

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка побутового міні холодильника

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

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-23-1


Підпис

В. В. Панчук
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С. Л. Горященко
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С. І. Лукінець
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

Хмельницький 2024

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

Спеціалізація _____

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



17.12.2024

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Панчук Володимир Васильович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка побутового міні холодильника

керівник роботи Горященко С.Л., к.т.н., доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Напруга 220 В, температура охолодження до 5 °С,

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, Огляд існуючих моделей холодильників та систем їх керування,
Розробка конструкції холодильника, Розробка електрообладнання міні
холодильника, Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
МРМА 24.00.00.000 ДО, МРМА 24.00.00.000 ДІ1, МРМА 24.00.00.000 РР,
МРМА 24.00.00.000 ДІ2, МРМА 24.00.00.000 ВЗ, МРМА 24.00.00.000 ЕЗ,
МРМА 24.02.00.000 ВЗ.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

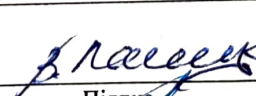
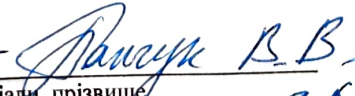
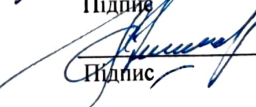
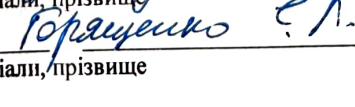
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Оптимізація конструкції холодильників та систем їх керування	до 30.10.2024р.	
2. Розробка конструкції холодильника	до 10.11.2024р.	
3. Розробка електрообладнання мережі-холодильника	до 20.11.2024р.	
4. Оформлення пояснювальної документації та графічного матеріалу	до 12.12.2024р.	

Студент

Керівник роботи

 - 
 Підпис Ініціали, прізвище
 
 Підпис Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Жангун Володимир
Васильович

2. Тема магістерської роботи Розробка подумового
ліміту холодильника

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 61

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: Вступ.
1. Огляд існуючих моделей холодильників та систем їх
керування
2. Розробка конструкції холодильника
3. Розробка електрообладнання ліміт-холодильника
Висновки
Додатки
Додатки

Підпис студента В. Жангун

" 14 " 12 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 2 від " 24 " 12 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК добре / 6

Рекомендації ЕК _____



Особливі відмітки _____

Технічний секретар [підпис]

" 24 " 12 20 24 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1. Огляд існуючих моделей холодильників та систем їх керування..	6
1.1 Холодильник Samsung RB29FSRNDWW	6
1.2 Холодильник Indesit TAA 5	7
1.3 Холодильник LG GBB72MCUZN	8
1.4 Холодильник Ariston CTF 5500	9
1.5 Холодильник Beko TSE 1283	10
1.6 Патент на холодильник	11
1.7 Користна модель на холодильник	13
1.8 Аналіз існуючих схем контролю температури холодильників....	16
1.9 Висновки до розділу	19
2 Розробка конструкції холодильника.....	20
2.1 Моделювання холодильного циклу	20
2.2 Розрахунок параметрів холодильника	22
2.3 Математичний опис системи керування холодильником.....	28
2.4 Розрахунок автономного джерела живлення для холодильника..	30
2.5 Моделювання холодильника	32
2.6 Висновки до розділу.....	39
3 Розробка електрообладнання міні холодильника	40
3.1 Розробка блоку регулювання температури.....	40
3.2 Робота терморегулятора	42
3.3 Конструкція блоку керування.....	45
3.4 Висновки до розділу	49

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка побутового міні холодильника	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Панчук В.						3	
Перевір.		Горященко С.							
Т.Контр									
Н. Контр									гр. ЕТм-23-1
Затверд.		Неймак В.С.							

Висновки	50
Перелік посилань	51
Додаток А.....	56
Додаток Б	59
Додаток В	61
Додаток Г	63

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Вступ

Серед численних побутових приладів, що полегшують роботу і підвищують рівень домашньої культури, холодильник відіграє особливу роль. Тільки при наявності в будинку холодильника ви зможете забезпечити собі повноцінне і збалансоване харчування свіжими і замороженими якісними продуктами. У той же час ви можете скоротити частоту відвідування магазинів, закуповувати продукти великими партіями і, як наслідок, економити час вдома. В останні роки розгорнулося масове виробництво побутових холодильників - 1 з найскладніших побутових приладів. [2]

Компактні холодильники зазвичай мають об'єм від 50 до 150 літрів. Важливо визначити, скільки продуктів ви плануєте зберігати, щоб не переплачувати за надмірно великий обсяг. Багато компактних моделей використовують статичне охолодження (традиційний тип), але є й моделі з нульовою температурою (для збереження овочів, фруктів тощо) або динамічним охолодженням (з вентилятором для рівномірного охолодження).

Вибір холодильника з високим енергетичним класом (А або вище) допоможе знизити витрати на електрику. Моделі класу А+++ є найбільш енергоефективними. Система No Frost зменшує утворення льоду в морозильній камері. Компактні моделі часто використовуються в невеликих кухнях або як додаткові холодильники, тому дизайн і колір можуть бути важливими для загального інтер'єру.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ХОЛОДИЛЬНИКІВ ТА СИСТЕМ ЇХ КЕРУВАННЯ

1.1 Холодильник Samsung RB29FSRNDWW

Технічні характеристики у цього холодильника (рис.1.1) такі [2]:

- Об'єм: 288 л (носовий відсік і морозильна камера).
- Тип охолодження: No Frost.
- Клас енергоспоживання: A+.
- Особливості: Просторі полиці, динамічне охолодження.
- Ціна: 12 000-14 000 грн.
- Плюси: Хороша ємність, безшумна робота.
- Мінуси: Високий рівень ціни для компактних моделей.



Рисунок .1.1 – Холодильник Samsung RB29FSRNDWW

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1.2 Холодильник Indesit TAA 5

Технічні характеристики у холодильника Indesit (рис.1.2) такі [3]:

- Об'єм: 137 л (морозильна камера — 40 л).
- Тип охолодження: Статичне.
- Клас енергоспоживання: А+.
- Особливості: Простий у використанні, доступна ціна.
- Ціна: 5 500 - 6 500 грн.
- Плюси: Доступна ціна, компактний.
- Мінуси: Статичне охолодження може призводити до замерзання.



Рисунок 1.2 - Холодильник Indesit TAA 5

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1.3 Холодильник LG GBB72MCUZN

Технічні характеристики у холодильника LG (рис.1.3) такі [4]:

- Об'єм: 341 л.
- Тип охолодження: No Frost.
- Клас енергоспоживання: A++.
- Особливості: Інверторний компресор, технологія Moist Balance Crisper для збереження овочів.
- Ціна: 15 000 - 17 000 грн.
- Плюси: Інноваційні технології, висока енергоефективність.
- Мінуси: Вища ціна.



Рисунок 1.3 - Холодильник LG GBB72MCUZN

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.4 Холодильник Ariston CTF 5500

Технічні характеристики у холодильника Ariston (рис.1.4) такі [5]:

- Об'єм: 123 л (морозильна камера — 39 л).
- Тип охолодження: Статичне.
- Клас енергоспоживання: А+.
- Особливості: Можливість переставлення дверей.
- Ціна: 6 000 - 7 000 грн.
- Плюси: Економічна ціна, компактні розміри.
- Мінуси: Може бути шумним.



Рисунок 1.4- Холодильник Ariston CTF 5500

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1.5 Холодильник Веко TSE 1283

Відомо холодильник з морозильником [6], яка розташована зверху. Колір / Матеріал покриття нерж. сталь . Управління електромеханічне. Енергоспоживання клас А++. Кількість компресорів 1. Холодоагент R600a (ізобутан). Габарити (ШхГхВ) 54. 5х60х84 см. Розморожування холодильної камери краплинна система. Автономне збереження холоду до 10 год. Потужність заморожування до 2 кг/добу. Об'єм Загальний об'єм 114 л. Рівень шуму до 37 дБ .



Рисунок 1.5- Холодильник Веко TSE 1283

1.6 Патент на холодильник

Даний винахід відноситься до невеликого холодильника, який містить: основний корпус холодильника, який має безліч частин для прийому ніжок, що простягаються вгору від дна; безліч опорних ніжок, розміщених у ділянці розміщення ніжок і здатних переміщатися всередину та з основного корпусу холодильника та мають безліч фіксуючих отворів уздовж поздовжнього

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

напрямку; Він містить фіксуєчий штифт, який вставляється в кріпильний отвір опорної ніжки. Завдяки цьому маленький холодильник можна регулювати по висоті і легко діставати продукти. [7]

Вищевказана мета, відповідно до цього винаходу, полягає в створенні невеликого холодильника, який містить: основний корпус холодильника, який має безліч частин для прийому ніжок, що простягаються вгору від дна; безліч опорних ніжок, розміщених у ділянці розміщення ніжок і здатних переміщатися всередину та з основного корпусу холодильника та мають безліч фіксуєчих отворів уздовж поздовжнього напрямку; Це досягається за допомогою холодильника, що включає в себе фіксуєчий штифт, вставлений у фіксуєчий отвір опорної ніжки. Далі даний винахід буде детально описано з посиланням на креслення. Фігура 1 показує відкритий стан холодильника даний винахід - це вид спереду. Як можна бачити на кресленні, холодильник 1 має основний корпус 5 холодильника та регулятор 51 висоти, встановлений у нижній частині основного корпусу 5 холодильника, щоб забезпечити можливість регулювання висоти. Основний корпус 5 холодильника має охолоджуючу камеру 11 для зберігання харчових продуктів, як описано раніше з посиланням на фіг.3, і дверцята 21 холодильника, які можна відкривати і закривати обертанням, встановлені на передній частині охолоджувальної камери 11). полиці 15, які поділяють внутрішню частину на шари, розташовані горизонтально, а камера 13 для виробництва льоду, яка підтримується при відносно низькій температурі, передбачена у верхній зоні.

Дверцята 21 холодильника спираються з можливістю обертання на шарнірну частину 17, встановлену вертикально на одному краю корпусу 5 холодильника. Знімна захисна планка 19 встановлена на внутрішній стінці дверцят 21 холодильника, щоб забезпечити простір для зберігання напоїв і легкої упаковки харчових продуктів. Між тим, Фіг. 2 є частково збільшеним видом у перспективі Фіг. 1, що показує частину регулювання висоти збільшений малюнок. Як можна бачити на цій фігурі, блок 51 регулювання висоти

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

встановлений на опорній ніжці 71 і нижній частині основного корпусу 5 холодильника, і з можливістю ковзання вміщує опорну ніжку 71 в осьовому напрямку частина 61, і фіксує ніжку елемент 81, який фіксує положення опорної ніжки 71, яка виведена всередину частини 61, що вміщує ногу. Вона має заданий діаметр поперечного перерізу. Опорні ніжки 71 у формі круглих штанг розташовані двома парами, паралельними одна одній, і безліч кріпильних отворів 73 сформовано через регулярні інтервали вздовж поздовжнього напрямку. Ці кріпильні отвори 73 горизонтально поглиблені в круглій формі, і фіксує елемент 81 ніжки вставляється в одну сторону. Елемент 81 фіксації ніжки має форму штифта та має круглу вставну частину 83 у формі стрижня, яка вставляється у фіксує отвір 73 і має відносно менший діаметр, ніж фіксує отвір 73. Він має відносно великий діаметр і має головку 85 який виступає назовні, коли він розміщений у кріпильному отворі 73.

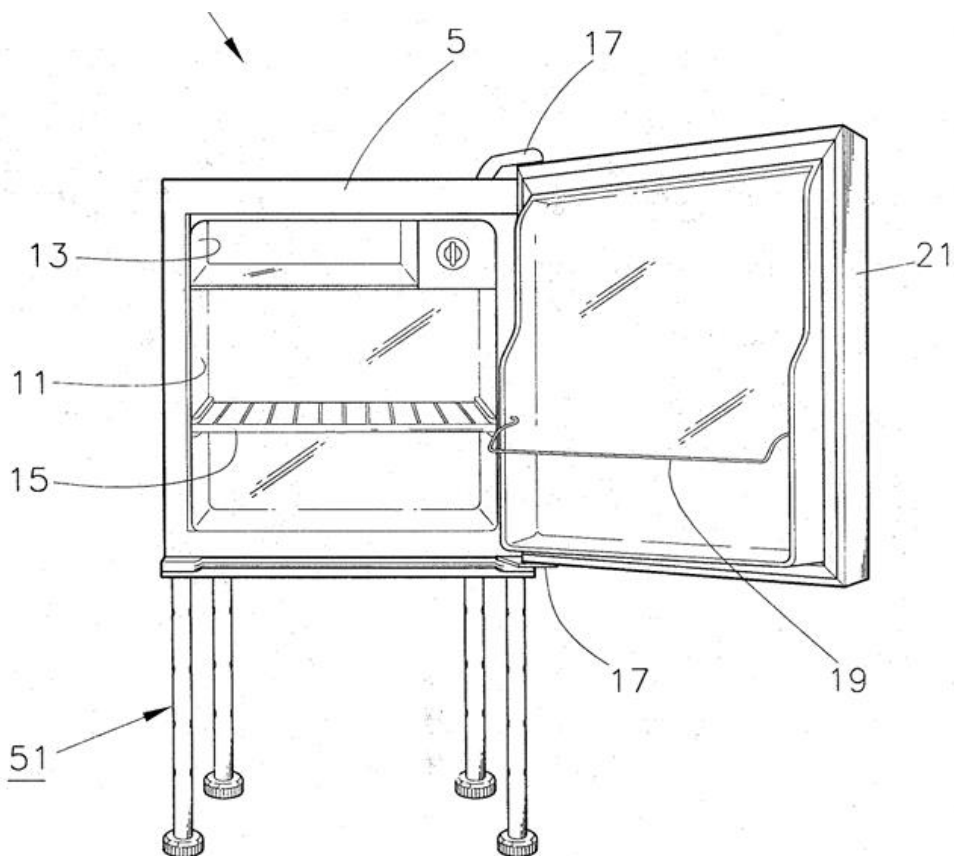


Рисунок 1.6 - Конструкція холодильника згідно патенту

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Відповідно, можна підтримувати холодильник 1 горизонтально, коли опорні ніжки 71 розміщені в ньому, і коли положення фіксуючого ніжки 81, вставленого в кріпильний отвір 73 опорної ніжки 71, змінюється, холодильник 1 є можна відрегулювати висоту від поверхні встановлення (1).

