

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



## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

На тему: Проект пристрою автоматичного регулятора напруги живлення нагрівачів аміачних побутових холодильників  
(назва кваліфікаційної роботи згідно з наказом ЗВО)

Здобувача Грищенко А. Д.  
(прізвище, ініціали)  
СВО Бакалавр IV курсу ЕН- 141а групи

Керівник проф. Байдак Ю. В.  
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(посада, прізвище та ініціали)

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**  
Рішення кафедри від 31 травня 2024 р., протокол № 12

Завідувач кафедри ХУіКП \_\_\_\_\_ Михайло ХМЕЛЬНЮК  
(назва кафедри) (підпис) (ім'я прізвище)

Одеса - 2024 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки

Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма «Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Зав. кафедри М.Г. Хмельнюк**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУЗДОБУВАЧА**

**Грищенко Артура Денисовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект пристрою автоматичного регулятора напруги живлення нагрівачів аміачних побутових холодильників

затверджена наказом ЗВО від 31.08.2023 року № 487-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 30.05.2024 року

3. Вихідні дані роботи Стационарний побутовий абсорбційний холодильник типу АШ-120 з габаритними розмірами 85x50x62 мм<sup>3</sup>. Застосований хладон R-717 аміак. Повний об'єм 120 л., об'єм морозильного відділення 15 л. Напруга живлення 220 В, однофазна, частота струму 50 Гц.

Перелік питань, які потрібно розробити 1. Виконати огляд сучасного стану розвитку побутових аміачних холодильників типу АШ-120 2. Дослідити шляхи регулювання продуктивності холодильної аміачної машини. 3. Розробити теплову модель абсорбційного випарника холодильної машини і вирішити її. 4. Виконати моделювання поля температури повітря в об'ємі шаф холодильника із тепловим навантаженням.

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

Презентація PowerPoint:

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

Презентація PowerPoint:

1. Галузь застосування, об'єкт і предмет досліджень та мета роботи (1 аркуш).

2. Вирішені у роботі питання (1 аркуш).

3. Предмет та об'єкт досліджень та його вихідні дані (1 аркуш).

4. Основні компоненти абсорбційних холодильників (1 аркуш).

5. Прилад регулятора напруги живлення (1 аркуш).

6. Схема автоматичного електронного регулятора напруги живлення електричного нагрівача термосифону аміачного холодильника. (2 аркуші).

7. Чисельне моделювання поля температур у шафах холодильника. Вихідні дані (4 аркуші).

8. Висновки (1 аркуш).

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділи 1, 2, 3. 4,5	Проф. Байдак Ю.В.	1.09.23р	30.05.24р
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання 31.08.2023 року

Керівник \_\_\_\_\_

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд сучасного стану розвитку побутових абсорбційних холодильників	1.01.24р - 14.01.24р	виконано
2.	Пристрій агрегату абсорбційного холодильника АШ-120	15.01.24р - 7.03.24р	виконано
3.	Електронний регулятора напруги живлення електричного нагрівача на підставі мікропроцесора	8.03.24р - 7.04.24р	виконано
4.	Теплова модель абсорбційного випарника холодильної машини і її вирішення	8.04.24р - 7.05.24р	виконано
5.	Розрахунок поля температур у холодильнику в режимі холостого ходу та навантаженому харчами	8.05.24р - 18.05.24р	виконано
6.	Охорона праці і техніка безпеки	18.05.24- 24.05.24р.	виконано
7.	Оформлення роботи і презентації PowerPoint	18.05.24-30.05.24р	виконано

Здобувач - дипломник \_\_\_\_\_

Керівник роботи \_\_\_\_\_

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник                      Грищенко Артур Денисович                      \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Приймаючи до уваги курс України на подальше удосконалення енергетичної ефективності холодильної техніки і у тому числі аміачних холодильників, впровадження систем плавного регулювання їх продуктивності за для підтримання незначних коливань температури в середині об'ємів шафи охолодження і морозильної камери упродовж тривалої роботи, дозволяє суттєво вплинути на збереження якості об'єктів охолодження, зменшити споживання електрики, а отже є **актуальним питанням**.

**Галузь застосування** - побутові аміачні холодильні установки.

**Об'єкт дослідження** - електронагрівач генератора холодильної аміачної машини та її холодильна шафа і морозильна камера .

**Предмет дослідження** - побутовий аміачний холодильник типу АШ-120 Liebherr T 1414 Comfort.

**Мета роботи** - для аміачного побутового холодильника корисним об'ємом 120 дм<sup>3</sup> розробити принципову електронну схему керування потужністю його електронагрівача плавним регулюванням живлячої напруги у широкому діапазоні від 0 до 220 В, яка б розглядалась у вигляді аналога промислової системи двох - трьох ступеневого регулювання та забезпечувала умови безперервної роботи аміачної холодильної машини з малим гістерезисом температури у шафах охолодження.

Розроблено схему плавного регулювання напруги живлення електронагрівача на підставі сімісторів та виготовлено його натурний зразок. Зворотним зв'язком для регулювання напруги постає показання датчика температури приєднаного на ділянці керуючого затвору сімістора. У випадку потреби регулювання роботи холодильної машини по двох датчиках температури в схемі регулятора передбачено два сімістора.

Матеріали досліджень є корисними у навчальному процесі при підготовці фахівців відповідного профілю.

Звіт про ДР: 78 стор., 2 табл., 36 рис., 10 джерел

## **Abstract**

Taking into account the course of Ukraine on further improvement of the energy efficiency of refrigeration equipment, including the field of ammonia refrigeration, the implementation of systems for smooth regulation of their productivity in order to maintain minor temperature fluctuations amidst of the volumes of the cooling cabinet and freezer during long-term operation, allows to influence crucially on the preservation of the cooling facilities quality, reduce electricity consumption, and therefore is a relevant topic.

**The field of application** is household ammonia refrigeration units.

**The object of the study** is the electric heater of the generator of the refrigerating ammonia machine and its refrigerating cabinet and freezer.

**The subject of the study** is a household ammonia refrigerator of the type ASH-120 Liebherr T 1414 Comfort.

**The purpose of the work** is to develop a basic electronic circuit for controlling the power of household ammonia refrigerator with a useful volume of 120 dm<sup>3</sup> electric heater by smoothly adjusting the supply voltage in a wide range from 0 to 220 V, which would be considered as an analogue of an industrial system of two or three stages of regulation and provide the conditions of continuous operation of an ammonia refrigerating machine with low temperature hysteresis in cooling cabinets.

A scheme for smooth regulation of the supply voltage of the electric heater based on triacs was developed and its full-scale sample was made. The feedback for voltage regulation is the reading of the temperature sensor connected on the control gate of the triac. If it is necessary to regulate the operation of the refrigerating machine by two temperature sensors, two triacs are provided in the regulator circuit.

Research materials will be useful in the educational process when training specialists of the relevant profile.

Report on graduate work: 77 pages, 2 tables, 36 figures, 10 sources

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ.....	7
1. АБСОРБЦІЙНІ ХОЛОДИЛЬНИКИ. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1. Загальні відомості.....	9
1.2. Пристрій агрегату абсорбційного холодильника АШ-120.....	16
Постановка задачі.....	19
1.3. Об'єкт дослідження.....	21
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЛАДУ РЕГУЛЯТОРА НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ.....	23
2.1. Електромеханічний регулятор напруги живлення електронагрівача.....	24
2.2. Електронний регулятор напруги живлення електронагрівача.....	25
2.3. Електронний регулятора напруги живлення електричного нагрівача на підставі мікропроцесора.....	27
Висновки.....	31
3. ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ ВИПАРНИКА АБСОРБЦІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ.....	32
3.1. Теплова модель неробочого циклу випарника.....	32
3.2. Теплова модель робочого циклу випарника.....	35
Висновки.....	39
4. ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВСЕРЕДИНІ ОБ'ЄМУ ШАФ АБСОРБЦІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА.....	40
4.1. Розрахункова модель холодильника.....	42
4.2. Розрахунок поля температур у холодильнику в режимі холостого ходу.....	45
4.3. Розрахунок поля температур у навантаженому холодильнику .....	46
Висновки.....	53
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	55

5.1. Класифікація приміщення по ступеню небезпеки враження електричним струмом.....	55
5.2. Розрахунок заземлення із застосуванням програмного середовища.....	56
Висновки до розділу 5.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61
ЛІТЕРАТУРА.....	64
ДОДАТОК Файли презентації.....	65

## ВСТУП

Розглядаючи комплекс суттєвих проблем, які характерні для побутових холодильних апаратів вітчизняного виробництва, фахівці відзначають технічну відсталість їх компонентів, низьку енергетичну ефективність і необґрунтовано завищене енергоспоживання, яке у десятки разів вище ніж у Японії, у 2 рази - ніж у Індії та Китаю, і це в межах однакової топології апаратів. Оскільки безпосереднім споживачем електричної енергії в холодильній машині є нагрівач аміачного розчину або навіть електричний двигун привода компресора, вирішення цих проблем покладають саме на їх недосконалість. Але, навіть поверхневий аналіз нагрівачів, електричних двигунів вітчизняного виробництва щодо їх закордонних аналогів вказує на те, що вони майже не відрізняються від них, мають дуже близькі енергетичні і робочі характеристики у межах однакового типу. Тому зменшити у разі енергоспоживання холодильної машини із збереженням її температурних режимів шляхом покращення властивості тільки ступеневим перемиканням потужності нагрівача аміачного розчину або електричного двигуна привода компресора не уявляється можливим. Однак визначена задача понукає фахівців холодильників шукати її вирішення. І його, в першу чергу, вони бачать у пошуку більш ефективних хладонів, у зменшенні гідравлічного опору трубопроводів, збільшенні поверхонь випарників, покращенні теплоізоляції, встановленні оптимальних співвідношень між об'ємом і поверхнею шаф охолодження, покращенні ефективності компресорів, застосуванні примусової циркуляції повітря у шафі охолодження тощо.

Характерною ознакою сьогодення - є інтенсивний розвиток, здешевлення і пропозиції безлічі мініатюрних напівпровідникових пристроїв,

					КРБ.ХУКП.1.487-03.2.24			
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проект пристрою автоматичного регулятора напруги живлення нагрівачів аміачних побутових холодильників	Лит.	Лист	Листів
Розроб.		Грищенко А.Д.						
Перевір.		Байдак Ю.В.					4	78
Реценз.						ОНТУ гр. ЕН-141		
Н. Контр.								
Затверд.								



Встановлено, що при оцінюванні застосування тих чи інших заходів з покращення енергетичної ефективності холодильних машин доцільно враховувати не лише зменшення ними енергоспоживання або збільшення холодильного коефіцієнту, але і вартість, експлуатаційну надійність обраного рішення. Тому, в умовах недостатньо визначених переваг або недоліків існуючих начебто прогресивних але дуже витратних світових технологій, доцільно продовжувати пошукові дії і розвиток власних менш витратних рішень. Тим більше, якщо вони здатні наблизити рівень існуючих холодильних потужностей до вимог діючих стандартів і, якщо їх впровадження орієнтоване на можливості вітчизняного виробника. Розробка таких рішень може вестись за двома напрямками. По-перше, покращенням (вихолощуванням) техніко-технологічних параметрів холодильного приладу, як це робиться у холдингах. По-друге, застосуванням в холодильній машині додаткових але мало витратних пристроїв (змінюю топології), наприклад - плавних регуляторів потужності нагрівачів абсорбційних побутових холодильників.

На початку розробки простих і мало витратних рішень, спрямованих на модернізацію герметичної холодильної машини, доцільно виходити з припущення, що проникнення у її герметичну систему неприпустиме, а повторно короткочасна робота нагрівача (двоступеневе регулювання) поки що задовольняє потребам до роботи холодильного апарату. Такий підхід ніяк не вплине на виробництво холодильних апаратів оскільки спрямований на розробку додатку до абсорбційної холодильної машини, який підвищить її технічну досконалість.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						6
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ

За статистикою відомо, що закупівлю продуктів харчування пересічний мешканець здійснює 2 рази на місяць. Це узгоджується з середнім об'ємом абсорбційного холодильника при температурі в морозильній шафі мінус 14<sup>0</sup>С. Використання такого холодильника забезпечує збереження якості продуктів харчування в холодильній шафі ще упродовж 3 -7 діб і 2 - 3 тижня в низькотемпературній шафі.

За обліком норм рекомендованих інститутом громадського харчування, споживання продуктів, які підлягають зберіганню в холодильнику із розрахунку на одну людину, а також норми завантаження його продуктами, попередня економічна ефективність режиму заморожування холодильника об'ємом 120 дм<sup>3</sup> прийме вид:

- У морозильній камері холодильника передбачається зберігання 1,2 – 1,5 кг заморожених продуктів.
- Добовий раціон продуктів для однієї людини становить 0,525 кг\* 1 = 0,525 кг.
- Якщо максимальна ємність морозильної камери 1,5 кг, то середня людина витратить продукти, що зберігаються в неї протягом 3 діб.
- Таким чином, періодичність закупівель протягом місяця складе 10 разів, а протягом року 120 разів. Враховуючи середню витрату часу на одну закупівлю - 2 години, одержуємо річну витрату часу 240 годин.
- На підставі отриманих даних економія часу за рік у споживача, за рахунок скорочення числа закупівель, складе  $730-240=490$  годин.
- Якщо середня вартість однієї години вільного часу становить (12000гр./24дні/8годин) приблизно 60 гривень, то економія у споживача, за рахунок скорочення витрат часу, складе  $60*490=29400$  гривень.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						7
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Якщо орієнтовно прийняти річний випуск абсорбційних холодильників об'ємом 120 дм<sup>3</sup> у кількості  $V=100$  тисяч штук, то передбачуваний народногосподарський ефект складатиме

$$\mathcal{E}_{н/х} = 29400 * 100 = 2940000 \text{ тыс. гр.}$$

- Припускаючи, що енергоефективність електричного нагрівача буде вищою на 10% від задекларованої і, під час експлуатації холодильника, енергоспоживання складає 180 кВт/рік, тобто є нижчим на 18 кВт/рік, одержимо економію електроенергії упродовж року в обсязі

$$\Delta W = 18 \cdot 2,65 = 47,7 \text{ грн.}$$

- З розрахунку на загальний обсяг випуску холодильників 120 дм<sup>3</sup>, кошти, витрачені на покриття збитку від зниження якості всієї партії холодильних машин, складуть

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W \cdot V = 47,7 * 100000 = 4,7 \text{ млн. грн.}$$

- Таким чином, розробка заходів щодо удосконалення роботи холодильників, методик їх проектування заснованих на сучасних програмних продуктах, розробка обладнання контролю холодильного коефіцієнта з метою виявлення холодильних апаратів що мають ефективність нижчу нормованої за класом якості для зберігання продукції, складе 21,763 мільйона гривень на рік в одному районному центрі міського типу з населенням у 100000 осіб.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1. АБСОРБЦІЙНІ ХОЛОДИЛЬНИКИ. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

## 1.1. Загальні відомості

Відомі типи газових холодильників умовно поділяють на компресійні і абсорбційні. За принципом дії вони майже однакові бо започатковані на відборі тепла із шафи охолодження за допомогою рідини хладону.

