

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

РОЗРОБКА СХЕМИ КЕРУВАННЯ
КОМПРЕСІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

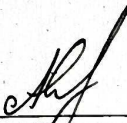
Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма «Електропобутова техніка»

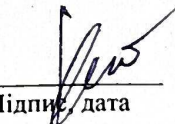
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
2 курсу група ЕТмз-24


Підпис

Кушнір Я.О.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

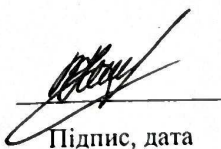
д.т.н., проф. Скиба М.Є.

Нормоконтролер


Підпис, дата

О.О.Тимошук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

10 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц., Шейник В.С.
Шейник _____ 12 _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кушнір Ярослав Олексійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка схеми керування компресійного холодильника**
Керівник роботи **Скиба Микола Єгорович, д.т.н., професор**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: **прототипи холодильників та схем керування температурою у камерах холодильника**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Огляд і аналіз теоретичних засад охолодження та технічних рішень схем регулювання температури компресійних холодильників

2 Розробка схеми регулювання температури компресійного холодильника із трьома камерами

3 Розробка конструктивної схеми керування температурою компресійного холодильника з трьома камерами

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Схема роботи холодильного агрегата компресійного холодильника Документ ілюстраційний. (A1). Аркуш 2. Пристрої та системи регулювання температури компресійних холодильників Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Схема зміни об'єму низькотемпературної камери компресійного холодильника Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4.

Схема холодильного агрегата компресійного холодильника з удосконаленою системою терморегулювання Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 5. Схема роботи сервопривода заслінки Схема структурна (A2). Аркуш 6. Схема роботи сервопривода заслінки Схема підключення (A2).

Аркуш 7. Схема керування холодильного агрегата компресійного холодильника Схема електрична функціональна (А1). Аркуш 8. Компресійний холодильник з удосконаленою схемою керування Вид загальний (А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

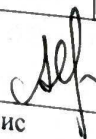
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

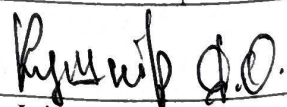
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

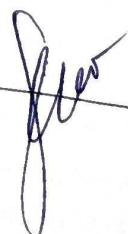
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд і аналіз теоретичних засад охолодження та технічних рішень схем регулювання температури компресійних холодильників	05.09.25р.	
2 Розробка схеми регулювання температури компресійного холодильника із трьома камерами	20.09.25р.	
3 Розробка конструктивної схеми керування температурою компресійного холодильника з трьома камерами	20.11.25р.	

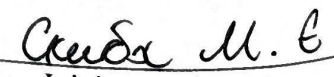
Студент

Підпис 


Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис 


Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Кушнір Ярослав Олексійович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка схеми керування компресійного холодильника
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента _____
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 78
5. Ця робота присвячена розробці схеми керування компресійного холодильника

У роботі описується розробка та реалізація схеми керування компресійного холодильника. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі зроблено огляд та аналіз теоретичних засад охолодження та технічних рішень та схем регулювання температури компресійних холодильників.

В другому розділі розроблено структурну схему системи терморегулювання трикамерного холодильника компресійного типу. Застосування цієї схеми керування дає змогу задавати необхідне положення вала серводвигуна, яке відповідає закритому, частково відкритому або повністю відкритому положенню заслінки, що регулює подачу холодного повітря з морозильної камери до середньої (кріоскопічної) камери.

В третьому розділі було спроектовано та розраховано механізм переміщення заслінки, призначений для трансформації «нульової» камери модернізованого холодильника. Також із використанням сучасних програмних засобів, доступних у мережі Internet, виконано вибір відповідного сервоприводу для переміщення заслінки та проведено основні розрахунки, які підтверджують працездатність запропонованої конструкції. Крім того, здійснено перевірочний розрахунок холодопродуктивності холодильника з урахуванням зміни об'єму низькотемпературної камери, що реалізується шляхом перетворення трикамерного холодильника на двокамерний із збільшеним об'ємом низькотемпературного відділення.

Підпис студента _____

« 10 » 12 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК

Протокол 5 від « 29 » 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно 1 А 1100

Рекомендації ЕК -




Особливі відмітки -

Технічний секретар _____

« 29 » 12 20 25 р.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Огляд і аналіз теоретичних засад охолодження та технічних рішень схем регулювання температури компресійних холодильників	7
1.1 Аналіз теоретичних засад охолодження компресійних холодильників	7
1.2 Аналіз конструктивних особливостей компресійних холодильників і схем регулювання температури	14
2 Розробка схеми регулювання температури компресійного холодильника із трьома камерами	26
2.1 Призначення та принцип дії компресійного холодильника із трьома камерами	26
2.2 Розробка структурної схеми регулювання температури прототипу компресійного холодильника із трьома камерами	30
2.3 Розробка схеми керування системою регулювання температури компресійного холодильника із трьома камерами	35
2.4 Розробка електричної схеми керування температурою камер холодильника з трьома камерами	46
3 Розробка конструктивної схеми керування температурою компресійного холодильника з трьома камерами	55
3.1 Визначення конструктивних параметрів заслінки для регулювання температури в камерах холодильника	55
3.2 Вибір серводвигуна приводу заслінки для регулювання температури в камерах холодильника	59

МРМА 25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка схеми керування компресійного холодильника	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Кушнір					y	4	
Перевір.	Скиба					ХНУ, ЕТмз-24		
Затвер.	Неймак							

3.3 Розрахунок механізму переміщення заслінки для регулювання температури в камерах холодильника	63
3.4 Розрахунок конструктивних і енергетичних параметрів холодильного агрегату холодильника із удосконаленою схемою регулювання температури в камерах холодильника	64
Висновки	75
Перелік джерел посилань.....	76
Додатки	78

ВСТУП

Серед численних побутових пристроїв, що спрощують працю та підвищують рівень побутової культури, важливу роль відіграє холодильник. Лише за наявності холодильника в оселі можна забезпечити повноцінне й збалансоване харчування з використанням якісних свіжих і заморожених продуктів.

При цьому зменшується потреба у частих відвідуваннях магазинів і з'являється можливість закуповувати продукти великими партіями, що дає змогу заощаджувати не лише час домогосподарств, а трудові і часові ресурси працівників роздрібної торгівлі.

Останніми роками ринок побутової техніки поповнився значною кількістю високоякісних моделей холодильників як одних із найскладніших побутових пристроїв.

Однак для ефективного розв'язання проблеми повноцінного харчування населення та одночасного нарощування виробництва холодильників необхідно визначити їх оптимальні характеристики:

- оптимальні температурні режими, що забезпечують одночасне зберігання різних продуктів;
- співвідношення відділень з додатними та від'ємними температурами;
- надійне регулювання температури в кожному відсіку холодильника.

Отже, завдання кваліфікаційної роботи магістра полягає в максимально можливому розв'язанні зазначених проблем і поліпшенні техніко-економічних показників холодильників, спроектованих у процесі модернізації, зокрема шляхом розроблення нових систем температурного регулювання.

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ СХЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОМПРЕСІЙНИХ ХОЛОДИЛЬНИКІВ

1.1 Аналіз теоретичних засад охолодження компресійних холодильників

Компресійна холодильна установка призначена для відведення теплової енергії з внутрішнього об'єму холодильника та передачі її в навколишнє середовище. Холодильне обладнання побутових холодильників являє собою одноступінчасту компресорну систему.

Схему ідеального компресійного холодильника з розширювальним циліндром подано на рисунку 1.1.

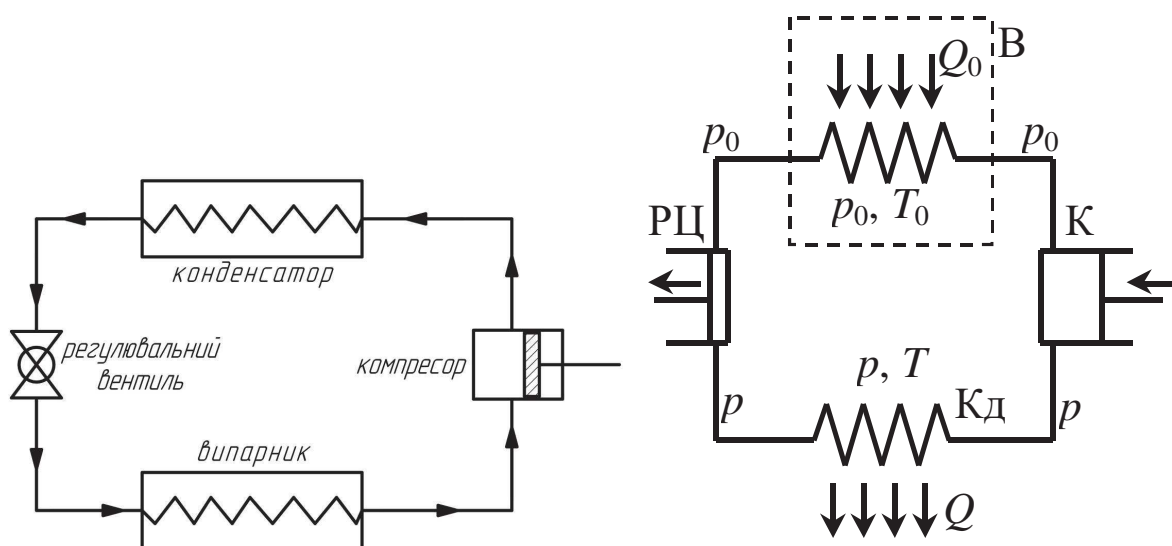


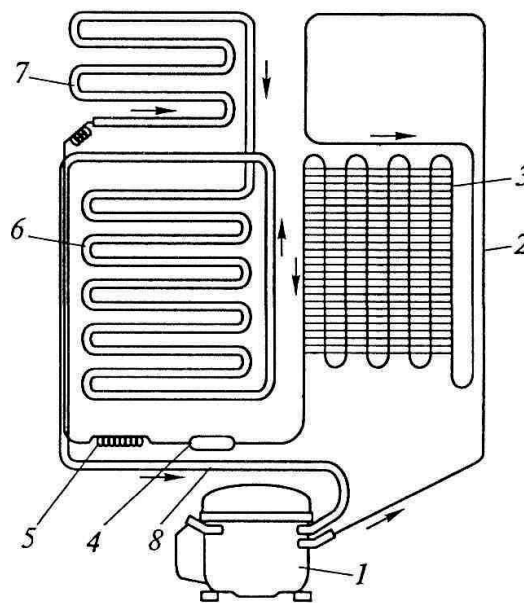
Рисунок 1.1 - Схема роботи загальної парової компресійної машини: В – випарник, Кд – конденсатор, К – компресор, РЦ – розширювальний циліндр, Q_0 - поглинання тепла з холодильника, Q – віддача в навколишнє середовище

Ідеальний режим роботи парового компресора полягає в такому. Рідкий холодоагент під тиском p_0 надходить у випарник В, де при від'ємній температурі T_0 закипає та поглинає з охолоджувальної камери сталу кількість теплоти Q_0 за одиницю часу, що характеризує холодопродуктивність установки. Пари хо-

лодоагенту всмоктуються компресором К, який підтримує у випарнику постійний тиск кипіння p_0 , після чого під тиском p вони подаються до конденсатора Кд. За умови $p > p_k$ (де p_k — тиск конденсації, що відповідає температурі конденсації T_k) пари холодоагенту переходять у рідкий стан при температурі $T = T_k$, віддаючи теплоту конденсації Q навколишньому середовищу. Далі рідкий холодоагент надходить у розширювальний циліндр РЦ, у якому його тиск зменшується з тиску конденсації p до тиску кипіння p_0 у випарнику.

Після зниження тиску до p_0 у випарнику холодоагент знову закипає, використовуючи теплоту Q_0 з охолоджувальної камери для процесу випаровування. Такі замкнені цикли циркуляції холодоагенту в системі відбуваються безперервно протягом усього часу роботи компресора [3].

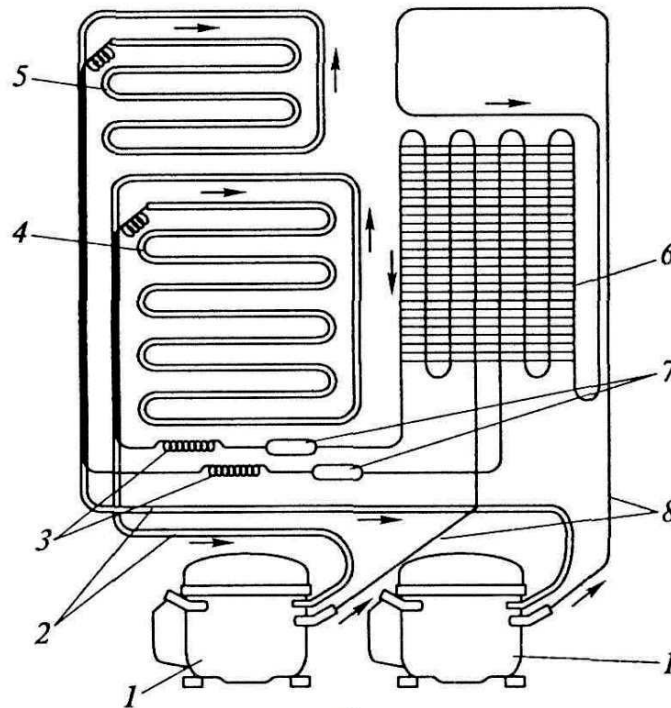
Технічну схему герметичного холодильного агрегату компресійного холодильника подано на рисунку 1.2.



- 1 – компресор; 2 – нагнітальна магістраль; 3 – конденсатор; 4 – фільтр-осушувач; 5 – дросельний клапан (капіляр); 6 – випарник холодильного відділення; 7 – випарник морозильного відділення;
8 – всмоктувальна лінія холодоагенту:

Рисунок 1.2 - Схема холодильного агрегата побутового холодильника із одним компресором

На сучасному етапі в побуті застосовуються однокамерні, двокамерні та трикамерні холодильники, а також моделі з одним або двома компресорами (рис. 1.2, 1.3), системою NO FROST, електронним керуванням, комбіновані холодильники та інші типи [2,4].



1 – компресор; 2 – усмоктувальний трубопровід; 3 - дросельний клапан (капіляр); 4 – випарник холодильного відділення; 5 – випарник морозильного відділення; 6 – конденсатор; 7 – фільтр-осушувач; 8 - нагнітальна магістраль

Рисунок 1.3 - Схема холодильного агрегата побутового холодильника із двома компресором

Набули широкого поширення холодильники, обладнані системою NO FROST. Моделі з такою системою відрізняються від холодильників із традиційним способом охолодження тим, що в них застосовується вентилятор для примусової циркуляції повітря всередині відділень, а також використовується один випарник для внутрішнього охолодження (див. рисунок 1.6). Такий випарник має назву повітроохолоджувача. У холодильниках цього типу випарник розмі-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

щується за пластиковою панеллю, тоді як у камерах холодильника він зазвичай відсутній.

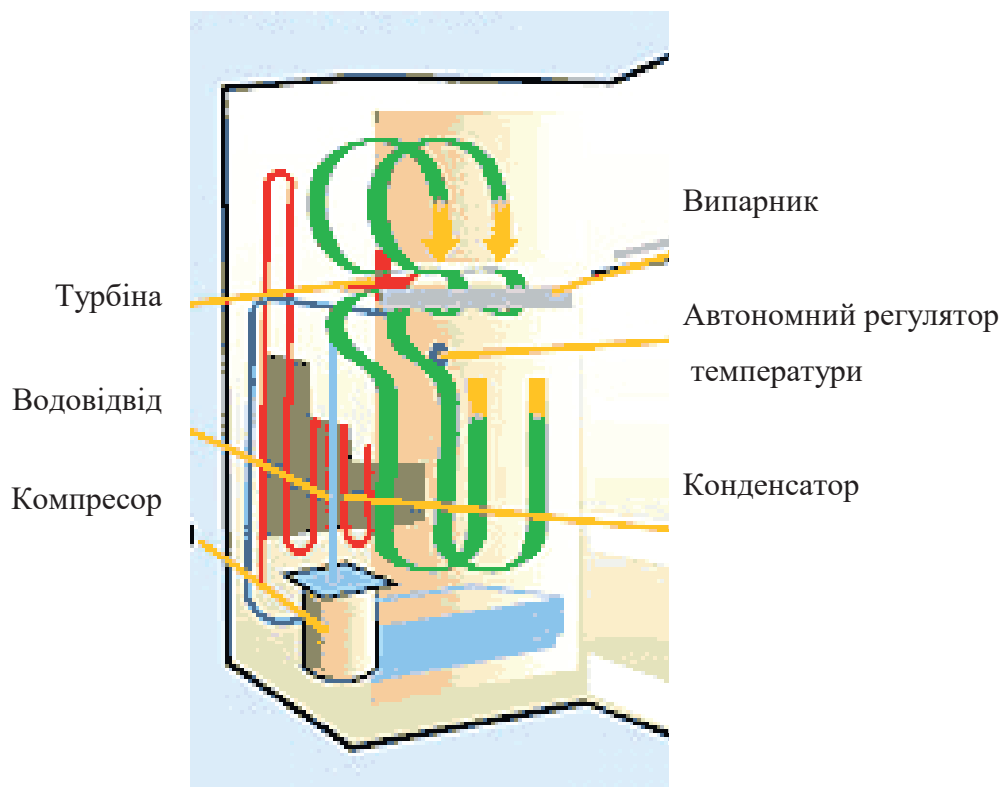
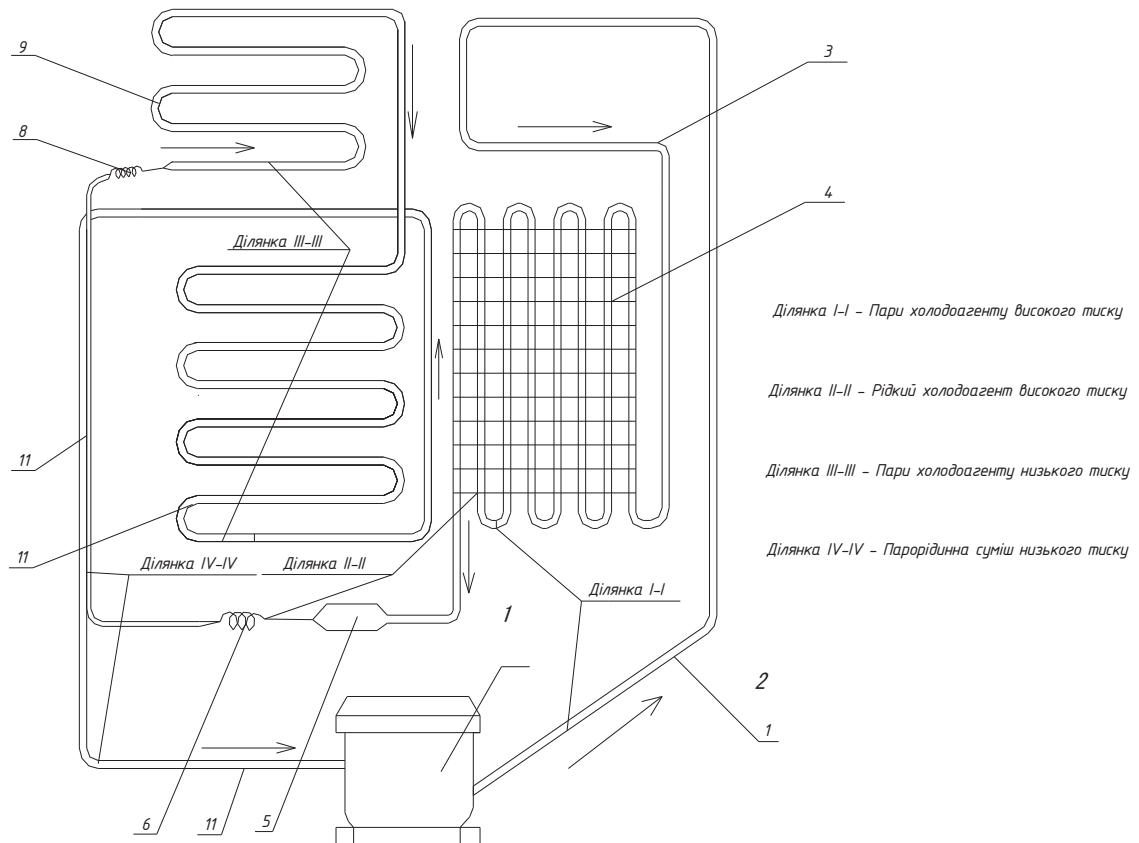


Рисунок 1.4 – Конструкція холодильника системи NO FROST

За конструкцією випарник (повітроохолоджувач) холодильника з системою NO FROST у більшості моделей подібний до автомобільного радіатора і може розташовуватися як у верхній, так і у нижній частині морозильної камери або за панеллю на її задній стінці. Безпосередньо за випарником встановлюється вентилятор, який засмоктує повітря з морозильного та холодильного відділень у повітроохолоджувач. Проходячи через випарник, повітря охолоджується і далі через систему повітропроводів подається до охолоджуваних продуктів.

