

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Удосконалення терморегулятора компресійного побутового  
ХОЛОДИЛЬНИКА

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
Шифр, назва  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр, назва  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

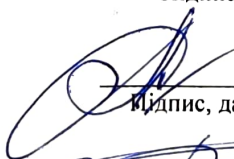
Шифр МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТм-22-1

  
Підпис

А. М. Яворчук  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

О. С. Поліщук  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

доц. О. Поліщук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

О. С. Поліщук  
Ініціали, прізвище

24 12 2023 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

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Поліщук О.С.

\_\_\_\_\_ .2023р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Яворщук Андрій Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Удосконалення терморегулятора компресійного побутового холодильника

керівник роботи Поліщук Олег Степанович, д.т.н., професор

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 08 2023 р. № 30

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики терморегуляторів побутових холодильників

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка удосконаленої конструкції терморегулятора компресійного побутового холодильника. 3. Розрахунок основних елементів конструкції холодильника. Перелік джерел посилання.

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

1. Терморегулятори холодильників (ДО, А1). 2. Принцип роботи терморегулятора (ДТ, А1). 3. Стенд перевірки терморегуляторів (ЕЗ, А1). 4. Терморегулятор холодильника (ЕЗ, А1). 5. Блок керування (ЕЗ, А1). 6. Холодильник трикамерний компресійний. (СК, 3А1).

### 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 та аналіз існуючих з технологічних та технічних рішень тематики магістерської роботи.	до 30.10.23р.	
2. Розробка удосконаленої конструкції терморегулятора компресійного побутового холодильника	до 10.11.23р.	
3. Розрахунок основних елементів конструкції холодильника	до 20.11.23р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.23р.	

Студент

  
Підпис

А.М. Яворщук  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

О.С. Поліщук  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові \_\_\_\_\_

Яворщук Андрій Миколайович

2. Тема магістерської роботи Удосконалення терморегулятора компресійного побутового холодильника

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 74

5. Як і будь-який інший електроприлад, холодильник корисно захистити і від значних відхилень напруги мережі від номінальних 220 В. Велика кількість публікацій на цю тему свідчить про актуальність проблеми як в сільських районах, так і у великих містах. Пропонований блок управління виконує вмикання і вимикання компресора, підтримання в холодильній камері заданої температури, із можливістю регулювання гістерезису – різниці температури включення і виключення компресора, примусово вмикає компресор при значному відхиленні напруги в мережі від норми; не допускає повторного включення компресора раніше 5 хв після виключення з будь-якої причини, у тому числі після викликаного відхиленням мережевої напруги від норми, або ініційованого терморегулятором. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому розділі розроблено удосконалену конструкцію терморегулятора компресійного побутового холодильника. В третьому розділі проведено розрахунок основних елементів конструкції холодильника.

Підпис студента \_\_\_\_\_

"23" 12 2023 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 103 від "29" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК заре 4,5/5

Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар \_\_\_\_\_

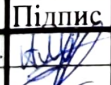


"29" 12 2023 р.

## ЗМІСТ

Стор.

Вступ .....	5
1 Огляд та аналіз існуючих рішень із тематики магістерської роботи .....	8
1.1 Аналіз побутових холодильників .....	8
1.2 Фізичний принцип дії побутових холодильників .....	14
1.3 Конструкції та параметри терморегуляторів .....	29
1.4 Контрольно-діагностичні стенди для перевірки і регулювання терморегуляторів .....	37
Висновки до першого розділу .....	40
2 Розробка удосконаленої конструкції терморегулятора компресійного побутового холодильника .....	41
2.1 Будова і робота удосконаленого терморегулятора .....	41
2.2 Конструкція і деталі .....	45
2.3 Налаштування блоку управління терморегулятора .....	48
Висновки до другого розділу .....	50
3 Розрахунок основних елементів конструкції холодильника .....	51
3.1 Розрахунок теоретичного циклу .....	51
3.2 Розрахунок холодопродуктивності холодильного агрегату .....	54
3.3 Тепловий розрахунок холодильної машини .....	64
3.4 Розрахунок конденсатора .....	66
3.5 Розрахунок випарника .....	68
Висновки до третього розділу .....	71
Загальні висновки .....	72
Перелік джерел посилання .....	73

МРМА 23.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Яворшук А.М.		
Перевір.		Поліщук О.С.		
Н.контр.				
Затвер.		Поліщук О.С.		