Побутові абсорбційні холодильники призначені для збереження харчових продуктів в охолоджену або заморожену стані. Світовими виробниками і вітчизняною промисловістю опановано випуск абсорбційних холодильників корисним об'ємом від 30 до 210 дм<sup>3</sup>.

Для холодильників цього типу характерним є безшумність у роботі, відсутність регулюючого вентиля і частин, які рухаються. Все це, разом, збільшує їх довговічність у порівнянні з компресійними холодильниками. У той же час абсорбційні холодильники мають і певні недоліки до яких відносять такі:

1. енергетичні витрати при експлуатації вищі, внаслідок постійного або короткочасного циклічного увімкнення нагрівача в електричну мережу електропостачання;
2. холодильна продуктивність нижче ніж у компресійних;
3. тривалість процесу охолодження до отримання негативної температури у випарнику більша.

Абсорбційні холодильники отримали свою назву від процесу абсорбції, який протікає в них під час роботи. Пристосовано до холодильних процесів абсорбція – це всмоктування рідким поглиначом парів холодильного агента, який утворюється у випарнику.

Водо аміачний розчин, який заповнює холодильний агрегат, утворюється з наступних компонентів. Холодильним агентом тут є аміак (R717), абсорбентом – бідистиллят води, інгібітором – двохромовоокислий натрій, інертним газом – водень.

						Лист
					ДП ЕН-141а 2.24	9
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



кипіння аміаку складає  $2...3 \cdot 10^5$  Па), відбираючи теплоту з холодильної шафи 7. Слабкий водо-аміачний розчин, який залишився у генераторі, повертається до абсорберу 6 і охолоджується оточуючим середовищем до температури початку абсорбції. Пара холодоагенту, яка виходить з випарника, також спрямовується до абсорберу назустріч охолодженому слабкому розчину, що рухається. В абсорбері пари холодоагенту поглинаються слабким розчином з виділенням деякої кількості теплоти абсорбції в оточуюче середовище. Утворений у абсорбері 6 концентрований розчин за допомогою термосифона перетікає до генератора 1 по трубах, долаючи їх опір.

Циркуляція розчину і аміаку здійснюється безперервно, доки працює генератор і термосифон, отримуючи тепло від нагрівача. Таким чином в абсорбційній холодильній машині роль вимотуючої частини механічного компресора виконує абсорбер, поглинаючої – термосифон.

Для підвищення ефективності холодильного циклу абсорбційної холодильної машини застосовують також рідинні і парові теплообмінники, які скорочують негативні втрати теплоти.

Принцип дії абсорбційних побутових холодильників, як і інших абсорбційних холодильних машин, започатковано на поглинанні пари аміаку водою. Хоча схеми побутових холодильників суттєво відрізняються від розглянутої вище принципової схеми абсорбційної машини.

Герметична система апаратів і трубопроводів побутового холодильника, рис.1.2, заповнена водо-аміачним розчином з додаванням легкого інертного газу – водню, та таким чином, щоб доданий тиск водню і пари аміаку склав  $14...15 \cdot 10^5$  Па. При увімкненні електронагрівача 11 із водо-аміачного розчину, який знаходиться у термосифоні 9, википає аміак та уносить рідкий розчин до генератора - кип'ятильника 1, де аміак продовжує википати із розчину унаслідок підігріву. Пара аміаку і частково пара води

									Лист
									11
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ЕН-141а 2.24				



Спільний тиск парів аміаку і водню у випарнику та абсорбері такий як і тиск пари аміаку у генераторі. Але температура випаровування аміаку відповідає не сумарному тиску, а парціальному тиску пари аміаку  $(2...3)10^5$  Па. Рідина аміаку потрапляє з конденсатора до випарника поступово, по мірі того, як частина рідини у випарнику активно випарюється і висмоктується до абсорбера. Регулюючий вентиль тут не потрібен.

В абсорбційному побутовому холодильнику відсутній і насос для перекачування розчину з абсорбера до генератора, оскільки внаслідок тотожності тиску у цих апаратах рідина може рухатися з одного до другого за принципом сполучених судин. По мірі витікання кріпкого розчину з термосифона до генератора нові порції розчину з бачка абсорбера знову потрапляють до термосифона. Накопичений в генераторі слабкий розчин аміаку перетікає у верхню частину абсорбера.

Призначення інгібітора у розчині - запобігання внутрішніх поверхонь труб і теплообмінних елементів від корозії. Зазвичай хромат натрію ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) додають у кількості 2% від маси розчину при заправці системи холодильника.

Призначення водню у розчині холод агенту - утворення проти тиску пари хладону (аміаку). При цьому водень поступає до конденсатора з меншим тиском по відношенню до тиску пари хладону до його конденсації. Пара аміаку, поглинена дистильованою водою двійної перегонки, утворює водо аміачний розчин. В холодильний агрегат водо аміачний розчин ( $350...750 \text{ см}^3$  при масовій долі аміаку 34...36 %) і водень заправляють під тиском у 1,47...2,1 МПа.

Агрегат виконують з сталі, по відношенню до якої аміак інертний. В агрегаті застосовують безшовні труби, з'єднані газовим зварюванням. У побутових холодильниках використовують холодильні агрегати абсорбційно-дифузної дії.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13



У залежності від потужності, яка потрібна за умови роботи холодильника, нагрівачі поділяються по кількості ступенів. Наприклад одноступеневий нагрівач має потужність 125 Вт у той час як двохступеневий - 200 Вт та 75 Вт. Отже необхідну потужність нагрівача можна обирати. Цей вибір здійснює власник холодильника уручну за допомогою відповідного перемикача, який входить до складу холодильника. Для забезпечення автоматичного режиму роботи холодильник улаштовують терморегуляторами типу АРТ-2А або Т-110 чи Т-120, які забезпечують циклічність роботи і підтримують економічність холодильника у залежності від заданого температурного режиму в холодильній шафі. Застосування терморегуляторів в абсорбційних холодильниках дозволяє зменшити добове споживання електрики та підвищує надійність роботи електронагрівачів.

При встановленні терморегулятора його капілярну трубку щільно кріплять до поверхні випарника. При досягненні бажаної температури у випарнику, тиск хладону R12 у капілярній трубці, знижується і контакти терморегулятора вимикаються, одночасно вимикаючи і електронагрівач від мережі живлення. При зростанні температури поверхні випарника тиск пари у капілярній трубці зростає, контакти терморегулятора вмикаються із одночасною подачею живлення до електронагрівача.

До недоліків такого терморегулятора можна віднести:

- контактну систему регулювання через розрив живлення, що дуже погано бо пов'язано з утворенням електричної іскри, яка руйнує поверхню контакту та скорочує термін його придатності і роботи холодильника в цілому;
- необхідність виготовляти спіраль нагрівача з ніхрому відмінних перерізів тому, що регулювати потужність нагрівача при незмінній напрузі живлення можливо тільки таким чином;
- ступеневе регулювання потужності нагрівача дозволяє холодильнику

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						15
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

працювати поблизу від показника його кращої енергоефективності, бо дискретна зміна потужності лише наближує його ефективність до так званої поверхні оптимуму по Паретто тощо.

## 1.2. Пристрій агрегату абсорбційного холодильника АШ-120

Зовнішній вигляд агрегату абсорбційного холодильника наведено на рис. 1.4.



Рис. 1.4. Зовнішній вигляд агрегату абсорбційного побутового  
холодильника

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



На теплограмі видно трубку, яка виходить з випарника і її температура є холоднішою за температуру оточуючого середовища (ліворуч заввишки). Електронагрівач, який розміщено у кожусі (праворуч знизу) має більш високу температуру ніж оточуючі об'єкти, але на теплограмі її не видно внаслідок того, що його закрито теплоізоляцією.

До складу основних елементів абсорбційного побутового холодильника належить ребристий випарник, рис.1.6., частку якого розміщують у морозильній шафі та частку всередині об'єму шафи охолодження. Тобто він складається з двох ділянок - низької температури  $-14^{\circ}\text{C}$  у морозильній шафі та  $5^{\circ}\text{C}$  всередині шафи охолодження.



Рис. 1.6. Ребристий випарник абсорбційного побутового холодильника

Ребристі випарники, які застосовуються у абсорбційних холодильних агрегатах, виготовляють з сталеві трубки за виглядом зміювика при горизонтальному розташуванні його витків. Між витками розміщують сталеву коробочку з полочками для приготування льоду.

## Постановка задачі

Для аміачного побутового холодильника типу АШ-120 Liebherr T 1414 Comfort, рис.1.7 та рис.1.8 розробити принципову електронну схему керування потужністю електронагрівача плавною зміною його напруги живлення у широкому діапазоні від 0 до 220 В без вимкнення холодильника під час роботи, як то має місце сьогодні, без необхідності мати контактну систему у складі нагрівача, без ступеневого регулятора температурного режиму - перемикача потужності тощо, або так звану аналогову систему регулювання, яка б забезпечувала такі ж самі умови роботи аміачної холодильної машини,



Рис. 1.7. Аміачний побутовий холодильник типу АШ-120 моделі Liebherr  
T 1414 Comfort

									Лист
									19
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

як і при роботі компресійного холодильника - продуктивність електродвигуна якого плавно керує частотний перетворювач у залежності від температури у шафах морозильній та охолодження.

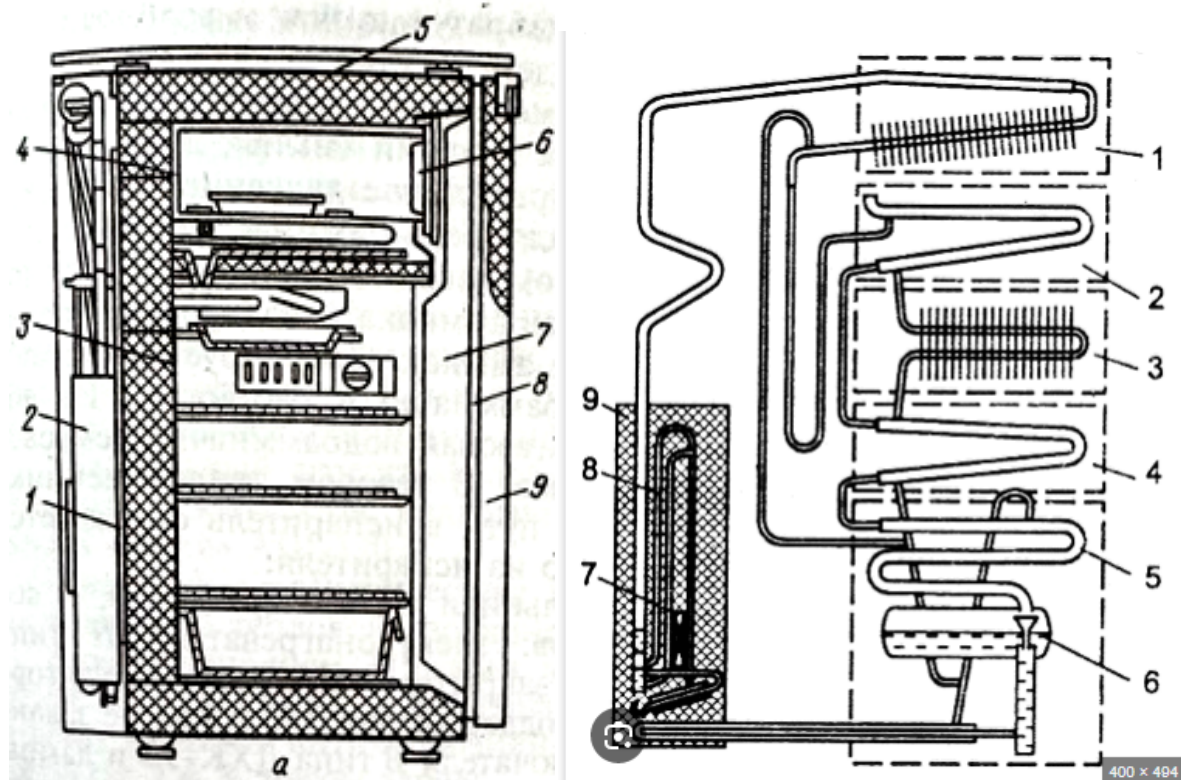


Рис. 1.8. Ліворуч аміачний побутовий холодильник АШ-120 LiebherrТ 1414 Comfort у розрізі: 1 - теплоізоляція; 2 - кожух генератора; 3 - Холодильна шафа; 4 - низькотемпературне відділення; 5 - напільна шафа; 6 - дверці низькотемпературного відділу; 7 - панель дверці; 8 - ущільнювач; 9 - дверці холодильника.

Праворуч - холодильний агрегат: 1 - конденсатор; 2, 3 - випарники; 4 - газовий теплообмінник; 5 - абсорбер; 6 - збірник розчину; 7 - електронагрівач; 8 - термосифон; 9 - генератор.

Основні технічні характеристики холодильника:

1. об'єм холодильних відділень 106 л;
2. висота / ширина/ глибина 85/50,1/62см;

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

3. повний об'єм 120 л;
4. об'єм морозильного відділення 15 л;
5. напруга 220-240 V ~;
6. рівень шуму 40 дБ;
7. клас енергоефективності UAA+;
8. споживаний струм 0,8 А;
9. споживання енергії за рік 176 кВт-год/рік.

### 1.3. Об'єкт дослідження

Побутовий абсорбційний холодильник АШ-120, рис. 1.8 (ліворуч), з автоматичною підтримкою заданої температури призначений для зберігання продуктів у охолодженому і замороженому стані та для отримання льоду.

Корпус холодильника виготовлено у вигляді шафи для підлоги 5 цільною металевою конструкцією зварного типу, яку покрито білою емаллю МЛ-242. Холодильна шафа 3 і панель 7 дверці 9 виготовлені з ударно міцного полістиролу вакуумного формування. У верхній частині холодильної шафи розташоване низькотемпературне відділення 4, яке закривається окремими дверцями 6.

Теплоізоляція дверці холодильної шафи виконана з піно полістиролу ПСВ-1 товщиною 45 мм, має ущільнювач 8 з магнітною вставкою. Проміж панелями стінок шафи знаходиться шар теплоізоляції з пінополістиролу ПСВ-1 товщиною 78...85 мм.

В холодильній шафі передбачено електричне освітлення, яке автоматично вмикається при відчиненні дверці. Холодильний агрегат складено з генератора 9, рис. 1.8 (праворуч), до якого входять термосифон 8 для прокачування міцного розчину аміаку, конденсатор 1 пари холодоагенту після термосифону, послідовно з'єднаних низько – і високотемпературних випарників 2 і 3 для виробництва холоду, абсорбер 5 для поглинання слабким розчином пари холодоагенту після випарників, збірника розчину 6, газового

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						21
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

теплообмінника 4 для теплого і холодного потоків газу, увімкненого між абсорбером та випарником. Генератор з електричним нагрівачем 7 розташовано у металевому кожусі, заповненому тепловою ізоляцією (скловолокно). Агрегат заповнено водо аміачним розчином у кількості 750 см<sup>3</sup> і воднем під тиском 2 МПа та температурі 25°C.

