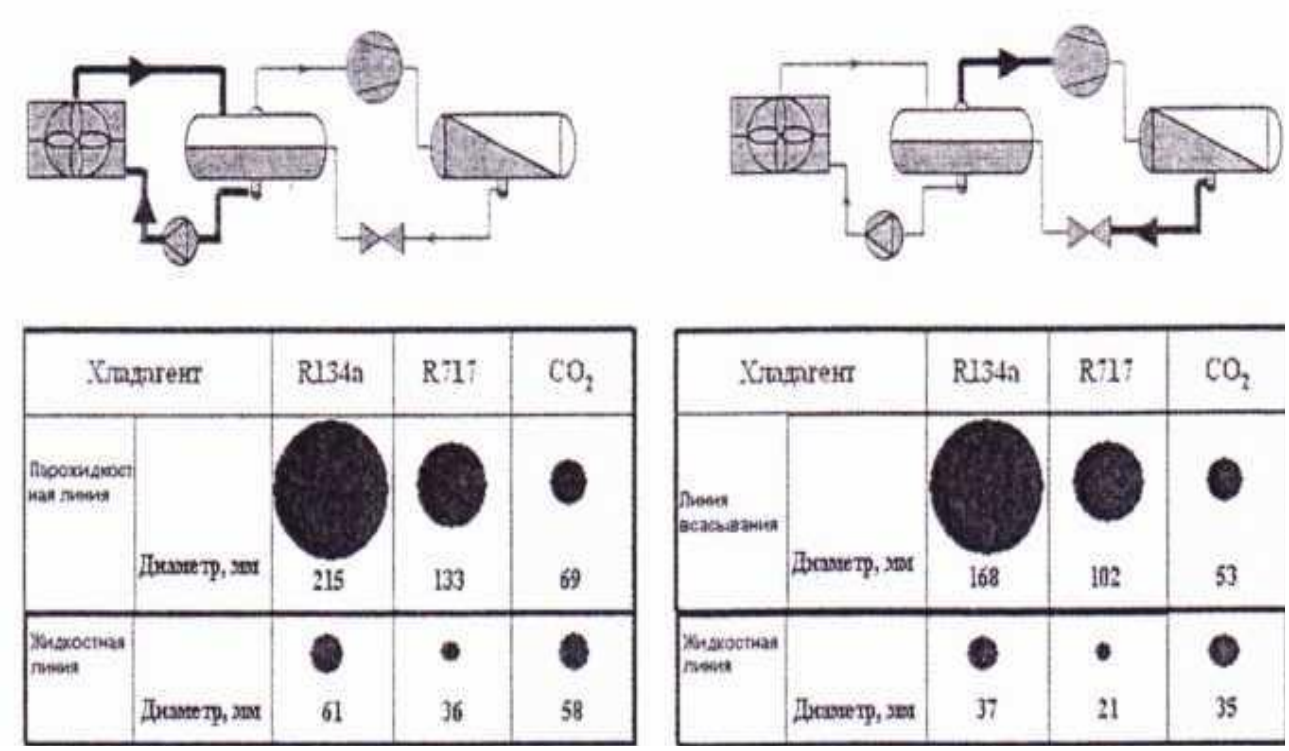


Рисунок 3.1 – Переваги застосування CO_2 з точці зору енергоефективності холодозабезпечення обладнання супермаркетингів

В цілому каскадні системи холодопостачання з діоксидом вуглецю за первинними витратами дещо дорожче звичайних аміачних або хладонових установок безпосереднього охолодження через більшу сумарну кількість компресорів. Як показує практика, додаткові витрати на впровадження каскадних компресорних установок з CO_2 окупаються через 2-3 роки[2,5] . Доведено, що по експлуатаційним витратам вони виявляються значно вигідніші в порівнянні з аміачними або фреоновими компресорними системами безпосереднього охолодження, але максимальний виграш проявляється в порівнянні з системами з проміжним холодоносієм.

3.2 Причинно-наслідкова модель управління експлуатаційними характеристиками холодильного обладнання супермаркетингів

Необхідність економії електроенергії на підприємствах торгівлі України на стадіях продаж заморожуваної продукції харчування (ЗПХ) також обумовлено зростанням у 2022 році цін на електроенергію.

В той же час, зростання її частки у собівартості продукції енергоємних технологій охолодження, заморожування складає до 20-25%, а отже потребує виконання проектних рішень щодо узгодженого керування електрообладнанням комплексу в періоди обмежень потужності енергосистеми [1,2, 12, 24].

Особливістю сучасного управління електроспоживанням підприємствами торгівлі є впровадження систем енергоменеджменту і

автоматизованих систем контролю і обліку електроенергії (АСКОЕ). Усі підприємства торгівлі та холодильні підприємства – підприємства споживачі (супермаркети) Придніпровського регіону розраховуються з ПАТ «ДТЕК ДНІПРООБЛЕНЕРГО» Україна за спожиту електроенергію за ринковим тарифом [1,12, 14]. Перехід на цей тариф стимулює енергоменеджмент підприємств торгівлі та холодильних підприємств до виокремлення деяких споживачів в якості енергоспоживачів – регуляторів, диференційованих за категоріями й часу їх роботи впродовж доби.

Наприклад, допоміжні цехи підприємств з виробництва харчів і холодокомбінатів можуть стати в періоди максимального навантаження енергосистеми споживачами – електрорегуляторами (СЕР), компресорне господарство стає не лише електрорегулятором, але й компенсатором реактивної потужності, що дозволяє знизити вартість електроенергії на 5-10% від лімітних.