Схема агрегатного стану холодоагента у елементах холодильного агрегата компресійного типу показано на рисунку 1.5 та у графічній частині [МРМА 25.00.00.000 ДІ1].



1 - мотор-компресор; 2 - трубка нагнітальна; 3 - контур обігріву дверей морозилки; 4 - конденсатор; 5 - фільтр-осушувальний патрон; 6 - капілярна трубка; 7 - теплообмінник; 8 - капілярна трубка морозилки; 9 - випарник морозилки; 10 - випарник холодильної камери; 11 - трубка всмоктувальна

Рисунок 1.5 - Схема агрегатного стану холодоагенту у елементах холодильного агрегата компресійного типу

У холодильних установках як холодоагенти застосовують різні речовини, проте найбільш поширеним є R134a (фреон). Компресор є основним вузлом, що забезпечує функціонування холодильника, оскільки саме він здійснює циркуляцію холодоагенту в системі. Від його роботи залежать ефективність, економічність та продуктивність холодильного обладнання. Усі побутові холодильники комплектуються одноциліндровими поршневыми компресорами.

Конденсатор являє собою теплообмінний апарат, у якому пари холодоаге-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

11

нту, охолоджені до температури конденсації, переходять у рідкий стан та віддають теплоту навколишньому середовищу.

Випарник є теплообмінним пристроєм, у якому теплота передається від охолоджуваного об'єкта до холодоагенту, що випаровується. За принципом дії випарник аналогічний конденсатору, однак відмінність полягає в тому, що в конденсаторі холодоагент віддає тепло зовнішньому середовищу, а у випарнику, навпаки, поглинає його з охолоджуваного об'єкту.

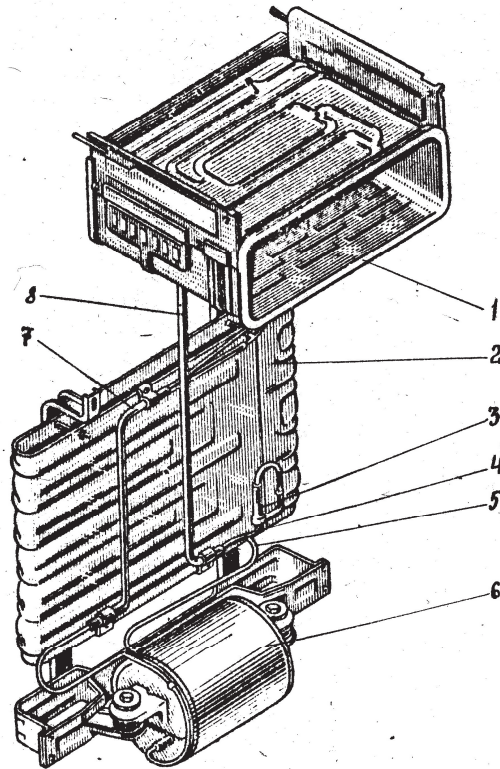
Теплообмінник також належить до теплообмінних пристроїв і складається з припаяної всмоктувальної магістралі та капілярної трубки. Його призначення полягає в перегріві пари, що надходить на всмоктування в компресор, і переохолодженні рідкого холодоагенту, який подається у випарник через капіляр, що сприяє підвищенню ефективності роботи холодильної установки.

Капілярні трубки є найпростішими та водночас надійними регулювальними елементами. Вони виконуються у вигляді мідної трубки з внутрішнім діаметром 0,5–1,0 мм і довжиною 2–3 м. Геометричні параметри та пропускна здатність капіляра мають забезпечувати витрату холодоагенту, що відповідає масовій подачі системи. Капілярна трубка вирівнює тиск між конденсатором і випарником, а також полегшує пуск електродвигуна компресора після його зупинки під час роботи холодильника.

Для нормальної роботи капілярної трубки необхідно застосовувати надійний фільтр та встановлювати цеолітовий осушувач у магістралі між конденсатором і капіляром.

На рисунку 1.6 наведено структурну схему типової однокомпресорної холодильної установки. Технічний процес утворення холодного повітря здійснюється таким чином. Компресор 6 подає перегріту пару холодоагенту по трубопроводу 7 у конденсатор, де за умов високого тиску вона охолоджується та поступово переходить у рідкий стан.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – випарник, 2 – конденсатор, 3 – фільтр, 4 – осушувач, 5 – всмоктувальний трубопровід, 6 – мотор-компресор, 7 – нагнітальний трубопровід, 8 – теплообмінник

Рисунок 1.6 – Холодильний агрегат компресорного холодильника

Рідкий холодоагент із конденсатора проходить через фільтр-осушувач 3 і надходить у капілярну трубку 4, частина якої припаяна до всмоктувальної трубки 5, утворюючи теплообмінник 8. У теплообміннику відбувається переохолодження рідкого холодоагенту під час його руху капілярною трубкою, що сприяє підвищенню ефективності роботи установки. Одночасно тиск холодоагенту в капілярі зменшується з тиску конденсації (приблизно 7–12 атм, залежно від температури навколишнього середовища) до тиску кипіння, який становить близько 1–1,5 атм.

Рідкий холодоагент, що надходить у випарник 1, за умов низького тиску інтенсивно закипає та поглинає теплоту з холодильної камери. Парі холодоагенту по всмоктувальній магістралі повертаються з випарника до компресора. Та-

ким чином, ділянка холодильного агрегату від нагнітального клапана компресора до капілярної трубки перебуває під високим тиском, тоді як частина системи від випарника до всмоктувального клапана компресора працює під низьким тиском [3].

1.2 Аналіз конструктивних особливостей компресійних холодильників і схем регулювання температури

Під час зберігання харчових продуктів температура в холодильній камері має підтримуватися на заданому рівні. Як відомо, температура об'єкта залишається сталою лише за умови теплової рівноваги між ним і навколишнім середовищем. Іншими словами, для збереження незмінної температури продуктів після їх охолодження необхідно відводити за допомогою холодильного агрегату всю кількість тепла, що надходить у камеру за певний проміжок часу.

У разі порушення цієї умови температурний режим у холодильній камері змінюється. Так, якщо до випарника надходить більша кількість тепла, ніж здатний відвести охолоджувальний вузол, температура всередині камери зростає. Навпаки, коли холодопродуктивність установки перевищує теплове навантаження на вході, температура в камері знижується.

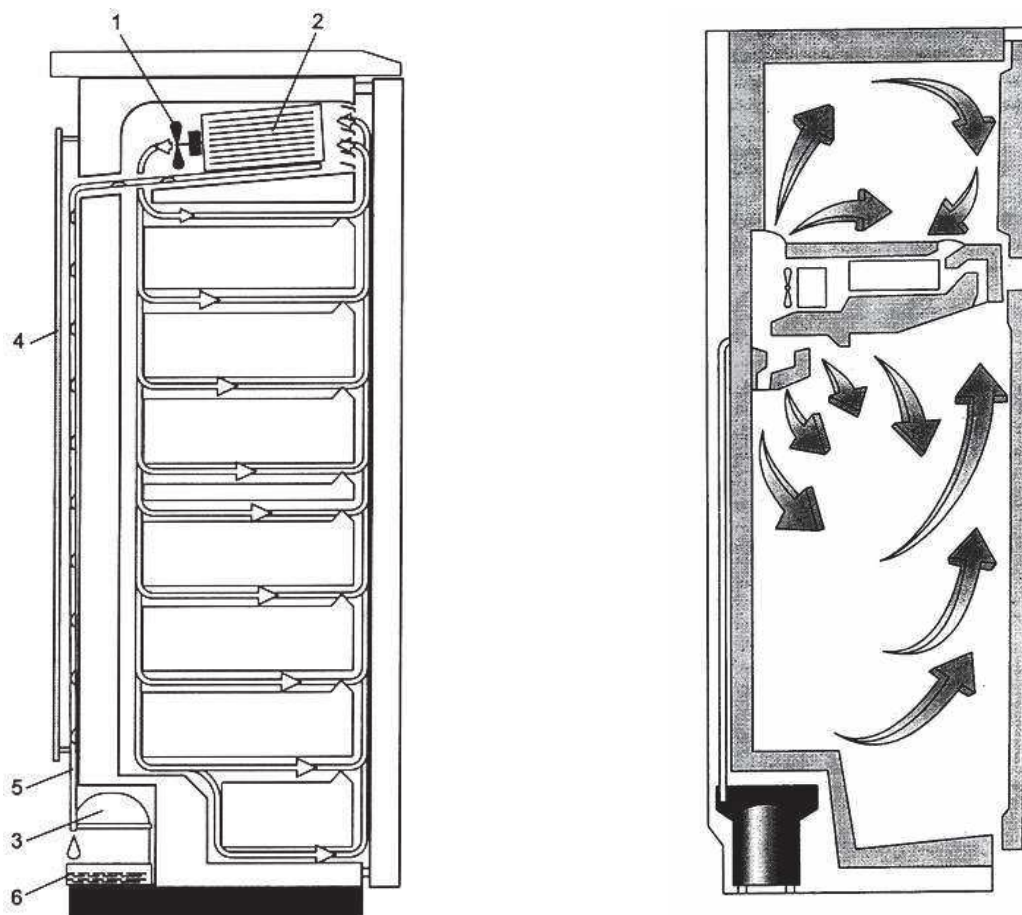
Отже, для забезпечення стабільної температури в холодильній камері необхідно регулювати холодопродуктивність установки відповідно до змін теплового навантаження випарника.

У холодильних агрегатах застосовують прямий і непрямий способи регулювання температури. Прямий спосіб передбачає розміщення датчика терморегулятора безпосередньо всередині холодильника для підтримання постійної температури повітря. Непрямий спосіб забезпечує підтримання температури, близької до температури кипіння холодоагенту або температури поверхні випарника. Кожен із цих методів має свої переваги та недоліки. У холодильниках із конвекційним охолодженням камер найчастіше застосовують непрямі методи тер-

морегулювання. У моделях із примусовою циркуляцією повітря, як правило, використовується прямий метод, за якого температура в обох камерах контролюється шляхом зміни кількості холодного повітря, що подається до них.

Холодильники з конвекційним способом охолодження зазвичай оснащені двоточковою системою керування, яка вмикає та вимикає електродвигун компресора при досягненні чутливим елементом або датчиком верхньої та нижньої меж температури (температури вмикання і вимикання). Різниця між цими значеннями називається диференціалом приладу.

Система «No Frost» проілюстрована на прикладі вертикальної морозильної камери AEG на рисунку 1.7 [3].



1 - вентилятор; 2 - випарник; 3 – мотор-компресор; 4 - зовнішній теплообмінник (конденсатор холодоагенту); 5 – канали стоку водного конденсату; 6 - піддон для збору конденсату

Рисунок 1.7 - Система No Frost компресійного холодильника

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

15

За допомогою вентилятора 1 холодне повітря рівномірно розподіляється по внутрішньому об'єму камери та відводить вологу, що спричиняє утворення інею, до випарника 2, де вона замерзає. Завдяки автоматичній системі морозильної камери випарник періодично розморожується, при цьому вентилятор тимчасово зупиняється, а тала вода стікає в піддон 6 і випаровується. У результаті в морозильній камері не накопичується лід, і необхідність у ручному розморожуванні відсутня.

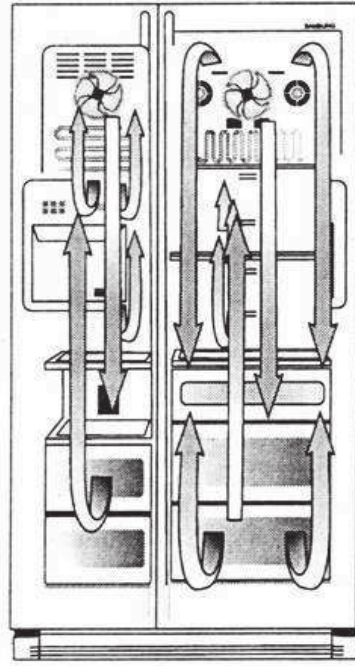
Недоліком системи «No Frost» є залежність схеми повітряних потоків усередині холодильника, а отже і ефективності охолодження окремих зон, від ступеня та характеру завантаження продуктами. Крім того, система «No Frost» виставляє певні вимоги до упакування продуктів, оскільки за відсутності упаковки примусова циркуляція повітря призводить до їх висушування.

Ряд виробників реалізують окремі системи «No Frost» для морозильної та холодильної камер [8]. На рисунку 1.8 наведено схему додаткової подвійної системи охолодження Samsung, у якій холодильна і морозильна камери охолоджуються незалежно одна від одної, а верхня та нижня морозильні камери розміщені поруч.

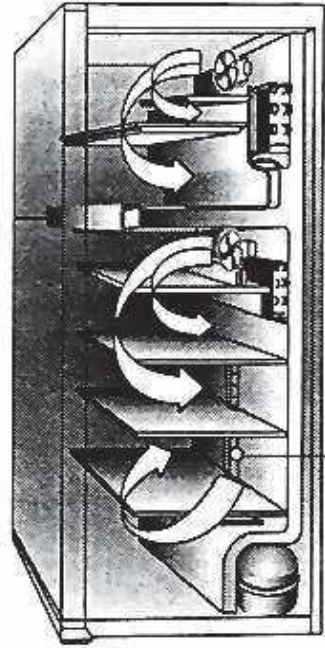
З метою усунення проблеми формування нерівномірного температурного поля в холодильній або морозильній камері виробники постійно вдосконалюють системи циркуляції повітря.

На рисунку 1.9 зображена система Samsung Super-X-Flow, що являє собою вертикальний гвинтовий вентилятор, встановлений на задній стінці холодильної камери, який формує закручений повітряний потік із вертикально спрямованою віссю обертання.

Низка виробників побутової техніки розробляє власні системи організації багаторівневого розподілу повітряних потоків у холодильному відділенні. Зокрема, компанія Samsung застосовує систему Multi-Flow (рис. 1.10), якою оснащуються холодильники з подвійною системою охолодження.



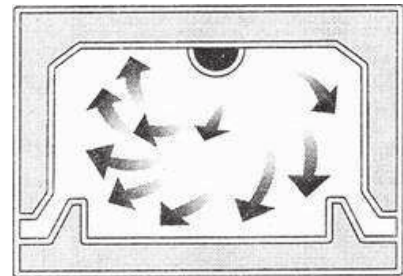
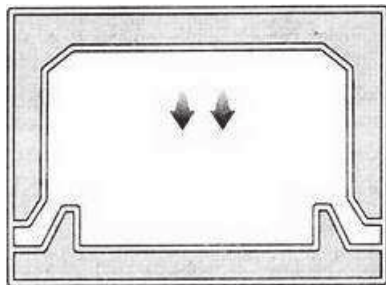
а)



б)

а) у холодильнику side-by-side; б) у холодильному апараті із верхнім розташуванням морозильної камери

Рисунок 1.8 - Система Twin Cooling System фірми Samsung.



а - система Super-X-Flow, б - Система Super-X-Flo

Рисунок 1.9 – Системи регулювання потоків

Компанія Merloni Elettrodomestici впровадила у своїх холодильниках систему AIR (Ariston Integrated Refrigeration), що забезпечує рівномірний розподіл температури по всьому об'єму холодильного відділення та дає змогу швидко відновлювати температурний режим навіть за умов частого відкривання дверцят.

Система A.I.R. фірми Merloni Elettrodomestici S.p.A. функціонує за прин-

ципом спрямованої циркуляції повітря: охоложене повітря (потік А) подається вниз, тоді як тепле повітря (потік В) відводиться через верхній кільцевий повітрозабірник, що показано на рисунку 1.11. Наявність примусової вентиляції в холодильному відділенні позначається літерою V у маркуванні моделей, наприклад: Ariston ERFV 402 X, ERFV 383 X, EDFV 450 X.

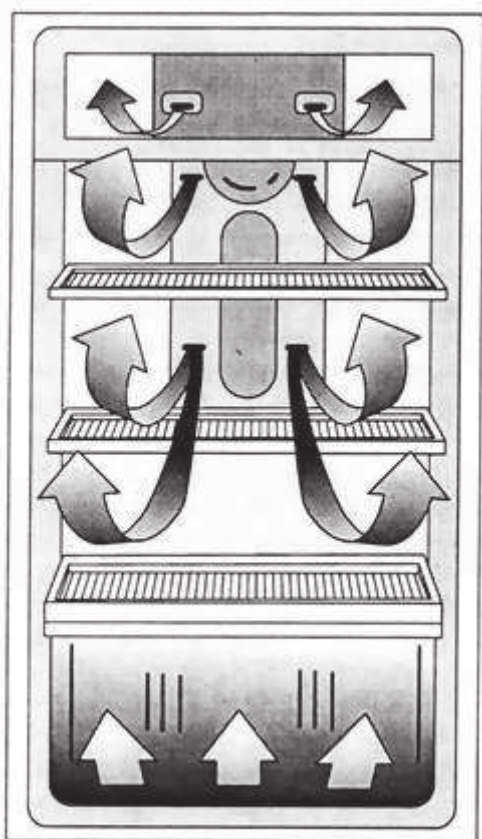


Рисунок 1.10 - Система Multi-Flow фірми Samsung

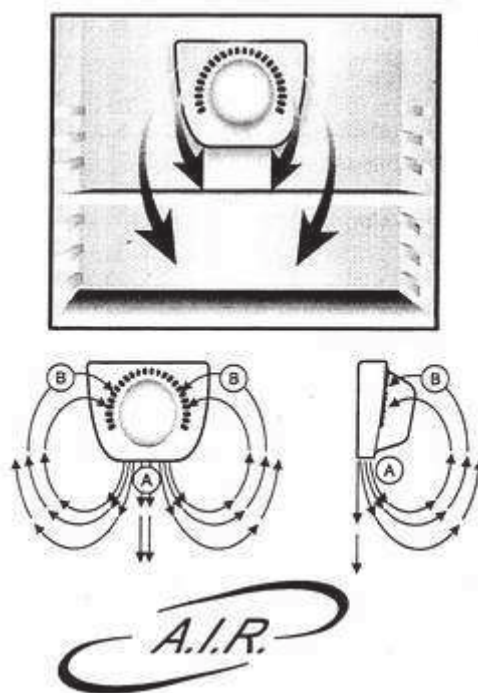


Рисунок 1.11 - Система A.I.R. фірми M?erloni Elettrodomestici S.p.A :A - потік охоложеного повітря; B - тепле повітря

Аналогічну функцію виконує система примусової циркуляції повітря DAC (Dynamic Air Cooling), яка використовується в холодильниках серії Zanussi Rondo. Схожий принцип реалізовано також у системі вентиляції компанії ВЕКО, зокрема в моделі холодильника ВЕКО NCH 5010.

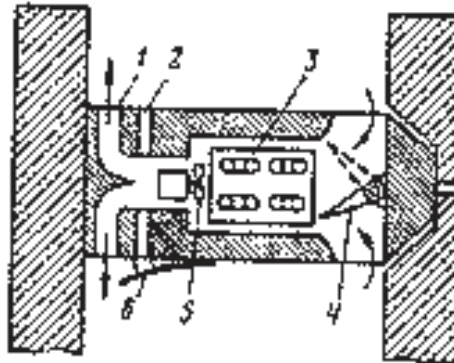
Примусова циркуляція повітря в камері забезпечує рівномірніший розпо-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

MPMA 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
18

діл температури в усьому об'ємі, зменшує утворення снігових нашарувань завдяки обдуву випарника, підвищує вологість циркулюючого повітря і, як наслідок, покращує умови зберігання продуктів. Одна з принципових схем двокамерного холодильника з примусовою циркуляцією повітря наведена на рисунку 1.12.



1 - канал основний, 2 - канал додатковий, 3 – випарник, 4 - заслінка регулююча,
5 – вентилятор, 6 – клапан

Рисунок 1.12 - Схема регулювання температури у холодильниках з примусовою циркуляцією повітря

У горизонтальній перегородці, що розділяє морозильну та холодильну камери, змонтовано ребристий трубчастий випарник із вентилятором. Вентилятор засмоктує повітря через передній канал, прикритий декоративною заслінкою, після чого охолоджене повітря подається в об'єм камери випарника через систему основного каналу 1 та додаткового каналу 2. У додаткових каналах встановлені спеціальні клапани на термочутливих біметалевих пластинах. У разі перевищення допустимої температури в певній камері клапан відкриває додаткові канали, унаслідок чого змінюється напрям і інтенсивність повітряного потоку, а відповідно і температура.

