


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

**Розробка конструкції морозильної
камери**

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка


Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу групи ЕТ-20-1


Підпис

Сідорук В.В.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

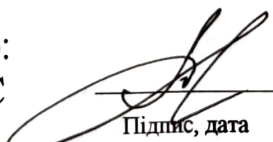
д.т.н., проф. Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

17 06 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


11. 08. 2024

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Сідорук Владислав Володимирович Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка конструкції морозильної камери**
керівник роботи **Білий Л.А., д.т.н., проф.**

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру МАЕЕС

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики систем холодильної техніки.**

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

1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи

2 Розробка конструкції морозильної камери

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність морозильної камери

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

Аркуш 1. Конструкції холодильників. Док. оглядовий (A1). Аркуш 2, 3, 4.

Камера морозильна. Складальне креслення (A1). Аркуш 5. Герметичний

компресор. Складальне креслення (A1). Аркуш 6 Блок керування..

Схема електрична принципова (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


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


7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

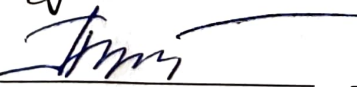
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	21.05.24р.	
2 Розробка конструкції морозильної камери	07.06.24р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність морозильної камери	17.06.24р.	
4 Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	21.06.24р.	

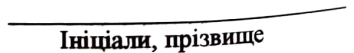
Студент


Підпис


Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Сідорук Владислав Володимирович

2. Тема бакалаврської роботи
Розробка конструкції морозильної камери

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 67

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи

2 Розробка конструкції морозильної камери

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність морозильної камери

Висновки

Перелік джерел посилання

Підпис студента

" 17 " 06 20 24 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол № від " 27 " 06 20 24 р.

Оцінка проекту ЕК Визначено / А

Рекомендації ЕК




Особливі відмітки

Технічний секретар

" 27 " 06 20 24 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	8
1.1 Особливості становлення ринку побутової техніки в Україні	8
1.2 Стан асортименту холодильної техніки на ринку України	11
1.3 Класифікація холодильників вітчизняного та закордонного виробництва	13
1.4 Основні напрямки розвитку і вдосконалення конструкцій	19
1.5 Висновки до першого розділу	24
2 Розробка конструкції морозильної камери	25
2.1 Викладення основної ідеї конструкції морозильної камери	25
2.2 Розрахунок товщини стінок шафи морозильної камери	26
2.3 Розрахунок загальної висоти холодильника	27
2.4 Опис конструкції морозильної камери та її технічні характеристики	29
2.5 Розробка регулятора температури з цифровою індикацією	33
2.6 Висновки до другого розділу	35
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність морозильної камери	36
3.1 Розрахунок теплопритоків в шафу морозильної камери і визначення холодопродуктивності компресора	36

БРМА24.00.00.000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Сідорук		
Перевір.		Білий		
Н.контр.				
Затвер.		Поліщук		
Розробка конструкції морозильної камери			Літера	Аркуш
			6	4
			Аркушів	
			67	
ХНУ гр.ЕТ-20-1				

3.2	Розрахунок основних термодинамічних параметрів холодильного агрегату	41
3.3	Конструктивний і тепловий розрахунок теплообмінних апаратів	48
3.4	Висновки до третього розділу	62
	Висновки	63
	Перелік джерел посилання	64
	Додатки	67

ВСТУП

Холодильна техніка давно стала невід'ємною частиною сучасного побуту, забезпечуючи збереження продуктів харчування і комфортне життя мільйонам людей. У контексті постійного технологічного прогресу, розробка нових конструкцій холодильників, особливо морозильних камер, відкриває значні перспективи для підвищення ефективності та зручності використання.

Сьогоднішні тенденції у сфері холодильних технологій зосереджені на підвищенні енергоефективності. Нові моделі морозильних камер розробляються з використанням інноваційних матеріалів та технологій, які дозволяють зменшити енергоспоживання. Застосування сучасних компресорів та ізоляційних матеріалів забезпечує мінімальні втрати тепла, що суттєво знижує енерговитрати. Крім того, розробка екологічно безпечних холодоагентів є важливим аспектом для зниження впливу на озоновий шар та запобігання глобальному потеплінню.

Впровадження інтелектуальних систем керування у морозильних камерах значно підвищує зручність їх використання. Завдяки застосуванню сенсорних панелей, мобільних додатків та дистанційного керування, користувачі можуть легко контролювати температуру, режими роботи та отримувати сповіщення про можливі несправності. Інтелектуальні алгоритми оптимізують роботу компресора та вентиляційних систем, забезпечуючи найкращі умови для зберігання продуктів.

Сучасні розробки морозильних камер спрямовані на розширення їх функціональних можливостей. Вбудовані системи швидкого заморожування, технології No Frost, зони зберігання при різних температурах та відділення для довготривалого зберігання свіжих продуктів є лише деякими з інновацій, що підвищують зручність та ефективність використання. Крім того, впровадження систем автоматичного розморожування дозволяє уникнути

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

необхідності регулярного ручного розморожування, що значно полегшує обслуговування приладу.

Інтеграція морозильних камер з системами "розумного будинку" є ще одним перспективним напрямом розвитку. Завдяки цьому, користувачі можуть отримати ще більше можливостей для контролю та керування своїми побутовими приладами. Автоматизація процесів, енергомоніторинг та можливість віддаленого керування сприяють підвищенню ефективності та зручності використання холодильних приладів.

Розробка нових конструкцій холодильних приладів, зокрема морозильних камер, є важливим напрямом для забезпечення високої якості зберігання продуктів, енергоефективності та зручності використання. Інноваційні технології, інтелектуальні системи керування, екологічна безпека та сучасний дизайн створюють передумови для подальшого вдосконалення та популяризації цих приладів на ринку побутової техніки.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Особливості становлення ринку побутової техніки в Україні

Розвиток економіки, забезпечення її сталого зростання в умовах підвищеної світової конкуренції, створення нових робочих місць, підвищення матеріального забезпечення та рівня життя населення є стратегічними завданнями України.

Одним з ключових елементів державної економічної політики України є підтримка і розвиток власного, конкурентоспроможного імпортозамінного виробництва складної побутової техніки тривалого користування: холодильників, морозильників, автоматичних пральних машин, пілососів, кондиціонерів, газових та електричних плит, водонагрівачів тощо.