Іншою особливістю підприємств торгівлі (супермаркетингів) є те, що в якості електроприводів найбільш енергоємних технологічних процесів виробництва холоду використовуються синхронні двигуни (СД) поршневих компресорів потужністю від 2,5 кВт до 60,0 кВт, асинхронні двигуни гвинтових компресорів потужністю від 2,5 кВт до 60,0 кВт і двигуни змінного струму насосів конденсаторів, вентиляторів потужністю від 3 до 3,5 кВт – тиристорні перетворювачі частоти (ТПЧ), конденсаторні батареї тощо.

З метою аналізу й оптимізації електроспоживання на підприємствах харчової галузі структуру електричної мережі представимо у вигляді множини $J=[j]$, $j=1,2\ldots n$ – рівнів ієрархії, до яких відносяться: вхідні фідери на підприємстві; трансформаторні підстанції; силові трансформатори; групи електроприймачів ,що розподілені на значній території комплексу (підприємств виробників продукції – підприємство-промисловий холодильник – підприємство (супермаркетинг) споживач заморожуваної та охолодженої продукції транспортних цехів, холодильних камер). Тобто групи електроприймачів, які задіяні від однієї секції шин та групи електроприймачів або, які задіяні від одного фідера найбільш енергоємні споживачі (поршневі компресори із типовим синхронним електроприводом (СД) потужністю P_{QM}=25,0-50,0 кВт й більше, гвинтові компресори з асинхронними електроприводами потужністю до 35,0кВт, конденсатори, вентилятори ,насоси тощо). В системах виробництва холоду будемо використовувати компресорні машини з інтелектуальними системами керування потенціалом енергозбереження до 20 відсотків за рахунок автоматизованого контролю продуктивності двоступеневого стиснення (поршневий компресор з синхронним електродвигуном – перший каскад) і гвинтовий компресор з АД - ТПЧ та одержання температурних режимів заморожування м`ясних продуктів ВРХ, риби, птиці, напівфабрикатів з м’ясом, фруктів, ягід, молочних продуктів тощо.

В цілому електричне господарство (ЕГ) такого комплексу холодильного обладнання супермаркетингів та траєкторію оптимальних

експлуатаційних характеристик компресорів можливо описати системою залежностей виду:

$$ЕГ = \left\{ P_{\max} \cdot K_{ПОП} \cdot Т \cdot Д \cdot P_{сер} \cdot A_{П} \cdot A_{ЕП} \right\}, \quad (3.1)$$

де P_{max} – півгодинний максимум навантаження підприємства;

$K_{ПОП}$ – коефіцієнт попиту;

T – річне число годин використання максимального навантаження T_{max} (год);

$Д$ – кількість встановлених електродвигунів (шт);

$P_{сер}$ – активна потужність двигунів, умовних електродвигунів, кВт;

$A_{П}$ – електроозброєність праці (МВт·год/люд);

$A_{ЕП}$ – продуктивність праці електротехнічного персоналу (МВт·год/люд)

Оптимізація процесів холодозабеспечення супермаркетингів торговельної галузі виконується шляхом управління траєкторією електроспоживання комплексу на основі причинно-наслідкової моделі, розробленої автором дипломної роботи бакалавра.

На рисунку 3.1 наведено причинно-наслідкову модель управління холодозабеспечення комплексу холодильного обладнання зі зберігання смарт-продуктів харчування в холодильних камерах – споживачі, який відрізняється деталізацією впливів груп чинників на траєкторію холодозабеспечення комплексу (експлуатаційні характеристики компресорного обладнання, управління електроспоживанням, збурення траєкторії електроспоживання холодильних машин (ХМ), електроспоживання компресорних установок та ефективність холодоносіїв холодильних камер супермаркетингу)

Рисунок 3.1 – Причинно-наслідкова модель управління холодозабезпеченням холодильного обладнання супермаркетингу

Траєкторію холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингу $E_{СРМ}$ визначають параметри E_1, E_2, E_3, E_4 (рис. 3.1).

У той же час траєкторію оптимального режиму роботи компресорів супермаркетингу E_1 визначають чинники $P_К$, $Q_К$, $E_К$, X_1, $P_{ХМ}$, $K_Е$, X_2.

Відхилення траєкторії холодозабезпечення холодильних камер за рахунок вибору експлуатаційних характеристик компресорних машин (поршневих компресорів-випарників – конденсаторів – інших приладів охолодження) оцінюють за допомогою наступних технологічних чинників: X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8.

Звернемо увагу на те, що ці технологічні параметри мають тісні кореляційні зв'язки з параметрами активної та реактивної потужностей, коефіцієнта потужності cosφ, що споживається електроприймачами ЕП1, ЕП2 із мережі 6-10 кВт.

Для ХМ з поршневим компресором і синхронним приводом:

$$P_{Х.М.} = S_{Х.М.} \cos\varphi, \qquad (3.2)$$

де $S_{Х.М.}$ – повна потужність холодильної машини з поршневим компресором і синхронним двигуном;

cos φ – коефіцієнт потужності споживання.

Збільшення споживання реактивної потужності $Q_{Х.М.}$, пов'язане з технологічними параметрами асинхронних двигунів насосів, конденсаторів, вентиляторів, тощо, призводить до зростання струму в провідниках дільниці електропостачання компресорних холодильних машин.