Регулювання повітряного потоку в такому холодильнику здійснюється за допомогою рухомих заслінок, які змінюють поперечний переріз повітропроводу. Таким чином, керування температурним режимом у двокамерному холодильнику реалізується шляхом зміни повітряного потоку, а саме: коригуванням тривалості роботи вентилятора, швидкості обертання його електродвигуна та

площі перерізу повітропроводів із заслінками.

Система термостатування побутових холодильників забезпечує можливість задання й підтримання різних температурних режимів. Конструктивні принципи таких систем залежать від способу охолодження, що використовується в холодильній або морозильній камері. У побутових холодильниках із природною конвекцією (циркуляцією) повітря система контролю температури складається з термостата та холодильного агрегату, де термостат виконує функцію керувального елемента, а агрегат — виконавчого.

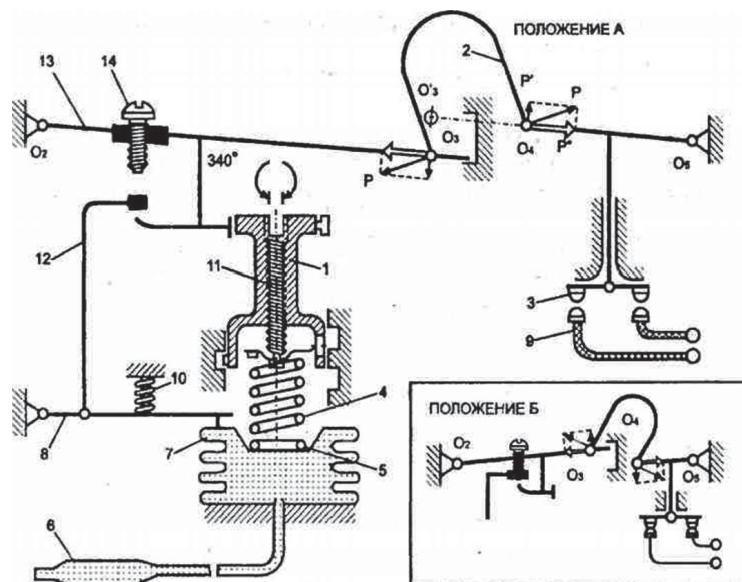
Термостат застосовується для керування роботою електродвигуна компресора в механічних системах керування холодильником. Терморегулятор розміщується на передній панелі приладу або безпосередньо в холодильній камері, а регулювальна ручка має цифрову шкалу, зазвичай від 1 до 7 (можливі й інші варіанти шкал температурного налаштування). За допомогою цієї ручки задають температуру, за якої термостат вимикає живлення компресорного двигуна. Сильфон термостата являє собою трубку, заповнену газом. Під час охолодження діафрагми контакти розмикаються, чинячи тиск на діафрагму, внаслідок чого живлення двигуна-компресора припиняється. Сильфон термостата з'єднаний із так званим «плачучим» випарником (у більшості моделей), за винятком повітряного термостата, який застосовувався в холодильниках системи NO FROST (у сучасних моделях NO FROST керування здійснюється електронними засобами).

На сьогодні терморегулятори з різними конструктивними удосконаленнями найчастіше застосовуються в побутових компресійних холодильниках. Використовується реле-датчик температури і тиску (терморегулятор), призначений для підтримання заданого температурного режиму в холодильній або морозильній камері побутового холодильника.

При цьому температура всередині капілярної трубки 6 підвищується (рисунки 1.13). У разі притискання до стінки випарника тиск холодоагенту-12 зростає, сильфон у трубці збільшується в об'ємі, а сильфон 7 розширюється. Днище 5 сильфона 7 стискає пружину 4, а нижній виступ діє на важіль 8. Натискаючи

на гвинт 14, шток 12 повертає важіль 13 проти годинникової стрілки навколо осі O_2 . Сила P , що виникає внаслідок дії похилої пружини 2, має складову P' , спрямовану вгору, у положенні А. Під час проходження точки O'_3 через положення O_3 ця складова дорівнює нулю, а при наступному переміщенні важеля 13 змінює напрям на протилежний. У результаті контакт 3 різко опускається, і електричне коло замикається (положення В).

За зниження температури в капілярі взаємодія елементів приладу відбувається у зворотній послідовності під дією сильфону 7 і пружини 10. Температури вмикання та вимикання налаштовуються шляхом регулювання натягу пружини за допомогою штока 1, гвинта 11 та гайки.



1 - шток; 2 - пружина перекидна; 3, 9 - контакти, 4 - пружина; 5 - дно сильфону, 6 - трубка капілярна. 7 - сильфон, 8, 13 - важіль, 10 - пружина, 11, 14 - гвинти, 12 - тяга

Рисунок 1.13 - Схема роботи датчика реле температури АРТ

Існує чотири модифікації приладів типу Т-110 з номінальною напругою 220В та номінальним струмом 6 А. Перша група, що має п'ять виконань, включає датчик-реле температури Т-110, який призначений для встановлення у побутових холодильниках. Інший різновид це датчик-реле температури Т-130 - за-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

21

стосовується в двохкамерних побутових холодильниках. Своєрідною особливістю цього приладу є те, що контакти обох його блоків замикаються за температури $4 \pm 1,3$ °С. Температура розмикання контактів визначається зоною нечутливості, яку задає споживач, оскільки пристрій має регульовану зону нечутливості. Використання Т-130 дає змогу здійснювати автоматичне видалення інію із поверхні випарника, що розташований у відділенні для зберігання охолоджених продуктів, без додаткової системи керування розморожуванням під час кожного робочого циклу компресора.

Датчики-реле температури типу Т-144 застосовуються для контролю температурного режиму та формування сигналу аварійного стану в низькотемпературних холодильниках і морозильних камерах. Відмінною рисою цього приладу є наявність додаткової контактної групи, яка забезпечує подачу сигналу тривоги в аварійному режимі, коли температура контролюваного середовища перевищує допустиме значення В у стані вимкнення. Під час виготовлення електрообладнання пристрої Т-144 застосовуються замість Т-145; при підключенні до електромережі через штепсельну вилку комутаційна здатність контактної системи приладів цієї серії становить 500 ВА.

Також існує термореле РТ-12-35 (рисунок 1.14), яке є цифровим приладом, виконаним на основі мікроконтролера.



Рисунок 1.14 - Термореле РТ-12-35

У розробленому пристрої як датчики застосовуються термочутливі мікросхеми, що передають інформацію в цифровому форматі, на відміну від більшості аналогових рішень. Дане реле забезпечує можливість програмування до чоти-

рьох температурних режимів на добу протягом семи днів, а також дозволяє налаштувати порогову температуру в діапазоні від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ і величину гістерезису від $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8].

Під час роботи пристрою в режимі нагрівання навантаження (ТЕН або інше джерело тепла) під'єднується до нормально розімкнених контактів реле. Якщо температура в певний день тижня є нижчою за задане програмою значення на відповідний час, нагрівальний елемент вмикається. Вимкнення нагрівача відбувається після досягнення встановленої температури, а повторне вмикання — після зниження температури на величину гістерезису. У режимі охолодження навантаження (радіатор або охолоджувальний блок) підключається до нормально замкнених контактів реле. Коли температура перевищує задане значення, вмикається холодильний агрегат; після досягнення необхідної температури він вимикається і знову вмикається при підвищенні температури на величину гістерезису.

Пристрій РТ-12-35 встановлюється на DIN-рейку шириною 35 мм, оснащений чіткою цифровою індикацією та яскравим дисплеєм, а всі параметри легко задаються кнопками на корпусі. Терморегулятор РТ-12-35 забезпечує точність вимірювання температури $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Його можна програмувати на різні температурні режими для денного часу та робочих днів, що дає змогу зменшити енергоспоживання шляхом зниження температури в приміщенні в нічний час або у вихідні. Крім того, характерною особливістю РТ-12-35 є універсальність застосування: пристрій може працювати як у режимі обігріву, так і в режимі охолодження, тобто підключатися як до нагрівального, так і до холодильного обладнання.

Також існує терморегулятор типу Т2, у якому термоциліндр встановлюється безпосередньо після випарника і відкривається зі збільшенням величини перегріву. За підвищення температури «гарячого» термометра тиск над мембраною 1 зростає (рисунок 1.15), а зі зростанням температури кипіння підвищується тиск під мембраною [8].

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

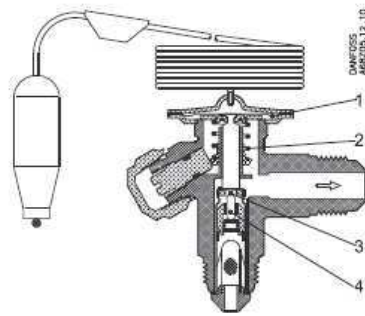


Рисунок 1.15 - Терморегулюючий вентиль типуТ-2

Різниця тисків на мембрані, пропорційна перегріву холодоагенту, створює силу, що прагне відкрити клапан, долаючи опір пружини 2. Коли ця різниця тисків перевищує зусилля пружини, клапан відкривається. Клапанний вузол, який складається із сідла 3 та клапана 4, є змінним. Вузли клапанів випускаються у восьми стандартних типорозмірах, що дозволяє задовольнити різні вимоги до продуктивності терморегулювальних клапанів.

Існує температурне реле типу КР 61 (рис. 1.16), оснащене однополюсним вимикачем (12), який при зростанні температури термокулі або повітря в холодильній камері замикає електричний ланцюг між контактами 2 і 3. Поворот гвинта регулювання температури 1 за годинниковою стрілкою забезпечує замикання та розмикання контуру за вищих температур. Обертання гвинта налаштування диференціала 2 за годинниковою стрілкою призводить до розмикання та подальшого замикання ланцюга в нижній зоні диференціала [8].

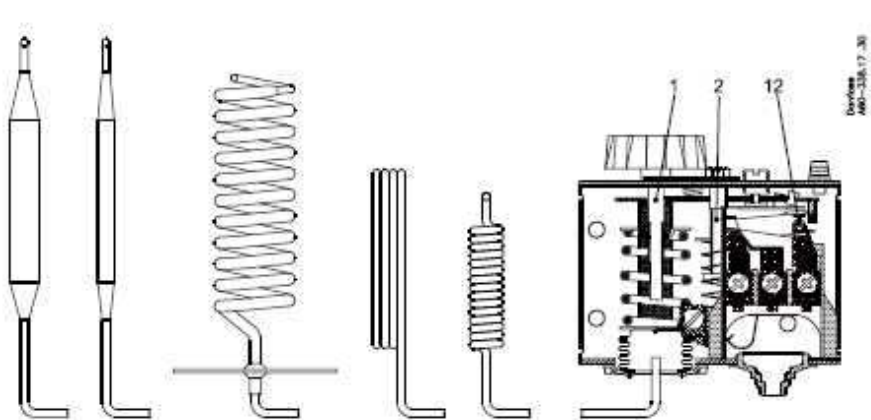


Рисунок 1.16 – Реле температури типу КР 61

Розглянутий вище терморегулятор з електромеханічними контактними

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
24

елементами характеризується рядом недоліків. Зокрема, середня температура в холодильній камері суттєво коливається внаслідок наростання снігового шару на випарнику та підвищення температури навколишнього середовища. Кожна модель холодильника вимагає індивідуального налаштування й встановлення термостата. Крім того, висока напруга і значні пускові струми контактів (до 8–10 А) часто спричиняють їх підгорання або вихід терморегулятора з ладу ще до закінчення нормативного строку експлуатації холодильника.

У зв'язку з цим нині активно розробляються безконтактні терморегулятори, які безпосередньо реагують на зміну температури повітря в холодильній камері. Використання тиристорів дає змогу створювати простіші та надійніші схеми підсилювачів, керовані сигналами малопотужних датчиків. Водночас усі безконтактні системи контролю температури є дорожчими порівняно з електромеханічними терморегуляторами, тому поки що не набули широкого поширення.

Висновок до розділу 1.

Примусове циркулювання повітря в камері певною мірою ускладнює конструкцію побутового холодильника та підвищує його вартість, однак дає змогу здійснювати автономний контроль температурних параметрів у всіх камерах холодильного агрегату, а також окремо контролювати температуру кожного відділення. Водночас найважливішою перевагою таких систем регулювання температури є можливість істотного зниження енергоспоживання холодильного обладнання. Аналіз технічних засобів регулювання температури, що застосовуються в побутових холодильниках, свідчить про можливість спрощення системи керування та підвищення її економічності за умови збереження високої надійності та зменшення споживання енергії.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СХЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КОМПРЕСІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА ІЗ ТРЬОМА КАМЕРАМИ

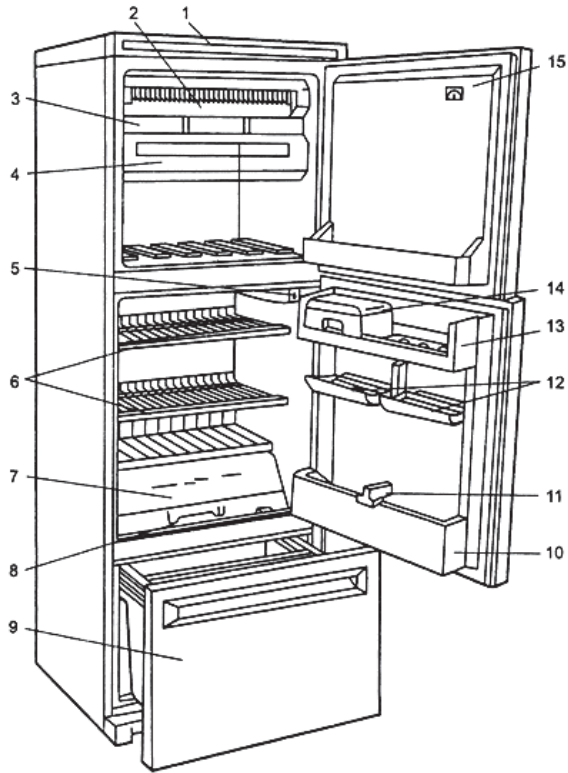
2.1 Призначення та принцип дії компресійного холодильника із трьома камерами

Холодильники призначені для заморожування та зберігання харчових продуктів, овочів і фруктів, а також для приготування морозива. Конструктивно холодильник виконаний у вигляді вертикальної шафи прямокутної форми, у якій розміщено герметичну компресійну холодильну установку з випарником (випарним блоком), комплект електрообладнання та елементи автоматичного керування.

Після аналізу конструктивних особливостей систем терморегулювання та специфіки їх застосування в компресійних холодильниках було прийнято рішення розробити систему терморегуляції для холодильних камер із використанням примусової циркуляції повітря. Розробка здійснювалась на базі холодильника «STINOL-104» КШТ-305 (NF3304T). Даний холодильник має три камери (рис. 2.1): холодильну з робочою температурою 0–5 °С, морозильну з температурою –18 °С та зону біля кріокраплі з температурою –3 °С. Оскільки холодильник містить три камери, він може експлуатуватися як трикамерний. Водночас, за рахунок збільшення об'єму морозильної камери можливе застосування сучасної системи, що дозволяє використовувати його як двокамерний.

Холодильник-морозильник «STINOL-104» КШТ-305 (NF3304T) (рисунок 2.1) складається з трьох відділень: холодильного, морозильного та висувного, призначеного для зберігання овочів і фруктів. Морозильна камера (МК), що розташована у верховій частині холодильної камери, обладнана системою «No Frost», яка забезпечує циркуляцію охолодженого повітря та автоматичне розморожування випарювальника. Холодильна камера (ХК) охолоджується безпосередньо випарником.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – панель керування; 2 – акумулятор холоду; 3 – контейнери для приготування льоду; 4 – відсік для швидкого заморожування свіжих продуктів; 5 – освітлювальний елемент; 6 – полиці холодильної камери; 7 – відділення для зберігання охолодженого м'яса (зона близького до нуля охолодження); 8 – регулювальний важіль температурного режиму у відділенні для овочів і фруктів; 9 – висувна камера для зберігання овочів та фруктів; 10, 12, 13 – полиці, розміщені на дверцятках холодильника; 11 – рухомий фіксатор (упор); 14 – знімний контейнер; 15 – індикатор температури.

Рисунок 2.1 – Конструктивна схема холодильника «STINOL-104» КШТ-305

Під охолоджувальною камерою розміщена висувна камера-шухляда (контейнер), призначена для збереження продуктів. Її охолодження здійснюється за рахунок холодного повітря, яке подається через отвір у задній частині охолоджувальної камери та повертається назад у неї. Вхід повітря в камеру охолодження організований через дефлектор, розташований у передній нижній зоні охолоджувальної камери.

Холодильник зроблений у вигляді теплоізовованої прямокутної шафи. Його корпус утворений зовнішньою металевою оболонкою та внутрішньою ша-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
27

фою з ударостійкого полістиролу. Простір між зовнішньою і внутрішньою частинами заповнений теплоізоляційним матеріалом - пінополіуретаном (ППУ), який жорстко з'єднує обидві частини, утворюючи нерозбірну моноблочну конструкцію.

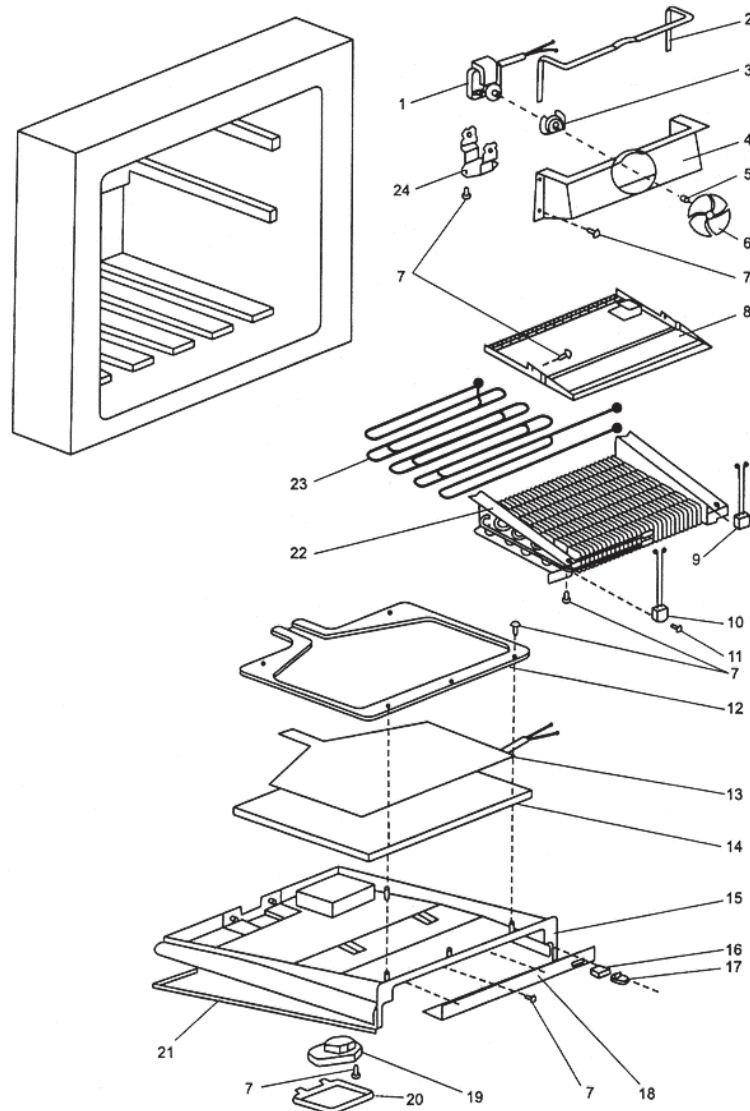
Дверні панелі також мають теплоізоляцію з пінополіуретану. Передній проріз шафи закривається трьома дверцятами. Магнітний ущільнювач, закріплений на внутрішній стороні дверей, забезпечує їх щільне прилягання та надійну фіксацію. Дверцята холодильного і морозильного відділень виконані суцільними та не передбачають знімання. Дверцята контейнерів для зберігання овочів і фруктів також заповнені пінополіуретаном.

Охолодження холодильного відділення здійснюється холодильним агрегатом за двоконтурним методом. Випарник холодильного відділення виготовлений із мідних трубок, розміщених між зовнішньою шафою та задньою стінкою внутрішньої шафи, і залитий пінополіуретаном. Незважаючи на нерозбірну конструкцію, хімічні властивості міді, з якої виконані трубки випарника, знижують імовірність витoku холодоагенту внаслідок корозії. Випарник морозильного охолоджувача 22 (рисунок 2.2) є ключовим елементом холодильного контуру системи No Frost.