Холодильний агрегат працює наступним чином. Після увімкнення холодильника у мережу живлення водо аміачний розчин в генераторі гріється електричним нагрівачем до кипіння. Утворений при нагріву пар аміаку потрапляє до конденсатора, в якому він конденсується. Збіднений аміаком водо аміачний розчин за допомогою термосифону потрапляє до абсорбера. Рідкий аміак з конденсатора потрапляє до випарника. Парціальний тиск аміаку у випарнику нижче ніж у конденсаторі і аміак випаровується у середовище водню, охолоджуючи при цьому низькотемпературне і холодильне відділення. Важка суміш аміаку та водню із випарника потрапляє до абсорберу, в якому аміак абсорбується стікаючим проти потоком слабкого водо аміачного розчину. Із абсорбера до випарника надається газова водо аміачна суміш з невеликим змістом аміаку. У газовому теплообміннику тепло водо аміачна суміш на шляху до випарника охолоджується холодною водо аміачною сумішшю із випарника.

Електрообладнання холодильника АШ-120 складається з: електричного нагрівача типу НЕХ2-2 з ніхромовою спіраллю закритого типу, терморегулятора типу Т-110-5, автоматично підтримуючого задану у шафах температуру, дверного вимикача типу ДХК-УЗ і лампи розжарювання типу РН 220-15, призначеної для освітлення шафи, сполучного шнура із штепсельною вилкою.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22



викладені вже існують на кафедрі холодильних машин та систем кондиціонування повітря.

## 2.1. Електромеханічний регулятор напруги живлення електронагрівача

На рис.2.1 наведено найпростішу електромеханічну схему регулятора напруги живлення, щодо вивчення впливу ефекту регулювання напруги живлення на роботу холодильної машини і на питомий електричний коефіцієнт холодильної продуктивності. Зміна напруги живлення здійснюється уручну за допомогою однофазного регулятора РНО. Комунікатор РМ203 відображає енергетичні показники електричного нагрівача - напругу, струм та споживану потужність, а аналізатор дозволить встановити електричний коефіцієнт холодильної продуктивності.

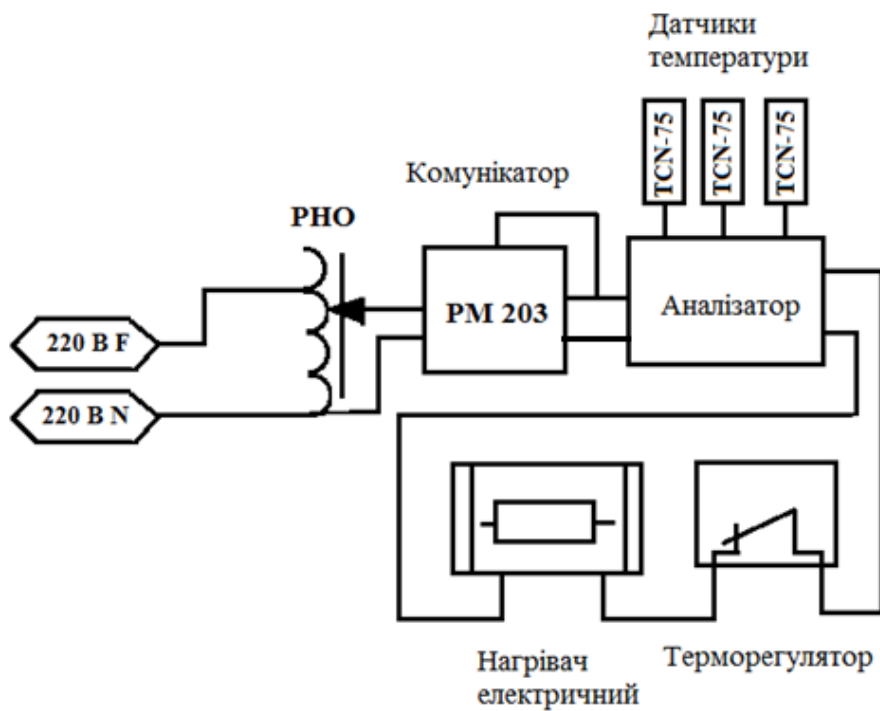


Рис.2.1. Електромеханічна схема регулятора напруги живлення електричного нагрівача термосифону ам'ячного побутового холодильника

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.2. Електронний регулятор напруги живлення електронагрівача

На рис.2.2 наведено найпростішу електронну схему регулятора напруги MOTOR CONTROL і приєднання до неї електричного нагрівача термосифону аміачної холодильної машини. Напруга живлення надається безпосередньо на ніхромову спіраль нагрівача але через послідовно увімкнений резистивний шунт SHUNT і симистори TRIAC, керовані регулятором напруги MCU MODUL. Напруга з шунта, пропорційна споживаному нагрівачем струму, потрапляє до малопотужного мікроконтролера MSP, а регулювання напруги у напрямку її зниження чи збільшення до номіналу забезпечується зміною кута відкриття затвору GATE симисторів BT. В мить включення електричного нагрівача затвори симисторів відкриті повністю, чим забезпечується найбільше значення діючої напруги живлення на його спіралі і, як слідство, найбільший потужність нагріву. Після виходу електричного нагрівача в сталий тепловий режим роботи, мікроконтролер, збільшуючи за програмою кут відкриття симисторів або за показаннями датчиків температури, починає зниження діючого значення напруги живлення електричного нагрівача із одночасним порівнянням споживаного ним струму з його попереднім значенням. Якщо матиме місце тенденція його відносного зменшення, зниження напруги живлення триватиме. Якщо струм стане вище ніж його попереднє значення, наприклад при зростанні теплового навантаження у шафах холодильника, яке обумовлене привнесеним об'єктом охолодження або заморожування, мікроконтролер поновлює попереднє більше значення напруги живлення і утримує його під час роботи абсорбційної машини, продовжуючи контроль можливої зміни теплового навантаження або показань датчиків температури. При збільшенні навантаження шаф холодильника, споживаний електричним нагрівачем струм винен збільшуватись і, відповідно до нього, мікроконтролер винен збільшити напругу живлення. Програма, керуюча роботою мікроконтролера, може бути складеною на мові Visual Basic Application у програмному середовищі EXCEL.EXE, як найбільш розповсюдженому і безкоштовному.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

Вона повинна забезпечувати плавне або ступеневе зниження напруги на ніхромовій спіралі електричного нагрівача або повне його знеструмлення, як то необхідно після виходу холодильника в сталий температурний режим роботи.

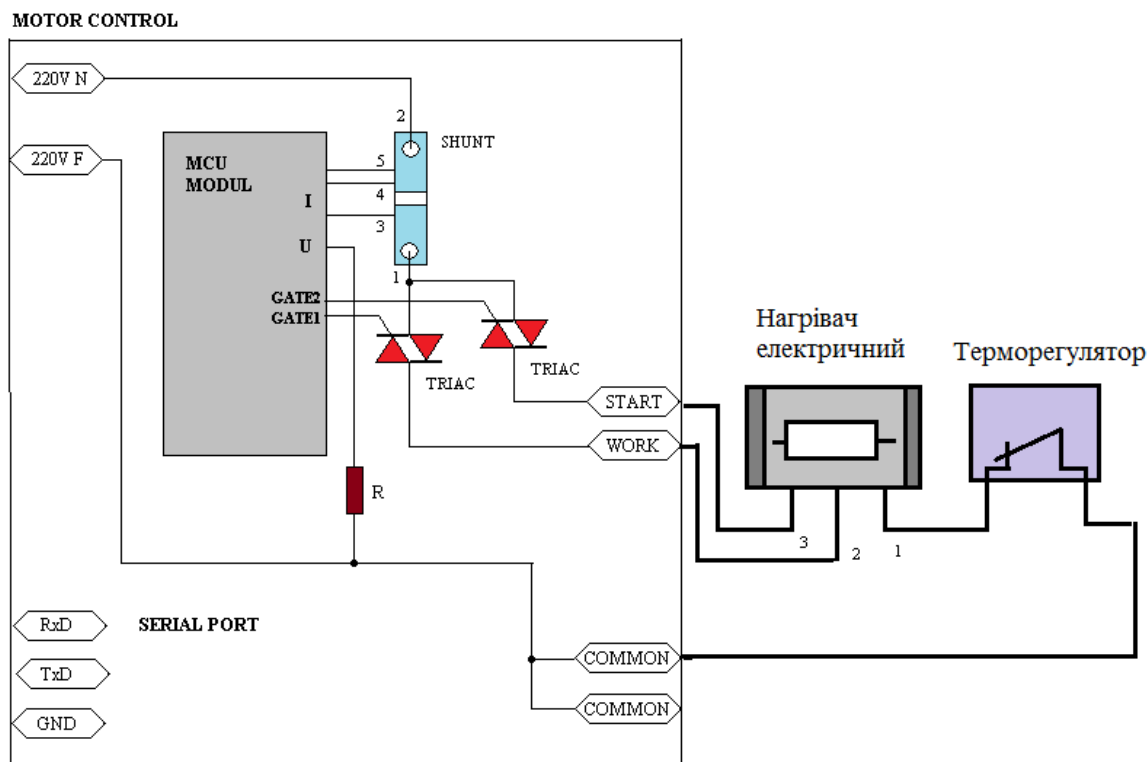


Рис.2.2. Електронна схема регулятора напруги MOTOR CONTROL і приєднання її до неї електричного нагрівача термосифону аміачної холодильної машини.

При потребі, на найменшій за потужністю але додатковій спіралі електричного нагрівача навіть можна залишати або додавати деяку напругу живлення діюче значення якої дорівнює найменшому струму в ній та такому який не перевищує його тривалого припустимого значення за температурою нагрівача. У цьому випадку електричний нагрівач залишається двоступеневим, як то при пуску холодильної машини (але із так званим форсажем) при якому її технічні характеристики дещо покращуються оскільки працюватиме вона вже з більшою за розрахункову потужністю

нагрівача, більшим утвореним ним тепловим потоком завдяки спільному увімкненню обох спіралей.

### 2.3. Електронний регулятора напруги живлення електричного нагрівача на підставі мікропроцесора

На рис. 2.4 наведено розгорнуту схему регулятора напруги живлення MCU MODUL для живлення електричного нагрівача, розроблену на підставі схеми рис.2.2, та в якій: напруга мережі живлення двигуна  $U_p$  прикладена до затискачів AC\_0 та AC\_F потрапляє на нелінійного опір RV1 типу VCR-14D271k з якого через дільник разом із споживаним струмом  $I_p$ , який знімається з шунта SHUNT, потрапляють до мікроконтролера типу MSP430F2013 на його затискачі P1.0, P1.1 та P1.2, відповідно