На ділянках електропостачання холодильних машин, де споживання реактивної потужності збільшується, втрати активної потужності теж збільшуються, а напруга $UT1$, $UT2$ … знижується. Отже, індикатором оптимального електроспоживання дільниці холодильних машин з СД є зростання коефіцієнта потужності cos $\varphi \rightarrow 1$ або зменшення споживання реактивної потужності елементами системи електроспоживання цієї дільниці, зниження втрат активної потужності $P_{Х.М.}$ та підвищення напруги. Таким чином, оптимізуючи технологічні параметри X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8 система ЦПУЕ з ЦСУ корегує роботу регуляторів збудників СД (МКЛ 1, МКЛ 2 і т. д.).

Відхилення траєкторії електроспоживання двоступеневих систем стиснення, які працюють по схемі компресор поршневий з синхронним приводом і компресор гвинтовий (друга ступінь стиснення) з АД-ТПЧ також залежать від технологічних параметрів, а саме $E_3 = f(X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12})$.

У цьому випадку одержання температур нижче -40°С для заморожування туш великої рогатої худоби (ВРХ), наприклад, в холодильній камері ХКМ1 виконано за технологією двоступеневого стиснення з АД-ТПЧ гвинтового компресора. Такі проектні рішення значно збільшують холодопродуктивність ХМ за рахунок впровадження адаптивних регуляторів швидкості гвинтового компресора.

При цьому регулювання швидкості можливо виконати як за допомогою АД-ТПЧ, так і за допомогою системи золотникового регулювання.

На рисунку 3.2 наведено залежність спожитої потужності гвинтового компресора від холодопродуктивності із якої слідує, що ці методи представляють інтерес для проектантів щодо економії енергоресурсів з очікуваним потенціалом енергозбереження до 15-20% за рахунок стабілізації тиску всмоктування та контролю масової продуктивності , що проходить через компресор другої ступені в одиницю часу.

Оптимальна активна споживана потужність каскадом буде опосередковано свідчити про ефективну роботу ХМ щодо холодозабезпечення холодильної камери ХКМ1 великої рогатої худоби за рахунок:

- використання САР продуктивності гвинтового компресора згідно з показниками датчиків тиску AKS33, які вмонтовані в лінію всмоктування [21, 22];
- використання САР продуктивності конденсатора-випарника за допомогою тиристорного частотного перетворювача ТПЧ-АД насосів льодяної та оборотної води та регулятора тиску [22, 23].

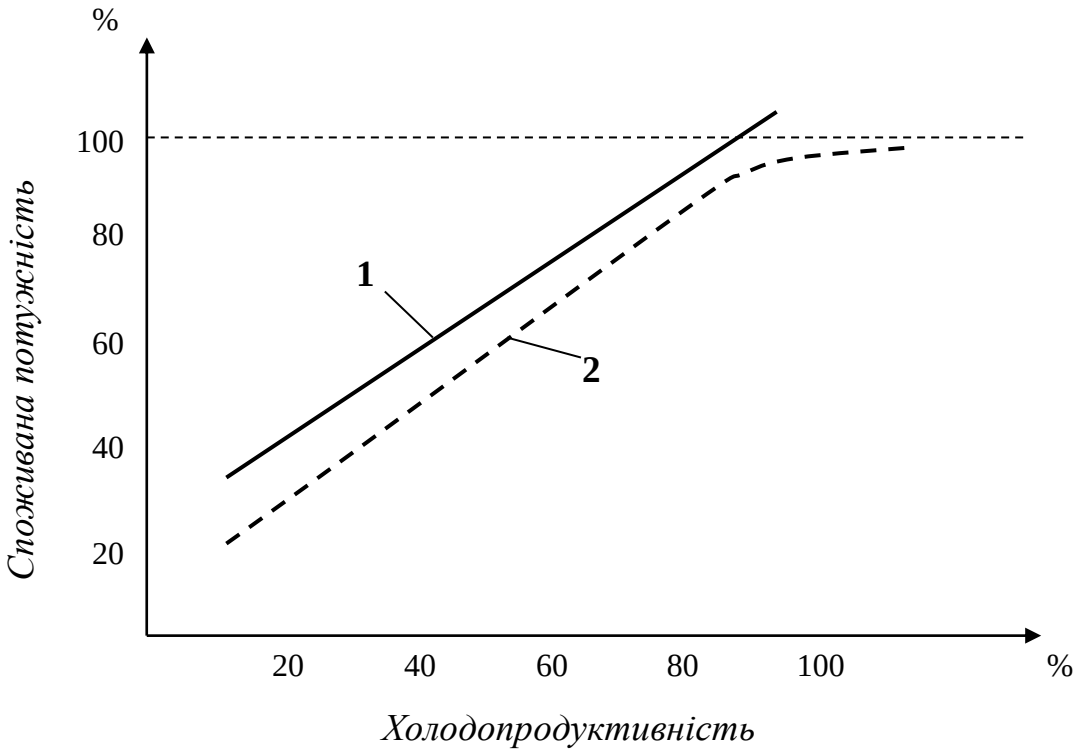


Рисунок 3.2 – Залежність споживаної потужності електроприводу від холодопродуктивності ХМ: 1 – контроль потужності за допомогою повзуна; 2 – контроль потужності за допомогою ТПЧ-АД

3.3 Принципи побудови оптимальних за критерієм енергоспоживання промислових холодильників

Процеси заморожування характеризуються наступними робочими характеристиками:

- тривалістю заморожування, параметрами середньої кінцевої температури продукту, кількістю відведеної теплоти, вологовмісту продукту, густини охолоджуваного продукту, геометрії розміру шматка (тіла) продукту;
- тривалістю холодильного зберігання різних продуктів харчування та підтримування стабільної низької температури в холодильних камерах супермаркетингів допомагають сповільнити зміни у продуктах, що є наслідками фізичних, хімічних та біологічних процесів і призводять до втрати маси, зміни зовнішнього вигляду, хімічного складу ,консистенції.
- усиханням продуктів тобто оцінка втрати маси через випарювання вологи, що призводить до втрати маси та погіршення якості продуктів;
- рівнем вологи, що випаровується з поверхні продукту і яка конденсується на поверхні охолоджувальних пристроїв у вигляді снігової шуби;
- шар снігу створює додатковий термічний опір, що змушує систему інтелектуального керування знижувати температуру та тиск кипіння холодоагенту, а отже потрібно в реальному масштабі часу (РМЧ) контролювати витрати електроенергії;
- окислення продуктів харчування (сало,масло,жирні породи риб тощо), що призводить до зміни смаку і кольору продуктів.