Для забезпечення руху повітря між ребрами випарника та внутрішнім об'ємом морозильної камери над випарником встановлений електровентилятор з робочим колесом 6, який здійснює відсмоктування повітря з камери через пластину зворотного потоку повітря 5. До випарника під'єднаний електронагрівач, що використовується для його розморожування. Він автоматично вмикається через кожні 10–12 годин роботи компресора холодильного агрегату, який забезпечує роботу морозильної камери, та викликає нагрівання і відтаювання випарника. Процес автоматичного розморожування реалізується за допомогою таймера 19, термозахисного реле 9 і електронагрівача лотка 13, який забезпечує відведення талої води в дренажну систему морозильної камери.

Нижче розміщена евтектична холодильна камера, призначена для компенсації температурних коливань усередині морозильної камери, що виникають унаслідок циклічної роботи холодильного агрегату та безпосередньо впливають

на охолоджені продукти. Компресор холодильного агрегату встановлений на металевій поперечині в механічному відсіку, розташованому в задній частині шафи. Конденсатор закріплений на задній стінці шафи (рисунок 2.3).



1 - електродвигун; 2 - планка напрямна; 3 - прокладка електродвигуна; 4 - поперечна камера; 5 - вісь; 6 - крильчатка вентилятора; 7,11 - гвинти самонарізні; 8 - верхній ящик випарника; 9, 10 - реле теплове вмикання вентилятора; 12 - спідній ящик випарника; 13 - електронагрів піддону випарника; 14 - обшивка ізоляційна; 15- обшивка сепаратора; 16- вимикач; 17 - футляр; 18 - сполучна кришка; 19 - таймер; 20 - кришка; 21 - напрямна обшивка сепаратора; 22 - випарник морозильної камери, 23 - нагрів випарника; 24 - скоба

Рисунок 2.2 - Морозильна камера холодильника-морозильника «STINOL-104».

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
29

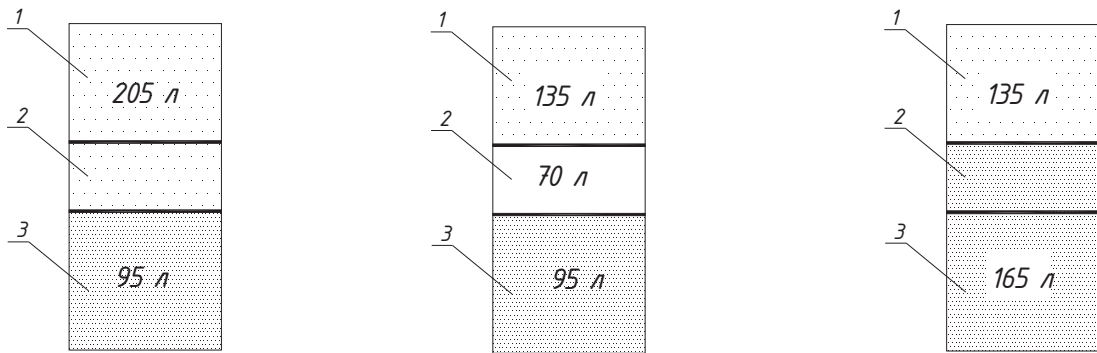
Функцію понижувального елемента виконує капілярна трубка з внутрішнім діаметром орієнтовно 0,71 мм. Наявність таких компонентів у схемі холодильного пристрою зумовлює його підвищену чутливість до вологи та сторонніх домішок, що можуть потрапляти у внутрішній контур. Для очищення та осушення системи холодильник оснащений фільтром-осушувачем. Проте у випадку значного надходження вологи або забруднень у систему, зокрема при витoku фреону на стороні всмоктування, встановлення нового фільтра-осушувача може виявитися недостатнім для відновлення нормальної роботи.

2.2 Розробка структурної схеми регулювання температури прототипу компресійного холодильника із трьома камерами

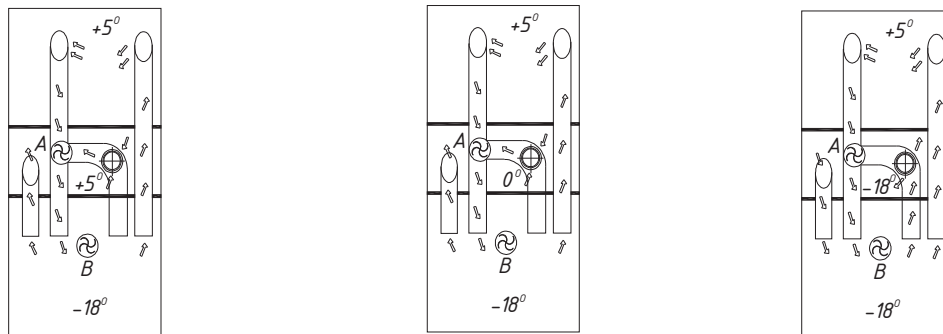
Метою кваліфікаційної роботи є вдосконалення системи температурного регулювання компресійних холодильників. З цією метою обрано базову модель холодильника, описану в попередньому підрозділі, на основі якої розробляється система керування температурними режимами внутрішнього об'єму. Реалізація поставленого завдання досягається шляхом переобладнання центрального відділення холодильника, яке не оснащено власним випарником і має температуру в межах від 0 до -3 °C, у камеру з робочою температурою близько -18 °C. Це забезпечується встановленням випарника. Наочне відображення змін, зокрема зміни об'єму холодильника та температурних режимів, наведено на рисунку 2.3 і в графічній частині роботи [МРМА 25.00.00.000 ДІ2].

Принцип керування роботою холодильника представлений на рисунку 2.4. Вибір і встановлення необхідного температурного режиму здійснюється за допомогою кнопкового перемикача. Кнопкою 1, розташованою зліва, задається температура верхнього холодильного відділення з кроком 2 °C. Доступні температурні значення: $+6$ °C, $+4$ °C та $+2$ °C. У режимі «холодильник» кнопка 2 використовується для встановлення температури в центральному відділенні з кроком 3 °C у межах $+3$ °C, 0 °C та -3 °C. Кнопка 3 переводить центральне відді-

лення в режим заморожування з температурою -18°C .



а- схема праце в режимі "холодильник" б- схема праце в стандартному режимі в- схема праце в режимі "морозильник"



1 - холодильна камера, 2 - центральна камера; 3 - морозильна камера;
А - вентилятор центральної камери; В - вентилятор морозильної камери

Рисунок 2.3 – Схеми зміни об'єму холодильника та температурних режимів у камерах холодильника «STINOL-104» КШТ-305

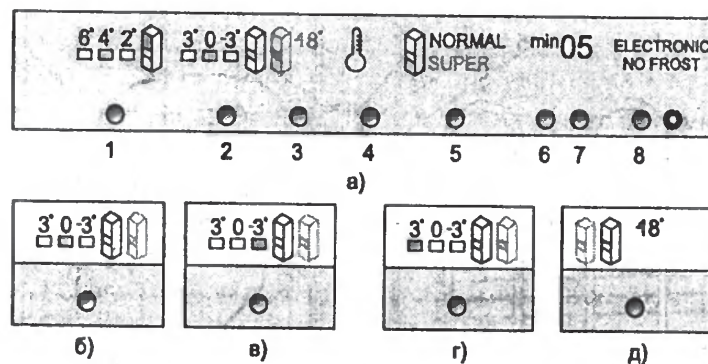


Рисунок 2.4 – Табло керування холодильником:

а – вид загальний; б, в, г д – показники індикації

За допомогою кнопки 4 вмикається звуковий сигнал, при цьому над нею розміщена сигнальна лампа «тривога», яка спрацює у разі відхилення температури в морозильній камері від заданого значення. Кнопка 5 вмикає режим

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

швидкого заморожування продуктів; у цьому випадку індикатор Super гасне і автоматично вмикається звичайний режим, який позначається індикатором Normal. Над цією кнопкою розташований світловий індикатор відкриття дверей морозильної та холодильних камер. Через 30 секунд після загоряння індикатора подається звуковий сигнал, а світлова і звукова сигналізація вимикаються після зачинення дверей. За допомогою кнопок 6 і 7 встановлюється тривалість режиму глибокого заморожування, при цьому процедура налаштування займає близько 5 хвилин.

На рисунку 2.5 наведено функціональну схему холодильної установки із запропонованим механізмом регулювання температури у відділення холодильника [МРМА 25.00.00.000 ДІЗ].

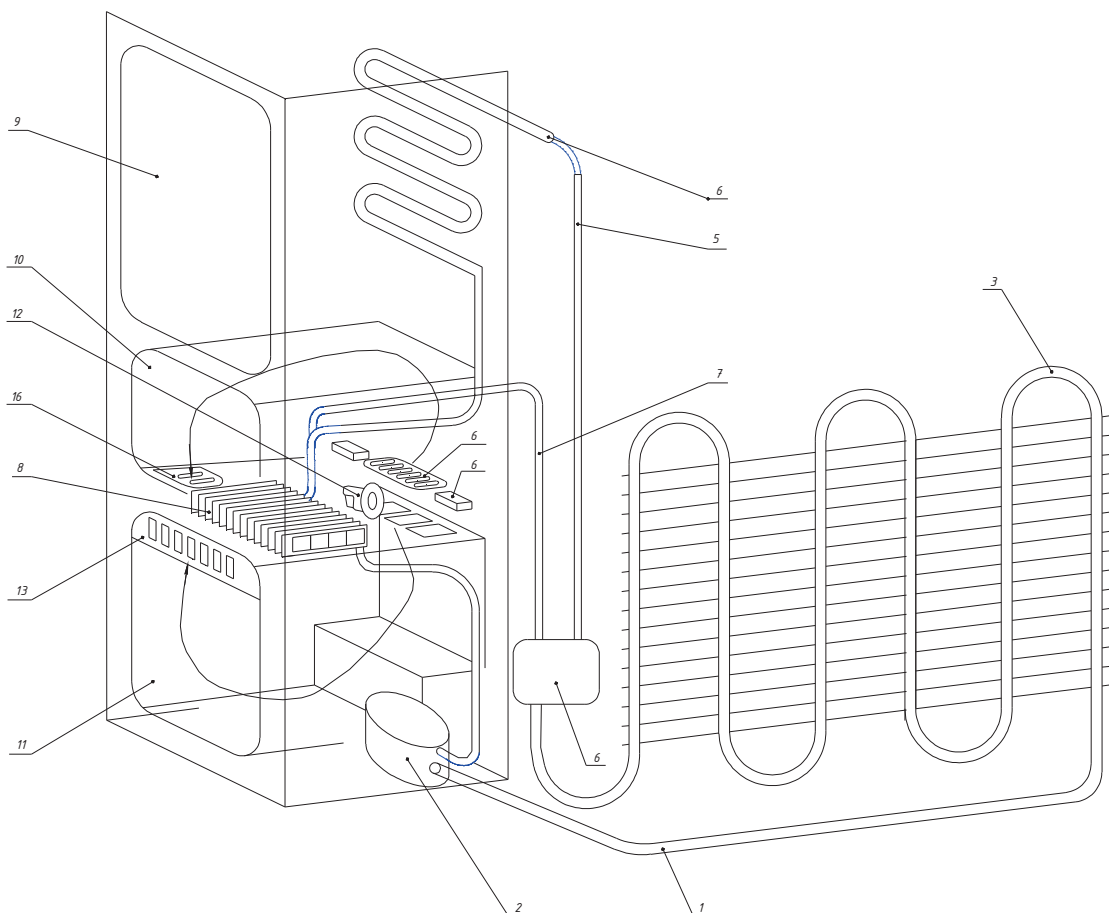


Рисунок 2.5 - Функціональна схема холодильного агрегату із механізмом регулювання камер холодильника

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
32

Дана схема містить такі функціональні блоки та працює за наступним принципом. Компресор 1 нагнітає холодоагент у холодильний контур через трубопровід 2. До складу трубопроводу 2 входять конденсатор 3, триходовий клапан 4, капілярна трубка, холодильна камера 5 з випарником, холодильна камера 6 з капілярною трубкою, морозильна камера 7 з випарником, а також морозильна камера 8. Конструкція також включає холодильну камеру 9 і трансформований відсік 10, розташований над морозильною камерою 11. Повітря, що подається вентилятором 12, надходить у морозильне відділення через вентиляційні отвори 13. Модернізований відсік обладнаний регульованою заслінкою 14, пластина якої приводиться в рух двома лінійними серводвигунами 15.

Для контролю температури в холодильній камері запропоновано встановити перфоровану заслінку між проміжною та морозильною камерами. Ця заслінка складається з двох елементів (рисунок 2.6): нерухомої частини та рухомої. Два лінійні серводвигуни 1 забезпечують переміщення щілинної пластини 2 в поперечному напрямку, завдяки чому здійснюється регулювання подачі холодного повітря до модернізованого відсіку шляхом її збільшення або зменшення.

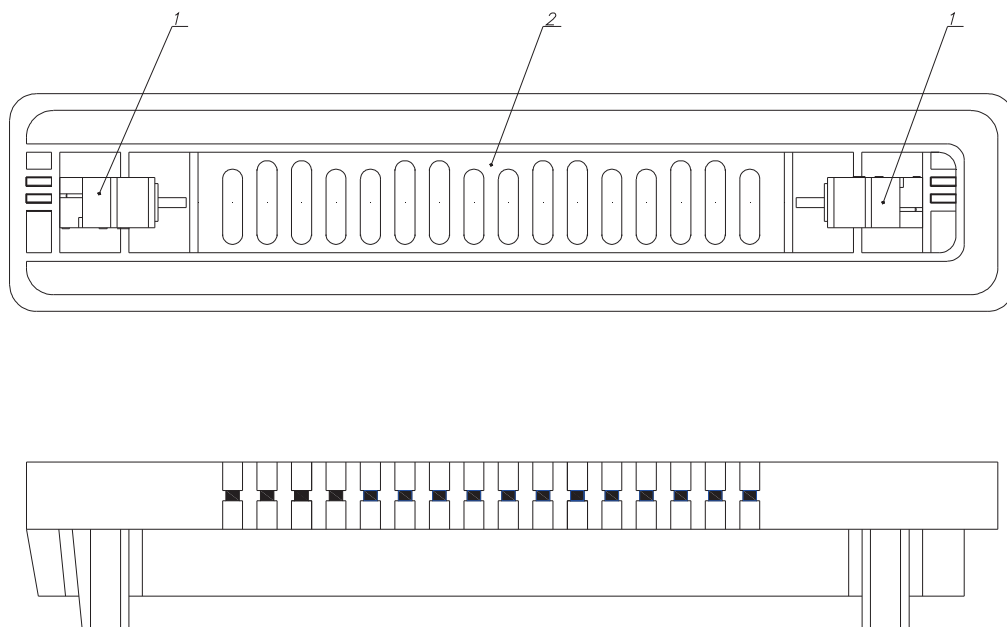


Рисунок 2.6 – Вид загальний пристрою регулювання температури у камерах холодильника

Для забезпечення переміщення заслінок було спроектовано сервопривід. Принцип його дії ґрунтується на використанні спеціальної конструкції з вбудованим електродвигуном. Положення заслінки може точно задаватися та утримуватися в заданому стані за допомогою відповідних елементів, зокрема датчиків положення, швидкості та зусилля, а також блока керування основним приводом (рисунок 2.7).

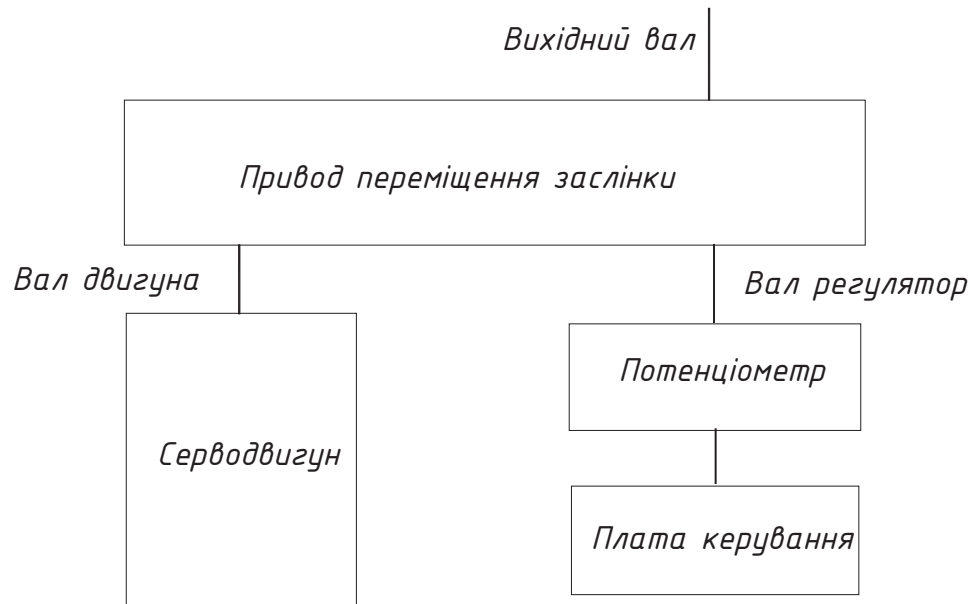


Рисунок 2.7 – Структурна схема роботи сервопривода

Після надходження на вхід сервоприводу заданого значення керуючого сигналу внутрішній контролер здійснює його порівняння з сигналом, що надходить від датчика. У разі невідповідності цих сигналів команда передається на виконавчий механізм. Процес приймання та обробки сигналів триває доти, доки значення переданого керуючого сигналу не зрівняється з опорним зовнішнім сигналом, до якого необхідно наблизитися.

Для встановлення сервоприводу в потрібне положення на його вхід подаються керуючі імпульси з визначеною тривалістю та скважністю. Вбудована логіка сервоприводу аналізує отримані сигнали та реалізує відповідну запрограмовану дію. Схема керування сервоприводом, а також розробка плати керування

під час встановлення заданої температури в холодильній камері наведені в розділі 2.3 та 2.4.

2.3 Розробка схеми керування системою регулювання температури компресійного холодильника із трьома камерами

Реалізація запропонованої схеми керування характеризується такими особливостями:

- забезпечує вмикання та вимикання компресора з метою підтримання заданої температури в холодильній камері;
- підтримує встановлений температурний режим у морозильній та при криогенній (проміжній) камерах під час роботи компресора, а також у режимі перетворення проміжної камери на морозильну;
- виконує функції стандартного термостата та забезпечує можливість регулювання гістерезису — різниці температур при вмиканні й вимиканні компресора;
- здійснює примусове відключення компресора у разі значного відхилення напруги живлення від номінального значення;– незалежно від причини зупинки, зокрема через відхилення напруги мережі або спрацювання термостата, повторне ввімкнення компресора неможливе протягом 5 хвилин після його вимкнення.

Остання умова є особливо важливою, оскільки аварійні режими можуть виникати у разі різкого зниження температури або відкривання дверцят холодильника одразу після зупинки компресора. У схемі передбачена світлодіодна індикація станів блока керування: «Робота» (компресор увімкнений), «Пауза» (компресор вимкнений), «Блокування» (не завершився п'ятихвилинний інтервал заборони ввімкнення), «<<» (напруга мережі нижча за мінімально допустиму), «>>» (напруга мережі перевищує максимально допустиму).

Сервопривід являє собою двигун постійного струму з редуктором та системою зворотного зв'язку, призначеною для контролю положення вала. Він має три виводи: на два з них подається живлення напругою 4–6 В, а на третій над-

ходить керуючий сигнал. Керування здійснюється послідовністю прямокутних імпульсів тривалістю 1–2 мс, при цьому імпульс 1,5 мс відповідає середньому положенню. Імпульси подаються з частотою близько 50 Гц, тобто з інтервалом приблизно 20 мс. Такі імпульси встановлюють вал сервоприводу в середнє положення з відхиленням $\pm 45^\circ$.

Максимальний кут повороту вала сервоприводу становить 90° ($\pm 45^\circ$ від середини). Імпульс тривалістю 1 мс повертає вал у крайнє ліве положення (рисунок 2.8), а імпульс 2 мс у крайнє праве. Змінюючи тривалість імпульсів у межах 1...2 мс, можна встановити вал у будь-яке положення в заданому діапазоні.