Сучасний споживчий ринок побутової техніки в Україні характеризується великою різноманітністю моделей, переважно імпортного виробництва. Конкуренцію імпортним товарам складають лише українські холодильні прилади та частково кухонні плити.

Аналіз українського ринку основних видів побутової техніки за 2020-2013 роки показує домінування імпортної продукції. Протягом останніх кількох років (2019-2023 роки) український ринок побутової техніки стабільно зростає, при цьому значно збільшується частка імпорту.

У секторі холодильних приладів серед країн-імпортерів лідерами є Литва та Корея. Стабільну частку ринку також займають Німеччина, Туреччина, Словенія, Угорщина та інші країни. Зростає імпорт китайської техніки спрощених конструкцій, яка відзначається порівняно низькими цінами. Частка вітчизняної холодильної техніки в загальному обсязі ринку постійно зростає і у 2023 році склала 2,6%.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Сектор автоматичних пральних машин практично повністю зайнятий імпортною технікою. Частка вітчизняних машин у 2022 році становила 0,37%, а у 2023 році – 6,88%. Виробництво цих машин здійснюється на ряді підприємств України з імпортних комплектуючих. Власного виробництва автоматичних пральних машин з повним технологічним циклом виготовлення в Україні на даний час немає.

Сектор ринку кухонних плит представлений як імпортними, так і вітчизняними моделями газових, електричних і комбінованих газоелектричних плит.

Традиційними лідерами серед імпортерів є: Туреччина, Польща, Італія, Німеччина, Словенія. Частка вітчизняних кухонних плит у 2022 році склала 3,1%.

Ринок пилососів в Україні представлений широким асортиментом моделей, де імпортні пилососи займають близько 85% обсягу. Лідерами ринку є Південна Корея та Китай.

Ринок побутових кондиціонерів практично повністю заповнений імпортними моделями.

Протягом останніх 5-7 років накопичувальні електричні водонагрівачі стали дуже популярними на українському ринку. Попит і продаж водонагрівачів постійно зростають. Це пов'язано з проблемами забезпечення гарячою водою не лише міських жителів, але й у значній мірі сільських жителів, де відсутнє гаряче водопостачання. Більшість водонагрівачів на ринку – імпортні.

Для забезпечення сталого розвитку виробництва складної побутової техніки в Україні, програма підтримки передбачає:

- реалізацію стратегії створення нових та розвиток існуючих українських виробництв складних побутових виробів шляхом інноваційного розвитку;
- випуск конкурентоспроможної імпортозамінної продукції, що відповідає вимогам споживчого ринку;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

- швидке впровадження нових моделей техніки, ефективне використання нових матеріалів, комплектуючих, обладнання та технологій;
- впровадження ресурсозберігаючих та екологічно чистих технологій;
- підвищення матеріального рівня забезпеченості працівників;
- збільшення обсягів виробництва продукції;
- підвищення зайнятості населення шляхом створення нових робочих місць;
- забезпечення національних інтересів держави.

В даний час виробництво складних побутових виробів в Україні, за винятком холодильників, морозильників та газових плит, знаходиться у незадовільному стані. Виробництво таких виробів, як автоматичні пральні машини, пилососи, кондиціонери, водонагрівачі, посудомийні машини, здійснюється у невеликих кількостях на окремих підприємствах методом складання з машинокомплектів, що постачаються з Європи та Азії, або взагалі відсутнє.

Український споживчий ринок складної побутової техніки в основному насичений імпортною продукцією. Це особливо стосується автоматичних пральних машин, кондиціонерів, пилососів та посудомийних машин, які займають майже 100% українського ринку.

Практично повна іноземна монополія на ринку, за винятком побутових холодильників, морозильників та кухонних газових плит, є неприйнятною з огляду на високий промисловий та інтелектуальний потенціал України, стратегічні завдання держави щодо сталого розвитку економіки, створення нових робочих місць та підвищення добробуту населення.

У 1998 році активно заявила про себе турецька компанія Веко, яка представляє кухонні електроприлади, холодильники, плити, обігрівачі, пилососи, пральні та посудомийні машини. Ціновий діапазон холодильників становить від 500 грн. до 6 тис. доларів.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Великий асортимент холодильників, плит та пральних машин представляє компанія Merloni. Компанія вважає український ринок побутової техніки перспективним навіть у кризовий час і далеким від насичення. Вкладаючи значні кошти у рекламу (за обсягами Merloni посідає третє місце після LG та Samsung), компанія забезпечує стабільне зростання обсягів продажів протягом трьох років роботи в Україні.

Чеська фірма Moga - один із помітних східноєвропейських виробників кухонних плит та обігрівачів. Вона вперше провела потужну рекламну кампанію, налагодила широку збутову мережу, що призвело до значного збільшення обсягів продажів.

Словенська компанія Gorenje також успішно реалізує свою продукцію. Вона пропонує міні-кухні площею 1 кв. м (що включають холодильник, морозильну камеру, електроконфорку та мийку), а також пральні машини зі 100-літровим баком для води, що особливо актуально для тих, хто має проблеми з водопостачанням.

Динамічний розвиток ринку малої побутової техніки підтверджують постійні виставки, що проводилися до війни у найбільших містах України.

Нині ефективність малоформатних магазинів, що працюють на ринку побутової техніки та електроніки, неухильно знижується. Вони поступаються місцем великим мережевим магазинам. І за це є сенс боротися. Протягом останніх років середньорічні темпи розвитку галузі вже перевищили 10%. За оцінками експертів, до 2025 року ринок побутової техніки та електроніки може зрости втричі-вчетверо.

1.2 Стан асортименту холодильної техніки на ринку України

За часів Радянського Союзу Україна була потужним виробником холодильного обладнання (Донбас). У 1990 році понад 20 підприємств виробляли близько 800 тис. агрегатів. Згодом було налагоджено випуск

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

До низької цінової групи належать усі холодильники вітчизняного виробництва, а також продукція деяких виробників закордонного. Дорожчі моделі представлені італійськими фірмами Ardo, Candi, деякими моделями Indesit, а також турецькою фірмою Веко.

До середньої цінової групи належать італійські марки Zanussi, Ariston, словенська Gorenje, корейські LG, Samsung, американська Whirlpool, французька Brandt та німецька Kaiser.

Наступна цінова група включає німецькі Bosch, шведську Electrolux, англійську Hoover.