Експерти з питань заморожування та охолодження продуктів харчування [2, 8, 9, 10] вважають, що технологічні чинники, наведенні в моделі на рисунку 3.2 визначають енергетичну ефективність X1, кількісні параметри електроенергії за період роботи компресорних установок супермаркетингів, а загальний коефіцієнт енергоефективності, коефіцієнт теплопровідності, потужність компресорних установок тісно корелюють з питомими затратами електрики на одну тону заморожуваної продукції харчування.

Експерти з енергетичного аудиту [23] вважають, що на відхилення траєкторії електроспоживання ХМ ПРХ (поршневих компресорів, гвинтових компресорів, випарників-конденсаторів, насосів, приладів охолодження тощо) впливають як технологічні, так і енергетичні заходи. Поєднання цих двох методів дозволяє знизити енергоємність процесу виробництва холоду. Розглянемо ці заходи більш детальніше, звернувшись до рисунка 3.1.

Наведена методика аналізу електричного господарства ПРХ дозволяє автоматизувати процес управління траєкторією електроспоживання супермаркетингу на єдиній інформаційній платформі SCADA-систем,

АСКОЕ, автоматизованих систем управління електроспоживанням (АСУЕ). В свою чергу траєкторія електроспоживання підприємств торгівлі, в умовах обмежень потужності енергосистеми, визначає траєкторію оптимального виробництва холоду за допомогою автоматизованих систем управління технологічним процесом (АСУТП) [24].

Звідси слідує, що інтегровану автоматизовану систему управління супермаркетингу, можливо представити у вигляді трьох взаємозв'язаних рівнів управління. Нижній рівень утворюють:

– АСУТП холодильного обладнання залів зі зберігання м`ясних продуктів, транспортування сировини, холодильних камер із заморожування м'ясної продукції.

– АСУЕ технологічних операцій й торговельних залів пов'язаних між собою за допомогою SCADA – систем й автоматизованих систем управління процесами заморожування(охолодження) різних продуктів.

Середній рівень утворюють MES (Manufacturing Execution System) системи [23,24], які орієнтовані на інформатизацію задач оперативного планування і управління виробництвом охолодженої або замороженої продукції, оптимізацію виробничими процесами та втрат електроенергії, газу, води, мастильних матеріалів, дизельного палива, контролю й диспетчеризації використання планів і портфеля замовлень супермаркетингів і диспетчеризації електропостачання.

Верхній рівень автоматизованого управління підприємством (АСУП) утворюють ERP-системи, які забезпечують рішення стратегічних задач виконання портфеля продажу продукції, управління ресурсами, інвестиціями та забезпечують підтримку бізнес-процесів підприємства в цілому [24]. Цей рівень управління підприємствами торгівлі міста також зв'язаний з підсистемами інформаційного забезпечення, програмного забезпечення(ПЗ), прийняття стратегічних рішень, ситуаційного управління, Промислового Інтернету-речей (IIoT) та утворює з Центром ситуаційного управління супермаркетингів «СІЛЬПО» (ЦСУ) виробників продуктів харчування, підприємства-холодильника цифрову платформу «ХОЛОД».

На рисунку 3.4 представлено структуру інтегрованої інтелектуальної системи, яка забезпечує оптимізацію виробництва портфеля замовлень споживачів(підприємств торгівлі) в періоди обмежень електроенергії за допомогою експертних систем (ЕС) шляхом побудови бази даних (БД), бази знань (БЗ), динамічної бази оперативних технологічних даних, динамічної бази оперативного стану енергосистеми та бази правил (БП), автоматизованих робочих місць (АРМ).

Спроектована система холодозабезпечення супермаркетингів дозволяє мати резервні джерела електропостачання холодильного компресорного обладнання у вигляді дизель-генераторів відповідної потужності.