Як пояснено вище, у холодильнику відповідно до цього винаходу. при необхідності забезпечується відповідний Ефект можливості регулювання висоти корпусу холодильника. В результаті користувач може легко дістати вміст з маленького холодильника, не нахилиючись. Крім того, покращується ефективність вентиляції малих холодильників.

1.7 Корисна модель на холодильник

Корисна модель [8] розкриває невеликий холодильник, який включає в себе: корпус-коробку з сформованим всередині корпусу-коробки дверцятами, з'єднаними з можливістю обертання, і стільницю, розташовану на верхній частині корпусу-коробки. , стільниця включає в себе: похилу частину, розташовану під кутом, і дисплейну панель, встановлену на похилій частині. Корисна модель вирішує проблему попереднього рівня техніки, згідно з якою дисплейна панель розташована на дверцятах невеликого холодильника, що створює незручності для користувачів. [8]

Малий холодильник, в якому перша складна частина, що тягнеться вниз від платформи для розміщення, розташована щонайменше з обох боків платформи для розміщення, а платформа для нахилу знаходиться в контакті з другою складною частиною, що йде вниз. розташовані у відповідних місцях з обох боків столу для розміщення та першої Існує плавне перехідне з'єднання між відкидною частиною та платформою для розміщення, плавне перехідне з'єднання між другою відкидною частиною та нахиленою платформою, перший підсилювальний компонент передбачений на внутрішній стінці з'єднання між першою відкидною частиною та розміщенням платформи, а на третій. Другий

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

підсилювальний компонент передбачений на внутрішній стінці з'єднання між двома складеними частинами та перекидною платформою.

Орієнтація або позиційне співвідношення, показане на кресленнях, призначене лише для полегшення опису цього винаходу та спрощення опису, і не вказує та не означає, що згаданий пристрій або компонент повинен мати певну орієнтацію, бути сконструйованим і працювати в певній орієнтації, і, отже, не можна його слід розуміти як обмеження цього винаходу. В описі цієї корисної моделі слід зазначити, що, якщо інше чітко не обумовлено та не обмежено, терміни «встановлення», «підключення» та «підключення» слід розуміти в широкому сенсі, наприклад, це може бути а фіксоване з'єднання або фіксоване з'єднання. Воно може бути роз'ємним або нероз'ємним. Фахівцям у даній галузі техніки конкретні значення наведених вище термінів у цьому винаході можуть бути зрозумілі в конкретних ситуаціях. У наведеному вище описі варіантів здійснення конкретні ознаки, структури, матеріали або характеристики можуть бути об'єднані будь-яким відповідним чином у будь-якому одному або кількох варіантах здійснення або прикладах [8].

Компресорний відсік розташований у нижній частині коробки 100. Компресор розташований у компресорному відсіку через трубу холодоагенту для охолодження всієї камери зберігання. При налаштуванні відповідно встановлюються повітряний вхід і повітряний вихід. У той же час вентилятор встановлюється для всмоктування потоку повітря з впускного отвору для проходження повітря через випарник, а потім видування його з впускного отвору для повітря, щоб потік повітря безперервно циркулював у порожнині накопичувача для досягнення ефекту повітряне охолодження та холод. Корпус 200 дверей з'єднаний з можливістю обертання до корпусу 100 коробки. Коли корпус 200 дверей встановлений, він може бути з'єднаний з можливістю обертання до корпусу 100 коробки через шарнір. Щоб полегшити відкривання або закривання корпусу 200 дверцят, частина 210 захоплення втоплена у верхній

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

частині корпусу 200 дверцят. Це робить зручним для користувача взяти корпус 200 дверей зверху та відкрити двері тіло 200.

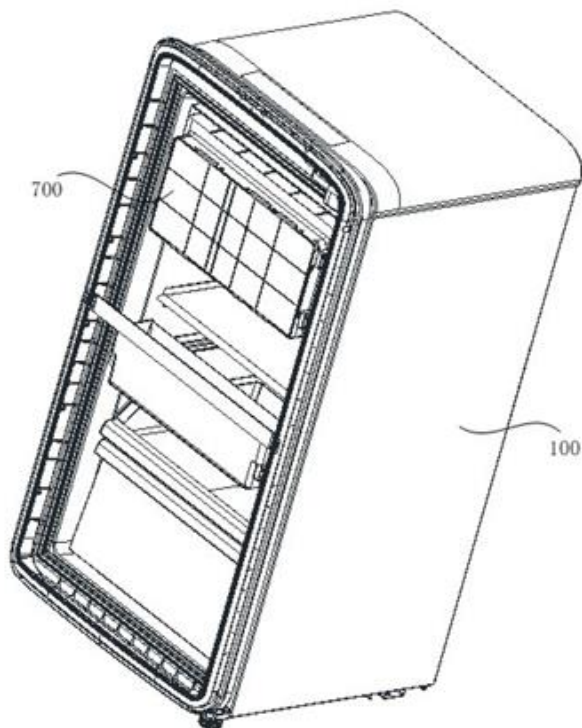


图3

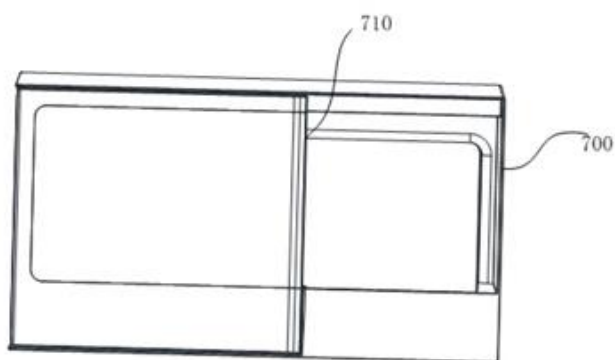


Рисунок 1.7 - Конструкція холодильника згідно корисної моделі

Відповідно, деякі упаковані косметичні засоби, такі як маски для обличчя тощо, можна помістити в першу порожнину для зберігання, оскільки такі предмети упаковані, їх непросто відчути запах, тому їх можна зберігати в першій порожнині для зберігання у відкритому стані. Просто помістіть його в камеру зберігання. [0060] Коробка 700 для зберігання карток у цьому варіанті здійснення

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

дозволяє користувачеві вибрати для зберігання її в різних камерах для зберігання відповідно до його фактичних потреб у зберіганні під час її використання, так що реалізуються різні потреби в зберіганні для різних предметів і реалізується функція зберігання диверсифікація.

Порівняємо ціни та характеристики і зведемо до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики існуючих холодильників

Модель холодильника	Об'єм (л)	Клас енергоспоживання	Переваги	Недоліки	Орієнтовна вартість
Samsung RB29FSR NDWW	288	A+	Просторі полиці Безшумна робота Технологія No Frost	Висока ціна для компактних моделей	12 000 - 14 000 грн
Indesit TAA 5	137 (мороз. оз. 40)	A+	Доступна ціна Простота у використанні Компактність	Статичне охолодження (може замерзати)	5 500 - 6 500 грн
LG GBB72MC UZN	341	A++	Інверторний компресор Технологія Moist Balance Crisper Технологія No Frost	Вища ціна	15 000 - 17 000 грн
Ariston CTF 5500	123 (мороз. оз. 39)	A+	Економічна ціна Можливість переставлення дверей	Може бути шумним	6 000 - 7 000 грн
Beko TSE 1283	121 (мороз. оз. 24)	A+	Компактний розмір Висока енергоефективність Зручні полиці	Не дуже потужний морозильник	7 000 - 8 500 грн

1.8 Аналіз існуючих схем контролю температури холодильників

Сучасні побутові холодильники і морозильники є складними побутовими приладами, які працюють в певних умовах - в житлових (кухонних) приміщеннях, тому до них пред'являються високі вимоги. Простота управління і догляду за ними

тільки для користувача, якщо вони функціонують в автоматичному режимі. Мінімальний рівень шуму. Високий рівень надійності. Повна безпека експлуатації. Можуть бути невеликі розміри, які можуть мати певну корисну потужність, низьку вартість та низькі експлуатаційні витрати. [15,16, 17]

1.8.1 Регулятор контролю температури TRL - D01

Зовнішній вигляд пристрою показано на рис. 1.8. Напруга живлення - 230 В, максимальний струм - 16 А, діапазон встановлення температури - від 5 до 90 °С, диференціал перемикавання - 0,5 к. Комфортний температурний режим залежно від встановленої температури У режимі зниження температури терморегулятор працює при температурі на 8 °С нижче встановленої. У режимі розморожування термостат підтримує температуру на рівні 5 °С. [14].



Рисунок 1.8 – Регулятор контролю температури TRL - D01

Недоліком є складність управління регуляторами і значні розбіжності в регулюванні.

1.8.2 Регулятор температури TRL-D02

Це показано на рисунку 1.9. Напруга становить 230 В. Діапазон налаштування температури - 5-90°С. Диференціал перемикавання - 0,5 літра. Максимальний струм - 16,5 кВт за допомогою сенсорного екрану. 16 А за допомогою інтерфейсу управління. Це схоже на D01, але термостат працює на

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

8°C нижче встановленої температури. Керувати ним можна за допомогою вбудованого, зовнішнього або обох датчиків [15].



Рисунок 1.9 - Регулятор TRL - D02 контролю температури

1.8.3. Регулятор контролю температури TRL - P01

Зовнішній вигляд показаний на рис. 1.10. Напруга становить 230 В. Діапазон налаштування температури становить від 5 до 90°C. різниця перемикачів становить 0,5 к. Максимальний струм в температурному режимі становить 16 а. тривалість програмування становить 5+2 дні. [14]

Існує ручний режим, який встановлює температуру відповідно до індивідуальних вимог. При погодинному програмуванні день ділиться на 6 періодів подій, кожному періоду присвоюється певний час і температура, і термостат автоматично працює відповідно до цього графіка. Комфортний режим (змішаний) - погодинний програмований режим дозволяє тимчасово змінювати температуру, зміна вступить в силу до початку наступного періоду. Режим блокування кнопок; індикація помилок під час роботи; управління від вбудованого, зовнішнього або обох датчиків; калібрування температури; Адаптивна функція попереднього нагріву за 30 хвилин; моніторинг енергоспоживання - загальний час включення у відсотках від останніх 3 днів.

Недоліки: висока вартість пристрою.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 1.10 - Регулятор TRL - P01 контролю температури

1.9 Висновки до розділу

Було проведено огляд існуючих холодильників, зроблено порівняльний аналіз. Визначені основні переваги та недоліки за окремими критеріями. Розглянуті існуючі патентні рішення. Проведено огляд середньостатистичних блоків керування температури, що можуть бути використані для нашої роботи.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ХОЛОДИЛЬНИКА

2.1 Моделювання холодильного циклу

Холодильники використовуються для збереження свіжості та корисності продуктів. Однак це не є основною метою проектування холодильників. Останніми роками оптимальне енергоспоживання та краще охолодження холодильників розглядаються одночасно. Таким чином виробники планують досягти цієї мети [9-10]. Сьогодні функціональний розвиток і оптимізація у вигляді науково-дослідних проектів з програмним моделюванням і чисельними розрахунками призводять до підвищення ефективності досліджень і зниження витрат у процесі проектування і розробки. Основними компонентами системи охолодження холодильника є компресори, конденсатори, капілярні трубки, запобіжні клапани, випарники та інші компоненти, що моделюються та експлуатуються у взаємозв'язку з внутрішньою та зовнішньою частиною холодильника. Холодильники працюють на принципах термодинамічних циклів і другого закону термодинаміки. Термодинамічний цикл - це обов'язково замкнутий цикл, в якому речовина повертається до свого початкового стану за допомогою різних процесів [11-14]. Охолодження зазвичай відбувається в холодильній камері за допомогою парокомпресійної системи охолодження. У цій системі охолодження відбувається, коли «холодоагент» поглинає тепло від випарника (частини простору, що охолоджується) і перетворюється на пару. Компресор - найважливіший компонент холодильника, без якого він не міг би функціонувати. Це механічна частина пристрою, яка передає механічну енергію робочому тілу або холодоагенту. Робота компресора схожа на роботу людського серця, яке таким чином перекачує кров по всьому тілу. Аналогічно, компресор регулює холодоагент, підвищуючи його тиск, і розганяє його по всьому холодильнику. Після того, як холодоагент виходить з компресора у вигляді газу (перегрів), конденсатор охолоджує холодоагент і змінює його фазу. Холодоагент

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виходить з конденсатора в рідкому стані (переохолоджений) і потрапляє в капілярну трубку (розширювальний клапан). Після того, як тиск холодоагенту падає і він перетворюється на суміш пари і рідини з нижчою температурою, він потрапляє у випарник, де відбувається процес охолодження за рахунок зміни фази холодоагенту і поглинання тепла від холодоагенту. Потім насичена пара низького тиску надходить у компресор, і цикл повторюється знову.