До високої цінової групи відносяться німецькі Siemens, AEG, шведська Asko, французька Miele.

Ринок холодильників в Україні у 2019 році виріс на 30,1% порівняно з аналогічним періодом 2018 року, до 13630 млн грн, повідомила компанія GfK Ukraine, посилаючись на результати панельного дослідження Retail and Technology.

1.3 Класифікація холодильників вітчизняного та закордонного виробництва

Холодильні прилади класифікуються за різними критеріями.

За призначенням:

- холодильники,
- морозильники
- холодильники-морозильники.

За способом отримання холоду:

- компресійні,
- абсорбційні,
- термоелектричні.

За кількістю камер:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		13

- однокамерні,
- двокамерні,
- трикамерні,
- багатоканмерні.

За способом установки:

- підлогові типу шафа,
- підлогові типу стіл,
- вбудовані настінні,
- блокові вбудовані.

За здатністю працювати при максимальних температурах довкілля, холодильні прилади поділяються на класи:

- клас А (холодильники): SN, N - не вище 32 °С; ST - не вище 38 °С; T - не вище 43 °С;
- клас Б (морозильники і холодильники-морозильники): N - не вище 32 °С; T - не вище 43 °С.

Характеристики визначаються відповідно до законодавства України за формулами та коефіцієнтами. Позначення на дверцях морозильної камери (МК) включають одну велику і три малі зірочки. Двокамерні холодильники зазвичай маркуються чотирма зірочками, що вказує на можливість заморожування продуктів з збереженням їх клітинної структури .

Залежно від виконуваних функцій, холодильні прилади поділяються на групи складності (табл. 1.2)

Закордонні холодильники підрозділяються на три групи комфортності:

- функціональна група;
- комфорт-група;
- преміум-група.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Для того, щоб при придбанні можна було порівняти, характеристики витрати електричної енергії, в Європейських країнах вся холодильна і морозильна побутова техніка забезпечується так званою «євро-наклейкою», що свідчить про енергію, що споживається. Прилади всіх виробників розділяються на «класи енергоспоживання» за п'яти бальною шкалою від А до G:

- економічні моделі (колір наклейок на корпусі від темно-зеленого до жовто-зеленого) - А, В і С;
- проміжний клас (використовується жовта наклейка) - D;
- моделі із високою витратою електричної енергії (колір наклейок від помаранчевого до червоного) - E, F і G.

Енергоспоживання побутових холодильників складає близько 24% загального енергоспоживання побутових електричних апаратів, рівно стільки складають енерговитрати на освітлення. В зв'язку з цим, в майбутньому, можна передбачити збільшення виробництва досконаліших з точки зору енерговитрат апаратів при одночасному зменшенні ринкової долі продукції, що є малоефективною.

Побутові холодильники за варіантами виконання можна класифікувати як:

- класичний універсальний однокамерний варіант;
- морозильна камера;
- одно камерний холодильник без низько температурного відділення;
- двохкамерний (багатокамерний) холодильник;
- холодильник без інію (No Frost).

Однокамерний універсальний варіант (він же класичний, звичайний). Холодильники представленої класу виконані за найпростішою схемою із одним випарником, який одночасно виконує роль низько температурного відділення. Це ще прийнято називати морозилкою. Він призначений для зберігання невеликої кількості продуктів при низьких температурах, і зберігання інших продуктів при температурах близьких до нуля градусів. У всьому холодильнику максимально низька температура у випарнику, використовується

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16

випарник для зберігання заморожених продуктів. Охолодження останньої частини об'єму холодильника проходить від випарника за рахунок природної конвекції повітря всередині робочого простору холодильника під ним. Температурний режим підтримується термо регулятором, який періодично досягши заданої температури розмикає електричний ланцюг, зупиняє роботу мотор-компресора. Як тільки температура зростає терморегулятор, вмикає мотор-компресор, замикаючи ланцюг, і цикл повторюється. Налаштування терморегулятора є таким, що б підтримувати температуру в морозильному відділенні в діапазоні від -12°C до -18°C . Площа поверхні випарника в порівнянні із загальним об'ємом холодильника є малою, це не дає можливості охолодити весь об'єм до непотрібних температур при яких продукти в холодильному відділенні стали б перемерзати.

Морозильна камера. Пристрій нагадує універсальний однокамерний варіант. Камера так само комплектується одним випарником з тією лише різницею, що випарник займає весь робочий об'єм камери, площа поверхні досить велика по відношенню до об'єму. Це дозволяє ефективно охолоджувати весь простір. Налаштування терморегулятора виконане так, що б забезпечувати робочу температуру в діапазоні від -18°C до -24°C . Морозильна камера призначена для тривалого зберігання досить великої кількості продуктів при низьких температурах.

Одно камерний холодильник без низько температурного відділення. Він виконаний за простою схемою, з одним випарником. Випарник розташовується як правило, вертикально уздовж задньої внутрішньої стінки холодильника. Цей побутовий прилад призначений для зберігання продуктів в діапазоні температур від 0°C до $+10^{\circ}\text{C}$. У конструкції приладу присутній нагрівальний елемент закріплений на випарнику. Його основне призначення видаляти іній, що утворюється в період робочого циклу мотор-компресора. Процес відтаювання проходить кожного разу, коли терморегулятор відмикає мотор-компресор при охолодженні випарника до заданої температури. Налаштування

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

терморегулятора виконане таким чином, що відмикання відбувається, як і у всіх холодильниках досягши заданої температури, а включення, після того, як відтає весь іній з поверхні самого випарника. Постійна наявність крапель, що циклічно повторюється, на поверхні такого випарника, пояснює його назва - випарник типу, що «плаче». По своїй конструкції зазначений холодильник є половиною двох камерного холодильника позбавленого низькотемпературного відділення.

Двох камерний (багато камерний) холодильник. У звичайному варіанті виконання є холодильником з послідовно з'єднаними випарниками, з одним компресором, зібраних разом в єдиному корпусі, але вони встановлюються в різні відсіки (камери). Випарник, що охолоджується в першу чергу встановлюється в низько температурне відділення. Випарник, що охолоджується в другу чергу, встановлюється в позитивно-температурне відділення. Відтаювання випарника в позитивно-температурному відділенні проходить автоматично. Існують проте варіанти компоновання в єдиному корпусі двох (декілька) незалежних систем охолодження що мають в своїй схемі по окремому випарнику на кожен камеру, роботу яких забезпечує відповідна кількість компресорів.