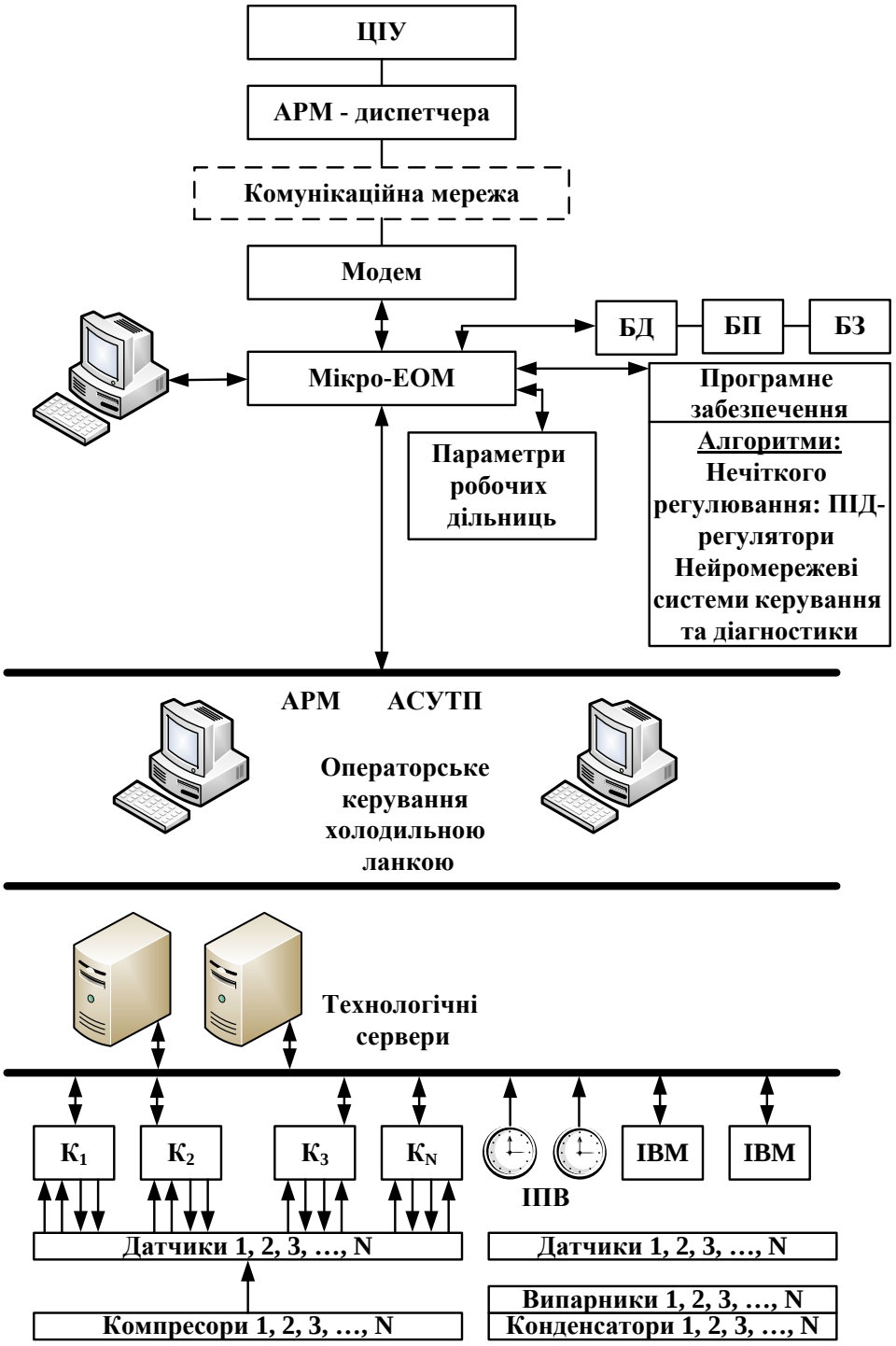


Рисунок 3.4 – Структура інтегрованої інтелектуальної системи управління холодозабезпечення холодильного обладнання супермаркетингу

Особливістю розробленої системи є:

по-перше, інтегрованість ЕС з АСУТП – MES – ERP системами, Ситуаційним Центром (ЦІУ) комплексу, Промисловим Інтернетом-речей (IIoT), цифровою платформою «ХОЛОД»; по-друге використано типове локальне обладнання для оптимізації заданих експлуатаційних характеристик. Звернемо увагу на принципи роботи локального обладнання:

1. Пресостат – регулятор тиску конденсації. «Цей пристрій встановлюють за спеціальним замовленням і використовують як регулятор тиску конденсації. Коли тиск у цьому трубопроводі вище заданої величини, вентилятор починає працювати, щоб знизити тиск конденсації; і навпаки, якщо тиск нижче, вентилятор зупиняється, щоб уникнути надмірного падіння тиску конденсації. Даний пресостат є ступінчастим регулятором тиску конденсації, його встановлюють поруч із компресором, він калібрується на 1,5 МПа в агрегатах з холодоагентом R22 і на 1,8 МПа в агрегатах з холодоагентом R404A.»

2. Регулятор швидкості вентиляторів конденсатора. «Даний пристрій плавно регулює тиск конденсації, вхідним параметром для нього служить температура холодоагенту на виході з конденсатора. Вентилятор працює без зупинок. Після нетривалого настроювання вентилятори працюють зі швидкістю, що підтримує постійну температуру конденсації. Регулятор швидкості перебуває усередині щита керування і калібрується на заводі, датчик регулятора швидкості перебуває в гільзі, на трубі виходу з конденсатора.»

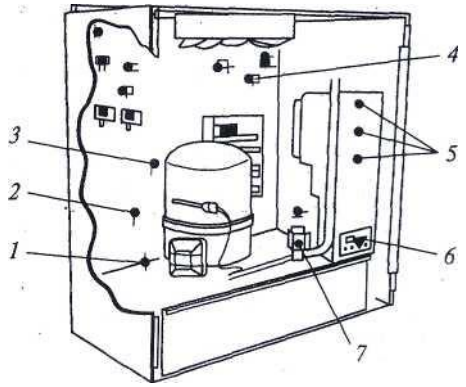


Рисунок 3.5 – Локальні системи автоматика компресорних агрегатів:
1 – фільтр-осушувач; 2 – індикатор вологості; 3 – регулятор тиску усмоктування; 4 – регулятор тиску конденсації; 5 – регулятор швидкості обертання вентилятора, що обдуває конденсатор; 6 – панель керування; 7 – соленоїдний вентиль відтавання

3. Соленоїдний вентиль рідинного трубопроводу. 4. Терморегулюючий вентиль. 5. Індикатор вологості рідини. 6. Клапан-регулятор тиску усмоктування. Встановлюють на агрегатах, у яких відтавання здійснюється гарячим холодоагентом. Він служить для запобігання попадання в компресор холодоагенту під час процесу відтавання, розміщається на усмоктувальній трубі біля компресора. Цей клапан калібрується на заводі приблизно на 0,25 МПа.