Опис імітаційної моделі та параметри для оцінки проекту за допомогою моделювання розглядався у [15-17] Система має дві механічні частини (охолодження) та електронну частину (управління), які моделюються в 0D та 1D формі, а також моделюється функція кожного компонента. Температура і тиск холодоагенту контролюються протягом усього циклу, і якщо вони виходять за межі термодинамічного діапазону, моделювання зупиняється, а після перевірки і виправлення помилок отримується правильна програмна модель. Таким чином визначаються робочі параметри, необхідні для проектування та оптимізації холодильної/морозильної камери, наприклад, коефіцієнт корисної дії, споживання енергії (включаючи необхідну потужність компресора, системи розморожування і нагрівача) і час охолодження холодильної/морозильної камери. Враховуються різні зовнішні/внутрішні температурні умови холодильника і режим роботи системи управління моделлю, які можна перевірити і змодельовати відповідно до обраної програми і блок-схеми. Важливою особливістю цього типу моделювання є те, що воно відокремлене від складності 3D-моделювання без використання значних спрощень. Таким чином, компоненти циклу охолодження і контуру охолодження і регулювання, що взаємодіють один з одним, будуть змодельовані повністю і точно з використанням термодинамічних співвідношень, що керують рідиною в нульовому і одновимірному моделюванні, а також в часі (зі зміною в часі). Використовуючи імітаційну модель, можна: досліджувати зміни коефіцієнта теплопередачі, товщини тощо внаслідок спінювання холодоагенту та їх вплив на охолоджувальний ефект холодильника досліджувати вплив на модель зміни

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи керування, ефективності компресора, зміни холодоагенту, зміни розміру холодоагенту, зміни конденсатора, зміни випарника, зміни об'єму та часу відтавання тощо. Вивчали реальну холодильну систему також [17-19]. Для кожного типу обладнання можна розрахувати клас енергоспоживання відповідно до існуючих критеріїв. Це включає в себе комбінацію змін в холодильнику таким чином, щоб клас енергоспоживання збільшився на одну сходинку.

2.2 Розрахунок параметрів холодильника

Кількість холодильних камер визначається типом і кількістю продуктів. При цьому конкретні види продукції зберігаються разом в одному приміщенні з урахуванням особливостей продукту, близькості продуктів, типу зберігання та гігієнічних норм. Обґрунтування зберігання товарів представлено в таблиці 2.1. Оскільки в холодильнику можна зберігати декілька товарів, його місткість можна виразити як суму максимальних кількостей товарів, а площу - як суму площ, необхідних для розміщення максимальних кількостей кожного товару. Місткість і площа холодильника розраховуються за допомогою наступних рівнянь:

$$E = \sum_{i=1}^n E_{\max_i} = \sum_{i=1}^n G_{\text{доб}_i} \cdot \tau_i, \text{ кг} \quad (2.1);$$

$$F = \beta \sum_{i=1}^n \frac{E_{\max_i}}{g_i} = \beta \sum_{i=1}^n \frac{G_{\text{доб}_i} \cdot \tau_i}{g_i}, \text{ м}^2 \quad (2.2),$$

де E – ємність камери, кг;

E_{\max_i} - максимальна кількість продуктів в камері, кг;

$G_{\text{доб}}$ - добова потреба продукту, кг/доб;

τ_i - строк зберігання продуктів, доб;

g_i - норма завантаження холодильника продуктами, кг/м³;

β – коефіцієнт, що враховує розміщення елементів охолодження.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо ємність камери холодильника за формулою (2.1) та площу камери за формулою (2.2) та занесемо дані до таблиці 2.1

Таблиця 1.1 Розрахунок ємності та площі холодильника

Тип продукту	$G_{\text{сух}}$, кг	τ , сут	A_{max} , кг	g , кг/м ²	E , кг	β	$F_{\text{холод}}$, м ²
М'ясо	0,5	2	1	100	25	1	0,25
Молоко	1	15	15	100			
Овочі	0,5	1	0,5	100			
Ковбаса	0,3	2	0,9	100			
Сир твердий	0,2	7	1,4	100			
Напої	0,5	10	5	100			
Салати	0,5	1	0,5	100			
Борщ	0,5	2	1	100			

Холодильник розташований біля зовнішньої стіни будівлі, впритул до стіни, що скорочує шлях продуктів, які надходять. Холодильники, як правило, розташовуються на відстані від приміщень з високим тепловим випромінюванням. Трубопроводи систем опалення, каналізації, водопостачання та загальнообмінної вентиляції прокладаються на відстані 1 м від холодильника. Побутове приміщення, наприклад, має висоту 2,7 м і площу 15 м². Для охолодження холодильника використовуються фреонові холодильні установки. Компресор розташований позаду. Для зменшення шуму та вібрації від роботи компресора використовуються віброізолятори.

Враховуючі можливі відключення електроенергії передбачено застосування у холодильнику інвертора та акумуляторної батареї.

Розрахунки ізоляції визначають товщину шару ізоляції на основі стандартних значень теплопровідності для кожного корпусу. Товщину ізоляції слід розраховувати тільки для зовнішніх стін, перегородок і стелі камери, які піддаються найгіршим температурно-вологісним умовам. Для інших корпусів товщина ізоляції приймається рівною товщині, отриманій для відповідного типу

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції. Товщина шару ізоляції корпусу камери визначається за наступною формулою

$$\delta_{із} = \lambda_{із} \left[\frac{1}{K} - \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_в} \right) \right], \text{ м} \quad (2.3)$$

де K_d - нормативний коефіцієнт теплопередачі огорожі, Вт/(м·град);

α_n - коефіцієнт тепловіддачі повітря до зовнішньої поверхні огорожі, Вт/(м·град);

$\alpha_в$ - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні огорожі до повітря цієї камери, Вт/(м²·град);

$\delta_{із}, \delta_i$ - товщини ізоляційного та інших шарів матеріалів, що становлять конструкцію огорожі, м;

$\lambda_{із}, \lambda_i$ - коефіцієнти теплопровідності ізоляційного та інших шарів матеріалів, Вт/(м·град).

Значення коефіцієнта теплопередачі відповідають рекомендаціям [12, 13].
Всі отримані значення товщини ізоляції округлюються до стандартних значень для отримання фактичного коефіцієнта теплопередачі за допомогою формули:

$$K_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_в} \right) + \frac{\delta_{із}}{\lambda_{із}}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}} \quad (2.4)$$

де K_d - фактичний коефіцієнт теплопередачі використовуваної конструкції корпусу, Вт/м-град;

α_n - коефіцієнт теплопередачі повітря до зовнішньої поверхні корпусу, Вт/(м²-град);

$\alpha_в$ - коефіцієнт теплопередачі від внутрішньої поверхні корпусу до повітря в цій камері, Вт/(м²-град);

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

δ_i - товщина і-го шару матеріалу, з якого складається конструкція корпусу, м;

λ_i - теплопровідність і-го шару матеріалу, з якого складається конструкція корпусу, Вт/(м-град);

h - стандартна товщина шару ізоляції, м;

λ_{iz} - теплопровідність шару ізоляції, Вт/(м-град).

Фактично отримані значення коефіцієнта теплопередачі збільшуються на 10-20%, що пов'язано зі складністю дотримання щільності ізоляції при виконанні ізоляційних робіт, що призводить до зниження теплоізоляційних властивостей. Тому розрахунковий коефіцієнт теплопередачі отримують за наступним рівнянням:

$$K_p = (1,1 \dots 1,2) K_d, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}) \quad (2.5)$$

де K_p - розрахунковий коефіцієнт теплопередачі прийнятої конструкції корпусу, Вт/(м-град),

K_d - фактичний коефіцієнт теплопередачі прийнятої конструкції корпусу, Вт/(м²-град).

Необхідна холодопродуктивність з урахуванням втрат холоду і коефіцієнта часу роботи визначається за формулою:

$$Q_0 \text{ брутто} = \frac{\psi \sum Q_{ei}}{b}, \text{ Вт} \quad (2.6).$$

де $\sum Q_{км}$ - корисне навантаження компресора і загальне теплове навантаження на групу камер, визначене за результатами теплового розрахунку W ,

ψ - коефіцієнт, що враховує втрати холоду обладнання і b - коефіцієнт часу роботи компресора.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для систем прямого камерного охолодження цей коефіцієнт приймається рівним 1,07 [12]. Для малих холодильних систем коефіцієнт часу роботи компресора приймається рівним 0,75 [12]. Температура кипіння холодоагенту в холодильнику на фреоні розраховується за формулою:

$$t'_0 = t_B - (14...16), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.7)$$

де t_B - температура повітря в шафі, $^\circ\text{C}$.

Температура конденсації в конденсаторі з охолодженням визначається за формулою:

$$t'_k = t_{\text{air}} + \Delta t + (1...2), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.8)$$

де Δt - температура води на вході в конденсатор, $^\circ\text{C}$; Δt - нагрівання в конденсаторі, $^\circ\text{C}$.

Це значення на 8-10 $^\circ\text{C}$ нижче розрахункової температури навколишнього повітря. Нагрівання в конденсаторі невеликого фреонового холодильника зазвичай становить $\Delta t = 6...8 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Знайдемо холодопродуктивність, температуру кипіння і температуру конденсації холодоагенту:

$$Q_0 \text{ брутто} = \frac{1,07 \cdot 338,13}{0,75} = 4883,7 \text{ Вт,}$$

$$t'_0 = 1 - 16 = - 15 \text{ } ^\circ\text{C,}$$

$$t'_k = 20 + 8 + 2 = 30 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Вибираємо гвинтовий компресор, що представлено на МРМА 24.02.00.000 ВЗ на основі отриманих даних. За характеристикою графіка $Q_0 = (t_B, t_{oc})$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

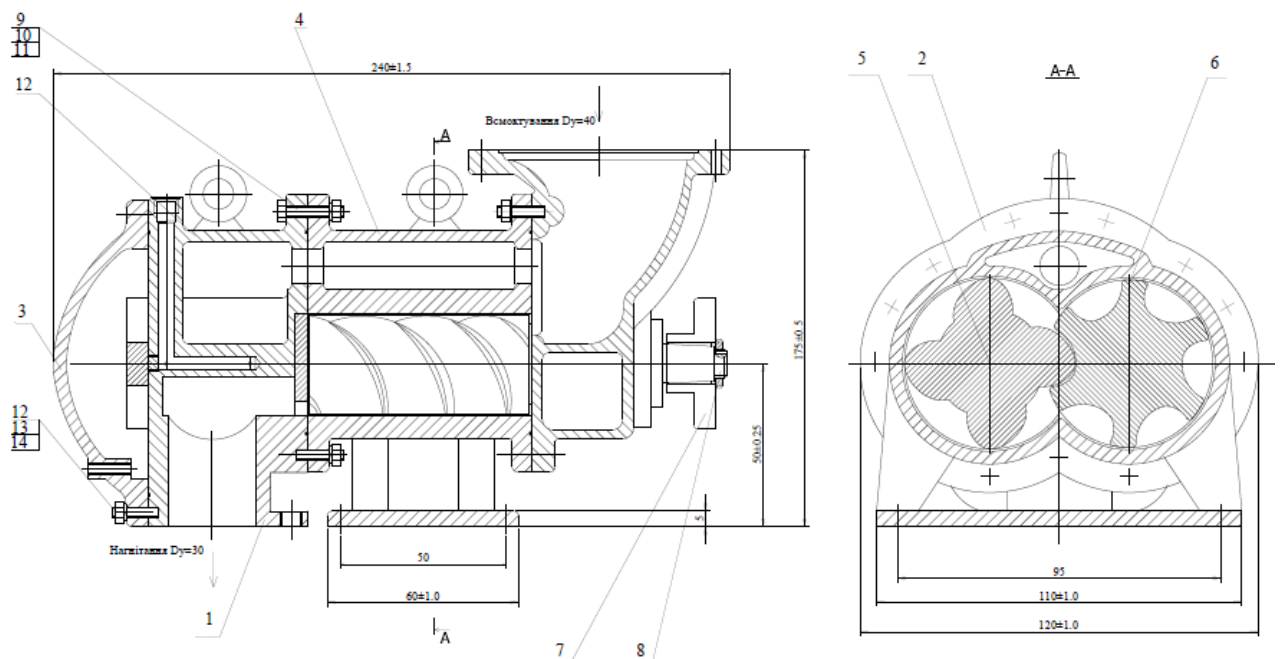
визначається робоча холодопродуктивність: $Q'_{op} = 0,493$ кВт. для обраної машини попередньо визначається коефіцієнт робочого дня за формулою

$$b' = \frac{\psi \cdot \sum Q_{км}}{Q'_{op}} \quad (2.9)$$

де $\sum Q_{км}$ - корисне навантаження компресора, що визначається за результатами теплового розрахунку W сумарне теплове навантаження на групу камер, ψ - коефіцієнт, що враховує втрати холоду в установці,

Q'_{op} - робоча холодопродуктивність, яку може забезпечити дана машина, визначена за графічною характеристикою W .