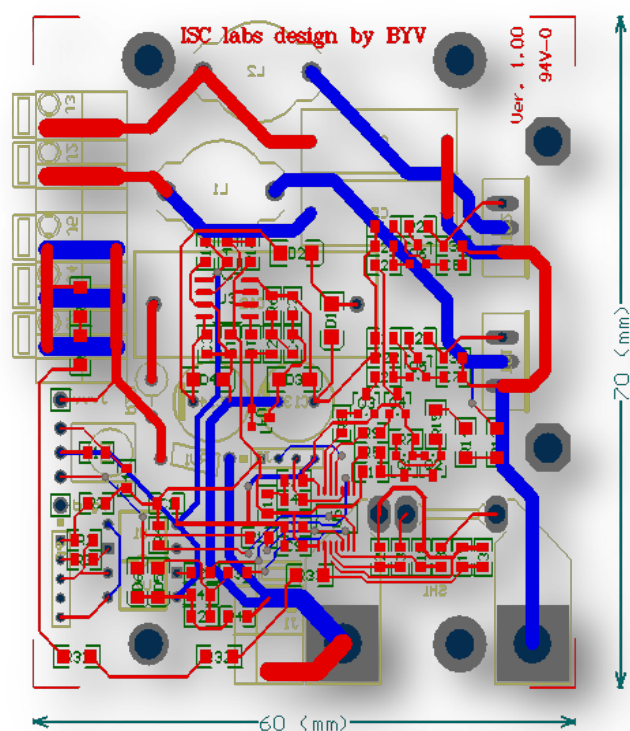


Рис.2.3. Загальний вигляд монтажної плати регулятора напруги живлення

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		27

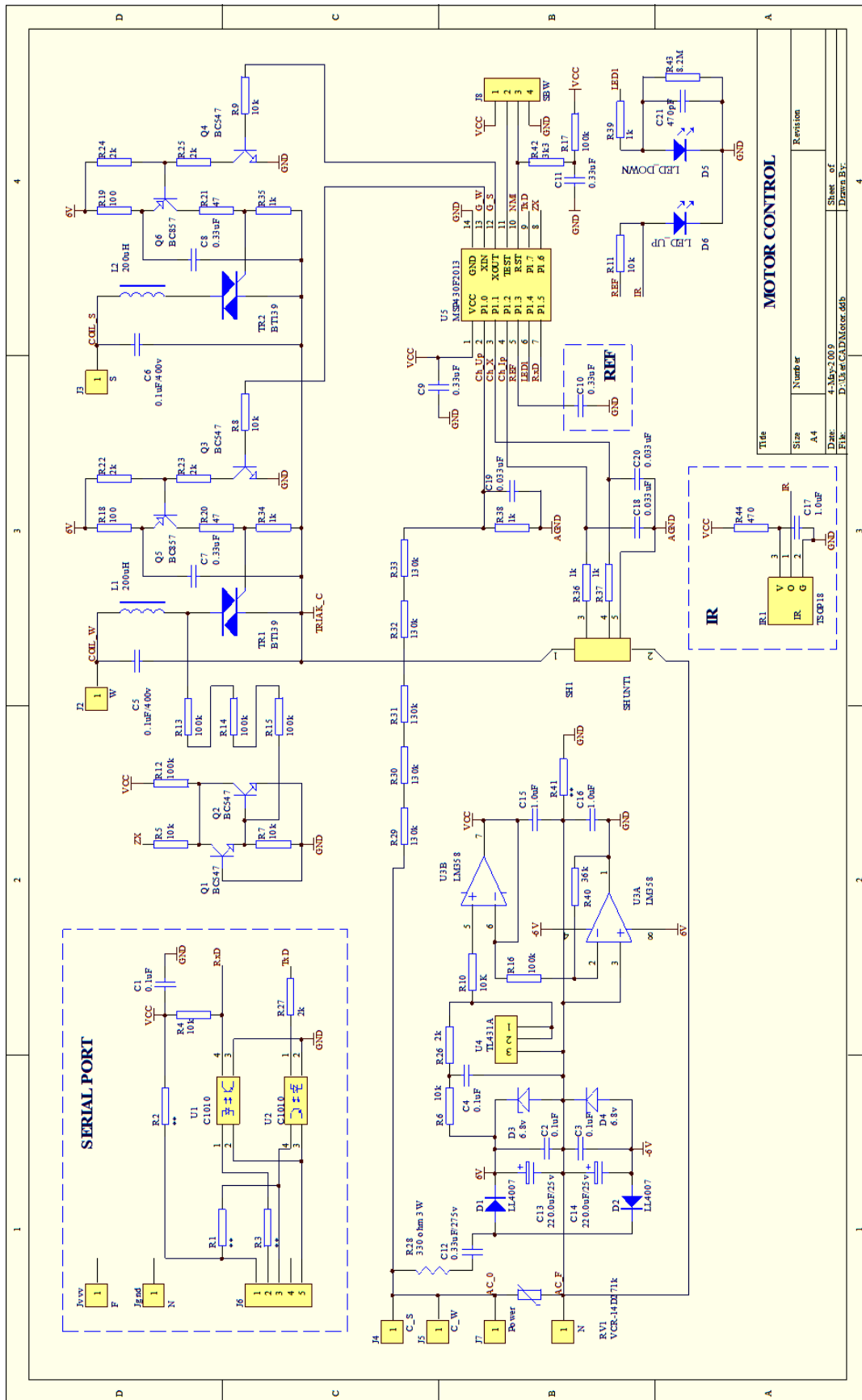
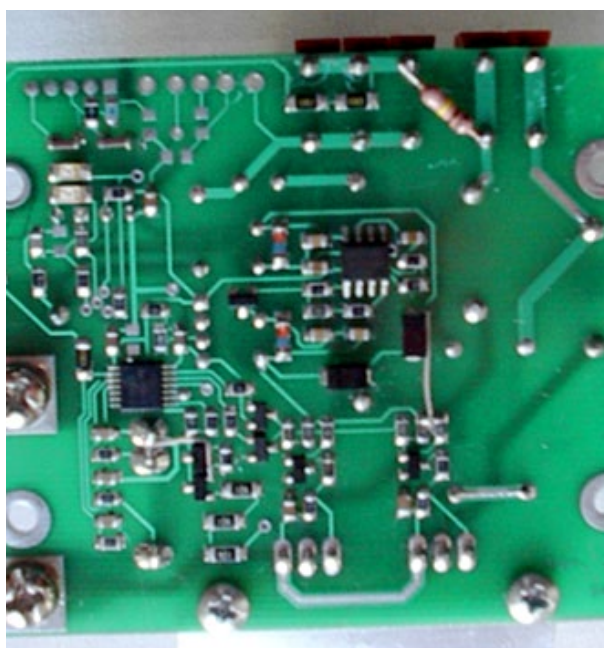


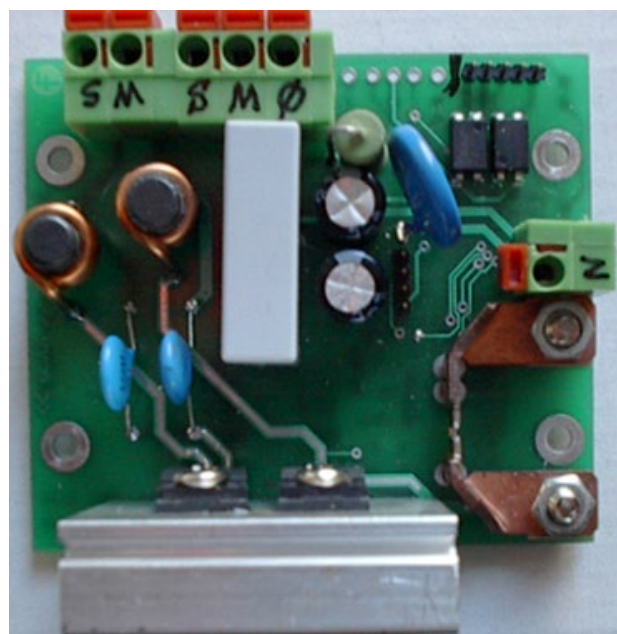
Рис.2.4. Розгорнута електрична схема електронного регулятора напруги живлення електричного нагрівача термосифону аміачного холодильника

З виходів мікроконтролера XIN та XOUT потенціали, пропорційні споживаним спіралями електричного нагрівача струмам, тобто G\_W і G\_S потрапляють на керуючі затвори симисторів TR1 і TR2 типу BT139, прикриваючи їх для зменшення діючих значень напруг живлення спіралей за величиною споживаного ними струму, або відкривають їх для збільшення напруги живлення до номінальної.

Монтажну плату пристрою, виконану за схемою рис. 2.4, наведено на рис.2.3. На рис. 2.5(а,б) наведено зовнішній вигляд пристрою регулятора напруги живлення електричного двохсекційного нагрівача абсорбційного побутового холодильника.



а)



б)

Рис.2.5. Загальний вигляд зібраного приладу регулятора напруги живлення з обох сторін монтажної плати

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		29



## Висновки

1. Виготовлення регулятора напруги на підставі розробленої схеми, як мало витратного пристрою, забезпечить підвищення енергетичної ефективності холодильного апарату, повністю автоматизований процес керування продуктивністю агрегату у широкому діапазоні напруг живлення електричного нагрівача без потреби у вимкненні живлення.

2. Застосування приладу не потребує будь-яких втручань в топологію холодильного апарату оскільки електричний нагрівач вмикається до мережі живлення безпосередньо через нього.

3. Для коректної роботи регулятора напруги живлення електронагрівача він повинен бути улаштованим цифровим датчиком температури встановленим на ділянці керуючого затвору сімістора. У випадку потреби регулювання роботи холодильної машини по двох датчиках температури в схемі регулятора передбачено два сімістора

4. Застосовування автономного регулятора передбачає живлення електронагрівача здійснювати при номінальній напрузі живлення 220В із запрограмованим поступовим його зниженням до значення, яке відповідає мінімуму споживаного струму, потужності і, як слідство, температури.

5. Практика застосування сімісторів для регулювання діючої напруги живлення показує деяку їх недосконалість, а саме погану керованість у четвертому октанті напруги. Для усунення цього недоліку слід замість симисторів застосовувати схеми із JBT транзисторами. Тому, розроблений регулятор, застосування якого заощаджує електричну енергію і підвищує енергетичну ефективність холодильного апарату доцільно вдосконалити у випадку попиту на нього.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		31

### 3. ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ ВИПАРНИКА АБСОРБЦІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

Виходячи із призначення холодильної машини – відводити тепло від об'єкту охолодження в більш тепле оточуюче середовище, саме електричним нагрівачем виконується необхідна додаткова корисна робота. Ця робота витрачається на пересування робочого тіла (пари аміаку) в холодильній машині, який, здійснюючи замкнений цикл, періодично повертається у початковий стан від розчину у воді до пару та навпаки. У такому зворотному циклі загальна кількість теплового потоку, вилученого із замкненого об'єму холодильника  $Q_{заг} = Q_0 + Q_{вн}$  сумісно із втратами потужності у електричному нагрівачу  $Q_E = P_E$  холодильної машині спільним обсягом  $Q_k = Q_{заг} + Q_E$  відводиться у зовнішнє середовище за допомогою теплообмінного конденсатора. У виразах  $Q_0$  – загальний приток тепла крізь теплоізоляцію із оточуючого середовища до холодильної шафи і морозильної камери,  $Q_{вн}$  – приток тепла від об'єктів охолодження та на мережі трубопроводів тепломеханічної системи (як правило не перевищує  $0,5 \cdot Q_0$ ),  $P_E$  – активна потужність спожита електричним нагрівачем із мережі живлення.

#### 3.1. Теплова модель неробочого циклу випарника

Виходячи із загальних положень, встановлених рівнянням теплового балансу, на протязі проміжку часу неробочого циклу  $\Delta \tau_n$  до випарника із корисного об'єму ШО та ШМ втікає тепло у кількості

$$dQ'_n = k_n F (t_{об} - t_0) dt.$$

На підігрів металу випарника, рідини хладону і теплоносія, для яких мають бути відомими вага та питома теплоємність, випарником залучається тепло у кількості

$$dQ''_n = (G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}) dt_0.$$

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		32

Згідно до рівняння теплового балансу випарника матимемо

$$dQ_H' - dQ_H'' = k_H F (t_{об} - t_0) d\tau - (G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}) dt_0 = 0.$$

В рівнянні дві змінні величини  $\tau$  - час і  $t_0$  - температура випарника. Після спрощення рівняння, отримаємо його у вигляді виразу придатному для вирішення

$$-(G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}) \frac{dt_0}{d\tau} - k_H F t_0 = -k_H F t_{об}.$$

Отриманий вираз є неоднорідне диференціальне рівняння першого порядку, у якому складовою збудження перехідного процесу теплопередачі є кількість тепла, що потрапляє до випарника від об'єкту охолодження. Здійснюючи заміну змінної, а саме  $dt_0/d\tau = \alpha_n$ , звідки  $t_0 = 1$  отримаємо характеристичне рівняння виду

$$-(G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}) \alpha_n - k_H F = 0,$$

корінь якого

$$\alpha_n = \frac{-k_H F}{G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}}.$$

Повне рішення неоднорідного диференціального рівняння знаходимо як суму двох рішень: часткового, що дає примусове значення температури якої випарник досягне після закінчення теплообміну, тобто коли  $dt_0/d\tau = 0$  і, відповідно,  $t_{об} = t_0$ , та загального рішення однорідного диференціального рівняння без правої частини, виду

$$-(G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}) \frac{dt_0}{d\tau} - k_H F t_0 = 0,$$

яке дає вільну складову зміни температури випарника у часі.

Відомо, що рішення будь-якого однорідного диференціального рівняння має вид експоненціальної залежності

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						33
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{0\text{вiл}}(\tau) = T e^{\alpha_n \tau}.$$

Тому повне рішення отримає вигляд

$$t_0(\tau) = t_{0np} + t_{0\text{вiл}}(\tau) = t_{об} + T e^{\alpha_n \tau}.$$

Наведене рішення справедливе для будь-якої митті часу  $i$ , у тому числі, для  $\tau=0$ . Якщо врахувати не нульові початкові умови для яких температура випарника на початку циклу вимкнення електричного нагрівача становила  $t_0(0)=t_2$ , отримаємо

$$t_2 = t_{об} + T,$$

звідки постійна інтегрування  $T = t_2 - t_{об}$ , а повне рішення неоднорідного диференційного рівняння процесу теплообміну випарника та об'єкту охолодження отримає вид

$$t_0(\tau) = t_{об} - (t_{об} - t_2) e^{\alpha_n \tau}.$$

Якщо, у першому наближенні, складові кореня характеристичного рівняння досліджуваного аміачного холодильного приладу типу АШ-120 визначити тільки через масу і питому теплопровідність залізного випарника, тобто як

$$Gc = G_{мет}c_{мет} + G_{рх}c_{рх} + G_{тн}c_{тн} = \frac{c \cdot F \cdot h \cdot \gamma}{2} = \frac{440 \cdot 0,24 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 7870}{2} = 623 \left( \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{0\text{C}} \right),$$

то корінь його становитиме

$$\alpha_n = \frac{-9,43 \cdot 0,24}{623} = -0,0036, \left( \text{с}^{-1} \right).$$

і, наприклад, для неробочої частини циклу ХМ при  $t_2 = -14 \text{ }^0\text{C}$  і  $t_{об} = 5 \text{ }^0\text{C}$ , часову діаграму притоку тепла до випарника згідно до виразу

$$t_0(\tau) = 5 - 19 e^{-0,0036\tau}, \left( \text{ }^0\text{C} \right)$$

отримаємо у вигляді наведеному на рис.3.1.(праворуч зелена крива). Зростання температури у морозильній шафі при зупиненні холодильної

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						34
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

машини (вимкненні електронагрівача) до температури  $-5^{\circ}\text{C}$  протікає за три хвилини. Після цього холодильна машина винна бути увімкненою за для подальшого уникнення зростання температури і пошкодженню об'єктів охолодження. Температуру оточуючого середовища прийнято у  $32^{\circ}\text{C}$ . Стала перехідного процесу нагріву складає 278 с. Збільшення температури до встановленою за мови розташування датчика терморегулятора у шафі охолодження  $+5^{\circ}\text{C}$  протікатиме упродовж 5,6 сталих часу, тобто 1557 секунд або 26 хвилин.

Теоретична кількість тепла, яке притікає до випарника визначиться виразом виду

$$dQ_H = k_H F (t_{об} - t_0) e^{\alpha_H \tau} d\tau,$$

що за час неробочої частини циклу ХМ досліджуваного холодильного приладу типу АШ-120 становить

$$\begin{aligned} \Delta Q_H &= k_H F \int_0^{\Delta \tau_H} (t_{об} - t_2) e^{\alpha_H \tau} d\tau = \frac{k_H F}{\alpha_H} (t_{об} - t_2) (1 - e^{\alpha_H \Delta \tau}) = \\ &= \frac{9,43 \cdot 0,24}{0,0036} (5 + 14) (1 - e^{-0,0036 \cdot 252}) = 7123 \text{ (Дж)}, \end{aligned}$$

### 3.2. Теплова модель робочого циклу випарника

Аналогічно попередньо виконаному математичному аналізу, рівняння теплового балансу випарника на протязі проміжку робочої частини циклу  $\Delta \tau_p$  під час якого до випарника притікає тепло від корисного об'єму ШО та ШМ має вид

$$dQ'_p - dQ''_p = k_p F (t_{об} - t_0) d\tau - (G_{мет} c_{мет} + G_{рх} c_{рх} + G_{тн} c_{тн}) dt_0 = Q_0 d\tau.$$

Частка цієї кількості тепла  $(-k_p F t_0)$  призводить до розігріву металу випарника, рідини хладону і теплоносія, для яких відомі вага та питома теплоємність, а

										Лист
										35
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						



Повне рішення неоднорідного диференційного рівняння також знаходимо як суму двох рішень: часткового, що дає примусове значення найнижчої температури якої випарник досягне після закінчення теплообміну, тобто коли  $dt_0/d\tau=0$  і, відповідно,  $t_0=t_{\delta_{ал}}$ , та загального рішення однорідного диференційного рівняння без правої частини виду

$$-(G_{мет}c_{мет} + G_{рх}c_{рх} + G_{тн}c_{тн}) \frac{dt_0}{d\tau} - k_p F t_0 = 0,$$

яке дає вільну складову зміни температури випарника у часі.