7. Обігрівач панелі керування. Допоміжний пристрій, що застосовується при установці агрегату у суворих кліматичних умовах, де тривалий час температура нижче -10 °С. Обігрівач встановлюють усередині комутаційної панелі. Оснащений внутрішнім термостатом, він служить для

підтримки температури, що необхідна для функціонування електричних приладів.

8. Обігрівач піддона випарника. 9. Обігрівач трубки зливу поталої води.

Холодильні агрегати крім пристріїв контролю і регулювання оснащені цілим рядом пристріїв захисту від аварій. Серед них розглянемо:

10. Пресостат високого тиску. Призначений для зупинки агрегату, якщо тиск нагнітання компресора занадто великий. Після відключення пресостат високого тиску перезапускається або автоматично, або вручну. Він буває двох типів: із установленим або каліброваним регулюванням. У кожному разі максимальна величина тиску 2,4 МПа в агрегатах з холодоагентом R22 і 2,8 МПа в агрегатах з холодоагентом R404A. Пресостат встановлюється на трьохфазних агрегатах, але за замовленням він може бути встановлений на будь-якому агрегаті.

Таким чином, багаторівневий підхід щодо проектування компресорного обладнання супермаркетингів дозволяє мінімізувати затрати енергії та оптимізувати експлуатаційні характеристики холодозабезпечення холодильних камер холодильного обладнання супермаркетингів.

Висновки

В першому розділі роботи для сучасних високоавтоматизованих підприємств торгівлі проведено аналітичний аналіз технологічного холодильного обладнання супермаркетингів, яке широко виробляється заводами країн ЄС та експлуатується в Україні

В якості критерія вибрано показник енергоефективності, тобто мінімізація енергозатрат на заморожування або охолодження 1 тони продукції.

Аналітичний огляд науково-технічної літератури та проведені дослідження показали можливість досягнення такої мети за рахунок впровадження на підприємствах з виробництва холоду сучасного автоматизованого холодильного обладнання, холодильних машин та промислових холодильників. При цьому робота таких систем повинна бути узгоджена з оптимізацією технологічних процесів виробництва холоду – холодопостачання певної кількості холодильних камер – та енергетичними параметрами синхронних та асинхронних двигунів поршневих і гвинтових компресорів холодильних машин.

У другому розділі роботи було визначено, що інтегральним показником енергоефективності камер є споживання холоду за одиницю часу на тонну продукції. Споживання електроенергії на вироблення холоду залежить від температурних режимів в камерах. Відповідно до відомих термодинамічних характеристик холодильних машин зі зниженням температури в камерах, питомі витрати електроенергії на вироблення холоду зростають. Однак цей очевидний фактор зміни енергоємності вироблення холоду слід враховувати лише при суттєвих коливаннях температури камер певного цільового призначення. Для реальних виробничих умов вихідною базою енергетично-економічного аналізу роботи холодильних камер є теплові баланси. Баланси теплонадходжень можуть бути отримані трьома способами: розрахунковим, дослідним та дослідно-аналітичним.

В другому розділі розроблені моделі заморожування продуктів харчування і запропоновано для використання шокову заморозку, як оптимальне енергетичне обладнання для зберігання заморожуваних продуктів харчування.

Проведено аналіз та вибір оптимальних холодоносіїв і обладнання за критерієм енергоефективності для зберігання заморожуваних (охолоджених) смарт-продуктів харчування.

В третьому розділі розглянуто **розробку холодильного обладнання та холодопостачання супермаркетингів з підвищеними енергоефективними характеристиками. Для цього автором роботи запропоновані** основні завдання оперативного управління обслуговуванням компресорними холодильними установками, принципи побудови системи управління на основі діагностики режимів роботи обладнання та вибрано стратегію обслуговування холодильного обладнання супермаркетингів.

Детально розглянуто принципи монтажу і налагодження холодильного обладнання супермаркетингів, що дозволяє диспетчеру – оператору холодильного обладнання мінімізувати аварійні ситуації та аварії в процесі його експлуатації.