Удосконалення терморегулятора  
компресійного побутового  
холодильника

Літера	Аркуш	Аркушів
	4	74

ХНУ, гр.ЕТм-22-1







# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ІЗ ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

## 1.1 Аналіз побутових холодильників

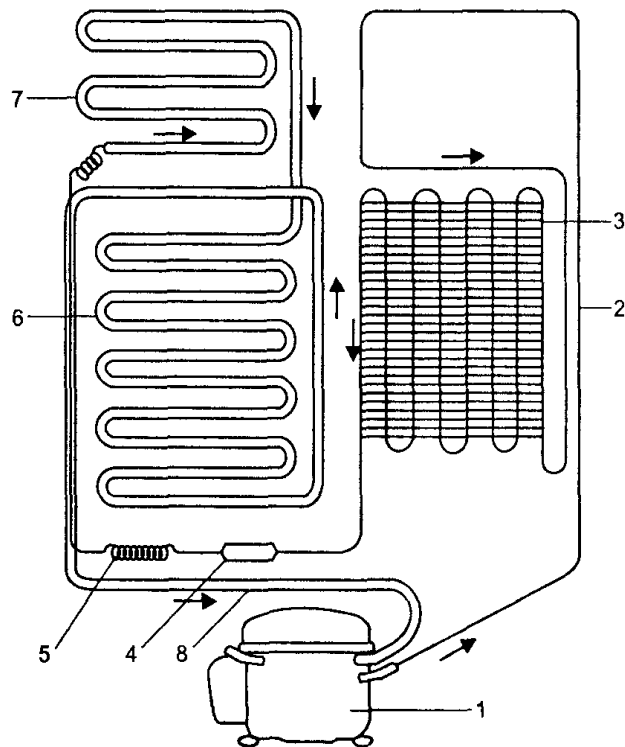
Холодильний агрегат у побутовому холодильнику працює як чиллер. Це означає, що він відводить тепло з холодильної камери і передає його в більш тепле середовище. Холодильний агрегат можна демонтувати з шафи і замінити іншим агрегатом, призначеним для даного типу холодильника. Конструкція окремих вузлів і деталей різних холодильних агрегатів холодильників з однією холодильною камерою і дверима може дещо відрізнятися один від одного, але основна схема однакова.

Процес охолодження відбувається наступним чином. При роботі двигуна/компресора рідкий холодоагент подається з конденсатора до випарника через капілярні трубки. При цьому тиск і температура рідкого холодоагенту знижуються через обмеження пропускної здатності капілярної трубки і охолодження холодними парами холодоагенту, що піднімаються по всмоктувальній трубці від випарника. При температурі  $-10 - 20^{\circ}\text{C}$  і тиску  $0 - 1$  атм рідкий холодоагент у випарнику закипає і поглинає тепло з холодної камери. Для того, щоб холодоагент завжди кипів у випарнику при постійному тиску, холодна пара відсмоктується компресором через всмоктувальну трубку. Коли пара рухається до компресора, її температура підвищується за рахунок теплообміну з теплим рідким холодоагентом, що рухається по капілярній трубці, і навколишнім середовищем. На вході в двигун і корпус компресора температура пари становить близько  $15^{\circ}\text{C}$ .

Температура обмоток двигуна і циліндра компресора значно вища за  $15^{\circ}\text{C}$  і охолоджується парами холодоагенту, що покращує умови роботи двигуна і компресора в герметичному корпусі. Нагріта пара холодоагенту

						Арк.
						8

нагнітається компресором у конденсатор, який охолоджується зовнішнім повітрям.