Значення коефіцієнта часу роботи b для малих холодильних машин повинно бути в межах від 0,4 до 0,75 [12]. b' - коефіцієнт часу роботи знаходиться в допустимих межах, тому вибір компресора є прийнятним. На рис.2.1 показано компресор, де 1 – Корпус 1, 2, Гільза, 3 – кришка, 4 – корпус 2, 5 – Гвинт, 6 – гвинт, 7 – Муфта, 8 – Фіксатор муфти, 9 – Болти, 10 – ущільнювачі, 11 – гайки, 12 – болти, 13 – ущільнювачі, 14 – гайки.



					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Рис.2.1 – Загальний вигляд гвинтового компресора

У створеній програмній моделі холодильного циклу можна дослідити вплив зміни або заміни кожного компонента на експлуатаційні параметри холодильника, такі як ККД (коефіцієнт корисної дії), ефективність охолодження та швидкість. Таким чином, технічні характеристики компонентів холодильного циклу кожної моделі продукту визначаються відповідно до цілей проекту розробки, і бажані холодильники переходять у фазу проектування та виробництва. Дотримуючись програм сталого розвитку, такі проекти можуть відігравати важливу роль у виробництві ефективних і сучасних продуктів. Дійсно, основна функція моделі полягає у створенні точної розрахункової моделі продуктивності холодильника, щоб створити ідеальні умови охолодження, споживаючи при цьому менше енергії з самого початку. Отримані дані можуть бути використані для розрахунку енергетичного класу бажаного холодильного продукту і підготовки його до ринків із суворим енергетичним законодавством.

2.3 Математичний опис системи керування холодильником

Внутрішню температуру можна описати за допомогою рівняння теплопередачі, яке враховує тепловтрати від стінок холодильника та охолодження компресором.:

$$C \, dT/dt = -k(T - T_{\text{зовн}}) + Q_{\text{охл}}, \quad (2.10)$$

де:

- C — теплоємність внутрішнього об'єму холодильника (Дж/К),
- T — температура всередині холодильника (К),
- $T_{\text{зовн}}$ — температура навколишнього середовища (К),

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

- k — коефіцієнт теплопередачі через стінки (Вт/К),
- $Q_{\text{охл}}$ — потужність охолодження компресором (Вт).

Робота компресора керується релейним або пропорційним законом:

$$Q_{\text{охл}} = \{0, \text{якщо } T \leq T_{\text{мін}}; Q_{\text{макс}}, \text{якщо } T > T_{\text{макс}}\}$$

або у випадку пропорційного регулювання:

$$Q_{\text{охл}} = K_p (T - T_{\text{зад}}), \quad (2.11)$$

де:

- $T_{\text{мін}}, T_{\text{макс}}$ — граничні температури для вмикання/вимикання компресора,
- K_p — коефіцієнт пропорційності,
- $T_{\text{зад}}$ — задана температура.

Сенсор температури (наприклад, термістор) можна змодельовати рівнянням:

$$V_{\text{сенсор}} = R_{\text{терм}}(T) \cdot I, \quad (2.12)$$

де:

- $V_{\text{сенсор}}$ — вихідна напруга сенсора,
- $R_{\text{терм}}$ — температурна залежність опору термістора,
- I — струм у колі сенсора.

Алгоритм керування можна записати у вигляді дискретного рівняння:

$$u[n] = K_p e[n] + K_i \sum(e[i] \Delta t) + K_d (e[n] - e[n - 1]) / \Delta t, \quad (2.13)$$

де:

- $u[n]$ — вихідна дія регулятора (керування компресором),
- $e[n] = T_{\text{зад}} - T[n]$ — похибка температури на n -му кроці,

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- K_p, K_i, K_d — коефіцієнти пропорційного, інтегрального та диференціального регулювання відповідно.

Стан системи (температура, режим роботи) може відображатися на дисплеї:

LCD output: $T_{\text{поточна}}, T_{\text{зад}}$, стан компресора.

Енергоспоживання холодильника можна змоделювати так:

$$E = \int (P(t') dt'), \quad (2.14)$$

де: $P(t)$ — миттєва потужність компресора, яка змінюється залежно від температури.

2.4 Розрахунок автономного джерела живлення для холодильника

Вихідні дані: Середньодобове споживання енергії холодильника: 0,5 кВт·год/добу. Тривалість автономної роботи: 8 годин.

2.4.1: Розрахунок енергоспоживання за 8 годин

Середньогодинне споживання енергії холодильника можна розрахувати за формулою:

$$P_{\text{год}} = P_{\text{добу}} / 24, \quad (2.13)$$

$$P_{\text{год}} = 0,5 / 24 = 0,0208 \text{ кВт} \cdot \text{год/год}.$$

Споживання за 8 годин:

$$P_{8\text{год}} = P_{\text{год}} \times 8 \quad (2.14)$$

$$P_{8\text{год}} = 0,0208 \times 8 = 0,1664 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тобто, холодильник споживатиме 166,4 Вт·год енергії за 8 годин роботи.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.2: Розрахунок ємності акумулятора.

Для вибору акумулятора враховуємо: Номінальна напруга акумулятора: 12

В. Необхідна ємність розраховується за формулою:

$$C = P_{8\text{год}} / U \times K, \quad (2.15)$$

Де: - C — ємність акумулятора, А·год;

- $P_{\text{заг}}$ — загальне енергоспоживання за певний період, Вт·год.

- U — напруга акумулятора, В.

- K — коефіцієнт запасу (враховує втрати в системі, зазвичай 1,2–1,3).

Енергоспоживання за 8 годин: $P_{\text{заг}} = 166,4$ Вт·год. Номінальна напруга акумулятора: $U = 12$ В. Коефіцієнт запасу: $K = 1,3$. Підставимо значення:

$$C = 166,4 / 12 \times 1,3$$

$$C = 18,05 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Отже, для забезпечення 8 годин автономної роботи необхідний акумулятор ємністю не менше 18,05 А·год. Для надійності рекомендується взяти акумулятор ємністю 20 А·год.

2.4.3. Вибір інвертора

Оскільки холодильник працює на змінному струмі, необхідний інвертор, який перетворює постійний струм від акумулятора на змінний. Основні параметри для вибору інвертора:

Розрахунок потужності інвертора. Інвертор потрібен для перетворення постійного струму з акумулятора на змінний струм для живлення холодильника. Його потужність визначається за формулою:

$$P_{\text{інв}} = P_{\text{прилад}} \times K_{\text{запас}} \quad (2.16)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Де:

- $P_{інв}$ — потужність інвертора, Вт.
- $P_{прилад}$ — споживана потужність холодильника, Вт.
- $K_{запас}$ — коефіцієнт запасу потужності (зазвичай 1,5–2).

Потужність холодильника: $P_{прилад} = 100$ Вт (максимально). Коефіцієнт запасу: $K_{запас} = 1,5$. Розрахунок:

$$P_{інв} = 100 \times 1,5$$

$$P_{інв} = 150 \text{ Вт}$$

Отже, для роботи холодильника потрібен інвертор потужністю не менше 150 Вт. Рекомендується вибрати інвертор потужністю 200 Вт для додаткового запасу.

Отже приймаємо Акумулятор 12 В, ємність 20 А·год. Інвертор потужністю 200 Вт.

2.5 Моделювання холодильника

Враховуючі вище зазначені параметри передбачимо, що холодильник має одну камеру, оснащений тихим мотор-компресором та інвертором, що підключений до електричної батареї.

Спрощено пристрій холодильника можна уявити як ізотермічну шафу та електрообладнання холодильного агрегату. Шафа є несучою конструкцією, тому вона повинна бути достатньо жорсткою і виготовляється зі сталевих листів товщиною 0,6-0,1 мм. Герметичність зовнішньої шафи забезпечується пастою PV-3 на основі хлорвінілової смоли. Поверхні шафи ковани, заґрунтовані і двічі пофарбовані білими емалями. Фарбування здійснюється за допомогою фарбопульту або електростатичного поля.

Для виготовлення корпусів холодильників використовуємо ударостійкі пластмаси. Це дозволяє зменшити витрату металу і вагу холодильника.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Пластикові камери виготовляються з ударостійкого полістиролу, сформованого у вакуумі, або смоли ABS; матеріал ABS (акрил-бутадієн-стирол) має високі механічні властивості і стійкий до фреону і крадону. Деталі з ABS-пластика, покриті хромом або нікелем, широко використовуються в декоративних цілях. За фізико-механічними властивостями АБС-пласти, що виробляються в нашій країні, можна розділити на чотири групи: АБС-0903 з помірною ударною в'язкістю; АБС-1308, АБС-1530, АБС-1106Е і АБС-2020 з підвищеною ударною в'язкістю; АБС-2501К, АБС-. 2512Е, АБС-2802Е, АБС-0809Т, АБС-0804Т і АБС-1002Т з підвищеною термостійкістю. Смола ABS має гранульовану або порошкоподібну форму діаметром 3 мм і довжиною 4-5 мм і може перероблятися литтям під тиском, видувним литтям і термоформуванням.

Холодильники з пластиковими відділеннями не мають прокладок для запобігання проникненню тепла, оскільки в якості прокладок виступають фланцеві краї відділень.

Двері виготовлені з ударостійкого полістиролу. Конструкція дверей складається із зовнішніх і внутрішніх панелей з утеплювачем між ними та ущільнювачами. Дверні панелі виготовляються з ударостійкого полістиролу методом вакуумного формування. Лист полістиролу має товщину 2-3 мм. Більшість холодильників мають правостороннє відкривання дверей (двері відкриваються зліва направо).

Щоб запобігти потраплянню теплого повітря в холодильну камеру, дверцята повинні щільно прилягати до дверного отвору. Внутрішня сторона дверей по всьому периметру має магнітний ущільнювач для забезпечення герметичності, який дозволяє розташовувати дверну ручку на будь-якій висоті відповідно до техніко-естетичних вимог. Дверні петлі можна замінити спеціальними козирками, які зміцнюють верхню і нижню частину дверей, зменшуючи загальний розмір холодильника при відкритих дверцятах.

Ізоляція використовується для захисту холодильної камери від тепла з навколишнього середовища. Ізоляція прокладається вздовж стін, над і під

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

шафами і відділеннями холодильника, а також під внутрішніми панелями дверей. Утеплювач повинен мати низьку теплопровідність, малу об'ємну щільність, гігроскопічність, гігроскопічність, вогнестійкість, довговічність, дешевизну, біологічну стійкість, не мати запаху і бути механічно міцним.

Для ізоляції шаф і дверей холодильників використовується штапельне скловолокно, мінеральна вата, пінополістирол ПСВ і ПСВ-С, а також пінополіуретан. Мінеральна вата виготовляється шляхом обробки мінеральної вати розчином синтетичних смол. Склохолст - різновид штучного мінерального повсті, що складається з тонких (10-12 мкм), недовгих скляних ниток, скріплених синтетичною смолою; цей матеріал часто використовується. Пінополістирол - синтетичний теплоізоляційний матеріал, легкий, твердий, пористий газонаповнений пластик з рівномірно розподіленими закритими порами. Пінополіуретан - це піна з дрібнопористою жорсткою структурою, яку отримують шляхом набухання поліуретанової смоли і застосування відповідного каталізатора та емульгатора. Пінополіуретани мають низьку насипну щільність, низьку теплопровідність і вологостійкість. Товщина ізоляції стінок у холодильних шафах становить від 30 до 70 мм, а товщина шару ізоляції дверей - від 35 до 50 мм.

Магнітні доводчики - це пружні магнітні вставки, розташовані в ущільнювальному профілі внутрішньої панелі дверей. Вони притягуються до шафи, щільно закривають дверцята по всьому периметру і не вимагають великих зусиль, щоб відкрити їх. У сучасних магнітних холодильниках еластичний ущільнювач притягується до корпусу силою магніту, який розтягує контури ущільнювача. Ущільнювач складається з двох балонів і не повинен перевищувати 0,45 мм під дією сили тяжіння. Тонка стінка циліндра і його конфігурація забезпечують ефективну роботу. Магнітна вставка ущільнювального вузла виконана з прямокутним перерізом. Матеріалом для її виготовлення служить еластична багатокомпонентна феритова наповнювальна композиція. Якість ущільнення дверей слід перевіряти, не вмикаючи холодильник.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Розробимо модель компактного холодильника у програмному середовищі SolidWorks. Представлена модель міні холодильника показана на рис.2.2 та на МРМА 24.00.00.000 ДІ1.