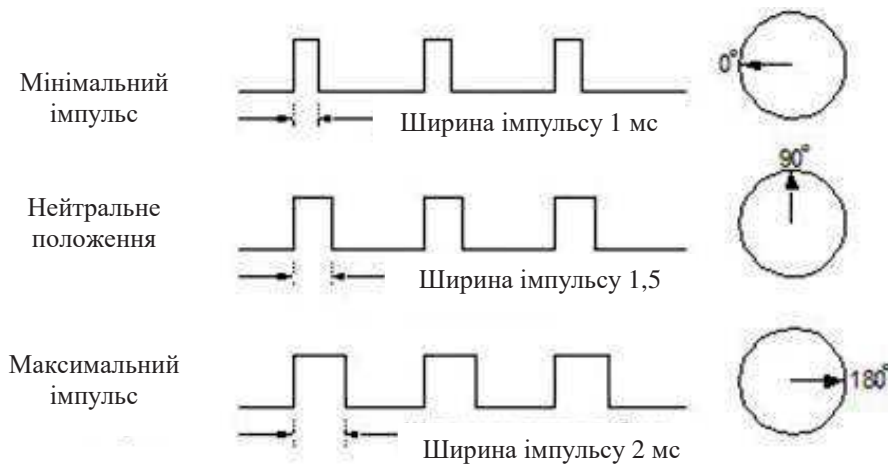
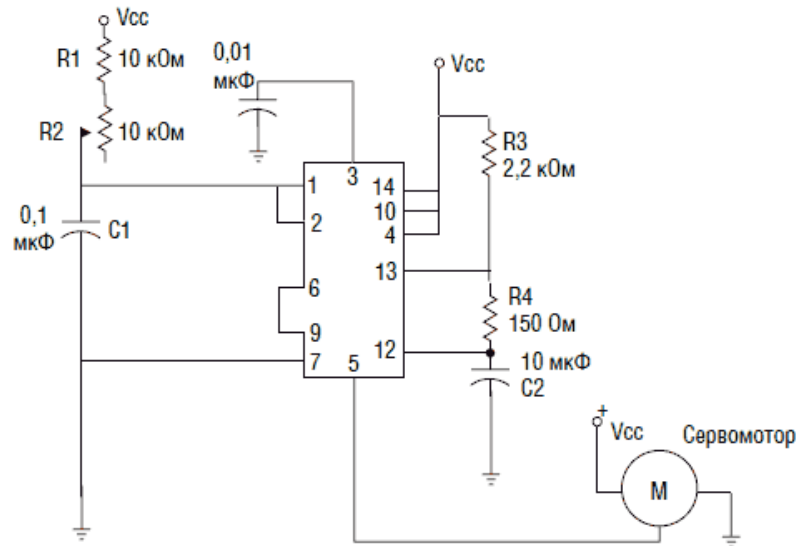


Рисунок 2.8 - Керуючі імпульси для сервомотора.

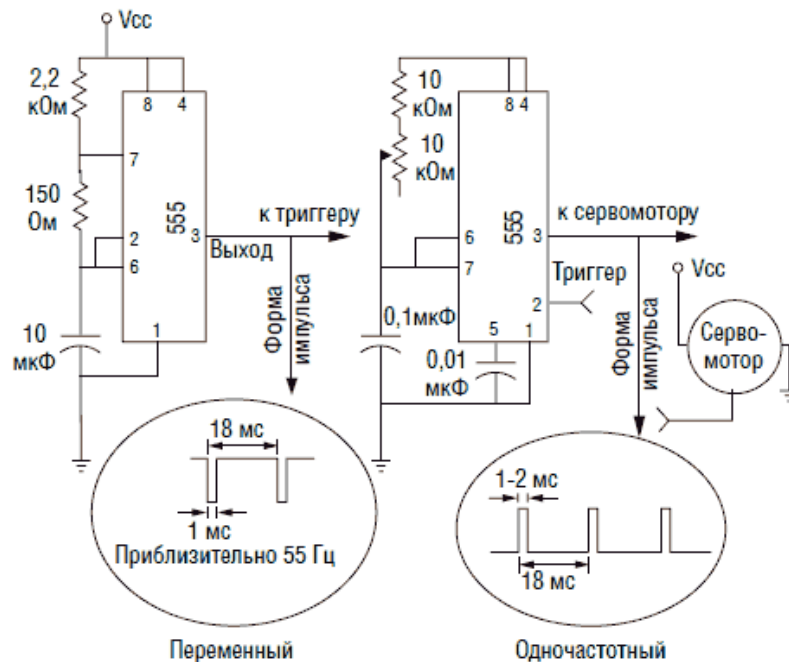
Для керування серводвигуном застосовується мікроконтролер, робота якого вимагає виконання лише декількох простих команд. На рисунку 2.13 наведено приклад використання двох таймерів серії 556 для формування сигналів керування серводвигуном. У схемі, показаній на рисунку 2.9, фактично задіяні два окремі таймери типу 555.

Перший таймер працює в режимі генератора та формує негативні прямокутні імпульси тривалістю 1 мс з частотою близько 55 Гц. Даний таймер під'єднаний до другого таймера серії 555, який увімкнений у режимі одновібратора. У момент появи негативного імпульсу на виводі 1 одновібратор формує на

виводі 5 позитивний імпульс. Тривалість цього вихідного позитивного імпульсу регулюється за допомогою потенціометра номіналом 10 кОм. Значення резисторів R1 і R2 підходять залежно від типу використовуваного серводвигуна. Прикладні дослідження показали, що для повороту вала серводвигуна в крайні допустимі положення необхідні імпульси тривалістю менше 1 мс або більше 2 мс.



а



б

Рисунок 2.9 - Схема керування сервомотором

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Розглянемо схему підключення та схему керування двигунами для переміщення заслінки для регулювання температури всередині камери холодильника. Також запишемо код для керування двигунами для переміщення заслінки на Arduino.

Огляд апаратної частини драйвера крокового двигуна DRV8825. Даний драйвер побудований на базі мікросхеми DRV8825 виробництва компанії Texas Instruments і призначений для керування кроковими двигунами за допомогою простого інтерфейсу STEP/DIR. Пристрій підтримує декілька режимів згасання струму та оснащений вбудованими захисними функціями, зокрема захистом від перевантаження по струму, тепловим захистом (TSD), захистом від короткого замикання, а також блокуванням при зниженій напрузі живлення (UVLO) і перегріві.

Основні технічні характеристики драйвера: робоча напруга становить від 8,2 до 45 В; максимальний безперервний струм на фазу — 1,5 А, піковий — до 2,2 А; допустимий рівень логічної напруги керування — від 2,5 до 5,25 В. Драйвер підтримує різні режими мікрокрокування: повний крок, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 та 1/32. Захист від зворотної полярності живлення в конструкції не передбачений.

Загальний вигляд та розташування виводів драйвера крокового двигуна DRV8825 наведено на рисунку 2.10.

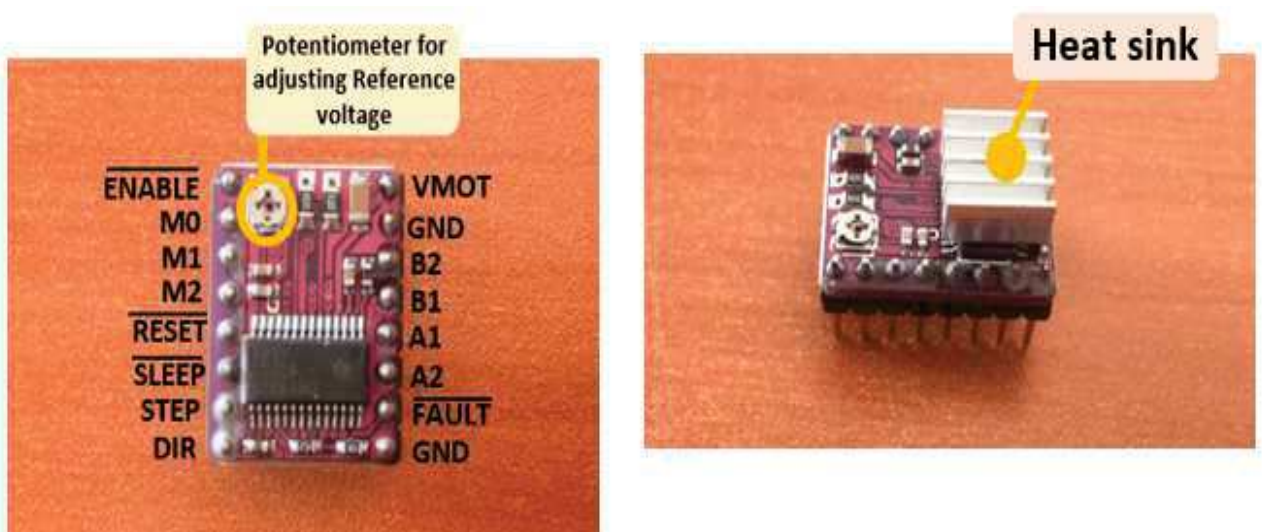


Рисунок 2.10 - Загальний вигляд виводів драйвера крокового двигуна DRV8825

Плата драйвера крокового двигуна DRV8825 оснащена 16 контактами, кожен з яких виконує певну функцію. Призначення виводів драйвера крокового двигуна DRV8825

GND та VMOT – контакти живлення двигуна, розташовані у верхньому правому куті плати. На них подається напруга живлення в діапазоні від 8 до 45 В залежно від типу використовуваного двигуна.

GND (нижній правий контакт) – загальний провід (земля), який підключається до загального проводу мікроконтролера. На відміну від драйвера A4988, модуль DRV8825 не має окремого входу живлення логіки, оскільки живлення внутрішніх схем забезпечується від основного джерела через вбудований стабілізатор напруги 3,3 В.

A1, A2, B1, B2 – вихідні контакти для підключення обмоток біполярного крокового двигуна. Одна фаза двигуна під'єднується до контактів A1–A2, інша — до B1–B2.

FAULT – вихід аварійного стану, який переходить у логічний нуль у разі спрацювання захисту від перевантаження по струму або перегріву. Цей контакт зазвичай з'єднаний із виводом SLEEP, тому при появі аварійного стану драйвер автоматично переходить у режим вимкнення. Відновлення роботи можливе після скидання (RESET) або повторної подачі живлення VMOT.

DIR – вхід задання напрямку обертання двигуна. Залежно від рівня сигналу (логічний «0» або «1») змінюється напрямок обертання ротора.

STEP – вхід керування кроками двигуна. Кожен імпульс логічного рівня відповідає одному мікрокроку; зі збільшенням частоти імпульсів зростає швидкість обертання двигуна.

SLEEP – активний низький вхід. Переведення цього контакту в логічний нуль переводить драйвер у режим сну, що дозволяє значно зменшити енергоспоживання у періоди простою.

RESET – також активний у низькому рівні. При його активації всі керувальні сигнали ігноруються до моменту повернення вхідного рівня у високий стан.

Якщо контакт не використовується, його рекомендовано з'єднати з виводом S?-LEEP, щоб забезпечити коректну роботу драйвера.

ENABLE – керуючий вхід, активний у низькому рівні. За замовчуванням драйвер увімкнений; подача високого рівня на цей контакт призводить до його вимкнення.

M0, M1, M2 – виводи вибору режиму мікрокрокування. Комбінації логічних рівнів на цих контактах визначають роздільну здатність керування (повний крок, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 або 1/32). За відсутності підключення ці виводи мають низький рівень завдяки внутрішнім підтягувальним резисторам, що відповідає режиму повного кроку.

Драйвер DRV8825 постачається в комплекті з радіатором, встановлення якого є обов'язковим перед початком експлуатації. Це пов'язано з тим, що мікросхема драйвера здатна забезпечувати максимальний струм до 2,5 А на фазу, однак при значеннях струму понад 1,5 А відбувається інтенсивне тепловиділення. Без належного відведення тепла це може призвести до перегріву та виходу мікросхеми з ладу. Тому для роботи з підвищеним струмом застосування радіатора є обов'язковою умовою.

Налаштування режимів мікрокрокування DRV8825. Крокові двигуни зазвичай виконують 200 повних кроків за один оберт, що відповідає куту повороту 1,8° на крок. Драйвер DRV8825 підтримує режим мікрокрокування, який дозволяє підвищити роздільну здатність позиціонування за рахунок поділу повного кроку на менші частини. Це досягається шляхом подачі керованих струмів на обмотки двигуна.

Наприклад, у режимі 1/2 кроку двигун здійснює 400 мікрокроків за один оберт, а в режимі 1/4 кроку — вже 800 мікрокроків. Загалом драйвер підтримує кілька режимів мікрокрокування, які задаються комбінацією логічних рівнів на входах M0, M1 та M2.

Підключення DRV8825 до мікроконтролера. Драйвер DRV8825 може бути безпосередньо підключений до мікроконтролера, зокрема Arduino, для керуван-

ня швидкістю обертання, напрямком та кількістю кроків крокового двигуна. Перед початком експлуатації обов'язково необхідно правильно налаштувати обмеження струму.

Налаштування обмеження струму. Коректне встановлення граничного струму є критично важливим, оскільки перевищення номінального струму призводить до перегріву як двигуна, так і самого драйвера, що може спричинити їх пошкодження. Крім того, оптимальне значення струму забезпечує максимальний крутний момент та стабільну роботу двигуна.

Обмеження струму встановлюється шляхом регулювання опорної напруги V_{REF} , яка безпосередньо визначає максимальний струм, що протікає через обмотки крокового двигуна. Схему підключення для вимірювання опорної напруги показано на рисунку 2.10.

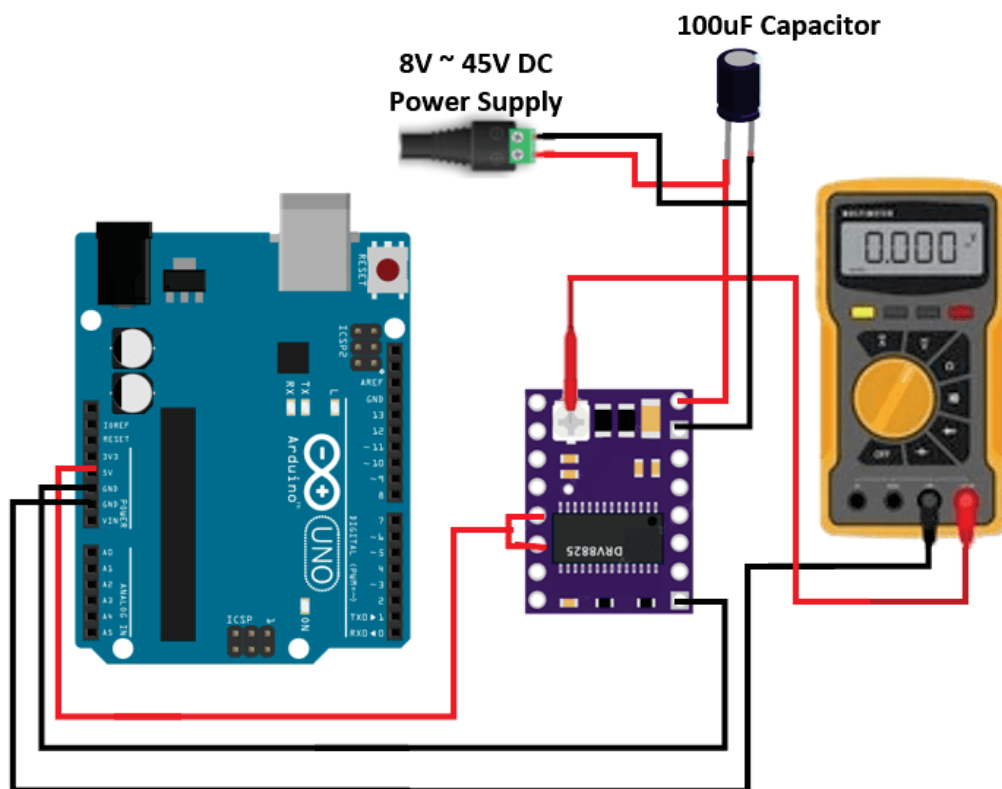


Рисунок 2.10 - Схема налаштування опорної напруги

Значення цієї напруги розраховується за відповідною формулою, що враховує параметри драйвера та двигуна.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

$$V_{REF} = I_{max} / 2 \quad (2.1)$$

де I_{max} – це максимальний струм двигуна.

Після виконання розрахунку опорної напруги необхідно внести відповідні налаштування у драйвер крокового двигуна. Для цього вимірюють напругу між регулювальним гвинтом потенціометра та загальною шиною (GND). Підключення здійснюється згідно зі схемою, при цьому на виводи SLEEP і RESET подається напруга 5 В. Живлення драйвера DRV8825 також повинно подаватися на контакт VMOT.

Наступним кроком є безпосереднє налаштування опорної напруги. Для цього використовують невелику викрутку, за допомогою якої торкаються регулювального потенціометра, одночасно під'єднавши позитивний щуп мультиметра до його контактної частини. Мультиметр необхідно перевести в режим вимірювання постійної напруги. Обертаючи потенціометр за або проти годинникової стрілки, встановлюють значення опорної напруги V_{ref} , що відповідає попередньо розрахованому значенню.

У разі некоректного налаштування обмеження струму під час роботи крокового двигуна можуть виникати надмірні шуми та вібрації. У такій ситуації рекомендовано зменшити значення струму. Оптимальним вважається такий рівень струму, за якого двигун працює стабільно, без пропусків кроків, але водночас не перегрівається.

Керування кроковим двигуном за допомогою драйвера DRV8825 та Arduino. На рисунку 2.1 наведено схему підключення плати Arduino Uno, драйвера крокового двигуна DRV8825 та самого крокового двигуна.

Основні з'єднання виконуються таким чином:

- виводи STEP та DIR під'єднуються відповідно до цифрових виходів 3 та 2 плати Arduino;
- контакти RESET і SLEEP з'єднуються з лінією живлення 5 В, що забез-

печує постійну активність драйвера;

- контакти A1, A2, B1, B2 підключаються до відповідних обмоток крокового двигуна;
- вивід VMOT під'єднується до джерела живлення двигуна з напругою в межах 8–45 В;
- один контакт GND з'єднується із загальною шиною Arduino, а інший із «землею» джерела живлення двигуна.

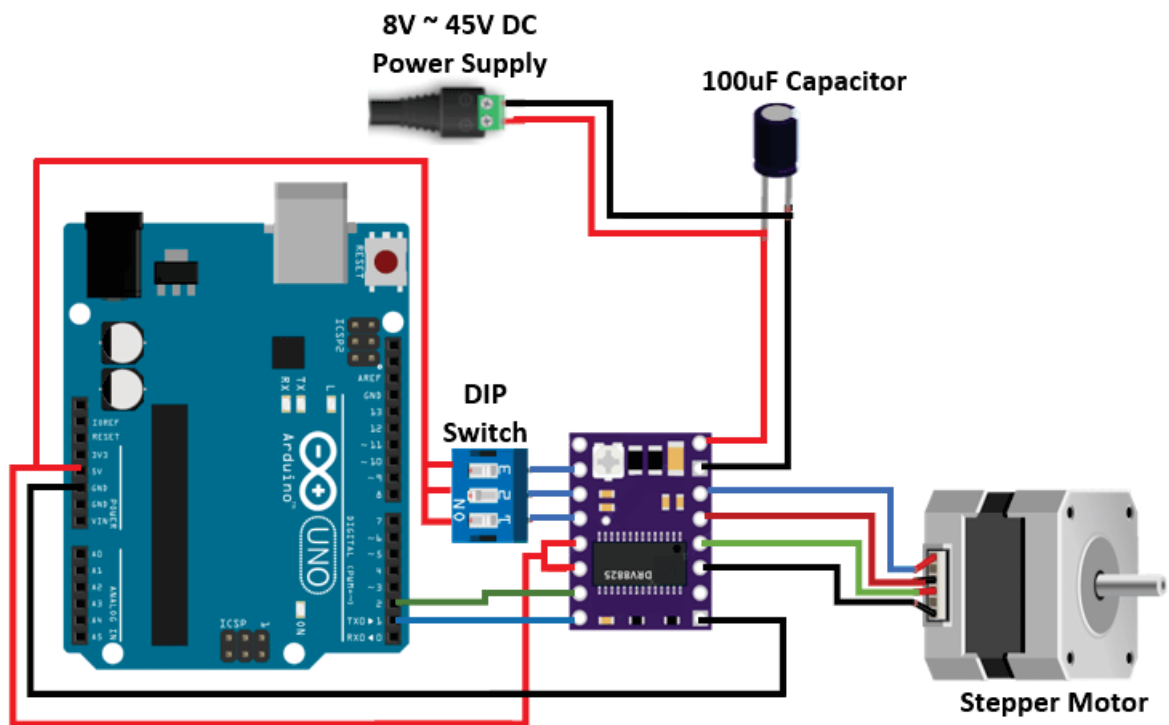


Рисунок 2.11 – Схема підключення сервопривода заслінки для регулювання температури в холодильній камері

Для захисту драйвера від імпульсних перенапруг, що виникають під час роботи двигуна, між контактами VMOT та GND додатково встановлюється електrolітичний конденсатор ємністю 47–100 мкФ. Його використання особливо важливе при живленні від джерел із довгими з'єднувальними проводами.