Також існують схеми компоновання «два в одному», коли є можливість з'єднати, або навпаки розділити, корпус морозильної камери і холодильника.

Холодильник без інію (No Frost). За своєю конструкцією може бути як одно камерним так і багато камерним. Це може бути також просто морозильна камера системи No Frost. В конструкції такої системи встановлюється високоефективний ребристий випарник, таймер, вентилятор і нагрівальний елемент. Ребристий випарник в парі з вентилятором забезпечує достатнє охолодження всього об'єму холодильника. Таймер забезпечує періодичне вмикання холодильника в режим відтаювання через певні проміжки часу. Нагрівальний елемент підвищеної потужності в режимі відтаювання, досить швидко видаляє ту кількість інію яка скупчується на випарнику за час роботи холодильника в робочому режимі. Таким чином холодильник працює в режимі,

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

що циклічно повторюється. Це позбавляє користувача від потреби розморожувати його в ручну [5].

1.4 Основні напрямки розвитку і вдосконалення конструкцій

Холодильники давно стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Сьогодні кількість компаній, які пропонують свою продукцію, перевищує двадцять, а кількість моделей перевищує двісті. Європейські компанії дотримуються традиційних стандартів: ширина і глибина холодильників становлять 60 см, а висота варіюється від 160 до 200 см. Морозильна камера зазвичай розташована внизу, а холодильна – зверху. Азіатські моделі (японські та корейські) мають ширину 70-80 см, що підходить для великих кухонь. Вітчизняні моделі здебільшого відповідають європейським стандартам, хоча деякі з них мають трохи більшу глибину (63 см). Типовими для Америки є великі холодильники з двома дверима (Side by Side), де за ширшою (зазвичай справа) дверкою знаходиться холодильна камера, а за вузкою – морозильна.

Насамперед, холодильники можна класифікувати на однодверні та двоходверні. Однодверні моделі зустрічаються рідше. Це, зазвичай, холодильники-столи заввишки 85 см або моделі трохи більшого розміру (до 1,5 м). Морозильна камера у них або відсутня зовсім (однокамерні холодильники), або має дуже невеликий об'єм і розташовується вгорі за загальними дверима (двокамерні). Такі моделі рекомендовані для невеликих приміщень або як доповнення до вже наявного холодильника.

Двоходверні холодильники (природно, двокамерні) забезпечують окремий доступ до холодильної та морозильної камер. Об'єм морозильної камери досить великий. Така модель є своєрідним "два в одному": вгорі знаходиться холодильник, а внизу морозильник, або навпаки. Максимальна висота такого приладу – 2 м. Виняток становлять вже згадані широкі моделі з орними дверцями, де холодильна та морозильна камери розташовані на одному рівні.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		19

Останнім часом з'явилися трикамерні моделі холодильників. Третя камера, яка називається охолоджувальною (нульовою), використовується для тривалого (до кількох тижнів) зберігання продуктів у свіжому стані. У цій камері підтримується температура близько 0°C. Зазвичай, ця камера розташовується між холодильною та морозильною камерами. У двокамерних холодильниках під режим збереження свіжості ("Біофреш") може відводитися окрема секція.

У класичних компресорних моделях холодильників холод поширюється зверху або від задньої стінки холодильної камери. Внаслідок цього охолоджене повітря опускається вниз, а тепліше повітря підіймається вгору. Таким чином, у камері створюються зони з різною температурою. Найбільш холодна зона – від +2 до +4°C – розташована біля задньої стінки і на нижній скляній полиці. На верхній полиці температура дещо вища – від +6 до +8°C. Найвища температура на поличках дверей – приблизно +10°C. Панель управління може бути розташована вгорі, прихована за дверима холодильного відділення.

Для створення оптимальних умов зберігання продуктів застосовується примусова циркуляція холодного повітря (турбоохолодження). Численні повітряні потоки, спрямовані з різних сторін, забезпечують швидке та рівномірне охолодження продуктів.

Клас морозильної камери визначається мінімальною температурою, яку вона може створювати та підтримувати. Цей показник позначається зірочками, які зазвичай добре видно на дверцятах камери. Маркування розшифровується таким чином:

(*) - відповідає температурі -6°C і дає змогу зберігати заморожені продукти впродовж тижневого терміну;

(**) - відповідає температурі -12°C і забезпечує зберігання продуктів на протязі місяця;

(***) - відповідає температурі -18°C і гарантує збереження заморожених продуктів на протязі трьох місяців, а також заморожування свіжих продуктів;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

(****) - відповідає температурі нижче -18°C і дає змогу зберігати заморожені і свіжоморожені продукти від шести місяців до одного року.

У багатьох сучасних моделях є режим супер заморожування. Він відмикається, коли слід заморозити багато свіжих продуктів (більше 3 кг).

При цьому компресор морозильної камери починає працювати безперервно, до того часу, коли температура в камері не опуститься до -18°C . Після цього супер заморожування автоматично відключається, і холодильник переходить в режим зберігання.

В багатьох сучасних холодильниках проблеми розморозувати камеру не має: тут застосована система автоматичного відтаювання, що позначається як No Frost або Frost Free, а значить, встановлений так званий випарник, що плаче. Він розміщується біля задньої стінки морозильної камери, де волога, конденсуючись, як правило перетворюється в іній. На певний час холодильник автоматично відмикається, стінка небагато відтаює - і краплі стікають вниз. Волога надходить в ємкість над компресором і там або випаровується, або прямує в піддон під самим холодильником. А обдування продуктів холодним повітрям забезпечує їхнє швидке заморожування.

Переваги для споживача очевидні. Не потрібно періодично розморозувати морозильну камеру, продукти зберігаються краще і довше, не покриваються інієм і не примерзають один до одного. Крім того, завжди можна побачити, що зберігається в морозильній камері і з якого часу (якщо зробити відповідні записи). Система No Frost скорочує час заморожування продуктів. Після відкриття дверей морозильної камери температура в ній відновлюється дуже швидко, що зменшує енергоспоживання і навантаження на компресор.