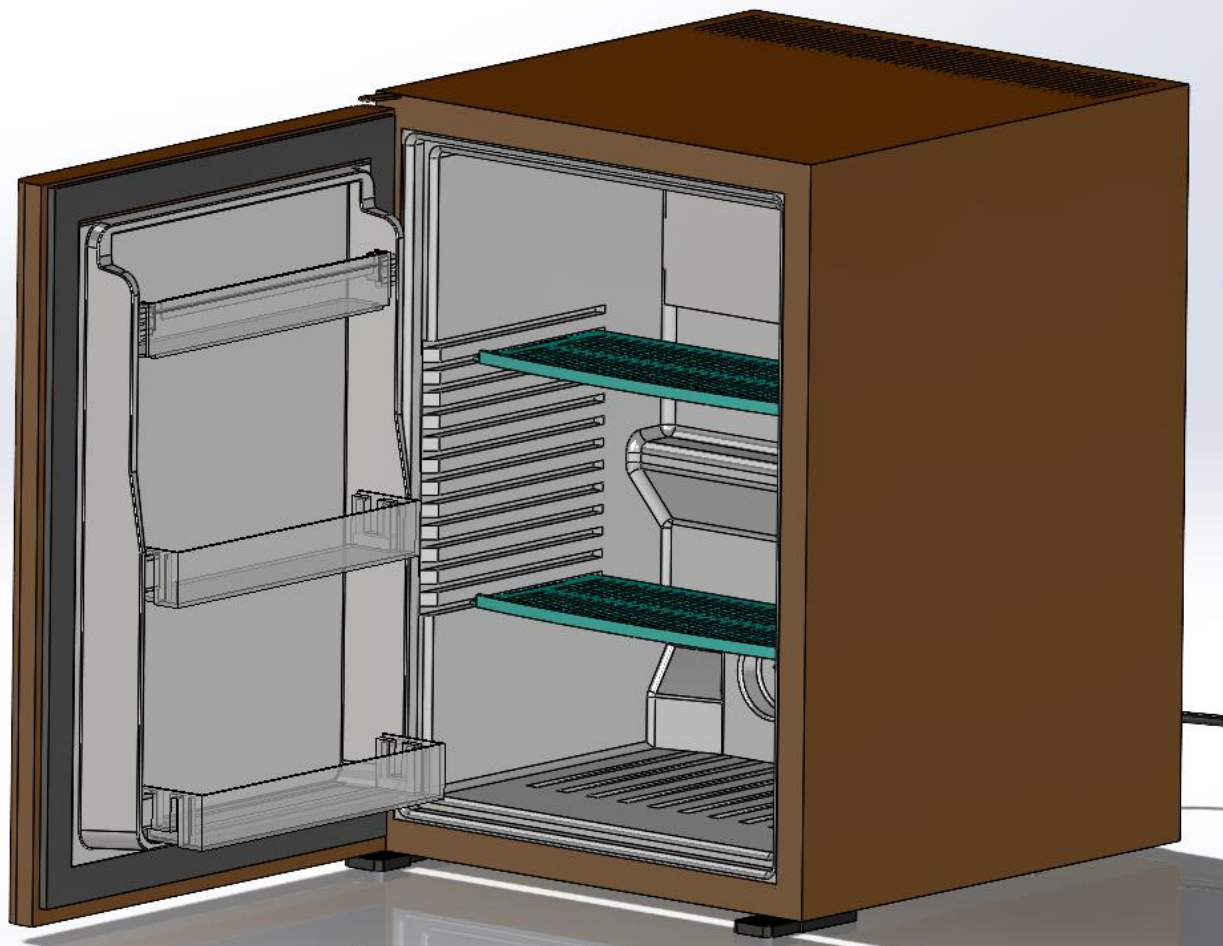


Рисунок 2.2 – Модель міні холодильника у SolidWorks

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

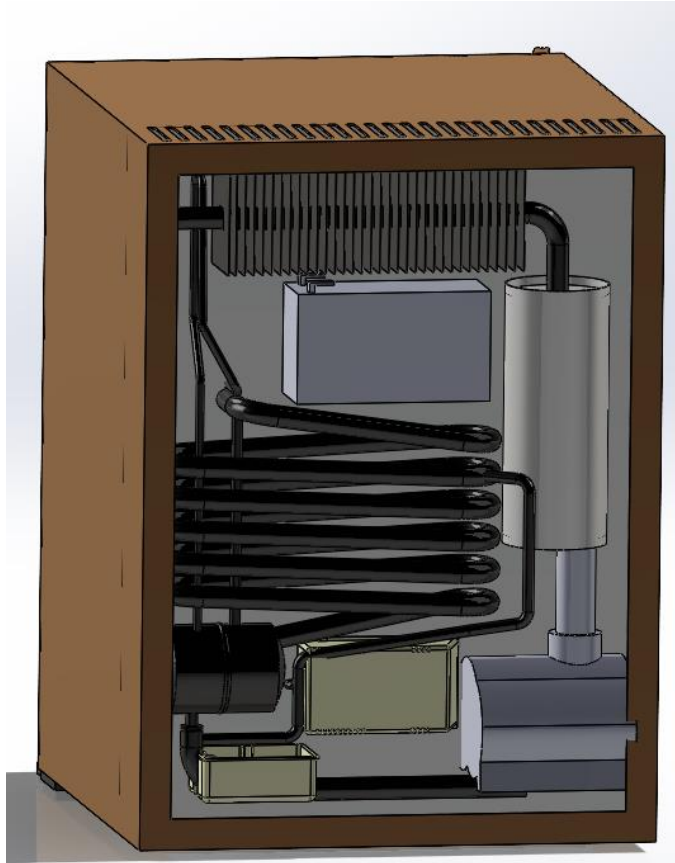


Рисунок 2.3 – Модель міні холодильника у SolidWorks, вигляд ззаду

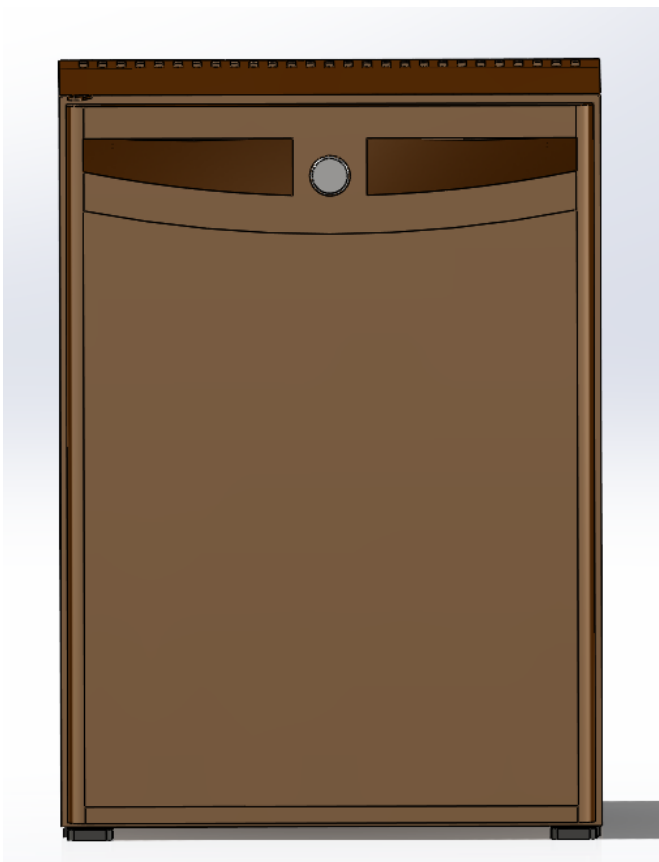


Рисунок 2.4 – Модель міні холодильника у SolidWorks, вигляд спереду

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Моделювання температурного процесу в холодильній камері здійснимо за допомогою програмного пакет Simulation, що входить до програмного продукту SolidWorks . Задаємо зовнішню температуру як 20 0С, температуру у внутрі холодильника як 5 0С.

Розрахункова сітка холодильника показано на рис.2.5. Результат моделювання показано на рисунках 2.6-2.8 та на МРМА 24.00.00.000 ДІ2.