Для вибору режиму мікрокрокування до контактів M0, M1 та M2 підключається трипозиційний DIP-перемикач. Залежно від комбінації логічних рівнів

на цих входах задається відповідний режим мікрокроку. Якщо виводи M0–M2 не підключені, драйвер автоматично працює в режимі повного кроку.

Визначення виводів котушок крокового двигуна. Під час підключення чотирипровідного біполярного крокового двигуна необхідно правильно визначити пари проводів, що належать до кожної обмотки. Виводи A1 та A2 підключаються до однієї котушки, а B1 та B2 — до іншої.

Для ідентифікації пар проводів можна скористатися одним із двох способів: з'єднати довільну пару проводів між собою та спробувати повернути вал двигуна — якщо відчувається значний опір, ці дроти належать до однієї котушки; виміряти опір між проводами за допомогою мультиметра — наявність опору свідчить про належність проводів до однієї обмотки.

Програмне керування двигуном. Для керування швидкістю та напрямком обертання крокового двигуна використовується мікроконтролер Arduino разом із драйвером DRV8825. Керування здійснюється шляхом подачі імпульсів на вхід STEP та зміни логічного рівня на вході DIR, що дозволяє реалізувати точне позиціонування та регулювання швидкості обертання двигуна.

Опис програмного керування кроковим двигуном. На початку програми визначаються виводи керування STEP та DIR, які підключені до цифрових контактів 2 та 3 плати Arduino відповідно. Драйвер налаштований на режим повного кроку, тому один повний оберт двигуна відповідає 200 крокам.

У блоці setup() усі необхідні контакти керування оголошуються як вихідні. У основному циклі програми двигун спочатку обертається повільно за годинниковою стрілкою, після чого — у протилежному напрямку з більшою швидкістю.

Для формування одного кроку на вхід STEP подається короткий імпульс: рівень сигналу підвищується до логічної «1», витримується певний інтервал часу, після чого знижується до логічного «0» і знову витримується пауза. Саме ця послідовність формує один мікрокрок двигуна.

```

// Define pin connections & motor's steps per revolution
const int dirPin = 2;
const int stepPin = 3;
const int stepsPerRevolution = 200;
void setup()
{
  // Declare pins as Outputs
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(dirPin, OUTPUT);
}
void loop()
{
  // Set motor direction clockwise
  digitalWrite(dirPin, HIGH);
  // Spin motor 4 revolutions slowly
  for(int x = 0; x < 4 * stepsPerRevolution; x++)
  {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(2000);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(2000);
  }
  delay(1000); // Wait a second
  // Set motor direction counterclockwise
  digitalWrite(dirPin, LOW);
  // Spin motor 4 revolutions quickly
  for(int x = 0; x < 4 * stepsPerRevolution; x++)
  {
    digitalWrite(stepPin, HIGH);
    delayMicroseconds(1000);
    digitalWrite(stepPin, LOW);
    delayMicroseconds(1000);
  }
  delay(1000); // Wait a second
}

```

Цикл for повторює наведені вище команди задану кількість разів, визначаючи загальну кількість кроків. У наведеному прикладі цикл виконується 800 разів, що відповідає чотирьом повним обертам двигуна за умови роботи в режимі повного кроку.

Якщо драйвер налаштований на режим $\frac{1}{4}$ кроку, то та сама кількість імпульсів забезпечить лише один повний оберт двигуна. У випадку режиму $\frac{1}{8}$ кроку цей цикл призведе лише до половини оберту.

Керування напрямком обертання. Напрямок обертання крокового двигуна визначається станом логічного рівня на вході DIR. Залежно від схеми підключення, встановлення високого або низького рівня на цьому вході призводить до обертання двигуна за або проти годинникової стрілки.

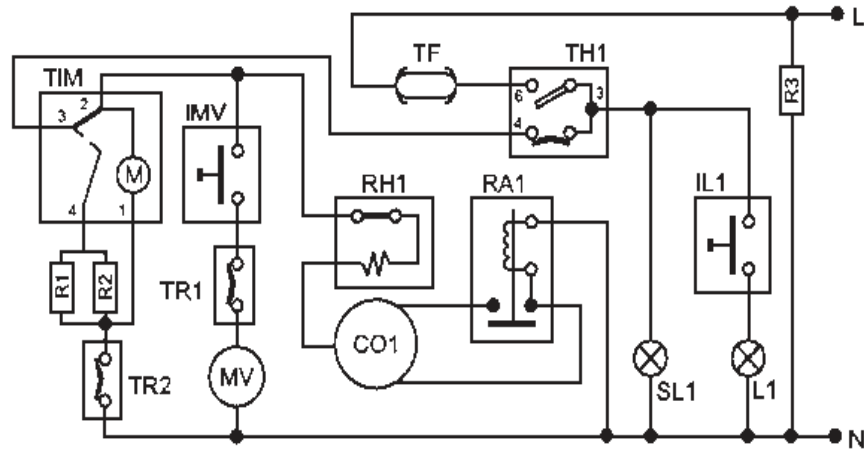
Керування швидкістю обертання. Швидкість обертання крокового двигуна безпосередньо залежить від частоти імпульсів, що подаються на вхід STEP. Чим менша затримка між імпульсами (функція `delayMicroseconds()`), тим вища частота сигналу і, відповідно, більша швидкість обертання двигуна.

Використання бібліотеки AccelStepper [11,12]. Для реалізації складніших алгоритмів керування, таких як плавний розгін і гальмування, синхронна робота кількох двигунів або зміна швидкості під час руху, доцільно використовувати бібліотеку AccelStepper. Вона значно спрощує керування кроковими двигунами та забезпечує більш стабільну і прогнозовану роботу системи.

2.4 Розробка електричної схеми керування температурою камер холодильника з трьома камерами

Електрична схема холодильника «STINOL-104» КШТ-305, а також його електрична принципова схема наведена на рисунку 2.12. Електрична схема підключення забезпечує функціонування холодильника в повністю автоматичному режимі. За умови замкненого кола термостата ТН1 напруга подається на контакти 2–3 таймера Т1М, звідки вона надходить на електричний ланцюг компресора

CO1, електродвигуна вентилятора MV та електродвигуна таймера М. Компресор здійснює циркуляцію холодоагенту в холодильному контурі та забезпечує зниження температури випарника в морозильній і холодильній камерах.



L – мережа; N - нейтральна фаза; TH1 - терморегулятор відділення холодильного, RH1 - теплові запобіжники мотор-компресора, RA1 - пускове реле компресора, SL1 - сигнальна лампочка мережі, IL1 - лампові вимикачі, L1 - лампа холодильного відділення, TR1 - реле теплове вмикання вентилятора, TR2 - реле теплове електронагрівача випарника, IMV - вимикач вентилятора, MV - електродвигун вентилятора, R1-електронагрівач піддону випарника, R2 - електронагрівач випарника, TF - запобіжник плавкий, CO1 – компресор, R3 - протиконденсатний електронагрівач, М - двигун таймера, ТІМ-таймер

Рисунок 2.12 - Схема електрична принципова роботи холодильника «STINOL-104» КШТ-305

При зниженні температури випарника в морозильній камері до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ реле TR1 (реле затримки ввімкнення вентилятора) 10, встановлене на випарнику, вмикає електродвигун вентилятора та забезпечує подачу повітря на оребрений випарник. Одночасно в морозильній камері замикається термореле TR2, що забезпечує відповідне перемикування режимів. Із запуском електродвигуна М починається зворотний

відлік таймера, який визначає тривалість роботи компресора.

Після відпрацювання заданого інтервалу часу (8–10 годин) таймер Т1М відключає електродвигун компресора, вентилятор, таймер, а також електронагрівачі R2 (нагрівач розморожування випарника) і R1 (нагрівач кожуха випарника). За замкнених контактів термостата ТН1 шар інею на випарнику морозильної камери починає танути. Коли температура випарника досягає +10 °С, реле TR2 вимикає електронагрівальні резистори R1 і R2 та забезпечує роботу електродвигуна таймера через ланцюги ТН1, Т1М, R2, М, РН1, С01, RA1. Контакти таймера перемикаються, внаслідок чого нагрівальні резистори R1 і R2 відключаються, а кола електродвигуна компресора, вентилятора і таймера знову вмикаються. Одночасно розмикаються контакти реле TR1 і TR2. Випарник морозильної камери починає охолоджуватися, і через певний час знову спрацьовує реле TR1, що приводить у дію електродвигун вентилятора. У разі відкривання дверцят морозильної камери перемикач 1МВ вимикає вентилятор. Електронагрівач 14, призначений для запобігання утворенню конденсату, постійно нагріває поперечину між охолоджувальною камерою та камерою для зберігання овочів і фруктів.

В кваліфікаційній роботі було розроблено схему електричну принципову з усіма елементами, що входять до складу холодильника. Також показано схему керування температурою у холодильнику, яка адаптована в електричну схему прототипу холодильника.

Електрична схема з удосконаленою системою регулювання температури наведені на рисунку 2.12. в графічній частині роботи [МРМА 25.00.00.000 ЕЗ].

Вона складається з блока терморегулятора на мікросхемі DA2, транзистора VT1, таймера затримки ввімкнення на елементах DD1.1 та DD1.2, блока контролю напруги мережі на елементах DD1.3 і DD1.4, а також мікросхеми DD2. Крім того, у схемі використовуються транзистор VT2 і виконавчий елемент на VT3. Паралельно з'єднані контакти реле К1 вмикаються в коло електродвигуна компресора замість штатних контактів термостата холодильника.

Блок живлення пристрою складається з трансформатора Т1, випрямляча на

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

режимі транзистор VT1 перебуває в закритому стані, конденсатор C2 розряджений, на виході елемента DD1.2 встановлюється низький логічний рівень, а діод VD3 відкритий. Унаслідок цього термостат на ОП DA2 заблокований у стані, що відповідає низьким температурам. Компресор вимкнений, оскільки необхідна температура в холодильній камері вже досягнута. Транзистор VT2 також закритий, реле K1 знеструмлене. При цьому світяться світлодіоди HL1 «Lock» та HL5 «Pause».

Через 5 хвилин заряджання конденсатора C2 через резистор R2 до рівня спрацювання тригера Шмітта елементів DD1.1 і DD1.2 напруга на виході переходить у високий логічний рівень, діод VD3 закривається, що дозволяє термостату працювати у штатному режимі. Світлодіод HL1 при цьому гасне.

У разі підвищення температури в холодильній камері збільшення опору термістора RK1 та відповідне зменшення напруги призводять до того, що напруга на інвертуючому вході ОП DA2 стає меншою, ніж на неінвертуючому. Внаслідок цього на виході ОП встановлюється високий рівень, транзистор VT2 відкривається і вмикає реле K1, яке подає живлення на компресор. Світлодіод HL4 загоряється, а HL5 гасне. При зниженні температури в холодильній камері напруга на інвертуючому вході ОП зростає, операційний підсилювач змінює стан, компресор вимикається, HL4 гасне, а HL5 знову загоряється. Падіння напруги на колекторі транзистора VT2 у момент спрацювання реле призводить до заряджання конденсатора C6, а імпульс зарядного струму викликає короткочасне (близько 20 мс) відкривання транзистора VT1. У результаті конденсатор C2, розряджений через відкритий транзистор, починає повільно заряджатися так само, як після підключення пристрою до мережі, що блокує повторне вмикання компресора протягом 5 хвилин. Діод VD2 захищає емітерний перехід транзистора VT1 від негативних імпульсів під час розрядження конденсатора C6, оскільки транзистор VT2 відкритий у момент вмикання реле K1.

Необхідна температура в холодильній камері задається змінним резистором R16. Ширина петлі гістерезису термостата регулюється змінним резистором

R20. Хоча зміна гістерезису під час роботи є дискусійною, вона необхідна на етапі первинного налаштування. Значення гістерезису повинно бути таким, щоб уникнути частих вмикань компресора та забезпечити підвищення температури стінок холодильника до додатних значень у паузах між циклами, що дозволяє їнею танути без накопичення.

Розглянемо роботу блока контролю напруги живлення. Якщо напруга мережі перебуває в допустимих межах, на вході елемента DD1.3 встановлюється низький рівень, а напруга на вході елемента DD2.1 перевищує поріг спрацювання. Обидва входи елемента DD2.3 мають високий рівень, а на його виході формується низький рівень, що забезпечує нормальну роботу інших вузлів схеми.

У разі зниження напруги нижче допустимого значення елемент DD2.1 змінює стан, і на його виході з'являється високий логічний рівень. Аналогічний рівень формується і на виходах елементів DD2.3 та DD2.4. Загоряється світлодіод HL3, а напруга, подана через резистор R19 на базу транзистора VT1, відкриває його, розряджаючи конденсатор C2 та блокуючи роботу компресора. Після відновлення нормальної напруги світлодіод HL3 гасне, транзистор VT1 закривається, і для відновлення роботи термостата необхідний час на повторне зарядження конденсатора C2.

При перевищенні напруги мережі допустимого рівня низький логічний рівень на виході елемента DD1.3 призводить до формування високого рівня на виходах елементів DD1.4 та DD2.3. Подальша робота схеми аналогічна режиму зниження напруги, за винятком того, що замість світлодіода HL3 загоряється HL2.

Рекомендовані значення напруги спрацювання захисту становлять 242 В (встановлюється резистором R5) і 187 В (встановлюється резистором R6). Короточасне зникнення живлення розпізнається схемою як неприпустиме зниження напруги. При цьому необхідно заборонити повторний запуск компресора, якщо тривалість перерви перевищує допустимий час вимкнення. Водночас реакція схеми не повинна бути надто швидкою, оскільки можливі хибні спрацювання,

наприклад при підключенні до мережі потужних споживачів.

Час роботи пристрою при різкому зниженні напруги в мережі (приблизно 65 мс) визначається часом розрядження конденсатора С1 до мінімально допустимого рівня та тривалістю розрядження конденсатора С2. Реакція на різке підвищення напруги є швидшою і становить 25–40 мс, що обумовлено заряджанням конденсатора С1 до порогового значення та розрядженням конденсатора С2.

Усі елементи блока керування, за винятком реле К1, змінних резисторів R16 і R20, терморезистора RK1 та запобіжника FU1, розміщені на односторонній друкованій платі. Конденсатори С4 і С5 - типу КМ-6 або інші керамічні, решта — оксидні імпортного виробництва, а конденсатор С2 - серії LL з малим струмом витоку. Номінальна напруга конденсаторів С1 і С6 (25 В) обрана з запасом на випадок аварійного підвищення напруги. Підлаштувальні резистори R5 і R6 - типу СП4-1, постійні - МЛТ. Змінні резистори R16 і R20 - СП3-12 з лінійною характеристикою. Основним критерієм їх вибору було співпадіння різьби монтажної втулки зі стандартним термостатом холодильника. Світлодіоди HL1–HL3 - червоного кольору, HL4 і HL5 - зеленого. Допускається використання інших світлодіодів відповідних розмірів і кольорів.

Мікросхему КР140УД608А можна замінити на КР140УД608Б або КР140УД708. Трансформатор Т1 слід обирати малої висоти для зручного розміщення в сервісному відсіку холодильника. Наприклад, тороїдальний трансформатор діаметром 40 мм і висотою 28 мм зі струмом 0,3 А та вторинною напругою 12 В. Можливе застосування трансформаторів типу ТП-321-5 або ТПК2, що придатні для серійного виробництва. В аварійних режимах слід враховувати можливе підвищення напруги в мережі до 380 В, наприклад у разі обриву нульового проводу магістралі. У такій ситуації вихід з ладу трансформатора Т1 є небажаним, оскільки це унеможлиблює вмикання компресора. Запобіжник FU1 (ВП1-1) призначений для захисту трансформатора від перегріву та займання, тому його заміна на аналоги неприпустима.

Термістор застосовується типу ММТ-1 або ММТ-4. Якщо його номінальний опір відрізняється від зазначеного на схемі, необхідно відповідно змінювати номінал резистора R12. Використання терморезисторів з опором понад 3–4 кОм не рекомендується через погіршення характеристик терморегулятора.

Реле К1 - типу РП-21-004 з обмоткою на 24 В постійного струму, хоча на практиці воно стабільно працює і при 12–16 В. Допускається застосування інших реле, наприклад RENZZ, за умови, що їх контакти витримують пусковий струм компресора, який може досягати кількох ампер. Зібрану плату керування разом із реле К1 встановлюють у сервісному відсіку у верхній частині холодильника. Паралельно з'єднані контакти реле підключаються до основної контактної групи штатного термостата, а друга група, призначена для тривалого вимкнення холодильника, замінюється перемичкою. У результаті відключення холодильника від мережі можливе лише шляхом від'єднання вилки від розетки.

Передня панель сервісного відсіку має отвори для двох термостатів, однак другий використовується лише в холодильниках з двома компресорами. Для однокompресорних моделей доцільно встановити змінний резистор R20, а резистор R16 розмістити на місці демонтованого штатного термостата. Додатково у передній панелі необхідно виконати п'ять отворів для світлодіодів, які під'єднуються до плати керування.

Виводи первинної обмотки трансформатора Т1 (через запобіжник FU1, увімкнений у розрив одного з проводів) підключаються до мережевого кабелю, що живить сигнальну лампу індикації роботи. Екранований провід, який з'єднує термістор RK1 з платою керування, прокладається в ізольованій вінілхлоридній трубці вздовж траси колишнього сильфона термостата. Сам терморезистор розміщується в холодильній камері в місці закінчення сильфонної трубки та має бути надійно ізольований і захищений від вологи й низьких температур.

Середня температура всередині холодильника регулюється резистором R16. Якщо за допомогою змінних резисторів не вдається досягти необхідного температурного режиму, підбирають номінали резисторів R14 і R15. Панель ке-

рування також містить вузол керування сервоприводом, який використовується для керування заслінками, що регулюють потік повітря з морозильної камери до проміжної під час модернізації холодильника.

Висновок до розділу 2.

Розроблено структурну схему системи терморегулювання трикамерного холодильника компресійного типу. Застосування цієї схеми керування дає змогу задавати необхідне положення вала серводвигуна, яке відповідає закритому, частково відкритому або повністю відкритому положенню заслінки, що регулює подачу холодного повітря з морозильної камери до середньої (кріоскопічної) камери.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ КОМПРЕСІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА З ТРЬОМА КАМЕРАМИ

3.1 Визначення конструктивних параметрів заслінки для регулювання температури в камерах холодильника

Загальний вигляд конструктивних елементів базової моделі холодильника «STINOL-104» КШТ-305, оснащеного модернізованою системою охолодження та електричною частиною, подано на рисунках 3.1 і 3.2.

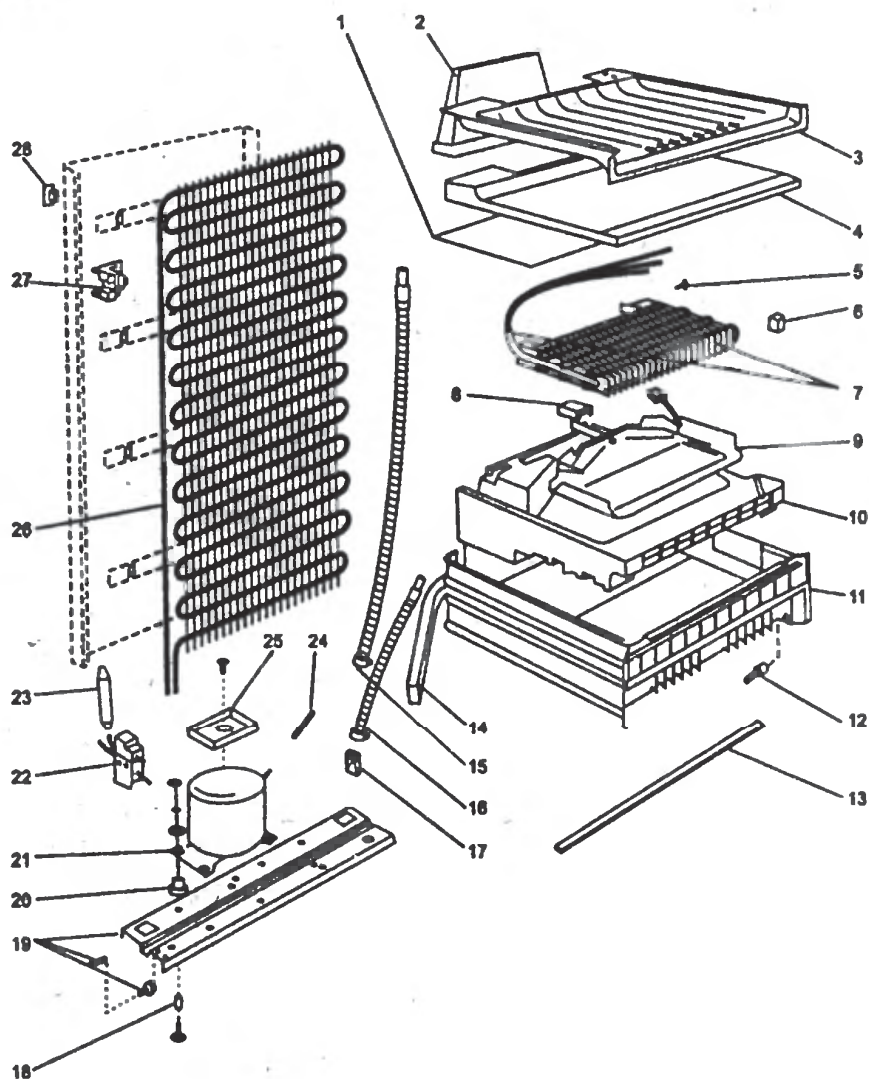


Рисунок 3.1 – Елементи система охолодження холодильника
«STINOL-104» КШТ-305

Система охолодження включає алюмінієвий лист 1, повітропровід 2 для спрямування потоку охолодженого повітря, верхній кожух 3, ізоляційну перегородку 4, хомут 5, передню вставку 6, вузол випарника 7 та теплоізольовану охолоджувальну оболонку. До складу електричної частини входять електропроводка холодильної камери 8, відділення 9, перегородка 10, розміщена між проміжною та морозильною камерами й обладнана механізмом рухомих жалюзі (окремо наведено на рисунку 3.4), нижній корпус морозильної камери 11, вставка 12, дві клейкі прокладки 13 і 14, система дренажу води з холодильної камери 15 та морозильної камери 16, мембрана насадки 17, рукав 18, передній кінець 19, амортизатор 20, пружина стиснення 21, три електромагнітний клапан 22, фільтр-осушувач 23, наповнювальна трубка компресора 24, піддон для збирання конденсату 25, конденсатор 26, монтажна пластина 27 та монтажний кронштейн 28.