Відомо, що рішення будь-якого однорідного диференційного рівняння має вид експоненціальної залежності виду  $t_{0віль}(\tau) = T e^{\alpha_p \tau}$ . Тоді повне рішення рівняння матиме вигляд

$$t_0(\tau) = t_{0np} + t_{0віль}(\tau) = t_{\delta_{ал}} + T e^{\alpha_p \tau}.$$

Отримане рівняння справедливе для будь-якої митті часу і, у тому числі, для  $\tau=0$ . Якщо врахувати не нульові початкові умови для яких температура випарника на початку циклу включення компресора становила  $t_0(0)=t_1$ , рис.6.2, отримаємо

$$t_1 = t_{\delta_{ал}} + T,$$

звідки постійна інтегрування  $T = -t_{\delta_{ал}} + t_1$ , а повне рішення неоднорідного диференційного рівняння (6.10) процесу теплообміну випарника та об'єкту охолодження отримає вид

$$t_0(\tau) = t_{\delta_{ал}} - (t_{\delta_{ал}} - t_1) e^{\alpha_p \tau}.$$

Якщо таким же чином, як при розгляді неробочого циклу, у першому наближенні складові кореня характеристичного рівняння становлять

$Gc = 623 \left( \frac{Вт \cdot с}{0^{\circ}C} \right)$ , то сам корінь становить

										Лист
										37
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ЕН-141а 2.24					

$$\alpha_p = \frac{-1,98 - 10,78 \cdot 0,24}{623} = -0,0073, \left( c^{-1} \right),$$

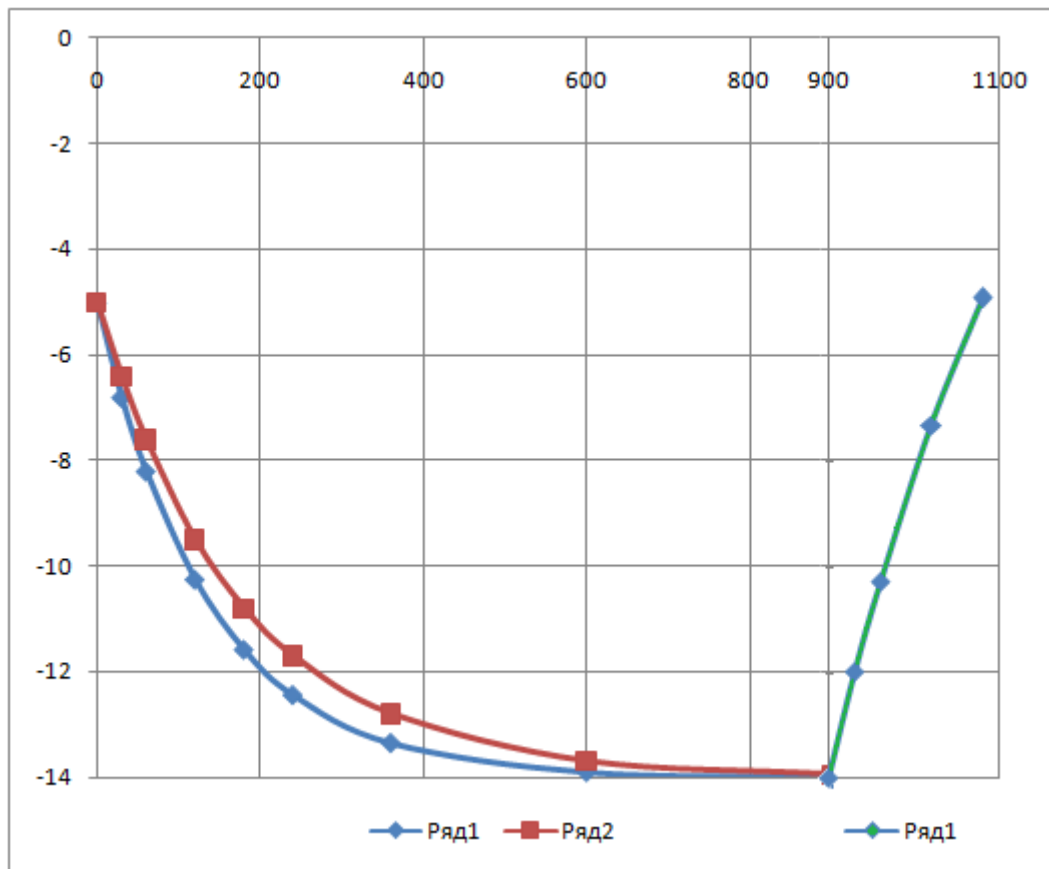


Рис.3.1. Часові залежності охолодження випарника АШ-120 при двох значеннях потужності електричного нагрівача (ліворуч нижча 125 Вт, вища 62,5 Вт) та роботі при вимкненому електричному нагрівачу (праворуч)

а часова залежність охолодження випарника буде

$$t_0(\tau) = -14 + 9e^{-0,0073\tau}, \left( ^\circ C \right)$$

при повній потужності електричного нагрівача - нижча і при половині його потужності - вища.

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## Висновки

1. Зростання температури випарника до примусового її значення, встановленого терморегулятором при вимкненому електричному нагрівачу протікає однаково для будь якої потужності нагрівача, тобто не залежить від неї.

2. Примусових значень температура у морозильній шафі при повній потужності нагрівача досягне через 762 секунди або через 13 хвилин, а при половині потужності нагрівача через 982 секунди або через 16, 5 хвилини. Але при будь якій потужності нагрівача вихід випарника в примусовий режим відбудеться, тільки час виходу буде різним. Чим вище потужність нагрівача, тим скоріше випарник вийде у примусовий або сталий режим роботи.

3. Отже абсорбційний холодильник працює циклічно за наведеною часовою діаграмою температур у морозильній шафі.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		39

#### 4. ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВСЕРЕДИНИ ОБ'ЄМУ ШАФ АБСОРБЦІЙНОГО ХОЛОДИЛЬНИКА

Для чисельного розрахунку поля температур всередині абсорбційного побутового холодильника скористуємось інтерактивним середовищем щодо моделювання і розрахунку більшості наукових і інженерних задач - COMSOL Multiphysics, яке започатковане на диференційних рівняннях у приватних похідних (PDE) і їх моделюванням методом кінцевих елементів. Він надає можливість розширити стандартні моделі які використовують одне диференційне рівняння (прикладний режим) у мультифізичні моделі для розрахунку пов'язаних між собою фізичних явищ. Розрахунок не вимагає глибоких знань математичної фізики і методу кінцевих елементів. Це можливо завдяки вбудованими фізичними режимами, де коефіцієнти диференційних рівнянь задаються у вигляді зрозумілих фізичних властивостей, таких як: швидкість, теплопровідність, теплоємність, коефіцієнт тепловіддачі, об'ємна потужність тощо у залежності від обраного фізичного розділу. Перетворення цих параметрів у коефіцієнти математичних рівнянь виконується автоматично. Взаємодія з програмою можлива стандартним шляхом - через графічний інтерфейс користувача (GUI), або програмуванням за допомогою скриптів на мові COMSOL Script або мові MATLAB. В роботі буде застосовуватись графічний інтерфейс.

Програмування в цьому середовищі започатковане на системі диференційних рівнянь в приватних похідних. Існує три математичні способи завдання таких систем:

- коефіцієнтна форма, яку призначено для лінійних і близьких до лінійних моделей;
- генеральна форма, для нелінійних моделей;
- слабка форма (Weakform) для моделей с PDE на межах області моделювання, ребрах або для моделей які використовують умови із змішаними та похідними в функції часу.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		40





від випарника морозильника. Холодильник розташовано у приміщенні температура у якому  $32^{\circ}\text{C}$ .

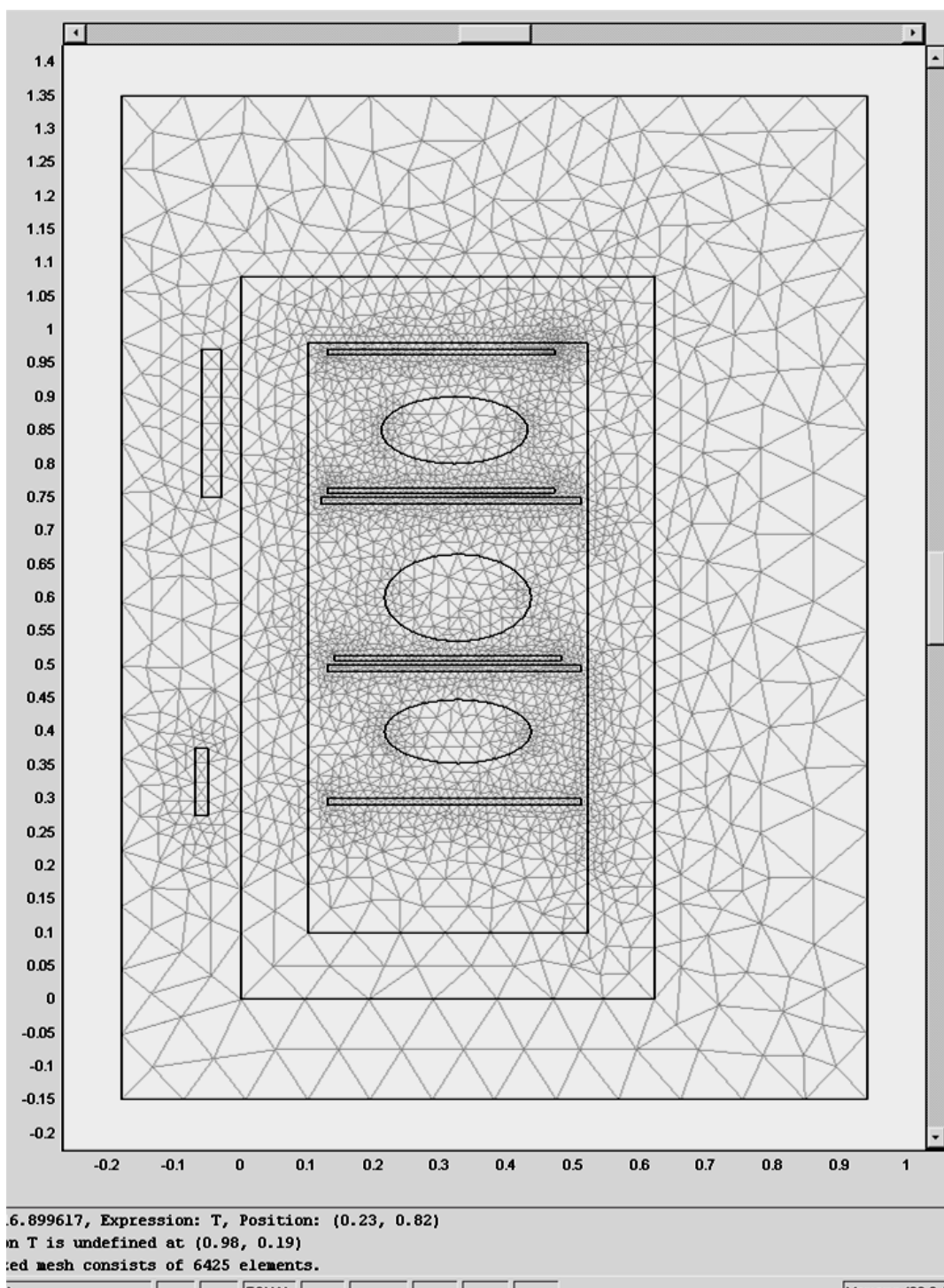


Рис.4.1. Загальний вигляд геометрії області розрахунку побутового аміачного холодильника

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

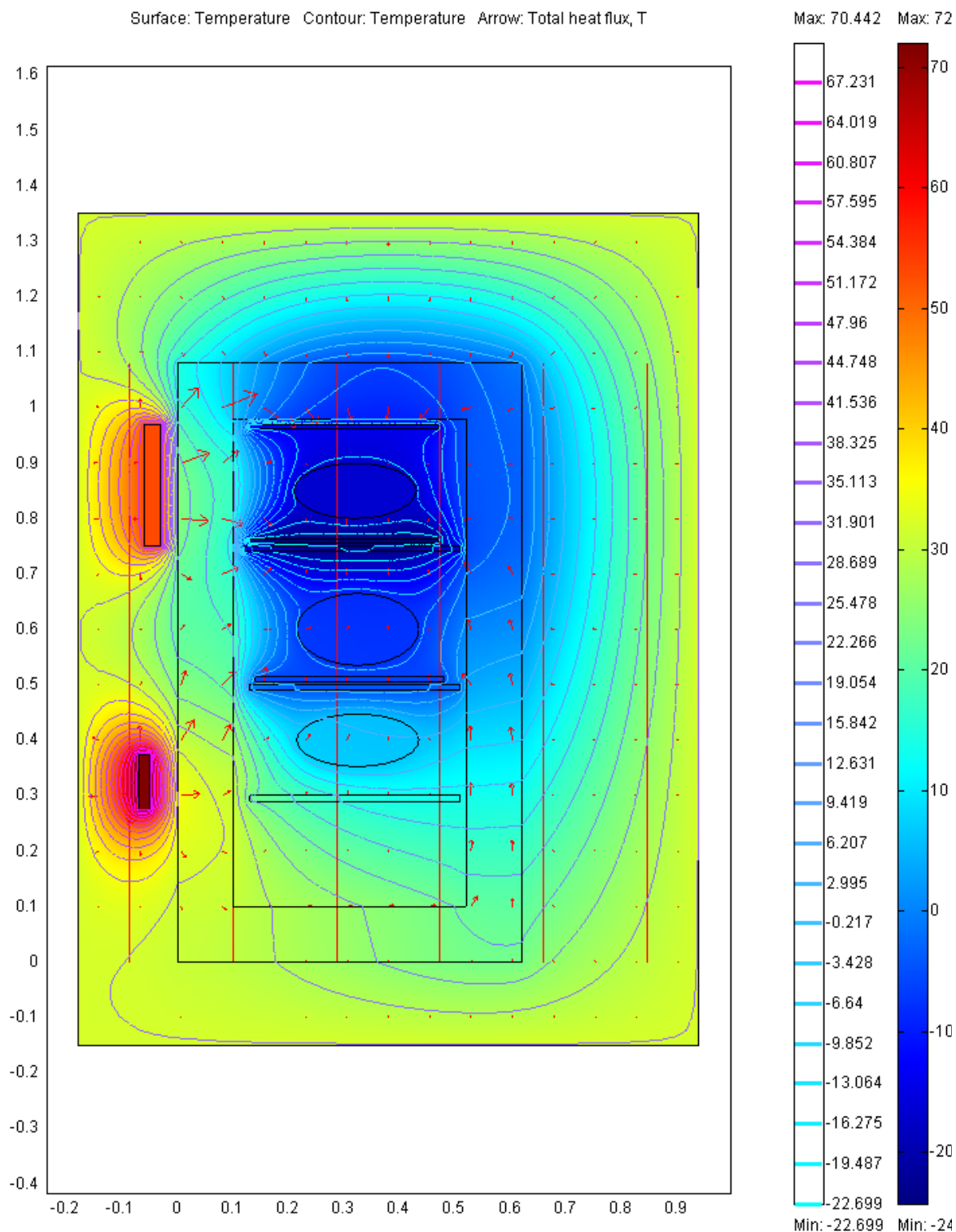


Рис.4.2. Результати розрахунку поля температур у просторі в якому знаходиться побутовий холодильник не завантажений об'єктами охолодження, тобто працюючому у режимі холостого ходу

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

#### 4.2. Розрахунок поля температур у холодильнику в режимі холостого ходу

На рис.4.2 наведено результати розрахунку поля температур у просторі в якому знаходиться побутовий холодильник не завантажений об'єктами охолодження, тобто працюючому у режимі холостого ходу. Цей розрахунок потрібен як відправна точка для встановлення продуктивності холодильника із завантаженням продуктивних шаф. Дані розрахунку вказують на витіки холоду з шаф холодильника назовні з боку дверців та на проникнення тепла від електричного нагрівача та конденсатора всередину шаф холодильника. Таке явище вказує на недостатню теплопровідність застосованої теплоізоляції або її малий шар.