1 – компресор; 2 – нагнітаюча трубопровід; 3 – конденсатор;  
4 – фільтр-осушувач; 5–капілярна трубка; 6 – випарник холодильної камери; 7– випарник морозильної камери ; 8 – всмоктуючий трубопровід

Рисунок 1.1 – Схема компресійного холодильного агрегату Hotpoint-Ariston HBD1182H:

Тиск пари зростає до 8-11 бар залежно від температури навколишнього середовища. За такого тиску точка конденсації насиченої пари холодоагенту вища, ніж температура навколишнього середовища, тому пара холодоагенту перетворюється на рідину в останньому змійовику конденсатора. Процес конденсації парів супроводжується виділенням тепла. Рідкий холодоагент, температура якого на 10-15°C вища за температуру довкілля, проходить через







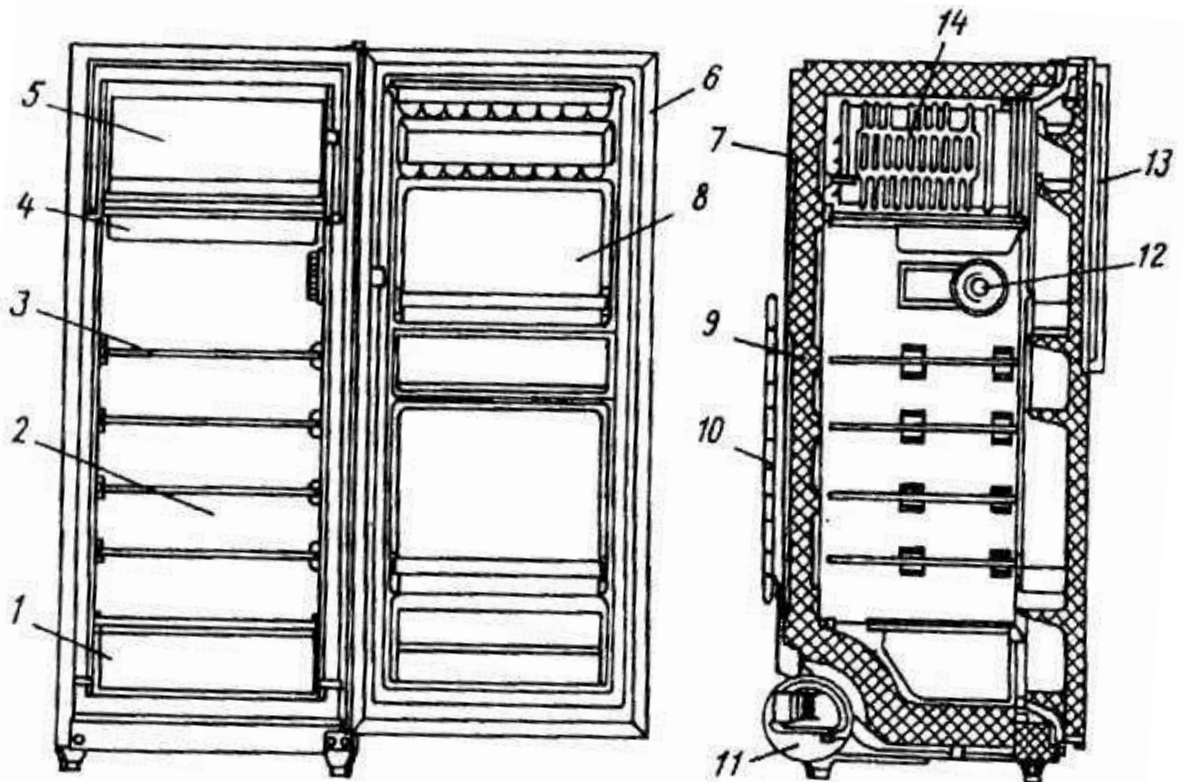










1 — лоток для зберігання продуктів; 2 — холодильна камера; 3 — полиця; 4 — піддон; 5 — низькотемпературне відділення; 6 — ущільнювач; 7 — зовнішній корпус; 8 — двері; 9 — теплоізоляція; 10 — конденсатор; 11 — герметичний компресор; 12 — регулятор температури; 13 — ручка; 14 — випаровувач

Рисунок 1.2 - Будова побутового холодильника

Основними конструктивними вузлами холодильників (рис. 1.2) і морозильників є ізольована шафа та холодильний агрегат (машина). Шафа складається із зовнішньої 7 і внутрішньої стінок, розділених ізоляційним шаром 9. Зовнішня шафа є несучим корпусом і являє собою зварену конструкцію, виготовлену з листів низьковуглецевої сталі товщиною 0,6-1,0 мм. Зовні шафа покрита синтетичною емаллю. Внутрішній корпус утворює холодильне відділення 2. Виготовляється з металу (сталь, алюміній) або