Однак моделі з такою системою не змогли витіснити з ринку звичайні, традиційно облаштовані холодильники. По-перше, вони є вартіснішими. По-друге, традиційні моделі здатні в півтора-два рази довше утримувати холод у разі відключення електричного живлення (оскільки в них немає каналів, через які можливий витік холоду). По-третє, в холодильниках з системою No Frost

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		21

продукти слід ретельно пакувати, інакше повітряний потік швидко видалить з них всю вологу (особливо з фруктів та ягід). По-четверте, вважається, що такі системи видають більше шуму (близько 46 дБА), оскільки до звуку працюючого компресора додаються шуми від вентилятора і руху повітря в камерах. У двох компресорних моделей шум перебуває на рівні 42 дБА, а найкращі показники у моделей LIEBHERR, AEG і ELECTROLUX - 30-31 дБА (допустиме значення шуму для спальні в нічний час може скласти 35 дБА).

Останні моделі холодильників оснащуються "електронними системами, що дозволяють, зокрема, підтримувати температуру, оптимальну для зберігання різних продуктів. Для комп'ютерного керування агрегатом застосовують систему Fuzzi Logic. З її допомогою можна підтримувати заданий температурний режим і, залежно від показників внутрішніх датчиків, регулюється дія компресора та вентиляторів. В результаті скорочується їхня робота вхолосту, виникає сприятливий для зберігання продуктів рівень вологості і помітно економиться електрична енергія.

Якщо керування електронне, температуру можна виставити з точністю до одного градуса, а потім її контролювати по цифровому табло. Як правило, всі холодильники оснащені світловими індикаторами увімкнення кожної камери і режиму посиленого заморожування, а також індикатором критичної температури, який спалахує при підвищенні температури вище допустимою (незачинені двері). У певних моделях (LG, AEG, BOSCH і ін.) на цей випадок передбачено ще і звукове сповіщення. А в холодильниках AEG і LIEBHERR є, наприклад, корисна функція запам'ятовування тимчасових зростань температури. Пам'ять зафіксує подію і розмістить на дисплеї відповідне повідомлення.

Кількість і надійність виготовлення холоду залежать насамперед від компресора і типу холодоагенту, що циркулює по теплообмінниках. Завдання першого - стиснути холодоагент майже до рідкого стану і продавити його по трубках випарника. Призначення другого - перетворюючись на пару усередині

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

самого випарника, відібрати тепло у повітря, що знаходиться навколо випарника, тобто знизити температуру усередині холодильної техніки. Від їхньої взаємодії залежить ефективність приладу.

Найбільш прогресивними є моделі з двома компресорами. В таких випадках температурний режим холодильної і морозильної камер встановлюється незалежно, тому що у кожній є персональний компресор. Контури охолодження двох камер автономні, тому одну можна відключати без шкоди для іншої камери. Це дуже зручно, наприклад, при від'їзді у відпустку, коли залишають такою, що працює лише морозильну камеру. Щоб камера, яка не працює не запліснявіла, в ній підтримується температура +15°C. У свою чергу, при потребі відтаювання морозилки необов'язково відключати весь холодильник. Завдяки незалежності компресорів вдається легко організувати режими супер заморожування і прискореного охолодження продукції.

У імпортованих холодильниках, що поставляються на ринок України, як холодоагент вже давно не застосовується хлоромісткий фреон (групи CFC). У них знайшли застосування вуглеводневі сполуки (ізобутан і циклопентан) або суміші фреонів, безпечні для атмосфери. Поки все ж великої популярності набуває холодоагент R600a.

Невід'ємною частиною компресійних холодильників є компресор. Сучасний мотор-компресор має герметичний кожух з компресором і електродвигуном, що розміщені всередині нього. Завдяки меншим витратам виготовлення кулісні компресори знайшли застосування на відносно невеликих холодильниках і великих моделях комбінованих холодильників-морозильників з 2 компресорами. Основними причинами поломки компресора є пускові навантаження на електричний двигун, механічні навантаження приводних механізмів і гідравлічний удар в системі трубопроводів.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.5 Висновки до першого розділу

В цьому розділі наведено огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи. Розглядаються особливості становлення побутової техніки та холодильної техніки на ринку України. Проводиться класифікація холодильників вітчизняного та закордонного виробництва. Визначаються основні напрямки розвитку і вдосконалення конструкцій. Здійснюється аналіз існуючих конструкцій побутових холодильників і морозильників. Визначаються задачі, які слід вирішити в бакалаврській роботі.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МОРОЗИЛЬНОЇ КАМЕРИ

2.1 Викладення основної ідеї конструкції морозильної камери

В основі розробки є ідея створення морозильної камери збільшеного об'єму (до 300 літрів) для довгострокового зберігання продуктів в умовах фермерського господарства, великого домогосподарства, або для закладів харчування (табл.2.1).

Морозильна камера повинна при умовах невеликого енергоспоживання, забезпечувати температуру до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таблиця 2.1 - Початкові дані для розрахунку

№ п/п	Найменування	Позначенн я	Значенн я
1	Загальний об'єм морозильної камери, дм^3	V	300
2.	Температура навколишнього середовища	T_{oc}	32
3.	Середня температура у низькотемпературній камері $^{\circ}\text{C}$, не більш	t_H	-18
4.	Коефіцієнт теплопровідності пінополіуретану, $\frac{Вт}{i \times K}$	λ_{i3}	0,025

Проведений в першому розділі аналіз конструкцій морозильників показав, що для створення подібної конструкції морозильника раціонально застосовувати холодильний агрегат на основі герметичного кривошипно-кулісного мотор-компресора і конденсатора з конвективний вільним охолодженням і листотрубним випарником з примусовим обдуванням. Пропонується

компоновка камери із стандартними розмірами холодильних шаф підвищеної висоти.

Конденсатор повинен бути зроблений як листотрубний теплообмінник з примусовим обдуванням електричним вентилятором.

2.2 Розрахунок товщини стінок шафи морозильної камери

Товщина стінки камери визначається за формулою:

$$\delta_M \geq \delta_1 + \delta_{изМ} + \delta_2, \quad (2.1)$$

де $\delta_1 = 0.9$ мм - товщина зовнішньої металевої обичайки шафи морозильної камери;

$\delta_2 = 1,5$ мм - товщина внутрішньої обичайки шафи морозильної камери, що виконана з ударо міцного пінополістиролу;

$\delta_{изМ}$ - розрахункова товщина теплоізоляції.