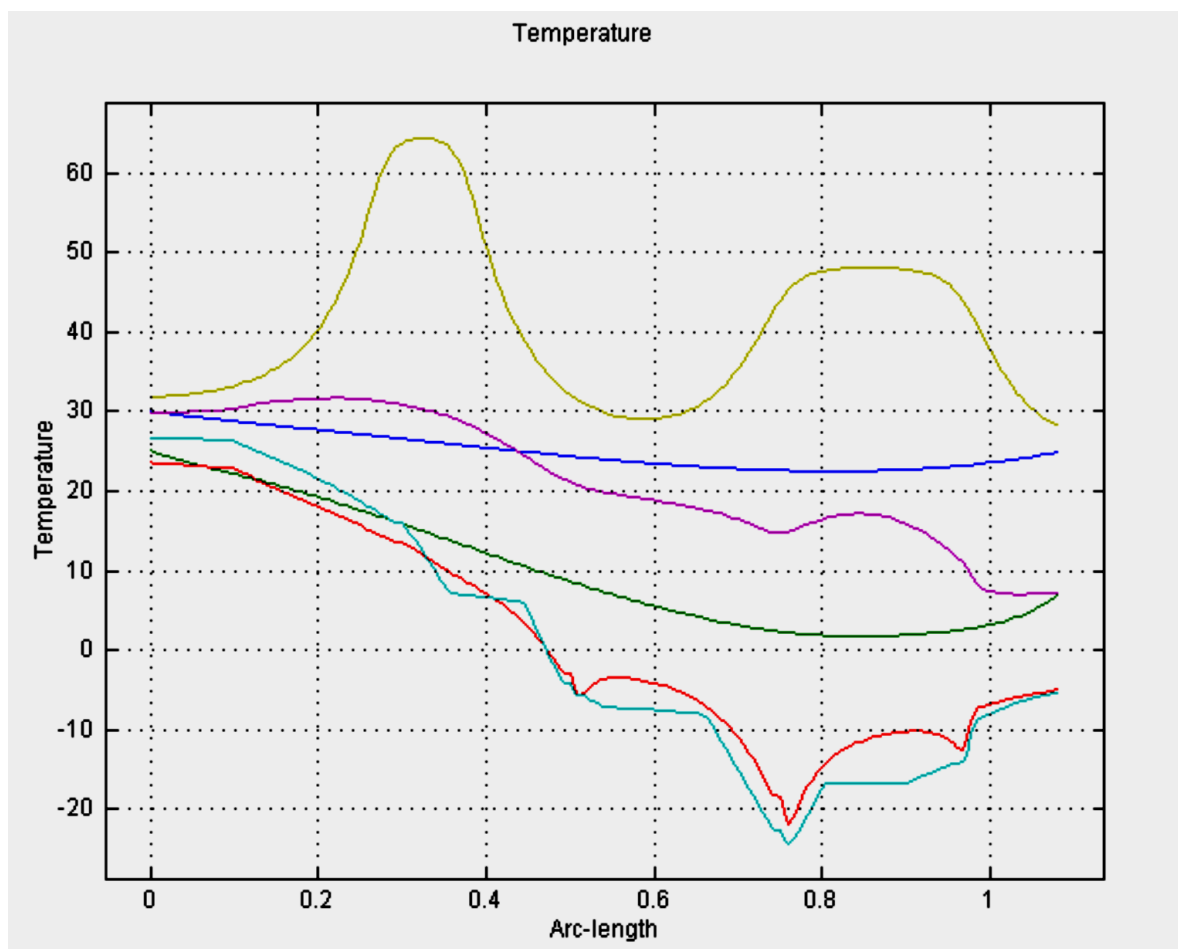


Рис.4.3. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника не завантаженого об'єктами охолодження, уздовж шести ліній екструзії червоного кольору, наведених на рис.4.2

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

### 4.3. Розрахунок поля температур у навантаженому холодильнику

На рис.4.3 наведені графіки розподілу температури всередині незавантаженого харчами побутового аміачного холодильника уздовж його висоти всередині від пілоги до стелі. Отримані залежності температур свідчать про коректність постановки вирішуваної задачі, завдання межових умов та початкових даних. Як видно з рис.4.3 у морозильному відділенні середня температура знаходиться на рівні  $-15^{\circ}\text{C}$ , а у шафі охолодження на рівні  $+5^{\circ}\text{C}$ , які відповідають експлуатаційним характеристикам побутового холодильника.

Дослідження поля температур у аміачному побутовому холодильнику для випадку його завантаження продуктами охолодження наведено нижче. Розрахунку підлягали такі випадки;

1. об'єкт охолодження заходиться тільки у морозильному відділенні, рис.4.4;
2. об'єкт охолодження знаходиться всередині шафи охолодження, рис.4.5;
3. об'єкт охолодження знаходиться унизу шафи охолодження, рис.4.6;
4. два об'єкти охолодження поодиноці знаходяться у морозильній камері та всередині шафи охолодження, рис.4.7;
5. два об'єкти охолодження поодиноці знаходяться тільки на полицях шафи охолодження, рис.4.8;
6. три об'єкти охолодження поодиноці знаходяться на полиці морозильної камери та полицях шафи охолодження, рис.4.9.

Як витікає з результатів розрахунків місце розташування об'єктів охолодження суттєво впливає на характер розподілу поля температури всередині шаф холодильника. таке явище підлягає ретельному аналізу і особливо при встановленні енергетичної ефективності холодильника в цілому.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

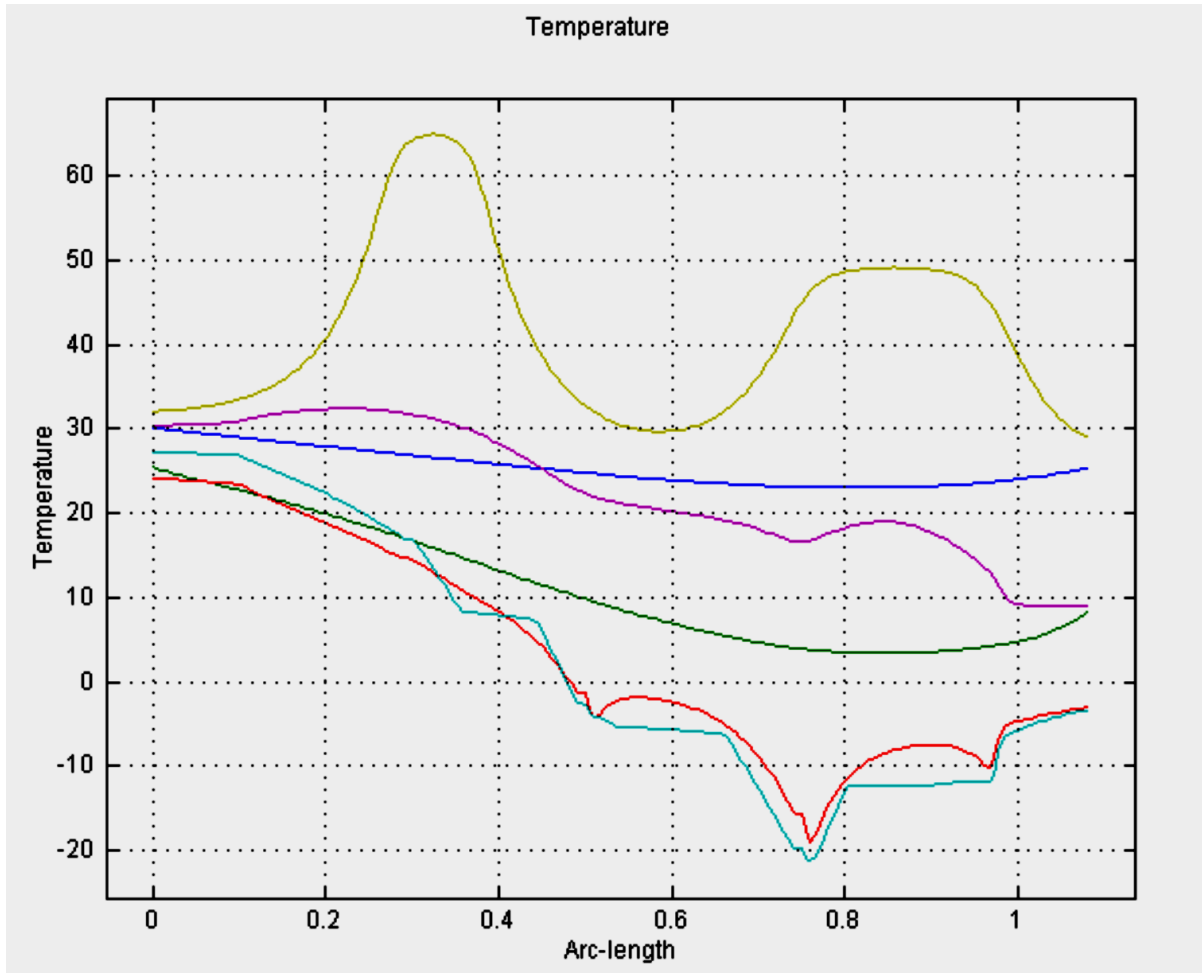


Рис.4.4. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника коли об'єкт охолодження заходиться тільки у морозильному відділенні

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

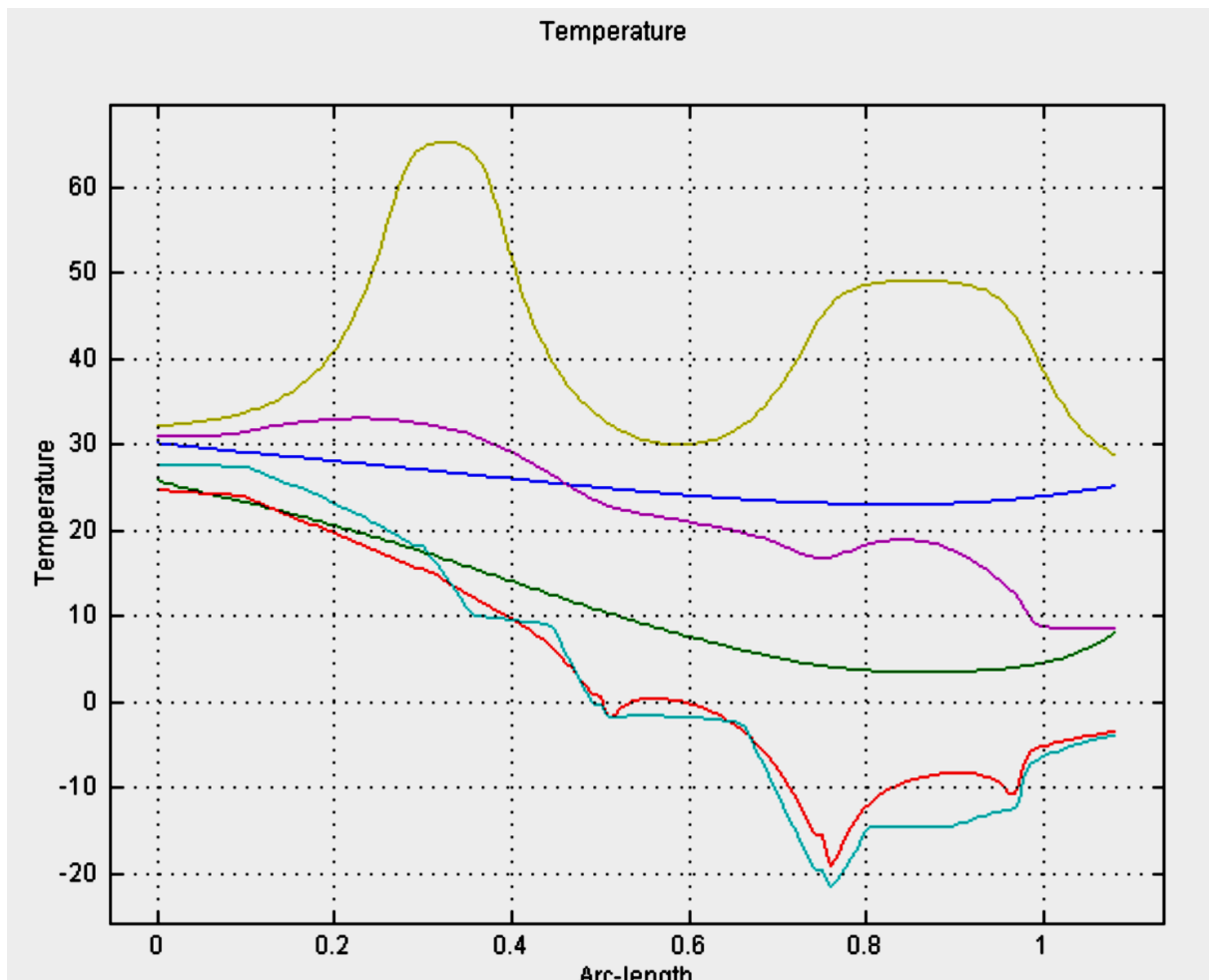


Рис.4.5. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника коли об'єкт охолодження знаходиться всередині шафи охолодження