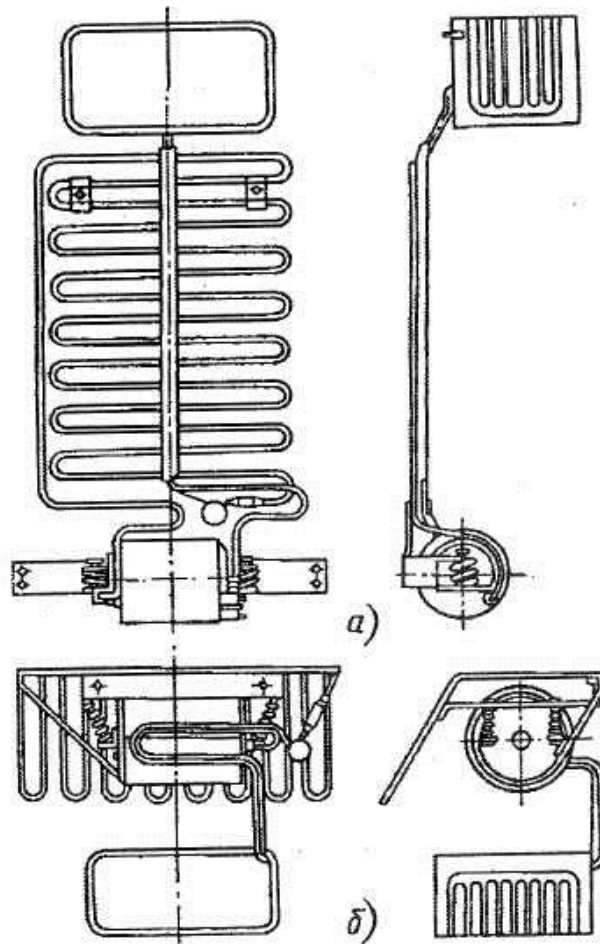










а) – нижнього; б) - верхнього

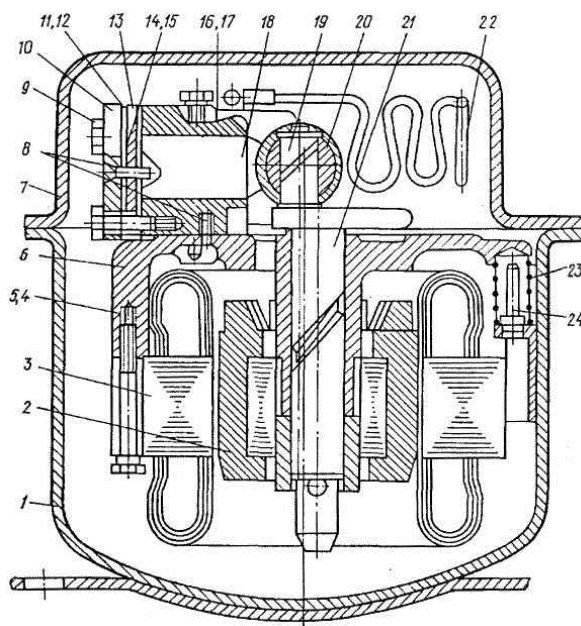
Рисунок 1.3 – Компоновка холодильних агрегатів побутових холодильників в залежності від розташування компресора

Кривошипно-шатунний двигун компресора (мал. 1.4) з вертикальним розташуванням вала підвішений на пружинах 23 (мал. 1.5) у герметичному корпусі 1. Залежно від конструкції підвіски пружини працюють на стиснення або розтягнення і служать для гасіння вібрацій, що виникають під час роботи компресора.