Товщина стінки камери визначається за формулою:

$$\delta_{изМ} = \lambda_{из} \cdot \left[\frac{t_{OC} - t_M}{\alpha_1 \cdot (t_{OC} - t_{CT})} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_2} \right] \cdot 10^3, \quad (2.2)$$

де $\lambda_{из} = 0,025$ Вт/м·К – коефіцієнт теплопровідності пінополіуретану;

$t_{OC} = 32^\circ\text{C}$ – температура навколишнього повітря;

$\alpha_1 = 7$ Вт/м²·К – коефіцієнт теплової віддачі від навколишнього повітря до зовнішньої поверхні шафи;

$\alpha_2 = 3,5$ Вт/м²·К - коефіцієнт теплової віддачі від внутрішньої поверхні камери до повітря в морозильній камері;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$t_{CT} \geq (t_p + 1)$, °C – температура поверхні зовнішньої стінки холодильника, тут t_p – точка роси, яка відповідає $t_{OC} = 32$ °C при відносній вологості повітря 82 % на I-d діаграмі рівна 28,34 °C;

$t_M = -18$ °C – температура в низькотемпературному відділенні холодильника.

Тоді з (2.2) отримаємо:

$$\delta_{изM} = 0,025 \left[\frac{32 - (-15)}{7 \cdot (32 - 30)} - \frac{1}{7} - \frac{1}{3,5} \right] \cdot 10^3 = 73,2 \text{ мм.}$$

Підставивши отримані значення у формулу (2.1), отримуємо:

$$\delta_M \geq 0,9 + 73,2 + 1,5 = 75,6 \text{ мм.}$$

Прийнято $\delta_M = 80$ мм.

Товщина задньої стінки морозильної камери і днища визначається із виразу:

$$\delta_{M3} = \delta_M + 10 = 90 \text{ мм.}$$

2.3 Розрахунок загальної висоти холодильника

В дані для розрахунку висоти холодильника наведені в табл.2.2.

Висота морозильної камери:

$$H_1 := \frac{V}{(A - A_0 - \delta_{M3}) \cdot (B - 2 \cdot \delta_M)} + \delta_B + \delta_H, \quad (2.3)$$

де A - глибина камери, мм; A_0 B ;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$H_1 = \frac{300 \cdot 10^6}{(600 - 50 - 90) \cdot (600 - 2 \cdot 80)} + 90 + 90 = 1555 \text{ мм.}$$

Висота піддону рівняється:

$$H_{\Pi} = 100 \text{ мм.}$$

Таблиця 2.2 - В дані для розрахунку висоти холодильника

№ п/п	Найменування	Позначення	Значення
1	Товщина стінки камери, мм	δ_M	80
2	Товщина задньої стінки камери, мм	δ_{Mz}	90
3	Глибина камери, мм	A	600
4	Ширина камери, мм	B	600
5	Монтажний допуск на встановлення холодильного агрегату на задній стінці шафи, мм	A_0	50

Висота ніжок холодильника рівняється:

$$H_{НХ} = 80 \text{ мм.}$$

Загальна висота морозильної камери рівняється:

$$H = H_X + H_{НХ} + H_{\Pi} = 1555 + 80 + 100 = 1735 \text{ мм.} \quad (2.4)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
28

2.4 Опис конструкції морозильної камери та її технічні характеристики

2.4.1 Опис конструкції морозильної камери

Загальний вигляд морозильної камери приведено на рисунку 2.1 (лист [БРМА24.00.00.000СК]).

Основними вузлами та деталями морозильної камери є: петля верхня; петля нижня; ємність для м'яса; ємність нижня; ємність з кришкою; ємність; двері верхні; блок керування; полка; двері нижні; петля середня; вісь в зборі; ущільнювач; шафа верхня; шафа нижня; кронштейн; випарник; конденсатор; панель керування; колодка розподільча.

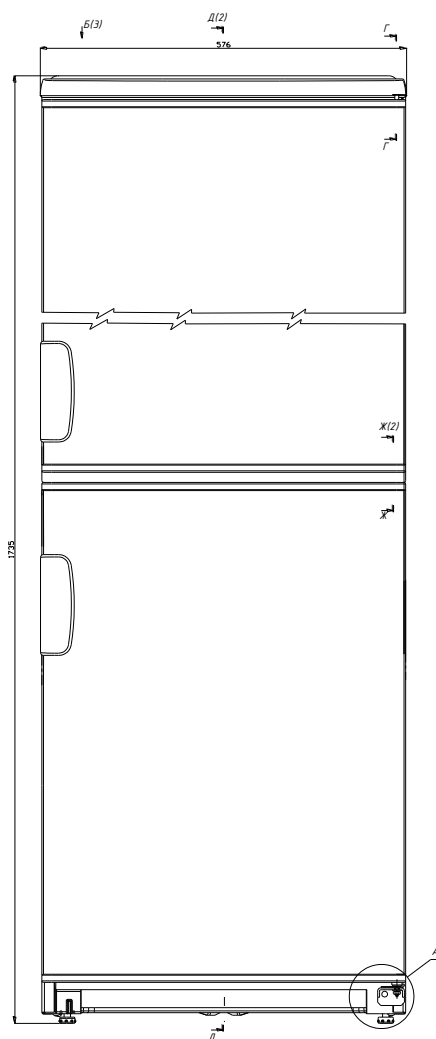


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд морозильної камери

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
29

2.4.2 Технічні характеристики морозильної камери

Технічні характеристики морозильної камери.

1. Холодопродуктивність, Вт	143
2. Потужність компресора, Вт	111
3. Корисний об'єм, л	300
4. Мінімальна температура в МК, °С	-18

2.4.3 Опис конструкції конденсатора

Загальний вигляд конденсатора приведено на рисунку 2.2..

Основними вузлами конденсатора є: накладка декоративна 1; змійовик конденсатора 2; дріт 3.