Список використаних джерел

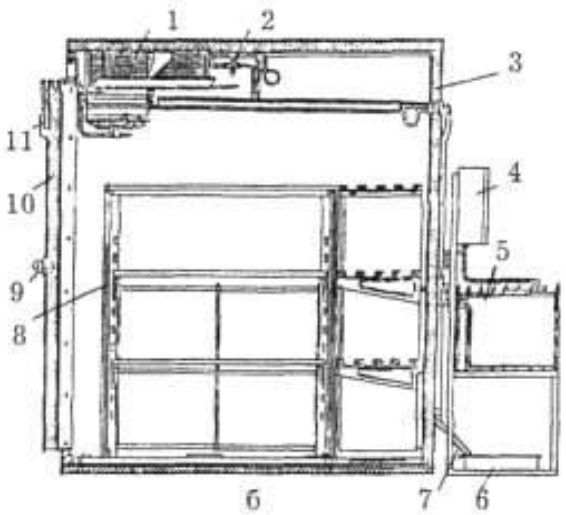
1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність», схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.
2. Хмельнюк М. Г., Яковлева О. Ю., Остапенко О. В. Енергетичний менеджмент і аудит. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2017. 224 с.
3. Хмельнюк М. Г., Подмазко О. С., Подмазко І. О. Холодильні установки та сфери їх використання : Підручник. Херсон : ФОП Грінь Д. С., 2014. 484 с.
4. Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджені постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 р. № 312.
5. Теплохолодотехніка : навч. посіб. / С. М. Василенко та ін. Київ : Ліра-К, 2019. 258 с.
6. Холодильні установки : підручник / за ред. І. Г. Чумака. Одеса : Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
7. Тітлов О. С., Горикін С.Ф. Холодильне обладнання підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Львів : Новий світ, 2011. 286 с.
8. Дячек П. И. Холодильные машины и установки : учеб. пособие. Ростов н/Д : Феникс, 2007. 424 с.
9. Омельченко О. В., Цвіркун Л. О., Ларін О. О. Моделювання холодильного обладнання для зберігання плодово-овочевої сировини. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. Вип. 2 (43). С. 131–138.
10. Котов Б. І., Грищенко В. О. Моделювання перехідних режимів обладнання холодильної камери та структури системи автоматичного керування (САК) температурно-вологісним режимом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. Вип. 39. С. 62–67.
11. Єрмілова Н. В., Кислиця С. Г., Тарасюк Р. М. Розроблення автоматизованої системи керування обладнанням овочесховища на базі нечітких нейронних мереж. *Системи управління, навігації та зв'язку.* 2019. Вип. 1 (53). С. 50–54.
12. Грищенко В. О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах: дис. … канд. тех. наук: 05.13.07. Київ, 2016. 212 с.
13. Automatic controls for industrial refrigeration systems. Retrieved from: https://web.fe.up.pt/~ee99259/projecto/conteudo%20teorico/artigos/Automatic%20Controls%20for%20Industrial%20Refrigeration%20Systems.pdf
14. Анатолій Чернявський та ін. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств. Консультування підприємств щодо енергоефективності. Київ, 2020. 148 с.
15. Півняк Г. Г. та ін. Системи енергоменеджменту та їх математичне забезпечення. Донецьк : НГУ, 2013. 214 с.

16. Соловей О. І., Ройзен В. П., Плешков П. Г. Основи енергоефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. Черкаси : видавець Чабаненко Ю., 2015. 316 с.
17. Дорошенко О. І., Раков Г. П. Про спроможність та доцільність використання синхронних двигунів у якості автоматизованих джерел реактивної електроенергії. *Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика*. Киев. 2006. Тематический выпуск. С. 323–324.
18. Правила роздрібного ринку електричної енергії, затверджених постановою НКРЕКП від 14 березня 2018 р. №312 (далі ПРРЕЕ розрахункові втрати ЕЕ у дільниці електричної мережі). В редакції закону №1396-IX від 15.04.2021 р.
19. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Серебреников В. М. Автоматизовані системи керування виробництвом смарт-продуктів харчування : монографія. Кривий Ріг : Видавець ФО-П Чернявський Д. О., 2021. 322 с.
20. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заікіна Д. П., Невідін В. І. Автоматизовані системи керування виробництвом заморожуваних продуктів харчування. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки.* Хмельницький, 2020. № 6 (291), С. 199–206.
21. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заікіна Д. П., Литвиненко А. К. Автоматизована система нечіткого керування процесами виробництва та заморожування ремісничого хліба. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки.* Хмельницький, 2021. № 1 (293), С. 227–233.
22. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Копайгора О. К., Заікіна Д. П., Кузьменко А. О., Невідін В. І. Інформаційна система керування виробництвом харчових смарт-продуктів з технологіями заморожування. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2020. № 2 (41). С. 79–88.
23. Kharlamov A. A. Attention mechanism usage to form framework structures on a semantic net. *Neurocomputers and Attention*. 1991. Vol.11. Manchester; New York, Manchester University Press. P. 747–756.
24. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Гончаренко В. А., Яровий Д. В., Расчехмаров І. В. Теоретичні основи багаторівневого автоматизованого керування холодозабезпеченням промислових холодильників. Обладнання та технології харчових виробництв. Кривий Ріг : ДонНУЕТ, 2021. Вип. 2 (43). С. 122–130.

Додатки

Додаток А

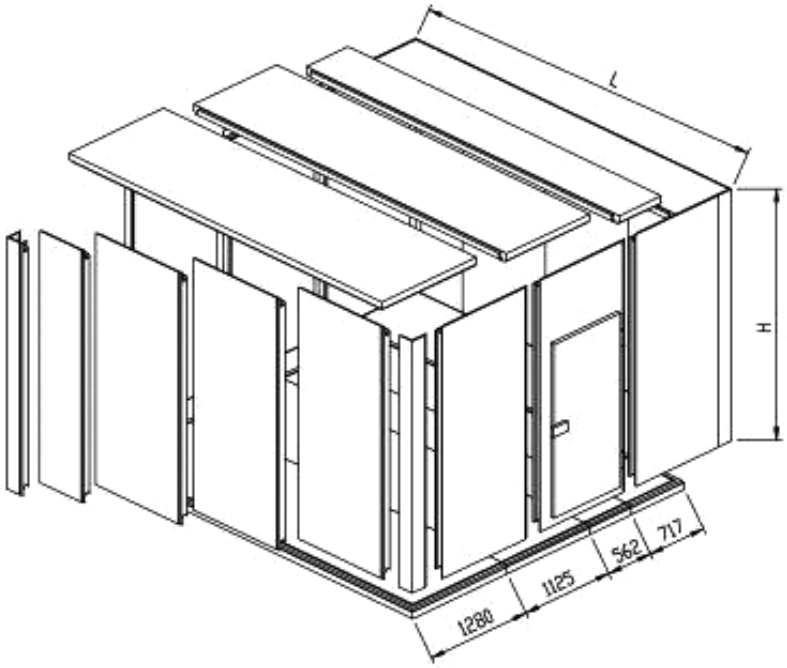
а



Середньотемпературна камера КХС-2-6М

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		*Бураков*			Середньотемпературна камера КХС-2-6М	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		*Хорольський*					1	54
						ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Н. Контр.		*Омельченко*						
Затверд.		*Омельченко*						