Електродвигуни бувають однофазними, асинхронними і з пусковими обмотками. Для запуску двигуна і захисту його від перевантаження





1 — герметичний кожух в зборі; 2 — ротор електродвигуна; 3 — статор електродвигуна; 4, 5 — гвинти; 6 — корпус компресора; 7 — кришка кожуха; 8 — штифти; 9 — гвинт; 10 — головка циліндра; 11 — прокладка клапана нагнітання; 12 — нагнітальний клапан; 13 — сідло клапанів; 14 — клапан всмоктуючий; 15 — прокладка всмоктуючого клапана; 16, 17 — циліндри; 18 — поршень; 19 — обойма; 20 — повзун; 21 — вал; 22 — трубка нагнітальна; 23 — пружина буферна; 24 — шпилька

Рисунок 1.5 - Конструкція кривошипно-кулісного мотор-компресора (у зборі)

Широко застосовуються дротяні конденсатори з конвективним охолодженням (рис. 1.6, а). Конденсатор являє собою зміювик із мідної трубки діаметром 1,2... 2 мм, з обох боків якого приварені ребра зі сталевого дроту (навпроти). Застосовують також панельні конденсатори з прокатних трубок.

Трубчасті конденсатори використовувалися в старих холодильниках.






Будову терморегулятора ДХВ показано на рисунку 1.6, . В корпусі 1 на осі 2 знаходиться силовий важіль 3, котрий скрізь електроізоляційну підкладку 12 опирається на сильфон 13. Сильфон 13, спаяний трубкою з фланцем 14, прикріплений гвинтами до корпусу.

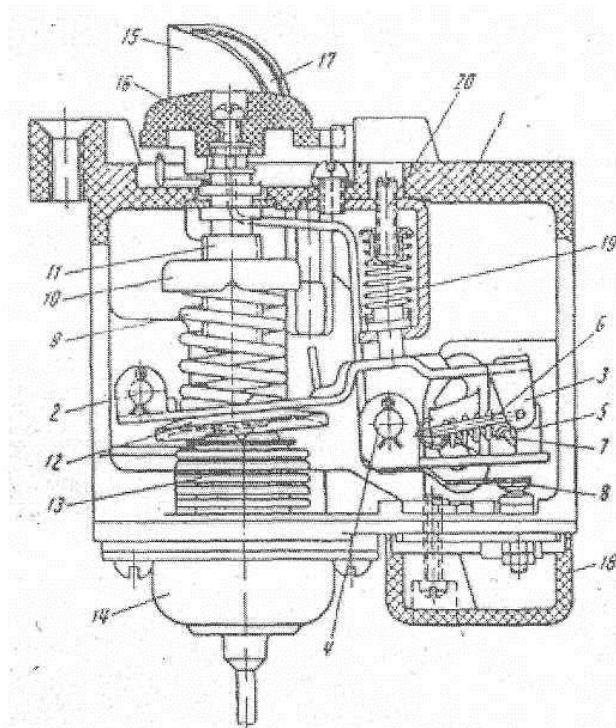


Рисунок 1.7 – Будова терморегулятора ДХВ

Трубка заповнюється 0,25 г фреону 12 і герметично закривається. Тим часом, силовий важіль 3 підтримується силовою пружиною 9. Натяг пружини 9 може бути змінено за допомогою регулювального гвинта 11 і гайки 10. Гвинт II повертається рукояткою 15. Рукоятка фіксується гвинтом 16 і закривається напрямною 17.

Вільний кінець силового важеля з'єднаний серезкою 6 і пружиною 7 з важелем 5, який має рухомий контакт 8 на пружній пластині. Нерухомі контакти знаходяться на планках, з'єднаних із клемми. Важіль 5 рухомого контакту








піднімається: до положення упору в головку гвинта 21. Водночас траверса 22 тягне контактну пружину 20, розмикаючи контакти.

Щоб встановити термостат на відповідний температурний режим, поверніть ручку 10 на валу 9. Під час обертання вала 9 кулачок 8 одночасно повертається, штовхаючи регулювальний важіль 12. Регулювальний важіль 12 розміщений на півосі 13 і повертається для зміни натягу пружини 5.

Пристрій модифікації TRX-KO відрізняється від пристрою TRX-K наявністю напівавтоматичного механізму розморожування. Під час натискання кнопки 11 регулювальний важіль 12 із пружиною 5 опускається, перетинає нейтральну вісь і впирається в кінець гвинта 19, одночасно розмикаючи контакти 23 і 24, і пружина 5 отримує натяг відповідно до зусилля розморожування. У разі досягнення заданої температури розморожування силовий важіль 2 повертається проти годинникової стрілки, його виступ 15 піднімає важіль 12 над нейтральною віссю, який повністю відкидається в кулачок 8, унаслідок чого контакти 23 і 24 замикаються. Термостат працює в заданому режимі.