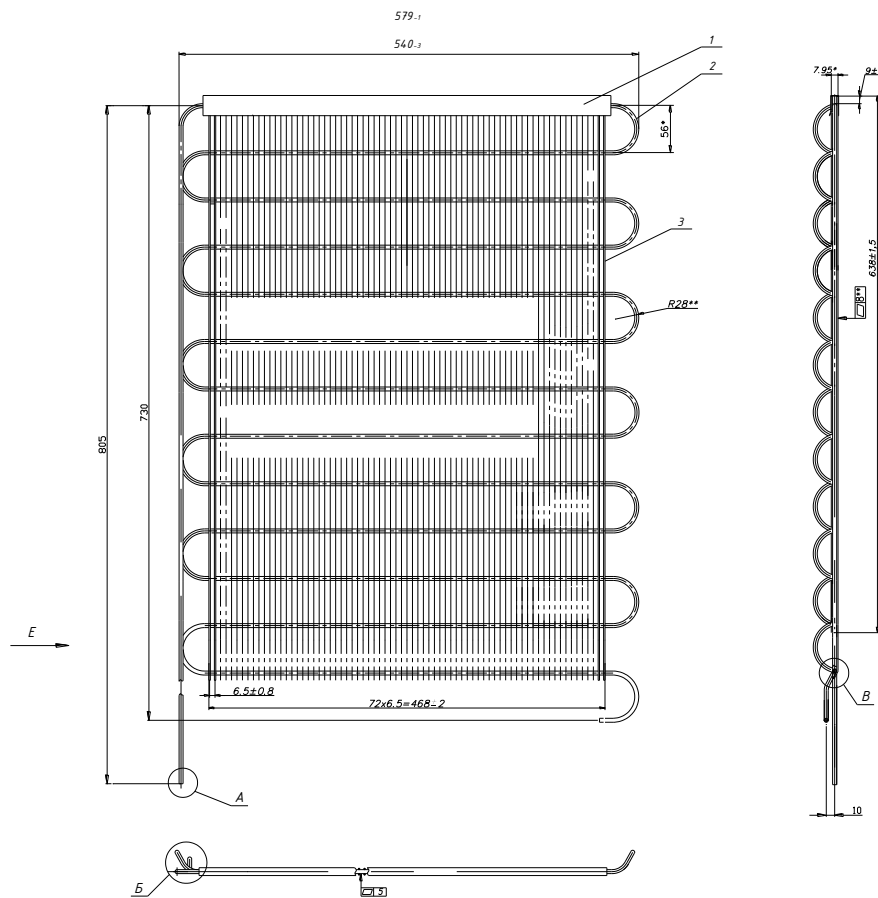


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд конденсатора

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
30

2.4.4 Опис конструкції випаровувача

Загальний вигляд випаровувача приведено на рисунку 2.3..

Основними вузлами випаровувача є: змійовик 1; трубка капілярна 2; стрічка одностороння 3; перехідник 4 і 5.

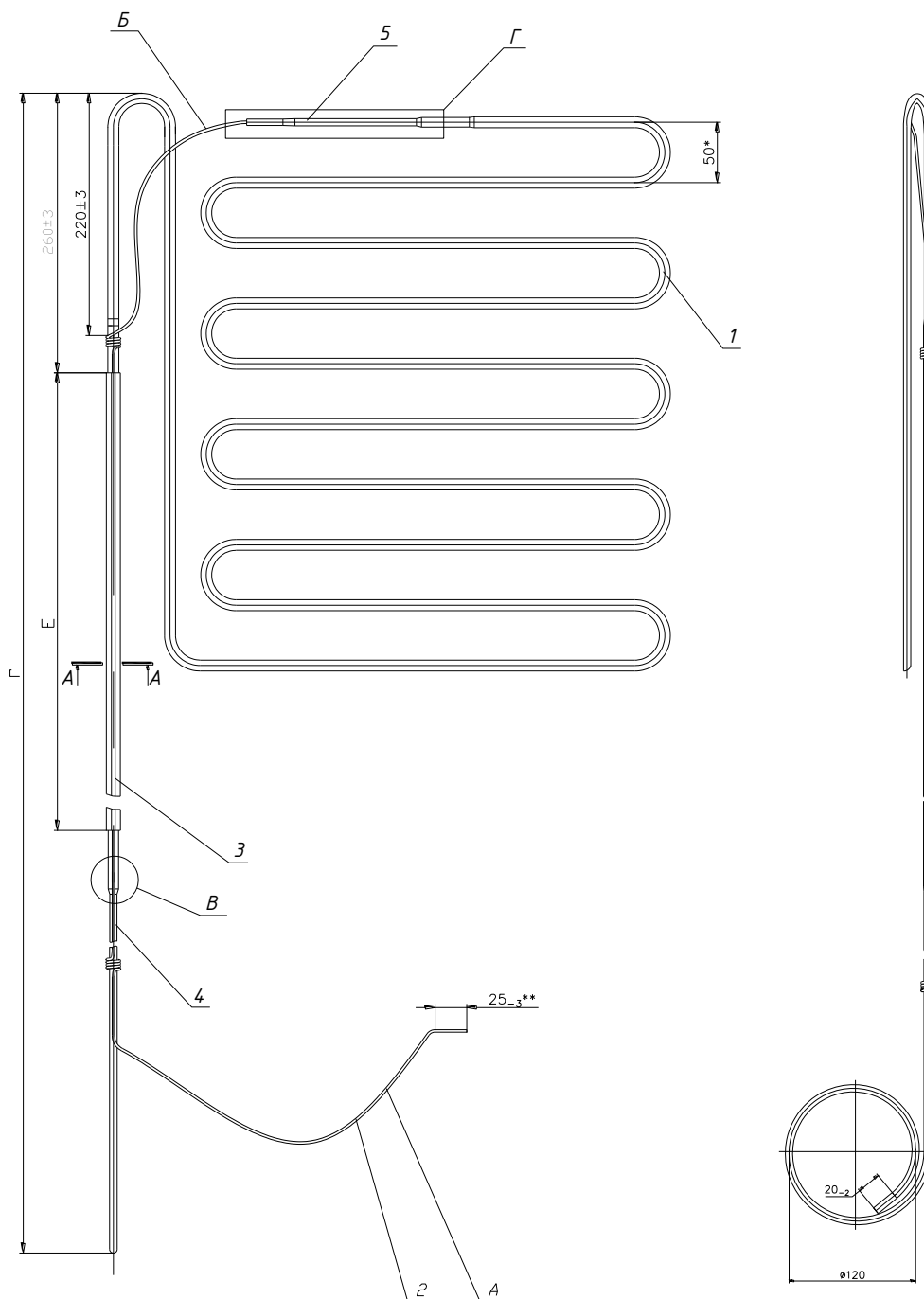


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд випаровувача

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
31

2.4.5 Опис компресора з вертикальною віссю обертання

Загальний вигляд компресора з вертикальною віссю обертання приведено на рисунку 2.4 (лист [БРМА24.54.00.00.000СК],).