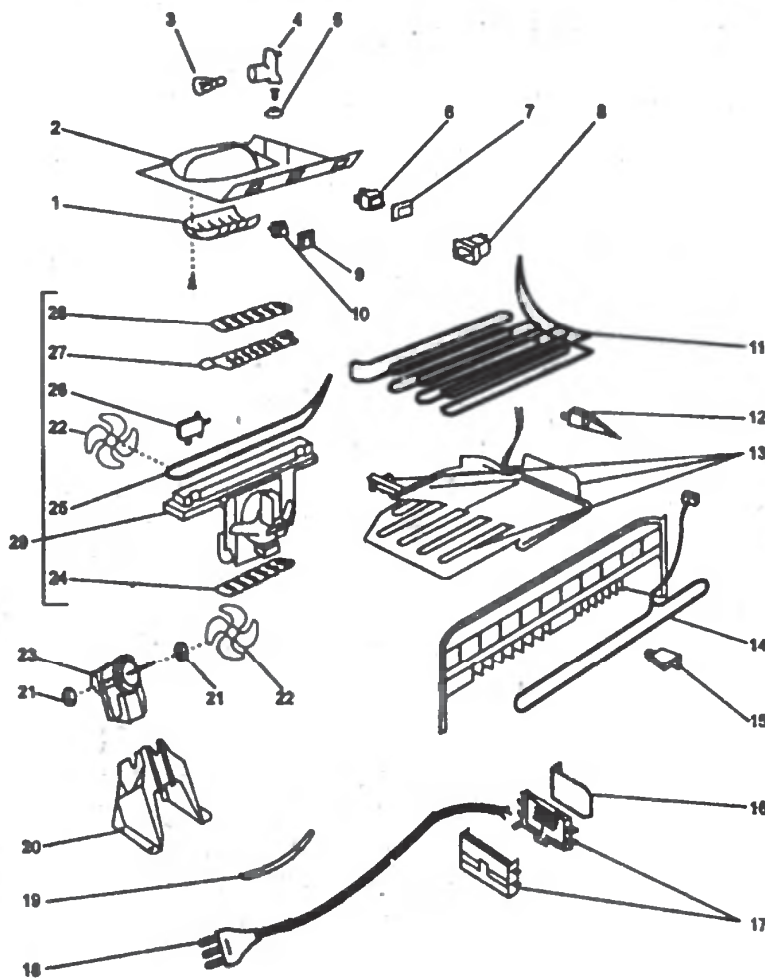


Рисунок 3.2 – Елементи електричної систем
холодильника «STINOL-104»КШТ-305

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.
56

Система живлення холодильника включає лампу-розсіювач світла 1, коробку лампи 2, лампу 3, патрон 4, клему 5, вимикач 6, захисну кришку 7, кнопку 8, захисну кришку 9, вимикач освітлення 10, нагрівальний елемент випарника 11, термостат 12, піддон випарника 13, нагрівальний елемент протиконденсату 14, перемикач вентилятора 15, монтажну пластину 16, клемну коробку 17, кабель живлення 18, тримач кабелю 19, консоль двигуна вентилятора 20, опорний диск 21, колесо вентилятора 22, двигун вентилятора 23, розділову пластину 24, нагрівальний елемент 25, серводвигун 26, який приводить у рух розділову пластину 24, серводвигун 26, що забезпечує збільшення або зменшення потоку повітря від морозильної камери до проміжної, решітку 27, верхню пластину 28 та регулятор подачі повітря 29.

На рисунку 3.3 наведено складові панелі керування компресійного холодильника.

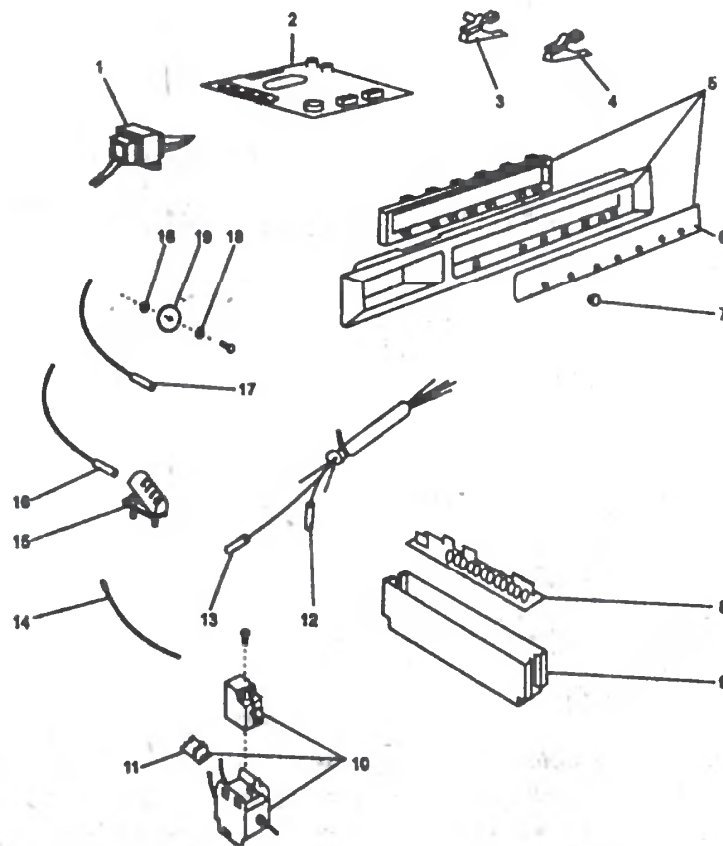


Рисунок 3.3 - Елементи панелі керування компресійного холодильника
«STINOL-104» КШТ-305

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

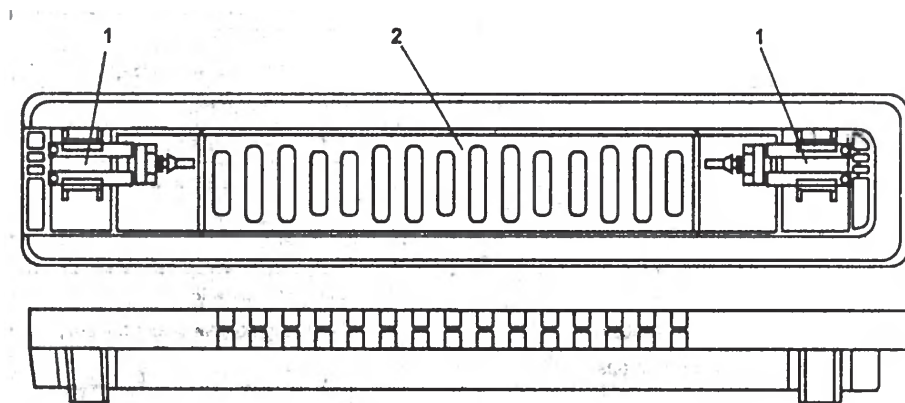
МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

57

До складу системи керування холодильника «STINOL-104» КШТ-305 входять трансформатор 1, електронна плата 2, клеми 3 і 4, панель керування 5, кодовка 6, кнопка 7, друкована плата 8, захист плати 9, електричний клапан 10, плата електричного клапана 11, датчик температури морозильної камери 12, датчик температури камери перетворення (середньої) 13, засувка 14, датчик температури холодильної камери 16, датчик випарника холодильної камери 17, шайба 18 та кришка датчика 19.

Як контрольний елемент температури для холодильної камери рекомендовано застосувати перфоровану заслінку, розташовану між проміжною та морозильною камерами. Дана заслінка складається з трьох елементів (рисунок 3.4), з яких два є нерухомими, а центральна частина являє собою рухому перегородку. Два лінійні серводвигуни 1 здійснюють переміщення щільної роздільної пластини 2 у поперечному напрямку, що забезпечує збільшення або зменшення подачі холодного повітря до модернізованого відсіку.



1 – лінійні серводвигуни сервопривода; 2 – регульована пластина із прорізами

Рисунок 3.4 – Схема пристрою для регулювання температури в камерах холодильника компресійного типу

Для переміщення заслінки використовується сервопривод (рисунок 3.5). Принцип дії сервоприводу полягає у застосуванні спеціальної конструкції з вбудованим електродвигуном, положення якого може точно налаштуватися та утримуватися в заданому стані за допомогою відповідних засобів, зокрема датчиків положення

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

58

ня, швидкості й зусилля, а також блока керування основним приводом.

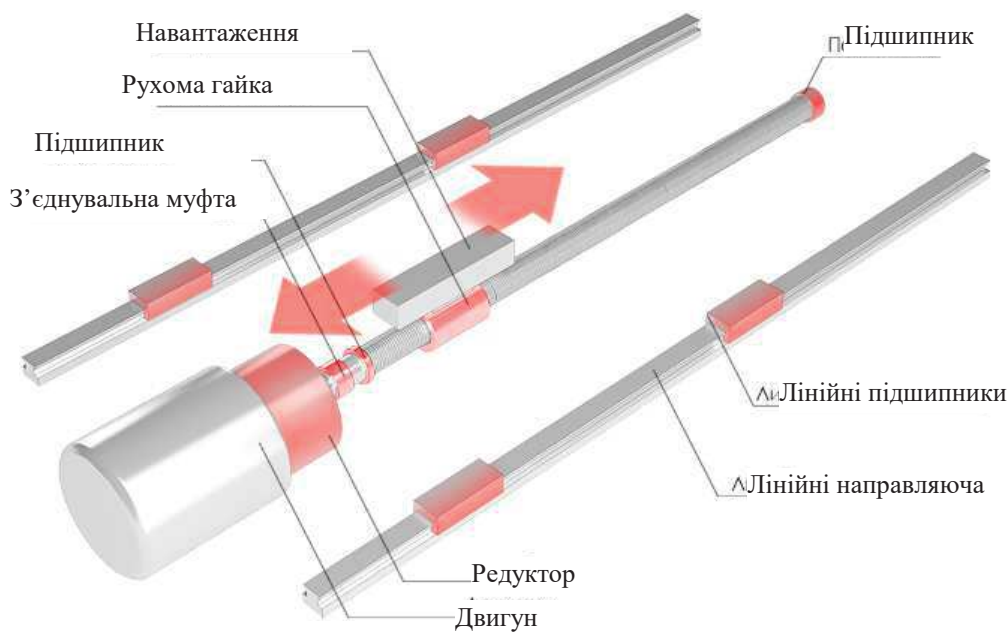


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд сервопривода заслінки рухомої

Конфігурація приводу охоплює двигун, редуктор, муфту зчеплення, підшипник ковзання, лінійний підшипник, рухому гайку, вантаж і лінійну напрямну, яка забезпечує переміщення пластини перегородки заслінки для відкривання та закривання потоку повітря в деформовану повітряну камеру.

3.2 Вибір серводвигуна приводу заслінки для регулювання температури в камерах холодильника

Переважна більшість сервоприводів для з'єднання з виконавчими механізмами використовує три провідники. До них належать провід живлення (як правило, 4,8 В або 6 В), загальний провід (земля) та сигнальний провід. Керуючий сигнал містить інформацію про необхідне положення вихідного вала. Вал механічно з'єднаний із потенціометром, який фіксує його поточне положення. Система керування сервоприводом, порівнюючи опір потенціометра зі значенням керуючого сигналу, визначає напрям обертання двигуна для досягнення задано-

го положення вихідного вала. Зі збільшенням напруги живлення сервопривод працює швидше та розвиває більший крутний момент.



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд елементів конструкції сервопривода

Характеристики сервоприводів визначаються їх габаритними розмірами, які поділяються на класи «Мікро», «Міні», «Стандарт» та «Гігант». У межах кожного класу розміри можуть незначно відрізнятися. Еталонні середні габарити сервоприводів такі: Micro — $24 \times 12 \times 24$ мм, маса 5–10 г; Mini — $30 \times 15 \times 35$ мм, маса близько 25 г; Standard — $40 \times 20 \times 37$ мм, маса 50–60 г.

Швидкодія сервоприводів характеризується часом повороту кріплення на кут 60° за напруги живлення 4,8 В та 6 В. Наприклад, сервопривод із показником $0,22$ с/ 60° при 4,8 В здійснює поворот вала на 60° за 0,22 с при відповідній нарузі. Така швидкість не є надвисокою, оскільки найшвидші сервоприводи мають час спрацювання в межах 0,06–0,09 с.

Кути повороту вихідного вала сервоприводів зазвичай становлять 60° , 90° або 180° . Обмеження кута повороту реалізується як електронними, так і механічними засобами. Існують також сервоприводи без обмежень, здатні здійснювати повний оберт на 360° . Якщо сервопривод має обмеження руху, наприклад 60° , то збільшення цього діапазону можливе лише шляхом конструктивних змін. У деяких випадках розширення кута досягається спеціальними методами, що при-

зводять до спотворення керуючого сигналу.

Крутний момент сервоприводу визначається масою вантажу, який він здатний утримувати нерухомо при плечі важеля 1 см, і вимірюється в кг·см. Для напруг живлення 4,8 В і 6 В зазвичай наводяться два значення. Наприклад, показник 10 кг·см означає, що сервопривод може створити зусилля 10 кг на важелі довжиною 1 см. При довжині плеча 2 см допустиме зусилля становитиме 5 кг, а при 5 см — 20 кг.

Аналогові та цифрові сервоприводи не мають механічних відмінностей: вони оснащені однаковими корпусами, двигунами, зубчастими передачами та потенціометрами. Різниця полягає у способі керування двигуном. Цифрові сервоприводи забезпечують вищу точність і швидший відгук, проте споживають більше електроенергії порівняно з аналоговими. При цьому керуючі сигнали для обох типів є ідентичними.

Керуючий сигнал формується у вигляді імпульсів змінної тривалості, які повторюються із постійною частотою, як правило 50 Гц. Принцип сервоприводу визначається шириною імпульсу. Для типової моделі дистанційного керування тривалість імпульсу 1500 мкс відповідає центральному положенню. Зміна тривалості імпульсу в більшу або меншу сторону призводить до обертання сервоприводу за чи проти годинникової стрілки.

Для коректного керування сервоприводом необхідно формувати сигнал із частотою 50 Гц. При цьому в положенні «0» тривалість імпульсу має становити 1000 мкс, у положенні «максимум» - 2000 мкс, а середнє положення відповідає 1500 мкс.

Керування сервоприводом здійснюється імпульсами змінної ширини, які передаються сигнальними лініями. Основними параметрами цих імпульсів є мінімальна та максимальна тривалість, а також частота повторення. Через обмежений кут обертання нейтральним вважається положення, за якого сервопривод має однаковий запас руху в обох напрямках. Незважаючи на різні межі обертання у різних моделей, нейтральне положення всіх сервоприводів зазвичай відпо-

відає імпульсу тривалістю близько 1,5 мс.

Кут повороту вихідного вала визначається тривалістю імпульсу, що подається по сигнальній лінії, що реалізує принцип широтно-імпульсної модуляції. Сервопривод очікує імпульс кожні 20 мс, а його тривалість визначає величину обертання двигуна. Так, імпульс тривалістю 1,5 мс задає поворот на 90°, що відповідає нейтральному положенню.

Після отримання команди сервопривод переміщується у задане положення та утримує його. У разі дії зовнішнього зусилля сервопривод намагається протидіяти відхиленню. Максимальне допустиме зусилля визначається значенням крутного моменту. Оскільки сервопривод не утримує положення безперервно, позиційний імпульс необхідно періодично повторювати для збереження заданого стану.

Якщо тривалість імпульсу менша за 1,5 мс, сервопривод повертає вал на певний кут проти годинникової стрілки та фіксує його. При імпульсах більшої тривалості відбувається обертання у зворотному напрямку. Мінімальні та максимальні значення ширини імпульсів є індивідуальними для кожної моделі сервоприводу. Як правило, мінімальна тривалість становить близько 1 мс, а максимальна - приблизно 2 мс.

За допомогою програмного забезпечення з використанням бібліотеки Servo, доступної за посиланням <https://doc.arduino.ua/prog/Servo>, здійснюється програмування сервопривода за допомогою запису коду, а результати програми наведено у додатку 1. Також із застосуванням безкоштовних програмних засобів з офіційного сайту виконуються основні розрахунки для вибору серводвигуна та визначення ключових параметрів сервопривода. Отримані рекомендації використовуються для обґрунтування вибору відповідного сервопривода.

У рекомендаціях наведені значення швидкості, часу розгону, довжини шляху розгону, довжини ділянки руху з постійною швидкістю та часу руху сервомотора з усталеною швидкістю.

Для вибору сервопривода необхідної потужності визначаються сила опору

коливанню, статичний коливальний момент, прискорювальна сила, динамічний момент, сумарний момент та динамічний момент при гальмуванні.

Підбираються параметри редуктора, зокрема частота обертання та передачне число, а також визначається точність позиціонування системи.

Обирається тип двигуна шляхом розрахунку крутного та динамічного моментів, а також зовнішнього моменту інерції, після чого виконується перевірка параметрів обраного двигуна.

Далі визначається тип електроніки приводу. Для цього розраховуються максимальне та середнє значення струму, відповідно до яких здійснюється вибір керувального модуля.

3.3 Розрахунок механізму переміщення заслінки для регулювання температури в камерах холодильника

Виконується розрахунок осьових і радіальних навантажень, що діють на кінці вала двигуна. Гранично допустимі значення осьових навантажень наведені у додатку 4.

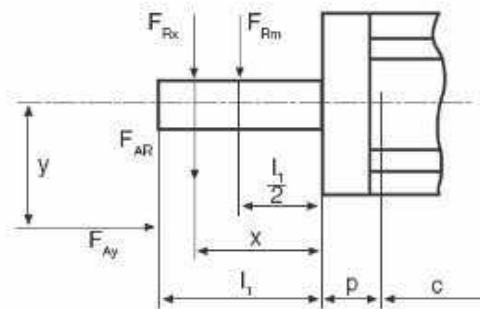


Рисунок 3.10 – Розрахункова схема вала серводвигуна

Радіальне зусилля, що діє на вал двигуна, визначається за таким співвідношенням:

$$F_R = \frac{c + p + 0,5l_1}{c + p + x} \quad (3.1)$$

Осьове зусилля, що створює на вал двигуна, визначається за наступною формулою:

$$F_{AR} = \frac{y}{p + x} \quad (3.2)$$

Мінімально допустимий розмір зовнішніх елементів вала двигуна визначається за такою формулою:

$$d_1 = \frac{2kM_F}{F_R}, \quad (3.3)$$

де k – коефіцієнт передачі.

$$d_1 = \frac{2kM_F}{F_R}.$$

За допомогою програмних засобів, доступних на сайті <https://doc.arduino.ua/prog/Servo>, виконуємо розрахунок параметрів проєктованої заслінки. Отримані результати обчислень наведено в додатку 4.