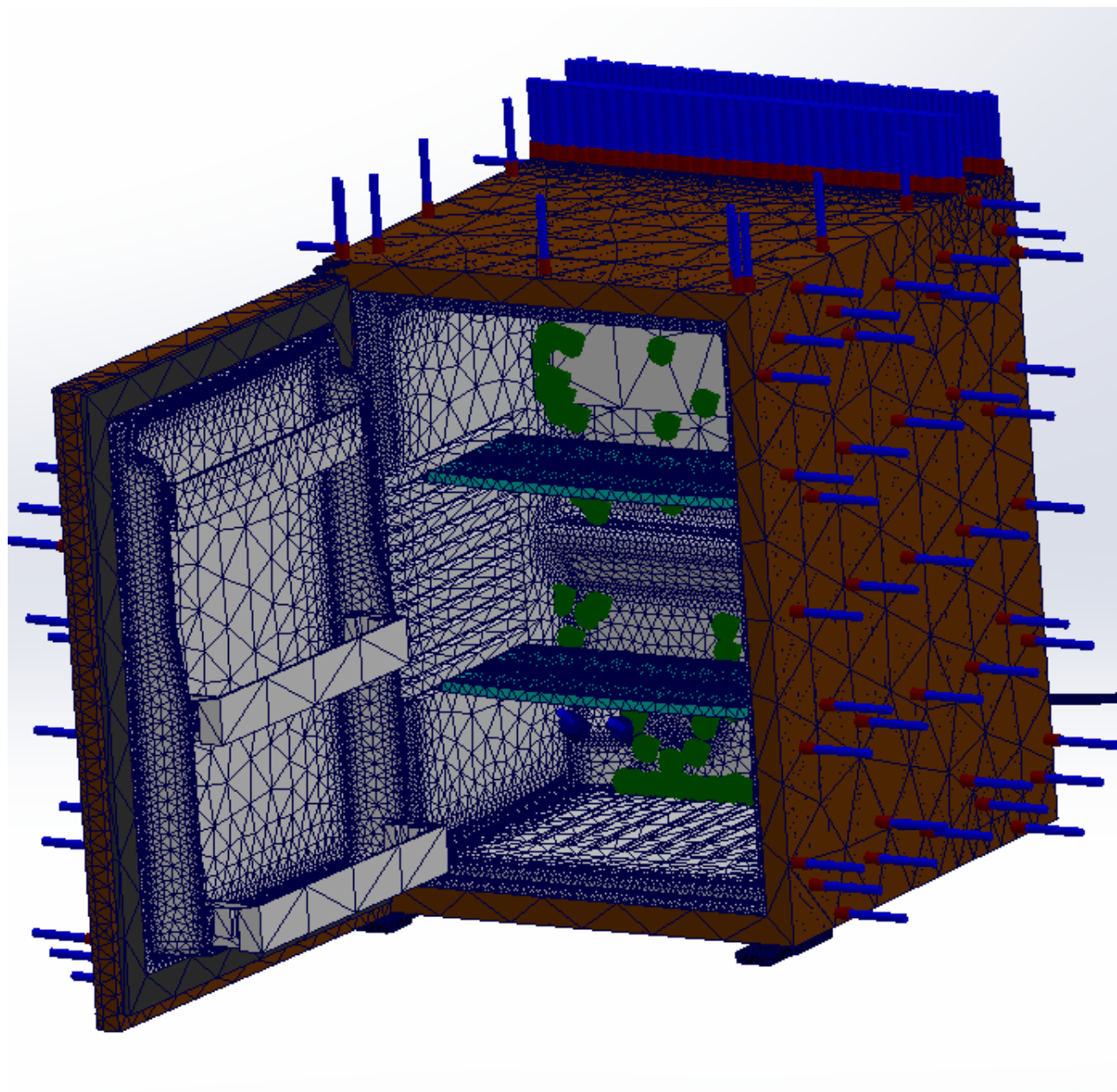


Рисунок 2.5 – Розрахункова сітка холодильника

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА 24.00.00.000 ПЗ				

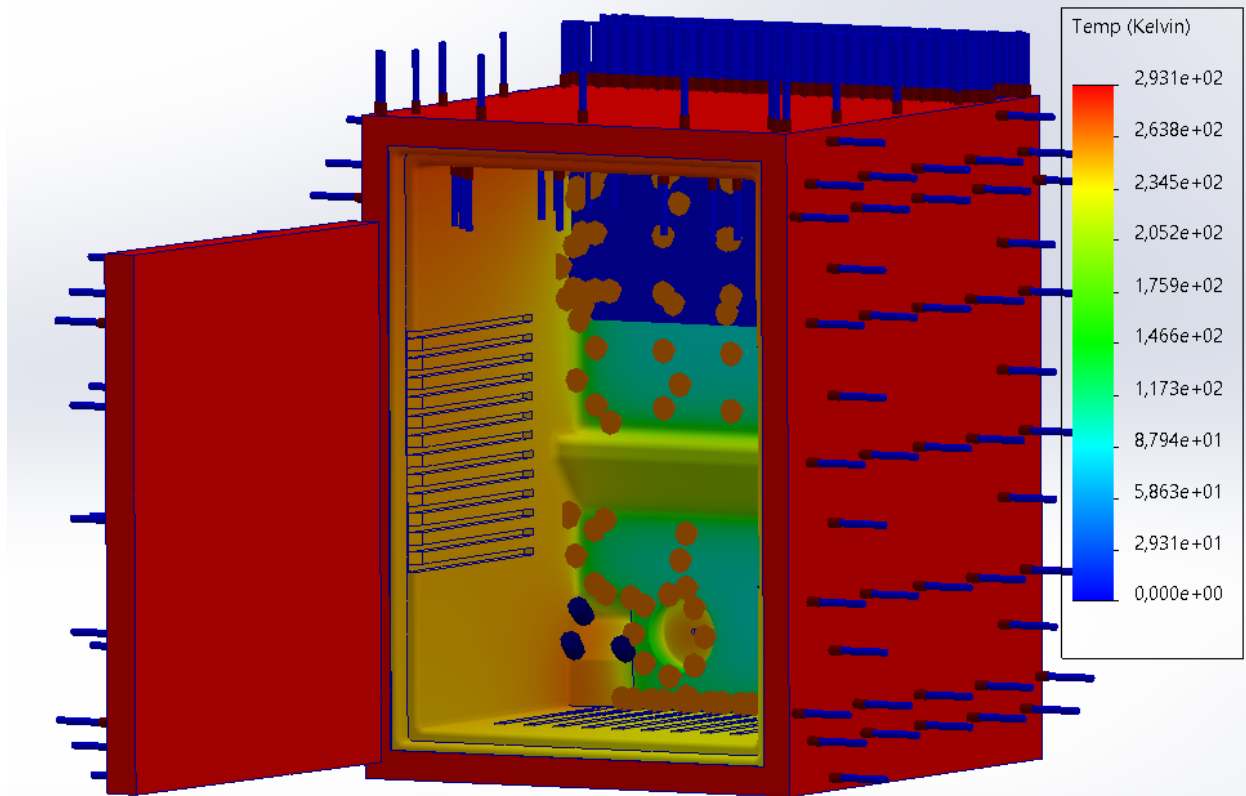


Рисунок 2.6 – Розрахункові дані охолодження холодильника

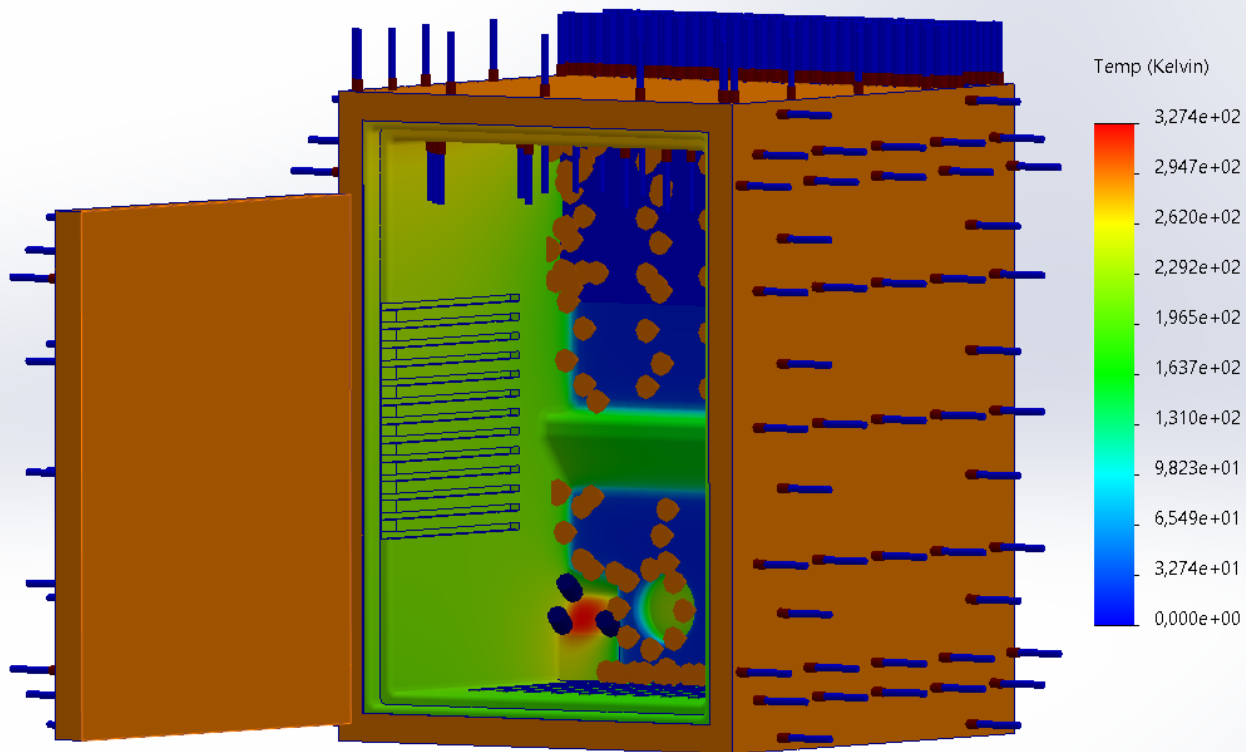


Рисунок 2.7 – Розрахункові дані охолодження холодильника

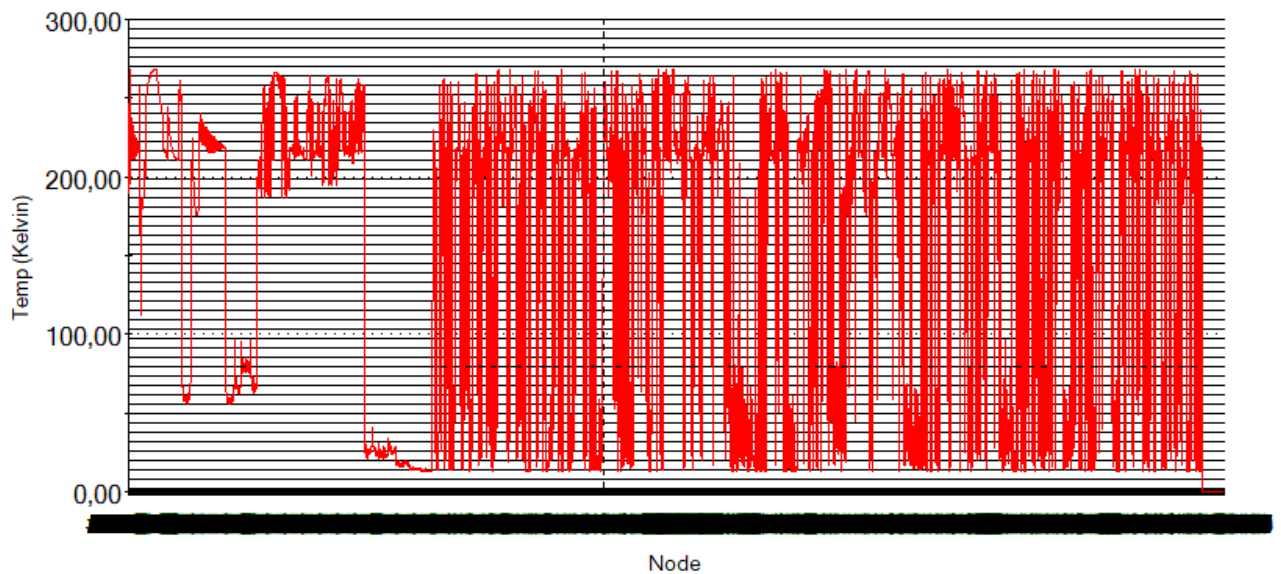


Рисунок 2.8 – Розрахункові дані зміни температури у холодильнику

2.6 Висновки до розділу

Було проведено розрахунки параметрів холодильника, розглянуто моделювання холодильного циклу, визначені необхідні характеристики. Проведено вибір мотор-компресора. Запропоновано та обґрунтовано вибір інвертора та акумуляторної батареї, для забезпечення безперебійної роботи холодильника в умовах відключення електроенергії.

Розроблено конструкцію міні холодильника у програмному середовищі SolidWorks, проведено симуляцію охолодження за допомогою Simulation. Визначено, що внизу є місце нагріву від мотор-компресора, але воно не критичне і не впливає на весь процес охолодження

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3 РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОБЛАДНАННЯ МІНІ ХОЛОДИЛЬНИКА

3.1 Розробка блоку регулювання температури

До електрообладнання побутових холодильників належать: електронагрівачі для нагрівання генератора в абсорбційних холодильних агрегатах, для запобігання утворенню конденсату і запотівання морозильної камери, а також для нагрівання випарника під час автоматичного і напівавтоматичного снігоочищення. Для компресійних холодильних установок електродвигун компресора Наскрізні герметичні контакти для підключення обмоток електродвигуна через стінку корпусу електродвигуна-компресора до зовнішньої електропроводки холодильної установки Освітлювальні прилади для освітлення внутрішньої частини холодильної установки Якщо в холодильній установці використовується конденсатор примусового охолодження, то над конденсатором холодильної установки продувається повітря для Вентилятори для примусової циркуляції повітря в холодильній камері Пристрої автоматики побутових холодильників Датчики температури і терморегулятори для підтримки заданих температур в холодильній і морозильній камерах побутових холодильників Пускові реле для автоматичного включення електродвигуна при пуску Реле захисту обмоток електродвигуна від струму перевантаження Реле захисту для видалення снігового покриву, що утворюється на стінках випарника Автоматичний пристрій для видалення снігового покриву, що утворюється на стінках випарника

Відповідно наш терморегулятор повинен розширити функціональні можливості вищезазначеної схеми. Це досягається тим що розроблена модернізована електрична схема що представлена на (МРМА 24.00.00.000 Е3) і Рис.3.1.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

DS18B20: підключається до ONE_WIRE_BUS (пін 2). LCD-дисплей: використовує драйвер I2C (підключається до SDA/SCL). Реле: керується через пін RELAY_PIN. АС-детектор: підключається до пина AC_PIN (потрібен перетворювач напруги для безпечної роботи з 220 В).

Загальна схема, що розроблена у Tinkercad показана на рис. 3.2.

Лістинг програми наведено у додатку Б.

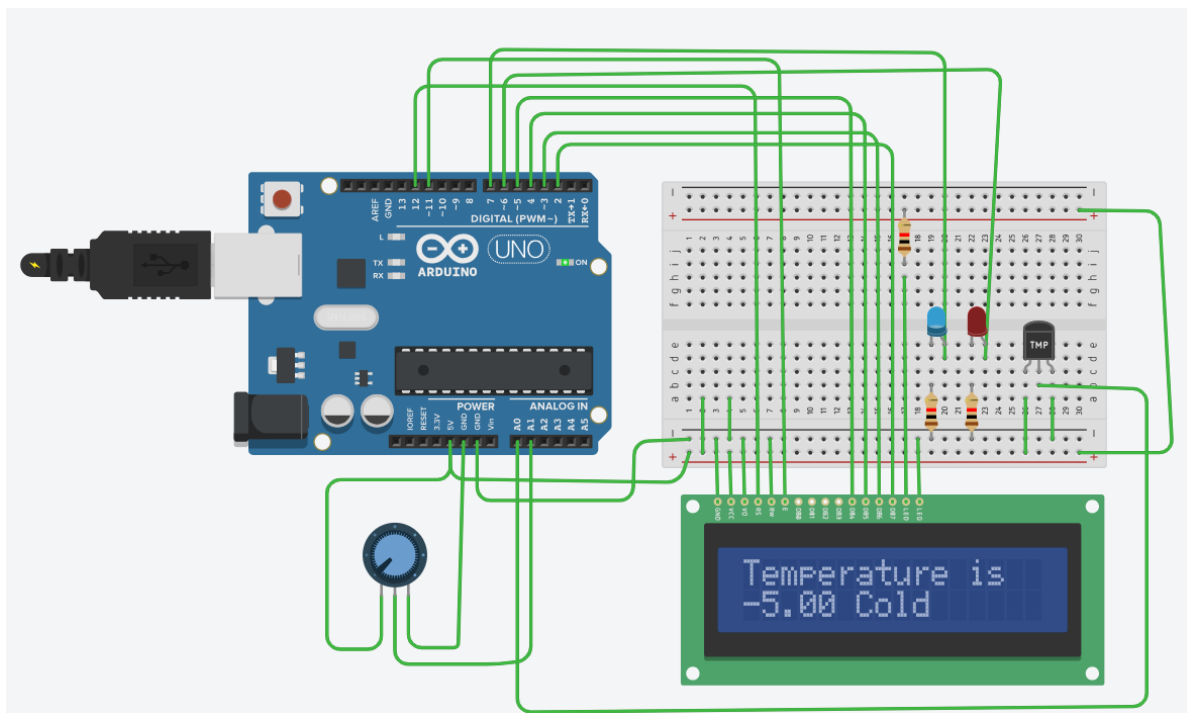


Рисунок 3.2 – Розроблена схема керування температурою у Tinkercad

3.2 Робота терморегулятора

Охолодження продуктів у холодильнику можна змоделювати за допомогою рівняння теплового балансу:

$$Q = m * c * \Delta T$$

де:

Q — кількість тепла, що передається від продуктів до холодоагента (Вт),

m — маса продуктів (кг),

c — теплоємність продуктів (Дж/кг·°C),

ΔT — зміна температури продуктів (°C).

Рівняння Ньютона для охолодження:

$$dT/dt = -k * (T - T_{env})$$

де:

T — температура продуктів (°C),

T_{env} — температура навколишнього середовища в холодильнику (°C),

k — коефіцієнт теплопередачі (м²/с).

Рішення рівняння охолодження:

$$T(t) = T_{env} + (T_0 - T_{env}) * e^{-kt}$$

Охолодження через систему теплообміну:

$$Q = U * A * (T_s - T_f)$$

Система керування компактним побутовим холодильником на базі Arduino включає наступні функції:

- Регулювання температури користувачем через кнопки.
- Відображення поточної та заданої температури на ЖК-дисплеї.
- Керування компресором або охолоджуючим елементом за допомогою реле.
- Аварійні попередження у разі перевищення допустимих значень температури.
- Режим енергозбереження.

Необхідні компоненти:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

- Arduino (Uno, Nano або інший контролер).
- Датчик температури (DS18B20 або DHT11/DHT22).
- ЖК-дисплей (16x2 або 20x4 з I2C модулем).
- Кнопки управління (3 кнопки: «Вгору», «Вниз», «ОК»).
- Реле або транзистор для керування компресором (5В реле).
- Резистори для кнопок (10 кОм).
- Джерело живлення для Arduino і реле.

Датчик температури підключається до цифрового піну Arduino, з живленням на 5В. ЖК-дисплей підключається через I2C (SCL і SDA). Кнопки підключаються між цифровими пінами і землею через резистори. Реле отримує сигнал керування з цифрового піну Arduino.

Алгоритм роботи представлено у додатку В.