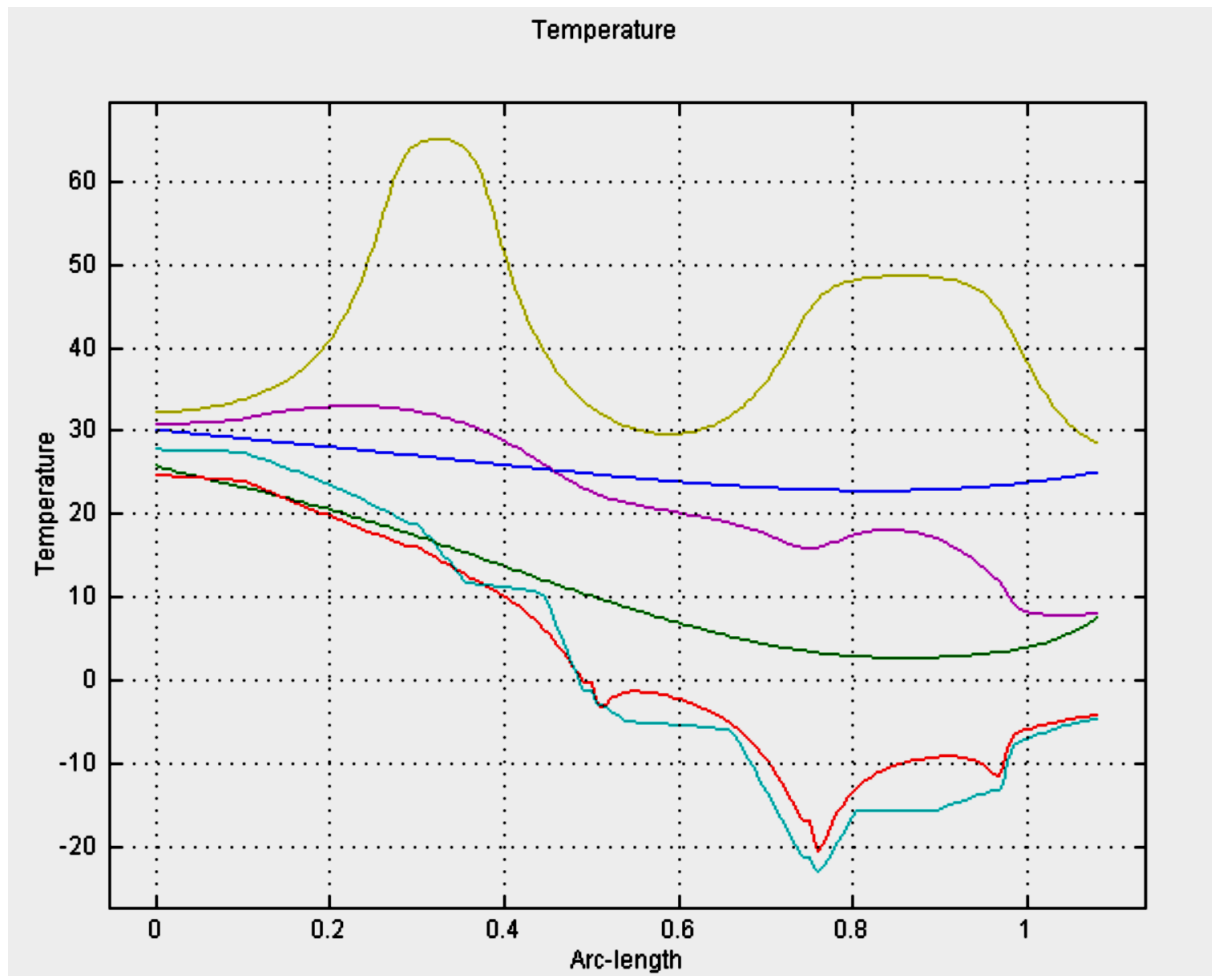


Рис.4.6. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника коли об'єкт охолодження знаходиться унизу щافی охолодження

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

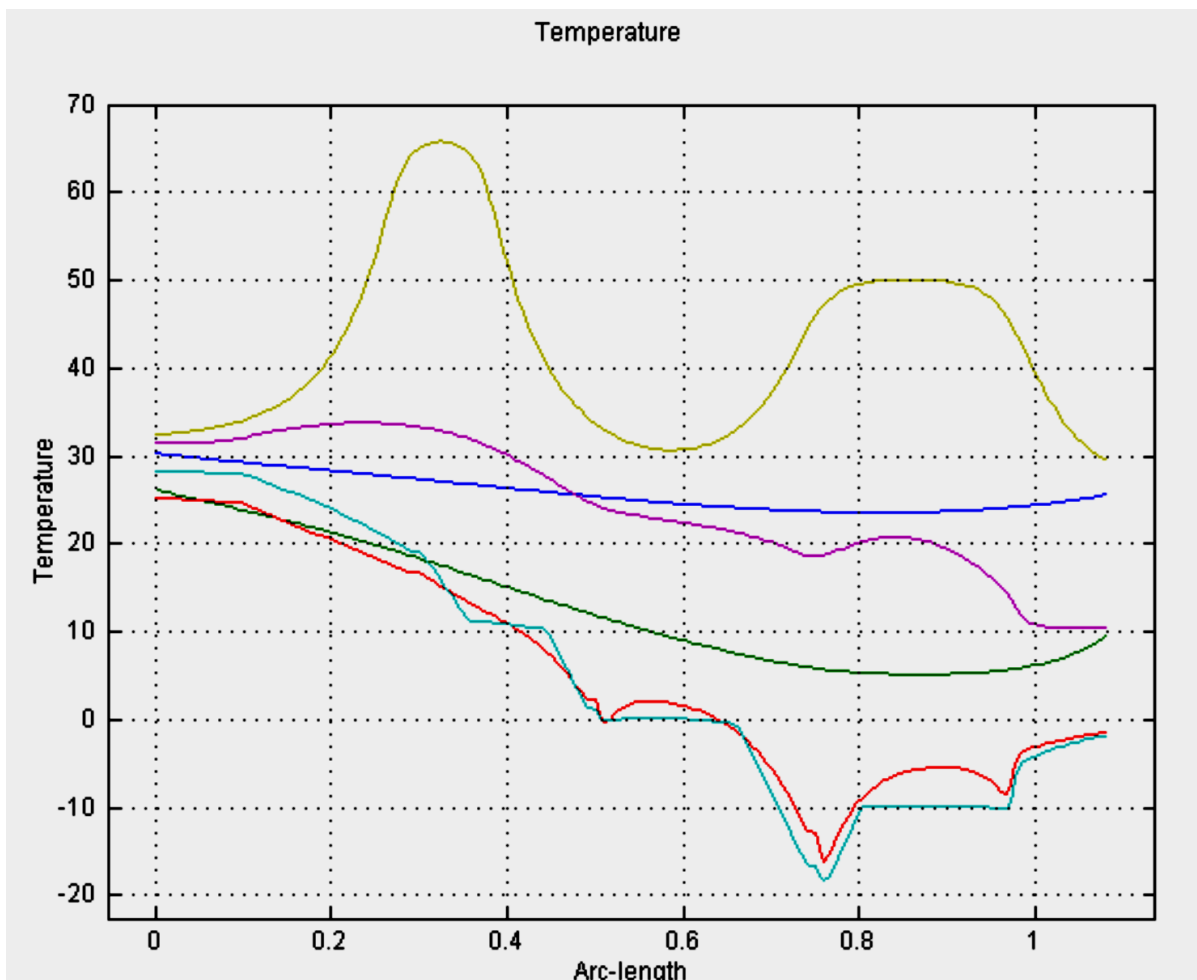


Рис.4.7. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника коли два об'єкти охолодження поодиноці знаходяться у морозильній камері та всередині шафи охолодження

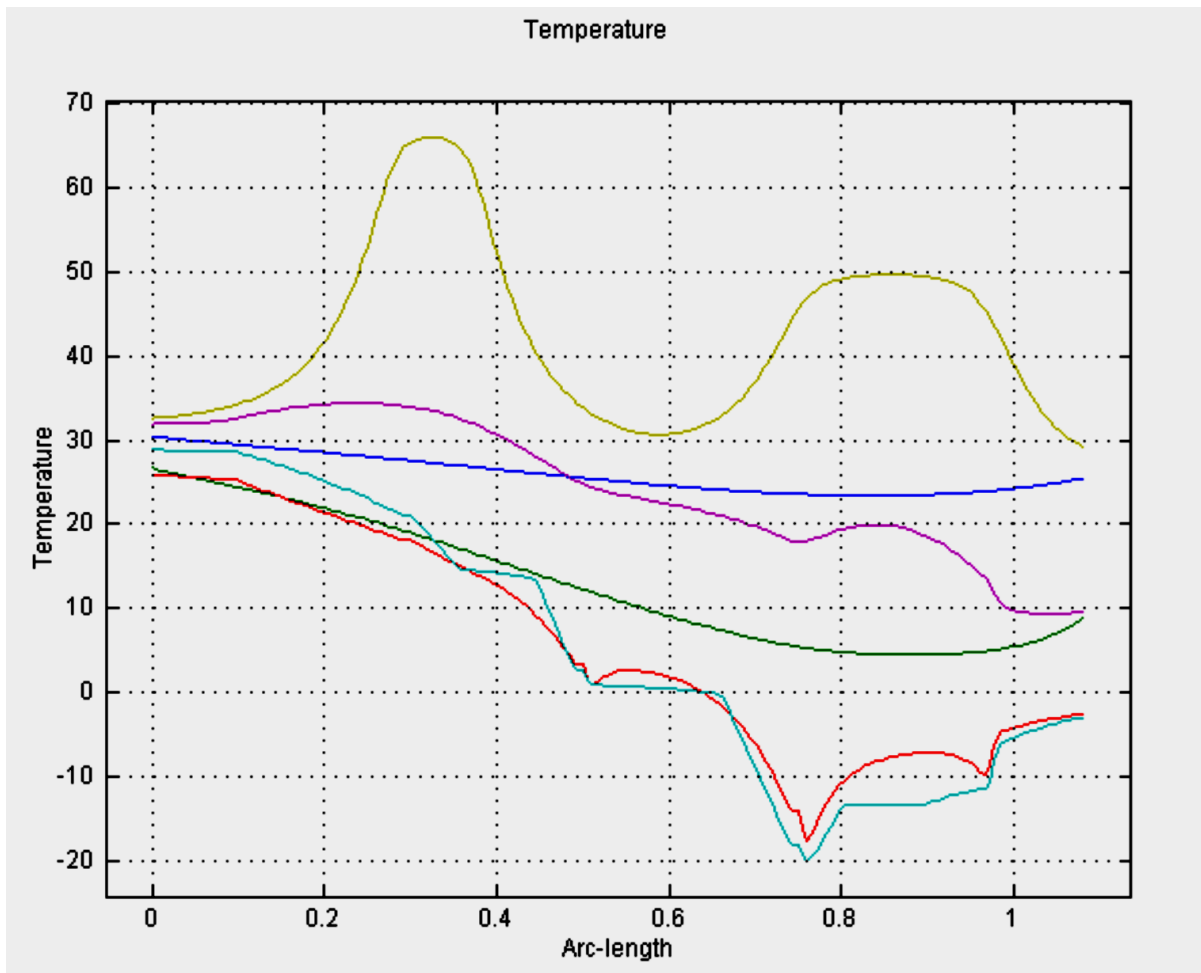


Рис.4.8. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника коли два об'єкти охолодження поодиноці знаходяться тільки на полицях шафи охолодження

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

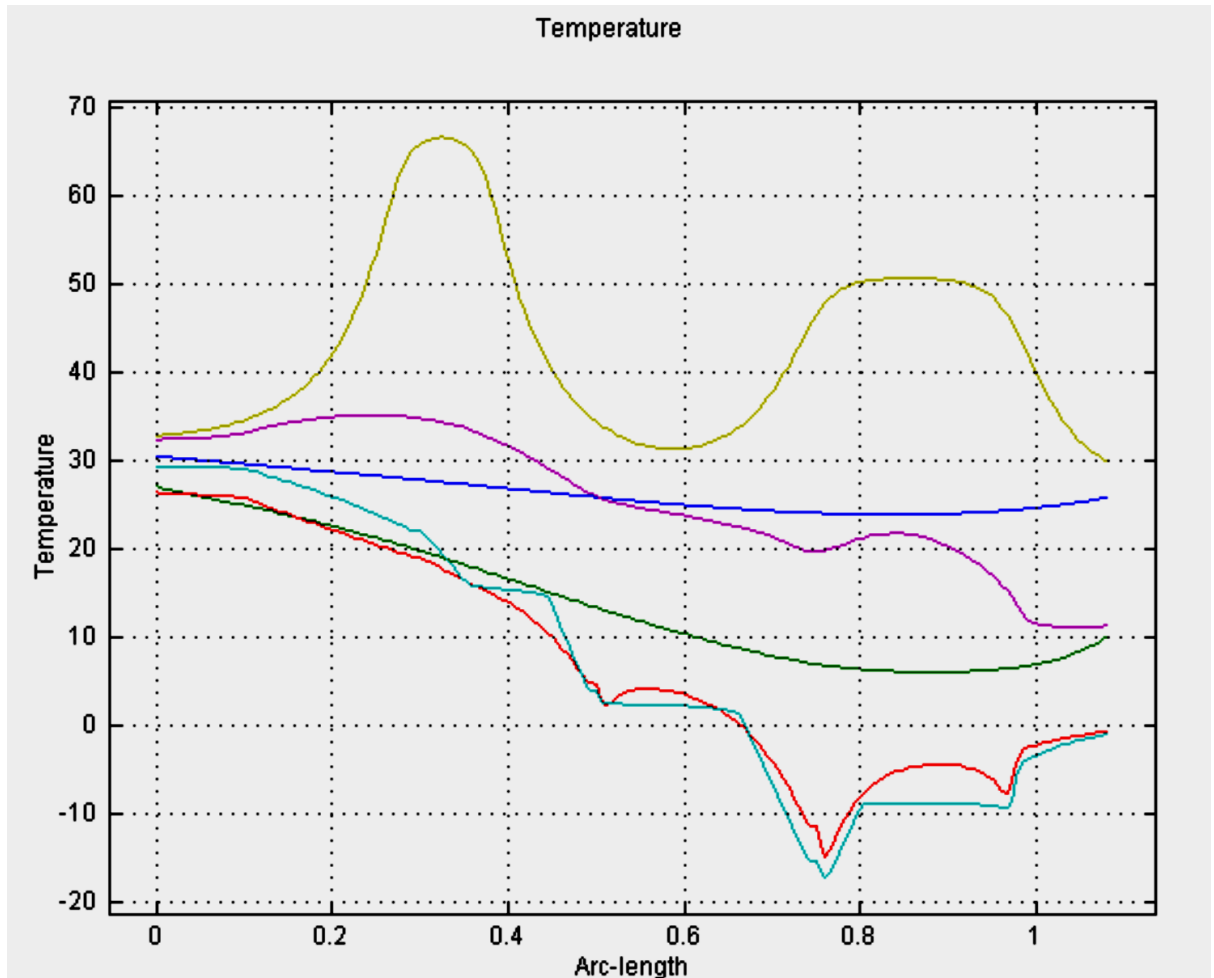


Рис.4.9. Результати розрахунку поля температур всередині побутового холодильника коли три об'єкти охолодження поодиноці знаходяться на полиці морозильної камери та полицях шафи охолодження

На рис.4.3 присутні дані розрахунку лінійї напрямків припливу тепла до випарників холодильних шаф із ззовні у приміщенні та від конденсатора і електричного нагрівача. Ці дані дозволяють встановити місця на поверхні

холодильних шаф теплоізоляцію яких слід покращити або зробити товстішою.

На рис.4.16 наведено поверхню розподілу градієнту температури, за якою можна бачити ділянки холодильника і навколо нього із значними або повільними перепадами температури, що є корисним і наочним при поверхневому аналізі роботи холодильника як охолоджуючого пристрою. Порівняння рис.4.3 та рис.4.9 вказує на суттєві втрату продуктивності холодильника під час роботи із завантаженням. Але цей висновок є справедливим при вирішенні стаціонарної задачі розподілу тепла. Для уточнення таких висновків слід провести моделювання розподілу поля температур у залежності від часу, що є дуже складною задачею.