3.4 Розрахунок конструктивних і енергетичних параметрів холодильного агрегату холодильника із удосконаленою схемою регулювання температури в камерах холодильника

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено схему регулювання температури компресійного холодильника, яка забезпечує можливість змінювати об'єм морозильної камери шляхом використання регульованої заслінки.

Унаслідок проведеної модернізації змінюються величини теплонадходжень і тепловтрат у холодильну камеру, а отже - і холодопродуктивність модернізованого холодильника.

Тому в цьому підрозділі необхідно виконати перевірочний розрахунок теплового навантаження холодильного агрегату та визначити його холодопродуктивність з урахуванням внесених змін у конструкцію компресійного холодильника.

Проектування побутових холодильників здійснюється на основі теплотехнічних розрахунків, які враховують усі можливі джерела теплопритоків, що впливають на температурний режим усередині холодильних камер.

Для виконання розрахунку прийнято такі вихідні дані:

- тип холодильника - компресійний;
- загальний внутрішній об'єм 305 дм³;
- корисний об'єм холодильної камери 133 дм³;
- об'єм низькотемпературної камери 80 дм³;
- кліматичне виконання для помірної зони з температурою навколишнього середовища $t_{н.с} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$, температурою в морозильній камері $t_{н.к} = -18 \text{ }^\circ\text{C}$ та температурою в холодильній камері $t_{х.к} = 0 \dots +5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- холодоагент — R134a з робочими параметрами: температура кипіння $T_0 = -25 \text{ }^\circ\text{C}$, температура конденсації $T_k = 55 \text{ }^\circ\text{C}$, температура всмоктування $T_{вс} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;
- теплоізоляційний матеріал пінополіуретан;
- матеріал зовнішньої оболонки листова вуглецева сталь (Ст3);
- матеріал внутрішньої камери полістирол.

Розрахунок теплопритоків через огорожувальні поверхні холодильної камери виконується за відповідною формулою, що враховує теплопровідність матеріалів, товщину стінок і різницю температур між внутрішнім об'ємом та навколишнім середовищем.

$$Q_1 = k \cdot F \cdot \Delta T, \quad (3.4)$$

де Q_1 - теплопритік через стіни холодильної камери, Вт; k - коефіцієнт теплопе-

редачі, Вт/(м·К); ΔT - різниця температур по обидва боки стінки холодильника, К; F - площа зовнішньої поверхні модернізованого холодильника, м².

Коефіцієнт теплопередачі визначається як сумарний коефіцієнт теплопередачі через усі шари теплоізоляції холодильника:

$$k = 1 / (1/\alpha_n + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \dots + \delta_n/\lambda_n + 1/\alpha_{вн}), \quad (3.5)$$

де α_n — коефіцієнт теплопередачі із зовнішньої поверхні холодильника, Вт/(м·К); $\alpha_{вн}$ — коефіцієнт теплопередачі з внутрішньої поверхні холодильника, Вт/(м·К); δ — товщина окремих шарів конструкції теплоізоляції холодильника; λ — коефіцієнт теплопровідності кожного шару ізоляційного матеріалу.

Розрахунок виконується у такій послідовності. Спочатку фіксуємо всі можливі коефіцієнти теплопередачі через стінки холодильника.

Коефіцієнт теплопередачі холодильної камери визначаємо за формулою (3.4). Де t_1 — температура навколишнього середовища, t_2 — температура всередині холодильної камери, δ_1 — товщина зовнішнього корпусу, δ_2 — товщина теплоізоляції, δ_3 — товщина внутрішнього корпусу, λ_1 — коефіцієнт теплопровідності сталі, λ_2 — коефіцієнт теплопровідності пінополіуретану, λ_3 — коефіцієнт теплопровідності полістиролу. Приймаємо: $\alpha_n = 22,7$ Вт/(м·К), $\alpha_{вн} = 9$ Вт/(м·К), $\lambda_1 = 81$ Вт/(м·К), $\lambda_2 = 0,029$ Вт/(м·К), $\lambda_3 = 0,14$ Вт/(м·К). Інші вихідні дані задаємо з урахуванням зовнішніх умов або обираємо конструктивно: $t_1 = 32$ °С, $t_2 = 0$ °С, $\delta_1 = 0,6$ мм, $\delta_2 = 33$ мм, $\delta_3 = 2$ мм, $k_1 =$ Вт/(м·К).

Коефіцієнт теплопередачі низькотемпературної камери визначаємо за формулою (3.4). Приймаємо: $t_1 = 32$ °С, $t_2 = -20$ °С, $\delta_1 = 0,6$ мм, $\delta_2 = 44$ мм, $\delta_3 = 2$ мм, $\alpha_{вн} = 3,5$ Вт/(м·К), $k_2 =$ Вт/(м·К).

Далі записуємо та визначаємо геометричні розміри модернізованого холодильника. Об'єм холодильної камери обчислюємо за формулою:

а) геометричні розміри низькотемпературної камери (НТК)

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$V_{нтк} = a \cdot b \cdot h_{нтк}, \quad (3.6)$$

де h — висота низькотемпературної камери, l — глибина морозильної камери, $l = 0,06$; b — ширина морозильної камери, $b = 0,06$; V — внутрішній робочий об'єм низькотемпературної камери, що становить 80 дм^3 .

Визначаємо висоту низькотемпературної камери:

$$V_{нтк} = (0,06 - 0,08 \cdot 2)(0,06 - 0,08 \cdot 2)h_{нтк}. \quad (3.7)$$

$$h_{нтк} = \frac{0,08}{0,1936} = 0,413 \text{ м.}$$

Визначимо габаритні розміри низькотемпературної камери з урахуванням теплоізоляції та перегородки, беручи до уваги, що висоту відраховують від середньої лінії перегородки: 1 — внутрішня і зовнішня стінка, 2 — ізоляційний шар.

$$h_2 = h_{нтк} + (8 + 5). \quad (3.8)$$

$$h_2 = 41,3 + (8 + 5) = 0,454 \text{ м.}$$

б) геометричні розміри холодильної камери (ХК)

Внутрішній об'єм холодильної камери становить $V_{хк} = 133 \text{ дм}^3$. Об'єм холодильної камери обчислюємо за формулою:

$$V_{хк} = a \cdot b \cdot h_1, \quad (3.9)$$

де $h_{хк}$ — дійсна висота холодильної камери; $V_{нтк}$ - внутрішній робочий об'єм НТК – 133 дм^3 ; $= 0,133 \text{ м}^3$; b - глибина морозильної камери, $b=0,06$; a - ширина морозильної камери, $a=0,06$;

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Товщина ізоляції та перепони 80 мм = 0,08 м

$$V_{\text{хк}} = (0,6-0,08 \cdot 2)(0,6-0,08 \cdot 2) h.$$

$$h = 0,133/0,1936 = 0,686 \text{ м.}$$

Визначимо геометричні розміри холодильної камери із урахуванням теплоізоляції та міреминок, при цьому висоту відлічуємо із урахуванням осередкової лінії:

$$h_2 = h + (8 + 5) = 68,6 + 13 = 0,817 \text{ м.}$$

в) Геометричні розміри камери для зберігання продукції харчування визначаємо за таким співвідношенням:

Внутрішній об'єм ХК: $V_{\text{хк}} = 92 \text{ дм}^3$

Об'єм холодильної камери обчислюється за наступною формулою:

$$V_{\text{хк}} = a \cdot b \cdot h,$$

де h - дійсна висота холодильної камери $V_{\text{хк}} = 92 \text{ дм}^3 = 0,092 \text{ м}^3$, $a = 0,6 \text{ м}$,
 $b = 0,6 \text{ м}$.

Товщина ізоляції та перемички 80 мм = 0,08 м

$$V_{\text{хк}} = (0,6-0,08 \cdot 2)(0,6-0,08 \cdot 2) h.$$

$$h = 0,092/0,1936 = 0,475 \text{ м}$$

Визначимо геометричні розміри холодильної камери із урахуванням теп-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ізоляції та перемичок, при цьому висоту відлічуємо з урахуванням середньої лінії:

$$h_3 = h + (8 + 5) = 47,5 + 13 = 60,5 \text{ м}$$

Загальна висота прототипа холодильника:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 = 0,454 + 0,817 + 0,605 = 1,85 \text{ м.}$$

Розрахунок площ поверхонь холодильника

Виконуємо визначення площ усіх поверхонь холодильника, зокрема:

а) площі поверхні низькотемпературної камери (НТК).

$$S_{НТК} = (a - 0,08) (y - 0,08) + (b - 0,08) (h_1 - (0,04 + 0,05)) \cdot 2 + (a - 0,08) (h_1 - (0,04 + 0,05)) \cdot 2$$

$$S_{НТК} = 1,215 \text{ м}^2$$

б) площа поверхні холодної камери холодильника:

$$S_{ХК} = (a - 0,08) (y - 0,08) + (b - 0,08) (h^2 - (0,04 + 0,05)) \cdot 2 + (a - 0,04) (h_2 - (0,04 + 0,05)) \cdot 2$$

$$S_{ХК} = 3,1784 \text{ м}^2$$

в) площу поверхні камери для зберігання продуктів визначаємо за такою формулою:

$$S_{ХК} = (a - 0,08) (y - 0,08) + (b - 0,08) (h_3 - (0,04 + 0,05)) \cdot 2 + (a - 0,04) (h - (0,04 + 0,05)) \cdot 2$$

$$S_{ХК} = 2,3304 \text{ м}^2$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

д) площу поверхні перегородки між морозильною, холодильною та «нульовою» камерами визначаємо за формулою:

$$S_{п} = (\alpha - 0,1) (y - 0,1) = 0,25 \text{ м}^2.$$

г) площу поверхні між плюсовою та низькотемпературною камерами визначаємо за формулою:

$$S_{п2} = (\alpha - 0,08) (y - 0,08) = 0,2704 \text{ м}^2$$

Розрахунок теплопритоків у холодильник в кожну камеру.

а) теплопритік із зовнішнього середовища до низькотемпературної (морозильної) камери НТК.

$$Q'_1 = k_2 \cdot S_{\text{НТК}} \Delta T \quad (3.7)$$

$$Q'_1 = 0,537 \cdot 1,215 (32 - (-18)) = 32,623 \text{ Вт}$$

б) теплопритік із зовнішнього середовища до холодильної камери.

$$Q''_1 = k_2 \cdot S_{\text{НТК}} \Delta T = 0,765 \cdot 3,1784 (32 - 5) = 77,8 \text{ Вт}$$

в) теплопритік із зовнішнього середовища до камери зберігання овочів і фруктів.

$$Q'''_1 = k_2 \cdot S_{\text{НТК}} \Delta T = 0,765 \cdot 2,3304 (32 - 0) = 57,05 \text{ Вт}$$

Загальний теплопритік Q_1 через усі огорожувальні конструкції.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_1 = Q'_1 + Q''_1 + Q'''_1 \quad (3.8)$$

$$Q_1 = 32,623 + 77,8 + 57,05 = 167,48 \text{ Вт}$$

Навантаження теплове від повітрообміну в камері:

$$Q_2 = 0,05 (Q_1 + Q_3) \quad (3.9)$$

$$Q_2 = 0,05 (167,48 + 0,096) = 8,378526 \text{ Вт}$$

а) навантаження теплове Q' , зумовлене повітрообміном у холодильній камері (ХК).

$$Q'_2 = 0,05(Q'_1 + Q_3')$$

$$Q'_2 = 0,05(77,8 + 0,09) = 3,89 \text{ Вт.}$$

б) навантаження теплове Q'' , спричинене повітрообміном у низькотемпературній камері (НТК).

$$Q''_2 = 0,05(Q''_1 + Q_3'')$$

$$Q''_2 = 0,05(32,623 + 6,25 \cdot 10^{-4}) = 1,63 \text{ Вт.}$$

в) Теплове навантаження Q''' , обумовлене повітрообміном у камері для зберігання овочів і фруктів.

$$Q'''_2 = 0,05(Q'_1 + Q_3')$$

$$Q'''_2 = 0,05(57,05 + 0,09) = 2,857 \text{ Вт}$$

Визначаємо холодопродуктивність Q холодильного агрегату холодильника із трьома камерами. Загальне теплове навантаження обчислюється за такою

формулою:

$$Q'_{0 \text{ x.a}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (3.10)$$

де

$$Q_4 = 1,05 (Q_1 + Q_2 + Q_3). \quad (3.11)$$

$$Q_4 = 1,05 (77,8 + 3,89 + 0,096) = 85,87 \text{ Вт.}$$

$$Q'_{0 \text{ x.a}} = 77,8 + 3,89 + 0,096 + 86 = 167,66 \text{ Вт.}$$

а) визначаємо холодопродуктивність $Q'_{0 \text{ x.a(хк)}}$ холодильного агрегату для холодильної камери (ХК).

$$Q'_{0 \text{ x.a(хк)}} = Q_1' + Q_2' + Q_3' + Q_4' = 167,66 \text{ Вт}$$

Для підвищення надійності отримані результати розрахунків збільшують на 5–10 %, що залежить від ступеня достовірності вихідних даних, використаних під час визначення теплового навантаження.

$$Q''_{0 \text{ x.a}} = 1,05 \sum Q_i = 1,05 (Q'_{0 \text{ x.a(хк)}}) = 1,05 \cdot 167,66 = 176 \text{ Вт.}$$

б) визначаємо холодопродуктивність холодильного агрегату для низькотемпературної камери (НТК).

$$Q''_{0 \text{ x.a(нтк)}} = Q_1'' + Q_2'' + Q_3'' + Q_4'' = 34,253 \text{ Вт.}$$

Для забезпечення надійності отримані результати розрахунків приймають із запасом, збільшуючи їх на 5–10 %, що зумовлено рівнем точності вихідних даних,

використаних під час обчислення теплового навантаження.

$$Q''_{0 \text{ х.а}} = 1,05 \sum Q_i = 1,05 (Q''_{0 \text{ х.а(НТК)}}) = 35,96 \text{ Вт.}$$

в) визначаємо холодопродуктивність $Q''_{0 \text{ х.а(НТК)}}$ холодильного агрегату для камери зберігання продукції.

$$Q''_{0 \text{ х.а(НТК)}} = Q_1'' + Q_2'' + Q_3'' + Q_4'' = 59,9 \text{ Вт.}$$

З метою підвищення надійності результати розрахунків приймають із запасом, збільшуючи їх на 5–10 %, що визначається ступенем достовірності даних, використаних під час розрахунку теплового навантаження.

$$Q''_{0 \text{ х.а}} = 1,05 \sum Q_i = 1,05 (Q''_{0 \text{ х.а(НТК)}}) = 62,9 \text{ Вт.}$$

З урахуванням того, що холодильний агрегат побутового холодильника працює з певним коефіцієнтом робочого часу b , який дорівнює 0,35, холодопродуктивність холодильного агрегату визначається за такою формулою:

$$Q_{0 \text{ х.а}} = Q''_{0 \text{ х.а}} / b \quad (3.12)$$

а) холодопродуктивність в (ХК)

$$Q_{0 \text{ х.а}} = Q''_{0 \text{ х.а(ХК)}} / b = 502 \text{ Вт.}$$

б) холодопродуктивність в (НТК)

$$Q_{0 \text{ х.а}} = Q''_{0 \text{ х.а(НТК)}} / b = 102,75 \text{ Вт.}$$

в) холодопродуктивність в камері для зберігання продукції.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{0 \text{ х.а}} = Q''_{0 \text{ х.а(НТК)}} / \nu = 179,721 \text{ Вт.}$$

$$K = 1,1 \quad \nu = 0,35.$$

Висновки до третього розділу.

У межах третього розділу було спроектовано та розраховано механізм переміщення заслінки, призначений для трансформації «нульової» камери модернізованого холодильника.

Також із використанням сучасних програмних засобів, доступних у мережі Internet, виконано вибір відповідного сервоприводу для переміщення заслінки та проведено основні розрахунки, які підтверджують працездатність запропонованої конструкції.

Крім того, здійснено перевірочний розрахунок холодопродуктивності холодильника з урахуванням зміни об'єму низькотемпературної камери, що реалізується шляхом перетворення трикамерного холодильника на двокамерний із збільшеним об'ємом низькотемпературного відділення.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра виконано огляд науково-технічних джерел, що стосуються конструкцій компресійних холодильників і систем регулювання температури в холодильних камерах.

У результаті аналізу наявних зразків холодильних агрегатів та систем температурного регулювання встановлено, що значна частина з них є застарілою та недостатньо ефективною для застосування в сучасних побутових компресійних холодильниках. Сучасні системи керування температурними режимами в холодильних камерах, зокрема типу No Frost, характеризуються вищою ефективністю, однак також потребують подальшого вдосконалення з метою підвищення їхньої результативності.

У роботі наведено опис призначення базової моделі компресійного холодильника STINOL-104, який обрано як об'єкт модернізації шляхом упровадження вдосконаленої системи регулювання температури.

Розроблено систему керування температурними параметрами всередині холодильника, що реалізується за рахунок трансформації «нульової» (близькриоскопічної) камери у низькотемпературне відділення.

Спроектовано та розраховано схему механізму переміщення заслінки, призначений для регулювання температури у камерах холодильника з трьома камерами.

Також із використанням сучасних програмних засобів, доступних у мережі Internet, виконано вибір відповідного сервоприводу для приводу заслінки та проведено основні розрахунки, які підтверджують працездатність розробленої конструкції. Реалізовано перевірочний розрахунок холодопродуктивності холодильника із врахуванням зміни об'єму низькотемпературної камери, що досягається шляхом перетворення трикамерного холодильника у двокамерний зі збільшеним об'ємом низькотемпературного відділення.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Скиба М.Є., Петко І.В., Бурмістенков О.П., Біла Т.Я. Електропобутова техніка: підручник для студентів вищих навчальних закладів/Скиба М.Є., Петко І.В., Бурмістенков О.П., Біла Т.Я. - Хмельницький: ХНУ, 2017. - 213 с.

2. Ремонт і обслуговування побутових машин і приладів: Уч. посібник для проф. освіти / С.П.Петросов, В.А.Смолянченко, В.В.Левкин та інших. – К.: Видавництво центр «Академія», 2003. – 320с.

3. Діагностика і сервіс побутових машин і приладів: Підручник для проф. освіти / С.П.Петросов, С. Альохін, А.В.Кожемяченко та інших. – К.: Видавничий центр "Академія", 2003. – 320с.

4. Електропобутова техніка. Ч. 1. Холодильна побутова техніка та системи кондиціонування : лаборатор-ний практикум для здобувачів вищої освіти спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / упоряд.: О. О. Коротич, О. С. Поліщук, М. Є. Скиба. Хмельницький : ХНУ, 2021. - 224 с.

5. Релейний захист і автоматика: Навч. посібник / С. В. Панченко, В. С. Блиндюк, В. М. Баженов та ін.; за ред. В. М. Баженова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – Ч. 1. – 250 с Мотор-редуктори з серводвигунами. Код доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/prog/Servo>).

6. Яндутьський О. С., Дмитренко О. О. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 102 с.

7. Hewitson Leslie, Brown Mark, Balakrishnan Ramesh. Practical Power Systems Protection. Oxford; Burlington, MA: Newnes, 2005. 289 p.

8. Ардуїно UA. Офіційний сайт. Код доступу: <https://arduino.ua/cat21-servoprivodi>

9. Технічні інформація для керування сервоприводом. Код доступу: <https://realpars.com/servo-motors-advantages/>

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

10. Технічні інформація плати керування сервоприводом. Код доступу: <https://www.teachmemicro.com/arduino-servo-motor-tutorial/>
11. Технічні інформація плати керування на базі мікроконтролера ATmega2560. Код доступу: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Mega2560>
12. Бібліотека AccelStepper Апаратна платформа Arduino. Код доступу: <https://misro.lital.v.ua/articles/accelstepper-jak-koristuvatisja.html>
13. Сайт компанії DELTA. Код доступу: <https://www.delta-electronics.info/ASDAA2>
14. Кушнір Я.О. Кваліфікаційна робота бакалавра. Код доступу <https://elar.khmnu.edu.ua/collections/6ea43c1c-3f53-4695-89c0-c102ce5deb77>.
15. Худолій С.С. та ін. Методичні рекомендації до лабораторних робіт з дисципліни «Сервоприводи» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2021. – 39 с.
16. Скиба М.Є., Іщук В.І. Експлуатація, обслуговування та ремонт машин. Посібник. - Хмельницький: ХНУ, 2005. – 209 с.
17. Проектування ремонтних та технологічних цехів галузі: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт для студентів напряму підготовки «Машинобудування» Г.Б.Параска, С.В.Смутко, С.П.Лісевич. - Хмельницький: ХНУ, 2010. – 63 с.

ДОДАТКИ

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