Спочатку відбувається зчитування початкових значень, виведення інформації на дисплей. Далі зчитування поточної температури, порівняння із заданою, керування реле. Керувючи кнопками змінюють значення заданої температури, підтвердження вибору. Дисплей показує поточну і задану температуру виводяться на дисплей.

Запропонований пристрій не просто замінює штатний терморегулятор. Передбачені додаткові функції, призначені захистити холодильник в багатьох аварійних ситуаціях, що трапляються під час експлуатації. Слабке місце всіх компресорних холодильників - перевантаження електродвигуна, що приводить в дію компресор, при його повторному через короткий час після зупинки включенні. Причина перевантаження - що досить довго зберігається в конденсаторі холодильного агрегату високий тиск холодоагенту.

Як і будь-який інший електроприлад, холодильник бажано захистити і від значних відхилень напруги мережі від номінальних 220 В.

Пропонований блок управління виконує наступні функції:

- включати і вимикати компресор, підтримує в холодильній камері задану температуру, замінюючи штатний терморегулятор, причому є можливість

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

регулювати гістерезис - різницю температури включення і виключення компресора;

- примусово вимикає компресор при значному відхиленні напруги в мережі від норми;

- не допускає повторного включення компресора раніше 5 хв. після виключення з будь-якої причини, зокрема після викликаного відхиленням мережевої напруги від норми або ініційованого терморегулятором.

Останнє особливо важливе, оскільки небезпечну ситуацію легко спровокувати, відразу ж після виключення компресора різко повернувши регулятор температури у бік її пониження або відкривши двері холодильної камери. Передбачена індикація стану блоку управління на ЖК- індикаторі.

Програма роботи представлена у додатку В.

Мікроконтролер Arduino Uno виступає центральним контролером системи.

ЖК-дисплей 16x2 з I2C адаптером підключається через I2C-інтерфейс.

Використовується три кнопки (наприклад, для вибору температури: "вгору", "вниз", "ОК"). Один контакт кожної кнопки підключається до окремих цифрових пінів Arduino (наприклад, 2, 3, 4). Інший контакт кожної кнопки підключається до GND через резистор 10 кОм (pull-down).

Датчик температури (DS18B20 підключається до цифрового піну (наприклад, 7) через резистор 4.7 кОм.

Реле для керування компресором підключається до цифрового піну Arduino (наприклад, 8). Один контакт реле з'єднується з компресором холодильника, інший — з джерелом живлення.- Arduino живиться від USB або адаптера 5V.

3.3 Конструкція блоку керування

Реалізація варіанту блоку керування міні холодильником представлено на рис.3.3.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Всі елементи блоку управління, крім реле K1, змінних резисторів R16 і R20, термістора Rk1 і плавкої вставки Fu1, розташовані на односторонній друкованій платі. Конденсатори C4 і C5 - керамічні типу КМ.-6, останній - імпортований оксидний конденсатор, а конденсатор C2 - серії LL (низький струм витоків). Допустимі напруги (25 В) для конденсаторів C1 і C6 вибрані з запасом на випадок аварійного підвищення напруги в мережі.

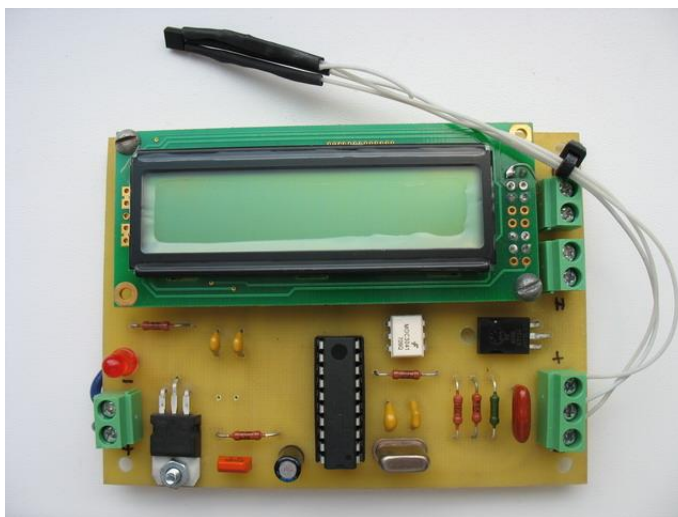


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд терморегулятора

Змінні резистори R16 і R20 - СПЗ-12, їхній опір лінійно залежить (А) від кута повороту валу. Основним критерієм вибору цих резисторів було те, що різьба на монтажній втулці така ж, як і на стандартних термостатах холодильників. Трансформатор Т1 повинен мати невелику висоту, щоб його можна було встановити в приладовому відсіку холодильника (див. схему нижче). Автор використав готовий трансформатор з тороїдальним магнітопроводом діаметром 40 мм, висотою 28 мм, вторинною обмоткою 12 В і струмом 0,3 А. Підійдуть такі серійні трансформатори, як, наприклад, ТП-321-5 або ТПК2-22. Слід пам'ятати, що в аварійному режимі напруга в мережі може підвищуватися до 380 В. Це може статися, наприклад, при обриві нульового проводу мережевого кабелю; якщо трансформатор Т1 не витримає такої напруги, він увімкне дорогий компресор, що небажано в цих умовах. Плавка вставка Fu1 (Vp1-1) призначена

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

для захисту трансформатора від загоряння. Слід звернути особливу увагу на її якість і ні в якому разі не замінювати її на замінник. Термістори - ММТ-1 або ММТ-4. Якщо номінальний опір відрізняється від вказаного, необхідно змінити номінал резистора R12 на таку ж величину. Однак номінал резистора R12 необхідно змінити на величину, що дорівнює значенню терморезистора опором 3... 4 кОм і не слід використовувати терморезистори з більшим опором. Завадостійкість терморегулятора погіршиться. Реле К1 - RP-21-004 обмотка 24 В постійного струму. Випробування показують, що воно добре працює при 12 В і досить надійно при 16 В. При заміні реле особливу увагу слід звернути на здатність контактів реле витримувати пускові струми компресора, що досягають декількох ампер. Зібрана плата і реле К1 встановлюються в сервісному відсіку над холодильником. Паралельні контакти реле підключаються замість головної контактної групи стандартного термостата. Другий контакт реле використовується для вимкнення холодильника на тривалий час і замінюється перемичкою. Це означає, що єдиний спосіб відключити холодильник від електромережі - витягнути штепсельну вилку з розетки. Це забезпечує максимальну електробезпеку під час технічного обслуговування та ремонту. Сама плата вказана в каталозі MRMA 24.00.00.000 КМ. Виводи первинної обмотки трансформатора Т1 (один з яких з'єднаний з мережею електроживлення до індикаторної лампи живлення холодильника через плавку вставку Fu1, припаяну до відключеної частини). Екрановані дроти, що з'єднують датчик температури з платою блоку управління, поміщають в ізоляційні, наприклад, ПВХ-трубки і прокладають по ходу металевої сильфонної трубки, з якої знято штатний терморегулятор. Корпус терморезистора встановлюється в холодильнику в місці, де закінчується сильфонна трубка. Термістор повинен бути належним чином ізольований і захищений від вологи та морозу.

Налаштування блоку управління здійснюється шляхом регулювання напруги в мережі. Для цього за допомогою регульованого автотрансформатора (ЛАТР) знижуємо напругу до 187 В. Повертайте повзунок на резисторі R6 так,

					MRMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

щоб світлодіод Н13 світився («блимав») нестабільно. Далі збільшуємо напругу до 242 В і регулюємо резистор R5 таким же чином, звертаючи увагу на стан світлодіода Н12. Після регулювання нанесіть нітрофарбу на рухомі частини резистора. Потім, відключивши пристрій від мережі, встановіть змінний резистор R16 на мінімальне значення опору, а R20 - на максимальне значення опору. Встановіть напругу мережі (за допомогою LATR) на 220 В і увімкніть агрегат; загоряться світлодіоди Н11 і Н15, приблизно через 5 хвилин світлодіод Н11 згасне; тривалість світіння світлодіодів і час вимкнення запуску компресора можна змінити при необхідності підбором резистора R2. Для полегшення подальшого регулювання входи елемента Dd1.1 (виводи 8 і 9) тимчасово підключені перемичкою до ланцюга +9 В, наприклад, до виводу 14 мікросхеми Dd1. Термістор Rk1 занурюється в розтоплений лід. Після стабілізації температури опір змінного резистора R16 поступово збільшують до спрацьовування реле К1, вмикання світлодіода Н14 і вимкання Н15. Зворотне перемикання повинно відбуватися при незначному зменшенні опору резистора R16. Гістерезис (різниця між положенням повзунка змінного резистора R16 при спрацьовуванні реле і при його відпусканні) повинен збільшуватися при зменшенні опору змінного резистора R20. Після завершення перевірки зніміть тимчасову перемичку, встановлену раніше. Перед увімкненням холодильника з новим блоком керування встановіть движок змінних резисторів R16 і R20 у середнє положення. Після роботи холодильника протягом часу, достатнього для стабілізації температури, переконайтеся, що іній, який утворився на задній стінці холодної камери під час роботи компресора, відтанув під час паузи. Якщо цього не відбувається, необхідно збільшити гістерезис змінним резистором R20. Середня температура в камері змінюється змінним резистором R16. Якщо бажаної температури не вдається досягти за допомогою змінного резистора, необхідно підібрати резистори R14 і R15. Як і в деяких холодильниках, в морозильній камері є функція автоматичного розморожування. Кожні 8-10 годин роботи автоматичний пристрій змушує компресор зупинятися, і в цей час

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

активується спеціально встановлений нагрівач. Цю ситуацію не слід плутати з тією, що виникає при спрацьовуванні реле теплового захисту двигуна компресора. Відрізнити «планове» відключення компресора від аварійного дуже просто. В останньому випадку вентилятор, встановлений в морозильній камері, буде продовжувати працювати (при закритих дверцятах). Пристрій можна встановити на інші моделі компресорних холодильників, при цьому можна змінити розташування датчика температури, елементів керування та індикації, а також, за необхідності, змінити розмір друкованої плати. Вилучивши елементи терморегулятора (терморезистор Rk1, мікросхему Da2, діод Vd3, резистори R12-R16, R20, R21, конденсатори C4 і C5) і підключивши лівий вивід резистора R23 до виходу елемента Dd1.2, блок можна використовувати для захисту приладів від перепадів напруги в мережі. Пристрій може бути використаний для Розморожування холодильної камери відбувається автоматично: під час перерви в роботі холодильного циклу вода зливається через дренажну систему і випаровується.

3.4 Висновки до розділу

Проведено розробку електричної схеми блоку керування. Вибрано за основу мікроконтролер фірми Atmel. На основі Arduino Uno створена схема керування з відображенням інформації на LCD-дисплеї. Розроблено код програми керування.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

ВИСНОВКИ

У результаті виконаного магістерської роботи було проведено огляд існуючих холодильників, зроблено порівняльний аналіз. Визначені основні переваги та недоліки за окремими критеріями. Розглянуті існуючі патентні рішення. Проведено огляд середньостатистичних блоків керування температури, що можуть бути використані для нашої роботи.

Було проведено розрахунки параметрів міні холодильника, розглянуто моделювання холодильного циклу, визначені необхідні характеристики. Проведено вибір мотор-компресора. Запропоновано та обґрунтовано вибір інвертора та акумуляторної батареї, для забезпечення безперебійної роботи холодильника в умовах відключення електроенергії.

Розроблено конструкцію міні холодильника у програмному середовищі SolidWorks, проведено симуляцію охолодження за допомогою Simulation. Визначено, що внизу є місце нагріву від мотор-компресора, але воно не критичне і не впливає на весь процес охолодження.

Проведено розробку електричної схеми блоку керування. Вибрано за основу мікроконтролер фірми Atmel. На основі Arduino Uno створена схема керування з відображенням інформації на LCD-дисплеї. Розроблено код програми керування.

Підсумовуючи вищевикладене можна зробити висновок про доцільність впровадження і застосування конструкції міні холодильника у побуті, як стаціонарного так і мобільного побутового пристрою.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Офіційний сайт холодильної техніки „Холодна країна”, URL <http://coldcountry.org.ua>.
2. Офіційний сайт холодильної техніки SAMSUNG URL: https://bt.rozetka.com.ua/ua/11176799/p11176799/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAjp-7BhBZEiwAmh9rBSYeFG3Io9YqItl1JO8EqRCchQ5yCbwkk0VWIox02oEq-7Yx_jt8vRoCXhkQAvD_BwE
3. Офіційний сайт холодильної техніки Indesit. URL: <https://comfy.ua/ua/holodil-nik-indesit-li8s1es.html>
4. Офіційний сайт холодильної техніки LG. URL: <https://www.lg.com/ua>
5. Офіційний сайт холодильної техніки Ariston. URL: <https://ariston-shop.com.ua/krupnaya-bytovaya-tehnika/holodilniki.html>
6. Офіційний сайт холодильної техніки Beko. URL: <https://beko-ua.com/odnokamernyj-holodil-nik-beko-tse-1402.html>
7. Патент на винахід URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ae/1a/80/d0a94ed2da1d01/KR200235745Y1.pdf>
8. Патент на корисну модель URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/58/23/3c/8ed013ca6215a0/CN216716675U.pdf>
9. Borges, B.N., Hermes, C.J.L., Gonçalves, J.M., Melo, C., 2011, Transient simulation of household refrigerators: A semi-empirical quasi-steady approach, Applied Energy, 88: 748–754.
10. Corberán J.M., González J., Montes P., Blasco R., 2002, ‘ART’ A Computer Code to Assist the Design of Refrigeration and A/C Equipment, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, IN, USA. Coulter, W.H.,

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Bullard, C.W., 1997, An experimental analysis of cycling losses in domestic refrigerator-freezers, ASHRAE Trans, 103 (1): 587–596.