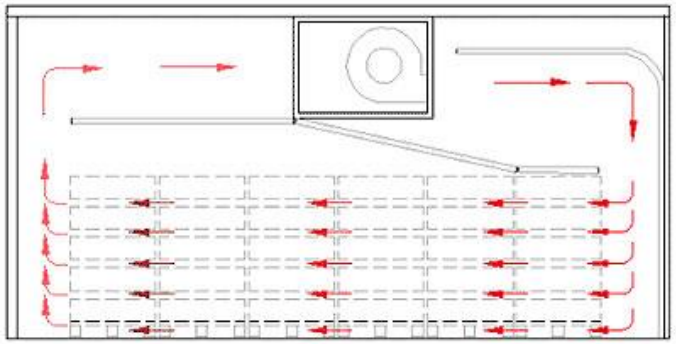
Додаток Б



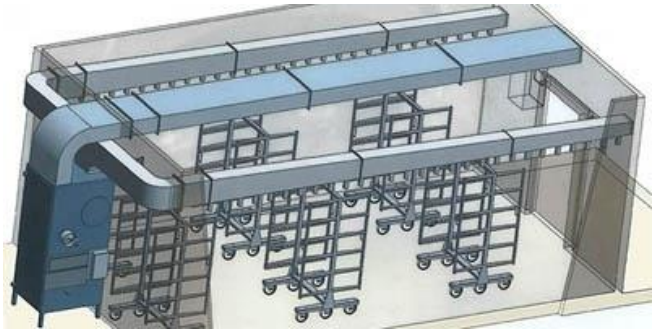
Збірна холодильна камера

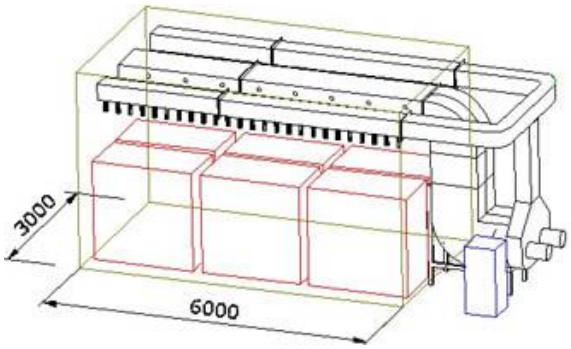
					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		*Бураков*			**Збірна холодильна камера**	Літ.	Арк. 2 / Аркушів 54
Перевір.		*Хорольський*					
Н. Контр.		*Омельченко*				**ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО**	
Затверд.		*Омельченко*					

Додаток В



Дефростаційно – морозильна камера з горизонтальною подачею потоку повітря.

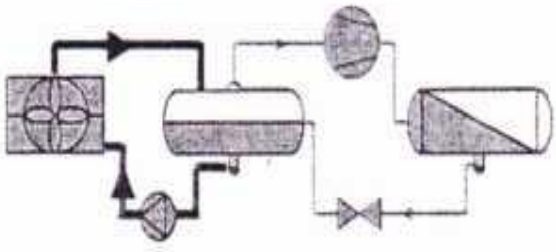


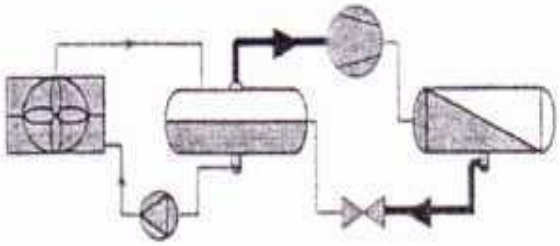


Дефростаційно – морозильна камера з вертикальною подачею потоку повітря.

					ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		*Бураков*			**Дефростаційно – морозильна камера з горизонтальною подачею потоку повітря. Дефростаційно – морозильна камера з вертикальною подачею потоку повітря.**	Літ.	Арк. 2 / Аркушів 54
Перевір.		*Хорольський*					
Н. Контр.		*Омельченко*				**ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО**	
Затверд.		*Омельченко*					

Додаток Г





Хладагент		R134a	R717	CO_2
Парожидкостная линия	Диаметр, мм	215	133	69
Жидкостная линия	Диаметр, мм	61	36	58

Хладагент		R134a	R717	CO_2
Линия всасывания	Диаметр, мм	168	102	53
Жидкостная линия	Диаметр, мм	37	21	35

Переваги застосування CO_2 з точці зору енергоефективності холодозабеспечення обладнання супермаркетингів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	**ДонНУЕТ.142. ЕМБ-18.2022.ПЗ**		
Розроб.		*Бураков*			Переваги застосування CO_2 з точці зору енергоефективності холодозабеспечення обладнання супермаркетингів	Літ.	Арк. 2 / Аркушів 54
Перевір.		*Хорольський*					
Н. Контр.		*Омельченко*				**ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО**	
Затверд.		*Омельченко*					