Гвинт 21 використовується для регулювання перепаду, а гвинт 19 - для регулювання температури розморожування.

Термостат підключається до джерела живлення холодильника за допомогою швидкознімного наконечника, прикріпленого до клеми 17.

Температурні характеристики термостатів різних специфікацій наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Температурні характеристики терморегуляторів TRX – К

						Арк.
						35







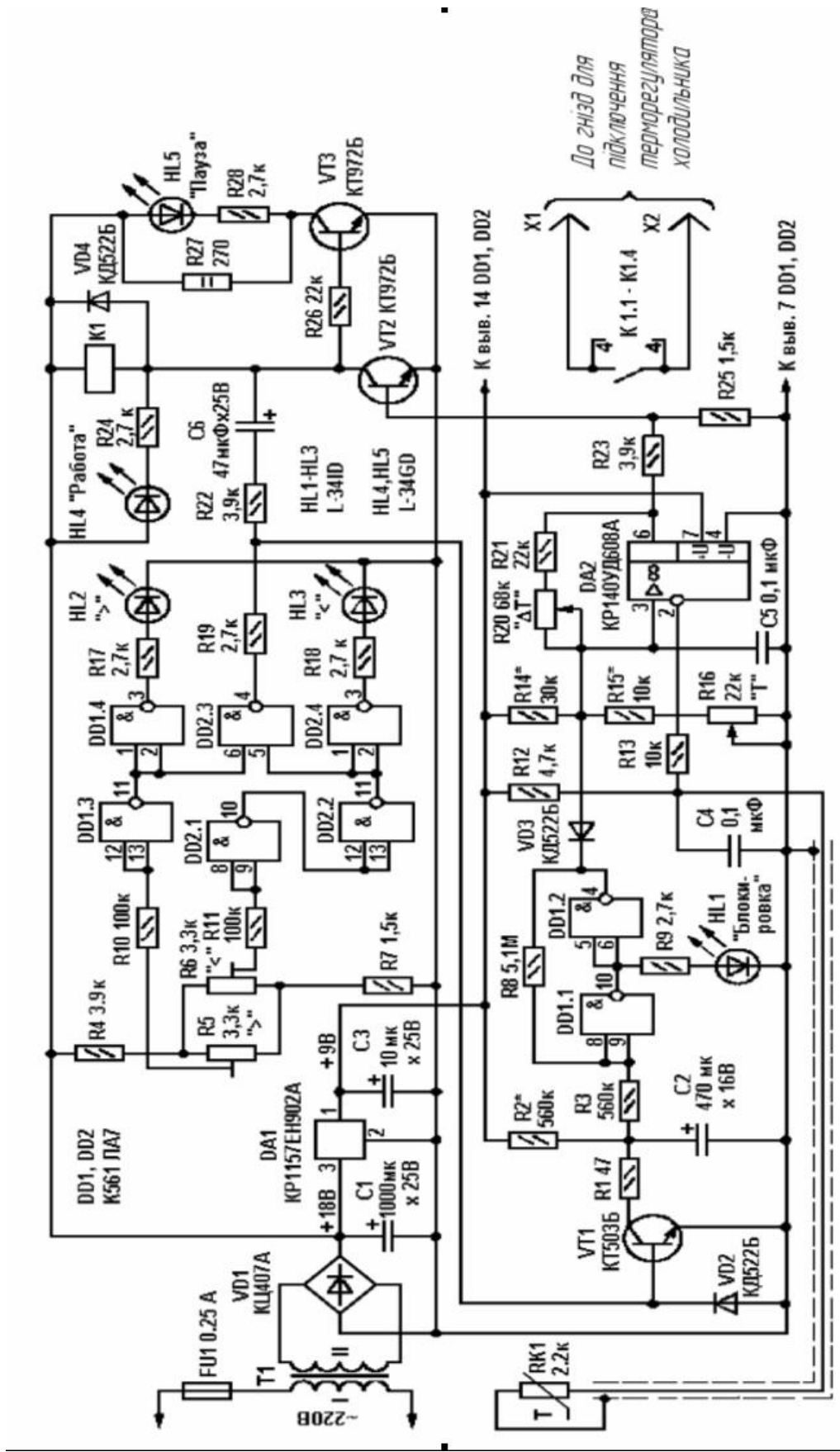


## Висновки з розділу 1.

У розділі 1 було розглянуто та проаналізовано конструкції наявних побутових холодильників і принципи їхньої роботи. Детально розглянуто та проаналізовано наявні конструкції термостатів для побутових холодильників і стенди для їхніх випробувань. У результаті метою магістерської дисертації є розробка вдосконаленої конструкції термостата для побутових холодильників компресійного типу.