11. Gonçalves, J.M., Melo, C., Hermes, C.J.L., 2009, A semi-empirical model for steady-state simulation of household refrigerators, Applied Thermal Engineering, 29: 1622–1630.

12. Hermes, C.J.L., Melo C., 2008, A first-principles simulation model for the start-up and cycling transients of household refrigerators, International Journal of Refrigeration, 31: 1341–1357.

13. Hermes C.J.L., Melo C., Knabben, F.T., Gonçalves, J. M., 2009, Prediction of the energy consumption of household refrigerators and freezers via steady-state simulation, Applied Energy, 86: 1311–1319.

14. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Guía práctica de la energía: consumo eficiente y responsable, 3ª ed., 2011. IMST-ART, 2010. Simulation tool to assist the selection, design and optimization of refrigeration equipment and components, <http://www.imst-art.com>,

15. Universitat Politècnica de València, Instituto de Ingeniería Energética, Spain. Janssen, M.J.P., De Witt, J.A., Kuijpers, L.J.M., 1992, Cycling losses in domestic appliances: an experimental and theoretical analysis, Int. J. Refrigeration, 15(3): 152-158.

16. Krause, P.E., Bullard, C.W., 1996, Cycling and quasi-steady behavior of a refrigerator, ASHRAE Trans, Symp. 19 (Part1): 1061–1069.

17. Martínez-Ballester, S., León-Moya, B., Nohales, J., González-Maciá, J., 2012, Dynamic Model of a Household Refrigerator Based on a Quasi-Steady Approach, VI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío, Madrid, Spain. Rubas, P.J., Bullard, C.W., 1995, Factors contributing to refrigerator cycling losses, Int. J. Refrigeration, 18(3): 168–176.

18. ANSI/AHAM HRF-1, 2004, Energy performance and capacity of household refrigerators, refrigerator-freezers and freezers, American National Standards Institute, Washington-DC, USA. Gonçalves JM, Melo C, 2004, Experimental and numerical

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

steady-state analysis of a top-mount refrigerator, Int.Refrig. Conf. at Purdue, West Lafayette-IN, USA, Paper R078

19. Hermes CJL, Melo C, 2006, A dynamic simulation model for fan-and-damper controlled refrigerators, 11th Int.Refrig. Conf. at Purdue, West Lafayette, USA, Paper R036

20. Hermes, C.J.L., Melo, C., Gonçalves, J.M., 2008, A Simplified Steady-State Model for Predicting the Energy Consumption of Household Refrigerators and Freezers, Int. Refrig. Conf. at Purdue, West Lafayette, USA, Paper 2145

21. Lemmon E.W., McLinden M.O., Huber M.L., 2002, NIST Reference fluids thermodynamic and transport properties– REFPROP 7.0, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA Transient simulation of household refrigerators: A semi-empirical quasi-steady approach. Available from: https://www.researchgate.net/publication/227413282_Transient_simulation_of_household_refrigerators_A_semi-empirical_quasi-steady_approach [accessed Dec 02 2024].

22. Cemagref ANIA. La Chaine du Froid du Fabricant au Consommateur: Résultats de l’audit ANIA/Cemagref. Rev. Générale Froid 2004, 1042, 29–36.

23. Pereira, R.H.; Nieckele, A.O. Natural convection in the evaporator region of household refrigerators. Proceeding of the Brazilian Congress Mechanical Engineering (IOP Conference), Bauru, Brazil, 1997.

24. Silva, L.W.; Melo, C. Heat Transfer Characterization in Roll-Bond Evaporators. Master’s Dissertation, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil, 1998.

25. Laguerre, O.; Ben Amara, S.; Moureh, J.; Flick, D. Numerical simulation of airflow and heat transfer in domestic refrigerators. J. Food Eng. 2007, 81, 144–156.

26. Hermes, C.J.L.; Melo, C.; Knabben, F.T.; Gonçalves, J.M. Prediction of the energy consumption of household refrigerators and freezers via steady-state simulation. Appl. Energy 2009, 86, 1311–1319.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

27. Belman-Flores, J.M.; Rodríguez-Valderrama, D.A.; Ledesma, S.; García-Pabón, J.J.; Hernández, D.; Pardo-Cely, D.M. A Review on Applications of Fuzzy Logic Control for Refrigeration Systems. *Appl. Sci.* 2022, 12, 1302.

28. Yang, Z.; Duan, P.; Li, Z.; Yang, X. Self-adjusting fuzzy logic controller for refrigeration systems. In *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Information and Automation, Lijiang, China, 8–10 August 2015*; pp. 2823–2827.

29. Silva, F.V.; Neves Filho, L.C.; Silveira, V., Jr. Experimental evaluation of fuzzy controllers for the temperature control of the secondary refrigerant in a liquid chiller. *J. Food Eng.* 2006, 75, 349–354.

30. Al-Aifan, B.; Parameshwaran, R.; Mehta, K.; Karunakaran, R. Performance evaluation of a combined variable refrigerant volume and cool thermal energy storage system for air conditioning applications. *Int. J. Refrig.* 2017, 76, 271–295.

31. Chu, C.-M.; Jong, T.-L.; Huang, Y.-W. Thermal comfort control on multi-room fan coil unit system using LEE-based fuzzy logic. *Energy Convers. Manag.* 2005, 46, 1579–1593. [Google Scholar] [CrossRef]

32. Ko, J.-S.; Huh, J.-H.; Kim, J.-C. Improvement of energy efficiency and control performance of cooling system fan applied to Industry 4.0 data center. *Electronics* 2019, 8, 582.

33. Ding, G.-L. Recent developments in simulation techniques for vapour-compression refrigeration systems. *Int. J. Refrig.* 2007, 30, 1119–1133.

34. Belman-Flores, J.; Mota-Babiloni, A.; Ledesma, S.; Makhnatch, P. Using ANNs to approach to the energy performance for a small refrigeration system working with r134a and two alternative lower gwp mixtures. *Appl. Therm. Eng.* 2017, 127, 996–1004.

35. Ouyang, W.-I.; Kang, R.-Q. Ann methods for cop prediction of supermarket refrigeration system. *DEStech Trans. Comput. Sci. Eng.* 2019.

36. Venkatachalam, L.; Mattia, M.; Kosek, A.M.; Sossan, F. Per Nørgård Domestic Refrigerators Temperature Prediction Strategy for the Evaluation of the Expected Power Consumption, 2013. *Innovative Smart Grid Technologies Europe*

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

(ISGT EUROPE), 2013 4th IEEE/PES. Available online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6695411>

37. Gullo, P. Advanced Thermodynamic Analysis of a Transcritical R744 Booster Refrigerating Unit with Dedicated Mechanical Subcooling. *Energies* 2018, 11, 3058.

38. Voloshchuk, V.; Gullo, P.; Sereda, V. Advanced exergy-based performance enhancement of heat pump space heating system. *Energy* 2020, 205, 117953

39. Nahor, H.; Hoang, M.; Verboven, P.; Baelmans, M.; Nicolai, B. CFD model of the airflow, heat and mass transfer in cool stores. *Int. J. Refrig.* 2005, 28, 368–380.

40. Paul, A.; Baumhögger, E.; Elsner, A.; Reineke, M.; Hueppe, C.; Stamminger, R.; Hoelscher, H.; Wagner, H.; Gries, U.; Becker, W.; et al. Impact of aging on the energy efficiency of household refrigerating appliances. *Appl. Therm. Eng.* 2022, 205, 117992.

41. Belman-Flores, J.; Gallegos-Muñoz, A.; Puente-Delgado, A. Analysis of the temperature stratification of a no-frost domestic refrigerator with bottom mount configuration. *Appl. Therm. Eng.* 2014, 65, 299–307.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Лістинг m-файлу для розрахунку теплових перетворень

```

clear; clc;

% Початкові дані: час t в секундах, температура T в градусах Цельсія і
% узгодження E в вольтах:
t(1)=0;
for i=2:21
t(i)=t(i-1)+30;
end
T=[10 11 15 21 30 40 50 60 72 83 96 105 114 125 132 141 150 160 169 175
180];
E=[0.17 0.17 0.21 0.3 0.4 0.55 0.7 0.89 1.09 1.28 1.47 1.69 1.89 2.1 2.3 2.52 2.71
2.9 3.08 3.24 3.4];

% Побудова експериментальних крапок
figure
plot(t, T, 'o');
grid on;
hold on;

% Графік експериментального перехідного процесу
% Регресія 3-го порядку
p3 = polyfit(t, T, 3);
ti = 0:0.01:600;
P3 = polyval(p3, ti);
plot(ti, P3);

% Нормування початкових даних
Tfin = 180;
Tbegin = 10;
for i=1:21

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

```

Tnorm(i)=(T(i)-Tbegin)/(Tfin-Tbegin);
end;
% Нормований графік перехідного процесу
figure
plot (t, Tnorm);
grid on;
% Побудова ланки другого порядку методом площ
delta1 = 1 - Tnorm;
figure
plot(t, delta1);
grid on;
for i=1:21
delta2(i) = t(i) * delta1(i);
end
figure
plot(t, delta2);
grid on;
% Визначення площ
S1=trapz(t, delta1)
S2=trapz(t, delta2)
a1=S1;
if ((S2/(S1^2)) > 0.75)
a2=S1^2-S2
a1=S1
% Розрахунок постійних часу
T1=a1/2+sqrt((a1^2)/4-a2)
T2=a1/2-sqrt((a1^2)/4-a2)
else
% Метод грубих площ

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

```

% Знайдемо точку перегину
t1=90:30:600;
delta_1=[0.9353; 0.8824;0.8235; 0.7647; 0.7059; 0.6353;0.5706; 0.4941;
0.4412; 0.3882; 0.3235; 0.2824; 0.2294; 0.1765; 0.1176; 0.0647; 0.0294;0];
k = 514.3;
delta_2=k*delta_1;
delta_2tn=0.9353*k;
In=trapz(t1,delta_2);
T1=In/delta_2tn
T2=a1-T1
T_1=T1*T2;
T_2=T1+T2;
% будемо передавальну функцію і по ній перехідний процес для ланки
% другого порядку
tf_reg=tf([k],[T_1 T_2 1])
figure
step(tf_reg, 600);
grid on;
end;

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Лістинг програми керування холодильником

```

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Налаштування LCD-дисплея
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Адреса 0x27, 16 символів, 2 рядки

// Підключення датчика температури DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 2 // Пін для підключення датчика
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Піни для керування реле
#define RELAY_PIN 7 // Реле для перемикання живлення

// Піни для перевірки стану мережі
#define AC_PIN 8 // Пін для перевірки 220 В

// Глобальні змінні
float temperature = 0.0; // Температура
bool acPower = false; // Стан мережевого живлення

void setup() {
  // Ініціалізація серійного монітора
  Serial.begin(9600);

  // Ініціалізація LCD-дисплея
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.print("Starting...");

  // Ініціалізація датчика температури
  sensors.begin();

  // Налаштування пінів
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(AC_PIN, INPUT);

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

```

// Початкові стани
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Початкове положення реле
delay(1000);
}

void loop() {
// Оновлення температури
sensors.requestTemperatures();
temperature = sensors.getTempCByIndex(0);

// Перевірка стану мережі
acPower = digitalRead(AC_PIN);

// Керування реле (живлення)
if (acPower) {
digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Живлення від мережі
} else {
digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Живлення від інвертора
}

// Оновлення LCD-дисплея
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temperature);
lcd.print(" C");

lcd.setCursor(0, 1);
if (acPower) {
lcd.print("Power: AC");
} else {
lcd.print("Power: Battery");
}

// Виведення в серійний монітор
Serial.print("Temp: ");
Serial.print(temperature);
Serial.print(" C, Power: ");
Serial.println(acPower ? "AC" : "Battery");

// Затримка перед наступним циклом
delay(1000);
}

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Піни
#define TEMP_SENSOR_PIN 2
#define RELAY_PIN 3
#define BUTTON_UP 4
#define BUTTON_DOWN 5
#define BUTTON_OK 6

// Дисплей
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

// Датчик температури
OneWire oneWire(TEMP_SENSOR_PIN);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

// Змінні
float currentTemp = 0.0;
float setTemp = 5.0; // Початкова температура

void setup() {
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_UP, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_DOWN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_OK, INPUT_PULLUP);

  lcd.init();
  lcd.backlight();

  sensors.begin();

  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Temp: ");
  lcd.print(currentTemp);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Set: ");
  lcd.print(setTemp);
}

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

```

void loop() {
  // Зчитування температури
  sensors.requestTemperatures();
  currentTemp = sensors.getTempCByIndex(0);

  // Виведення на дисплей
  lcd.setCursor(6, 0);
  lcd.print(currentTemp);
  lcd.setCursor(5, 1);
  lcd.print(setTemp);

  // Керування кнопками
  if (digitalRead(BUTTON_UP) == LOW) {
    setTemp += 0.5;
    delay(200); // Захист від повторного спрацювання
  }

  if (digitalRead(BUTTON_DOWN) == LOW) {
    setTemp -= 0.5;
    delay(200);
  }

  // Керування охолодженням
  if (currentTemp > setTemp) {
    digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH); // Вмикаємо охолодження
  } else {
    digitalWrite(RELAY_PIN, LOW); // Вимикаємо охолодження
  }

  delay(1000);
}

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62