Таким чином моделювання поля температур у холодильнику завантаженому об'єктами охолодження з однаковими теплофізичними даними та навколо нього у приміщенні, яке має температуру  $32^{\circ}\text{C}$ , можна вважати успішним, та таким яке доводить коректність побудови чисельної моделі з вирішенні задачі Лапласа - конвекції та тепло і масо переносу. Отримані дані щодо розрахунку поля температур можна застосовувати як відпрані (незалежні початкові умови) для подальшого вирішення задачі при умові розташування у шафах холодильника об'єктів охолодження та заморожування теплофізичні властивості яких суттєво відмінні.

## Висновки

1. Реалізована у програмному середовищі Femlab 3.0 задача з розрахунку поля температур може бути застосована для встановлення початкових умов щодо розрахунку поля вектора швидкості у об'ємі шаф охолодження та морозильної побутового холодильника будь якого типу і, на їх підставі, поля швидкості, якщо буде застосовуватись система штучного теплообміну конвекцією повітря, наприклад "no frost" .

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						53
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Наведено, що поле температур в корисному об'ємі шаф холодильника суттєво залежить від об'єму об'єктів охолодження та є дуже нерівномірним як вширшки так і по висоті., що є важливою інформацією при виготовленні енергетично ефективних холодильників.

3. Результати моделювання поля температури всередині шаф холодильника дозволяють більш ретельно підійти до вибору типу, потужності, ефективної продуктивності електричного нагрівача розчину аміаку та у залежності від типу та товщини шару застосованої теплоізоляції кожуха холодильника на окремих його ділянках.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		54

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5.1. Класифікація приміщення по ступеню небезпеки враження електричним струмом

Всі приміщення діляться по ступеню небезпеки поразки електричним струмом на три класи: без підвищеної небезпеки, з підвищеною небезпекою, особливо небезпечні.

Приміщення з підвищеною небезпекою характеризуються наявністю однієї з наступних п'яти умов, що створюють підвищену небезпеку:

- вологості, коли відносна вологість повітря перевищує 75%; такі приміщення називають сирими;

- високої температури, коли температура повітря тривало (понад доби) перевищує +35 °С; такі приміщення називаються жаркими;

- струмопровідного пилу, коли за умов виробництва в приміщеннях виділяється струмопровідний технологічний пил, в такій кількості, що вона осідає на дротах, проникає всередину машин, апаратів і т.і.; такі приміщення називаються заповненими із струмопровідним пилом;

- струмопровідної підлоги – металевих, земляних, залізобетонних, цегляних і т. п.;

- можливості одночасного дотику людини до обладнань, що мають з'єднання із землею, металоконструкціями будівель, технологічними апаратами, механізмами і т. п., з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншої.

Приміщення, яке розглядається в проекті - є приміщенням з підвищеною небезпекою поразки електричним струмом.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		55

## 5.2. Розрахунок заземлення із застосуванням програмного середовища

Розрахунок заземлення зводиться до визначення довжини горизонтального заземлювача (обв'язки) та кількості вертикальних заземлювачів (стрижнів) при наданих умовах.

**Заземление**

**вертикальный заземлитель**

3 длина вертикального заземлителя, м

30 диаметр вертикального заземлителя, мм

0,5 заглубление вертикального заземлителя, м

1 толщина верхнего слоя грунта, м

**сезонный климатический коэффициент**

климатические зоны

I  II  III  IV

1,6

**горизонтальный заземлитель**

20 ширина (диаметр) соединительной полосы (прутка), мм

расположение заземлителей

по контуру  в ряд

материал

полоса  пруток

**сезонный климатический коэффициент**

климатические зоны

I  II  III  IV

3,5

**удельное сопротивление грунта, Ом\*м**

почва (чернозем и др.)

супесь влажная, мергель

суглинок полутвердый или лессовидный

100 верхний слой, ом\*м 200 нижний слой, ом\*м сброс

**Нормируемое сопротивление заземляющего устройства, Ом**

напряжение сети, В

220/127  380/220  660/380 4 КОРР

вид заземления

Рабочее заземление нулевой точки трансформатора(генератора)

Повторное заземление нулевого провода на вводе в объект

Повторное заземление нулевого провода

расчет

сброс все

помощь

выход

http://vzrd2001.narod.ru/ Copyright © 2003 alek2001. All rights reserved alek2001@mail.ru

Рис.5.1. Рабочее вікно програмного продукту «ЗАЗЕМЛЕНИЕ»

На рис.5.1. наведено рамку «Вертикальний заземлювач» в яку заносять наступну інформацію:

- Довжину вертикального заземлювача (L), яка має бути не менше 1,5м;
- Діаметр вертикального заземлювача (d), який має бути не менше 12мм;

- Заглиблення вертикального заземлювача (t), яке повинне бути не більше ніж 0,8м;
- Товщина верхнього шару ґрунту (H), який визначається за місцем улаштування заземлення;
- Сезонний кліматичний коефіцієнт, який залежить від середньої температури влітку, взимку і від кількості опадів у регіоні;
- Тип ґрунту.

На рис.5.1 наведено рамку «Горизонтальний заземлювач» в яку заносять наступну інформацію:

- Ширина (діаметр) горизонтального заземлювача (b);
- Переріз з'єднуючої смуги повинен бути не менше 48мм<sup>2</sup> і товщиною не менше 4мм. Якщо застосовується пруток - то діаметром не менше 10мм, якщо кутова сталь - то із мінімальною товщиною стінки 4мм, якщо труба - то із товщиною стінки не менше 3,5мм;
- Розточування заземлювачів може здійснюватись або замкнено у контур, або у ряд. Зазвичай обирається контур;
- Матеріал для виготовлення обв'язки горизонтального заземлювача (смуга або пруток);
- Сезонний кліматичний коефіцієнт.

В програму закладено деякі основні довідкові дані. На початку обирається питомий опір верхнього шару ґрунту, потім - нижнього. Можливий ввід даних у ручну. Якщо питомий опір ґрунту більше 100 Омм допускається збільшення вказаних норм у 0,01 рази, але не більш десятикратне. В цьому випадку активізується кнопка «КОРР» і рамка «Нормований опір заземлювача», рис.5.2.

Результати розрахунку захисного заземлення наведені у контрольному протоколі, рис.5.3.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		57



## Методика розрахунку заземлення.

### 1.Сопrotивление одиночного вертикального заземлителя Ом

$$R_0 = [r_{\text{ЭКВ}} / 2\pi L] [\ln(2L/d) + 0,5\ln(4T+L)/(4T-L)]$$

### 2.Эквивалентное удельное сопротивление грунта Ом·м

$$r_{\text{ЭКВ}} = Yr_1r_2L/[r_1(L-H+t)+r_2(H-t)]$$

Y - сезонный климатический коэффициент

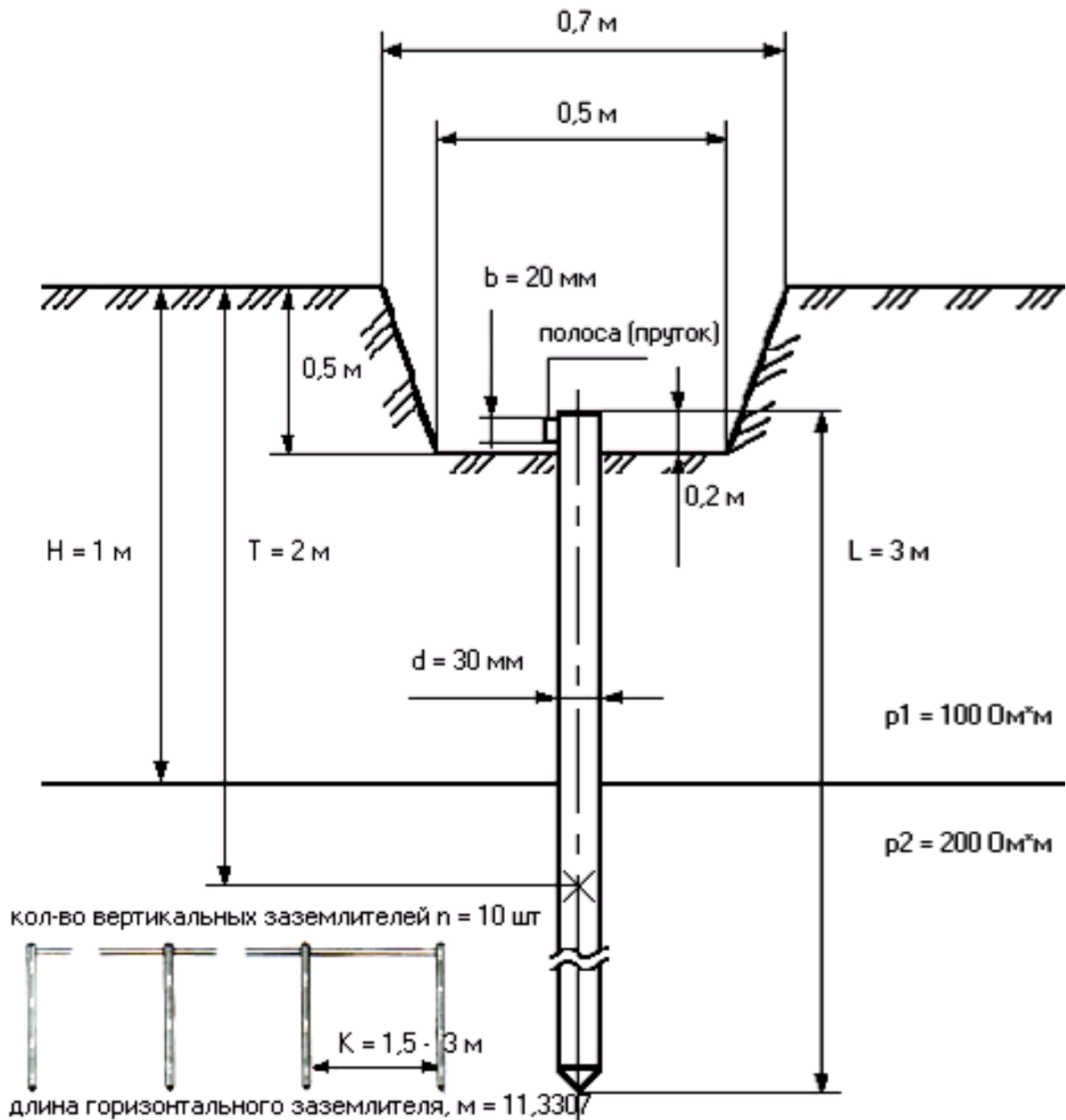


Рис.5.4. Ескіз захисного заземлення

Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

**3.Предварительное количество вертикальных заземлителей шт.**

$$n_{\text{предв}} = R_0 Y / R_H$$

$R_H$  –нормируемое сопротивление

**4.Сопротивление тока растекания горизонтального заземлителя (полоса/пруток) Ом**

$$R_{\Pi} = 0,366(r_{\text{экв}} Y / L_{\Pi} h_{\Pi}) \lg(2L_{\Pi}^2 / bt)$$

**5. Длина горизонтального заземлителя (полоса/пруток) м**

$$L_{\Pi} = L / 2(n_{\text{предв}} - 1) \quad \text{в ряд}$$
$$L_{\Pi} = L / 2n_{\text{предв}} \quad \text{контур}$$

**6.Сопротивление вертикальных заземлителей с учетом горизонтальных заземлителей Ом**

$$R_E = R_{\Pi} R_H / (R_{\Pi} - R_H)$$

**7.Количество вертикальных заземлителей шт**

$$n = R_0 / R_E h_c$$

**Висновки**

1. Результати розрахунку захисного заземлення виконані за прийнятою методикою у програмному середовищі «ЗАЗЕМЛЕНИЕ» наведені на рис.5.4.

2. Застосування програмного продукту значно спрощує процедуру розрахунків і забезпечує розробника повною інформацією щодо його улаштування.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вирішення задачі з розробки електронного пристрою регулювання потужністю електричного нагрівача аміачного холодильника, який забезпечуватиме малий градієнт коливань температури у шафах не визиває сумніву.

2. Вихідні дані щодо предмету дослідження і об'єкту є достатніми, для удосконалення стаціонарного побутового аміачного холодильника типу АШ-120.

3. На підставі розробленої схеми, як мало витратного пристрою, можливо забезпечити підвищення енергетичної ефективності холодильного апарату, повністю автоматизувати процес керування продуктивністю агрегату у широкому діапазоні напруг живлення електричного нагрівача без потреби у вимкненні живлення.

4. Застосування приладу не потребує будь-яких втручань в топологію холодильного апарату оскільки електричний нагрівач вмикається до мережі живлення безпосередньо через нього.

5. Для коректної роботи регулятора напруги живлення електронагрівача він повинен бути улаштованим цифровим датчиком температури встановленим на ділянці керуючого затвору сімістора. У випадку потреби регулювання роботи холодильної машини по двох датчиках температури в схемі регулятора передбачено два сімістора

6. Застосовування автономного регулятора передбачає живлення електронагрівача здійснювати при номінальній напрузі живлення 220 В із запрограмованим поступовим його зниженням до значення, яке відповідає мінімуму споживаного струму, потужності і, як слідство, температури.

7. Практика застосування сімісторів для регулювання діючої напруги живлення показує деяку їх недосконалість, а саме погану керованість у четвертому октанті напруги. Для усунення цього недоліку слід замість симисторів застосовувати схеми із JBT транзисторами. Тому, розроблений регулятор, застосування якого заощаджує електричну енергію і підвищує

					ДП ЕН-141а 1.12	Лист
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		61

енергетичну ефективність холодильного апарату доцільно вдосконалити у випадку попиту на нього.

8. Чисельний розрахунок рівнянь теплового балансу, складений для випарника, вказує, що зростання температури випарника до примусового її значення, встановленого терморегулятором при вимкненому електричному нагрівачу протікає однаково для будь якої потужності нагрівача, тобто не залежить від неї.

9. Примусових значень температура у морозильній камері при повній потужності нагрівача досягне через 762 секунди або через 13 хвилин, а при половині потужності нагрівача через 982 секунди або через 16, 5 хвилини. Але при будь якій потужності нагрівача вихід випарника в примусовий режим відбудеться, тільки час виходу буде різним. Чим вище потужність нагрівача, тим скоріше випарник вийде у примусовий або сталий режим роботи.

10. Чисельні розрахунки поля температур всередині холодильника було виконано для можливих випадків розміщення об'єктів охолодження. Наведено, що поле температур в корисному об'ємі шаф холодильника суттєво залежить від об'єму об'єктів охолодження та є дуже нерівномірним як вширшки так і по висоті., що є важливою інформацією при виготовленні енергетично ефективних холодильників.

11. Результати моделювання поля температури всередині шаф холодильника дозволяють більш ретельно підійти до вибору типу, потужності, ефективної продуктивності електричного нагрівача розчину аміаку та у залежності від типу та товщини шару застосованої теплоізоляції кожуха холодильника на окремих його ділянках.

					ДП ЕН-141а 2.24	Лист
						62
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