						Арк.
						40





До гнізд для підключення терморегулятора холодильника

Рисунок 2.1- Принципова схема регулювання температури холодильника HOTPOINT-ARISTON HBD1182H.





спричинених потужним електрообладнанням, під'єднаним до тієї самої мережі).

Час реакції пристрою в разі раптового падіння напруги в мережі (близько 65 мс) складається з часу, потрібного для розрядження конденсатора С1 до мінімально допустимої напруги, і часу, потрібного для розрядження конденсатора С2 через відкритий транзистор VT1. Час реакції на різке підвищення напруги в мережі становить лише 25,40 мс. Цей час витрачається на зарядження конденсатора С1 до встановленого порога і розрядження конденсатора С2.

## 2. 2 Конструкція та компоненти

Усі елементи блока керування, за винятком реле К1, змінних резисторів R16 і R20, термістора RK1 і плавкої вставки FU1, розташовано на односторонній друкованій платі (рис. 2.2). Розташування компонентів на друкованій платі показано на рис. 2.3.

						Арк.
						45











встановлений у морозильній камері, продовжуватиме працювати (за зачинених дверей).

Пристрій може бути встановлений на інші моделі компресорних холодильників, при цьому можна змінити розташування датчика температури, елементів управління та індикації, а також розмір друкованої плати, якщо це необхідно.

Видаливши елементи термостата (термістор RK1, мікросхему DA2, діод VD3, резистори R12 - R16, R20, R21, конденсатори C4 і C5) і під'єднавши лівий вивід резистора R23 до виводу елемента DD1.2, можна використовувати блок для захисту приладів від перепадів напруги в мережі. можна використовувати для захисту приладу від перепадів напруги в мережі. може використовуватися для захисту приладу від перепадів напруги в мережі.

Висновок до розділу 2.

Розроблено вдосконалену систему керування термостатом, контролю температури та надано рекомендації щодо налаштування блока керування термостатом.

						Арк.
						51



По відомих термодинамічних параметрах стану визначається величини які характеризують цикл, і зводяться в таблицю.

По формулі знаходимо  $i_3$ .

$$i_3 = 280 - (410 - 385,4) = 255,4 \text{ кДж/кг}$$

Ця ентальпія відповідає температурі  $40^\circ \text{C}$ .

По відомих параметрах стану таблиці проводиться розрахунок теоретичного циклу.

Питома масова холодопродуктивності:

$$q_o = i_1 - i_4 = 385 - 255 = 130 \text{ (кДж / кг)} \quad (3.3)$$

Питома об'ємна холодопродуктивності:

$$q_v = q_o / v_i = 130 / 0,185 = 702,7 \text{ (кДж/м)} \quad (3.4)$$

Кількість теплоти, що відводиться з конденсатора:

$$q_k = i_2 - i_3 = 470 - 283 = 187 \text{ (кДж/кг)} \quad (3.5)$$

Робота компресора в адіабатичному процесі стискування:

$$L = i_2 - i_1 = 470 - 412 = 58 \text{ (кДж/кг)} \quad (3.6)$$

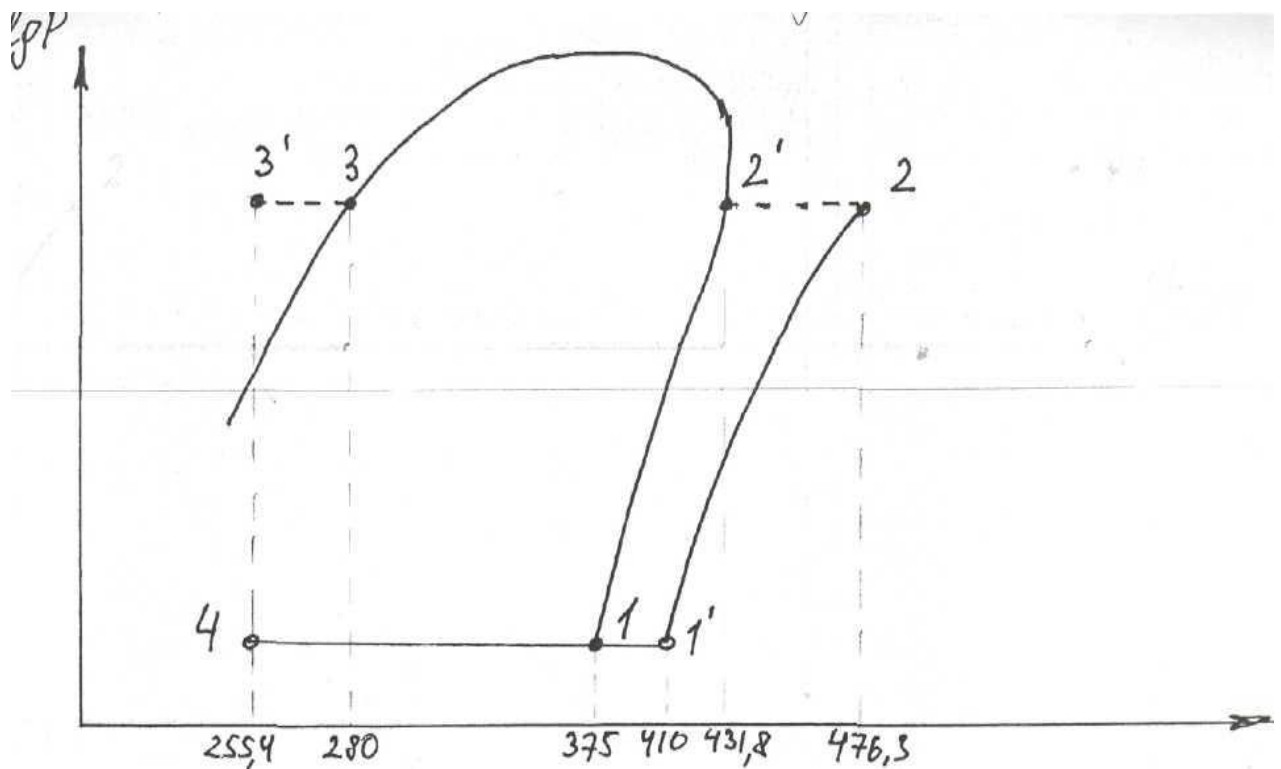
Холодильний коефіцієнт:

$$E = q_o / L = 130 / 58 = 2,24 ; \quad (3.7)$$

2 < E < 6 – цикл ефективний

Таблиця 3.1 - Параметри холодоагенту

№	t, °C	P, мПа	V, м <sup>3</sup> /кг	i, кДж/кг	S, кДж/кгК
1	-25	0,127	0,160	385	1,73
1'	10	0,127	0,185	412	1,85
2	55	0,640	0,014	470	1,72
2'	95	0,640	0,017	440	1,85
3	55	0,640	-	283	-
3'	40	0,640	-	255	-
4	-25	0,127	-	255	0,40


















б) теплоприток із зовнішнього середовища в холодильну камеру

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

в) теплоприток із зовнішнього середовища в камеру для зберігання овочів і фруктів

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

$Q_1$  = загальний теплоприток через всі огорожування

$$Q_1 = Q'_1 + Q''_1 + Q'''_1 = 32,623 + 77,8 + 57,05 = 167,48 \text{ Вт} \quad (3.16)$$

Теплове навантаження від повітрообміну:

$$Q_2 = 0,05 (Q_1 + Q_3) \quad (3.17)$$

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

а) Теплове навантаження від повітрообміну в ХК

$$Q'_2 = 0,05(Q'_1 + Q'_3) \quad (3.18)$$

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

б) Теплове навантаження від повітрообміну в НТК

$$Q_{\gg 2} = 0,05(Q_{\gg 1} + Q_{\gg 3}) \quad (3.19)$$

$$Q_{\gg 2} = 0,05(32,623 + 6,25 \cdot 10^{-4}) = 1,63 \text{ Вт}$$



























ДОДАТКИ

						Арк.
						76