Основними вузлами та елементами компресора з вертикальною віссю обертання є: патрубок 1; гільза 2; глушка 3; ємність для масла 4; вал 5.

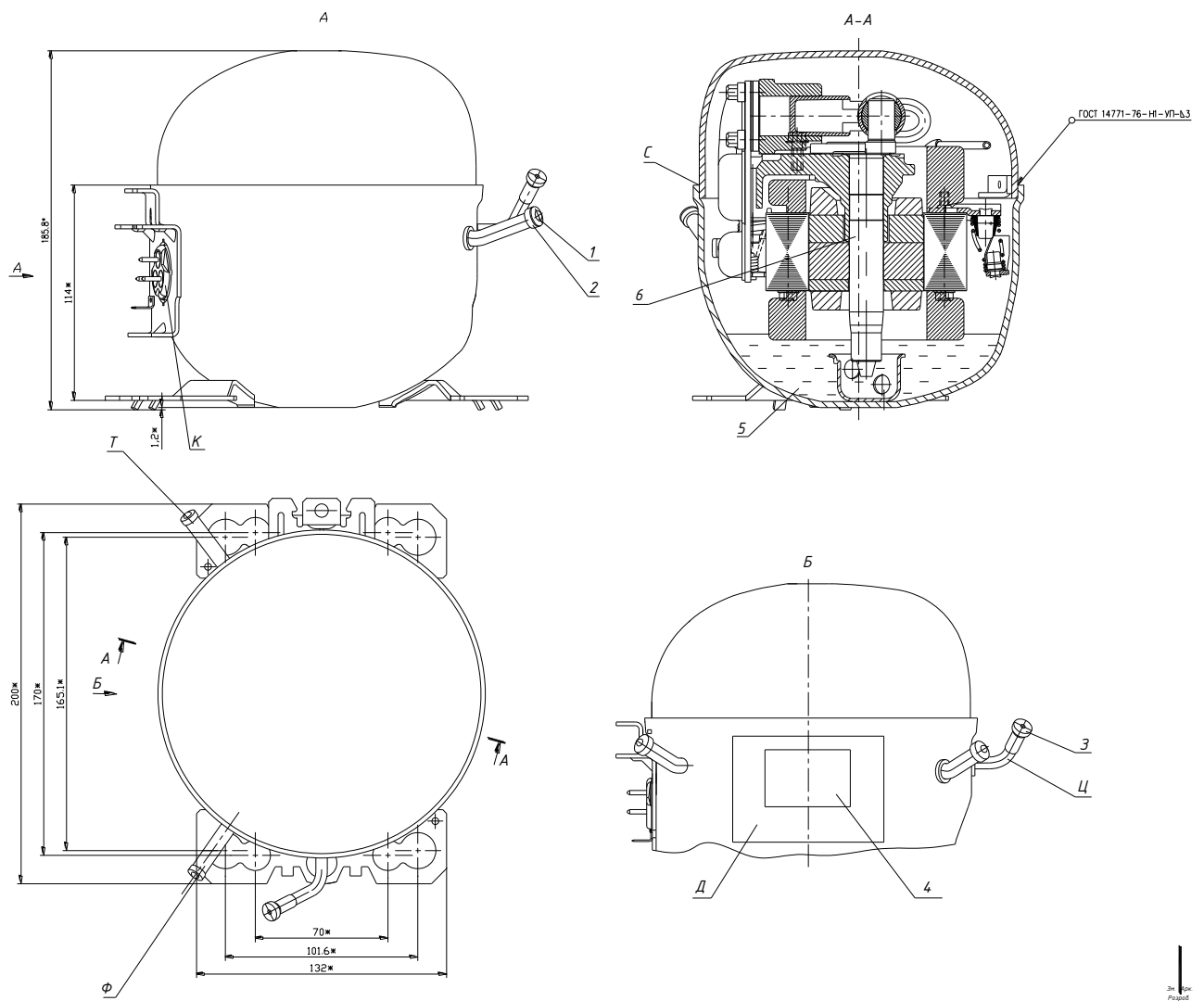


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд компресора з вертикальною віссю обертання

↓
Рис.
Лист 2

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Арк.
32

2.5 Розробка регулятора температури з цифровою індикацією

Прості побутові морозильники не мають індикації температури всередині робочої камери. Це не дає можливості реально оцінити роботу терморегулятора і ефективність теплової ізоляції. Механічні терморегулятори з термосифоном і капілярною трубкою, що використовуються в холодильниках мають низьку надійність і точність роботи.

Регулятор, схема якого представлена на рисунку 2.5 (лист [БРМА24.00.00.000Е3]), монтується замість штатного терморегулятора.

На передній стінці морозильника встановлюється блок індикації температури, змінний резистор R18 для регулювання температури і кнопка SB1 для контролю встановлення робочої температури. Датчиком температури є терморезистор 50М, який розміщується всередині робочої камери, а провідники протягуються через отвір для механічного терморегулятора, до місця, де вмонтовується основний блок регулятора. Налаштування приладу проводиться до встановлення в холодильник. На початку налаштовується блок індикації. Підбором резисторів R1, R2 необхідно добитися величини напруги на виводі 36 мікросхеми DA1, величиною 1В, потім необхідно приступити до налаштування основного блоку. Замість термометра опору встановлюється прецизійний резистор опором 50 Ом чи магазин опорів. Підлаштовуючим резистором R5 необхідно добитися нульових показів цифрового індикатора.

Резистори вимірального моста повинні бути підібрані якомога точніше. Якщо налаштування не виходить, можна відімкнути резистор R3 для розширення зони налаштування, але це може зменшити стабільність показів. Замість датчика температури встановлюється постійний резистор з опором, що рівний опорю датчика при вибраній температурі, наприклад 47 Ом, що відповідає температурі -14 °С. Регулюванням підлаштовуючого резистора R16 потрібно добитися цих показів на цифровому індикаторі. Відповідність опорю і температури датчика можна визначити за допомогою технічної літератури.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Підлаштовуючий резистор R11 використовується для лінеаризації характеристики у межах діапазону температур -200 °С ... +200 °С.

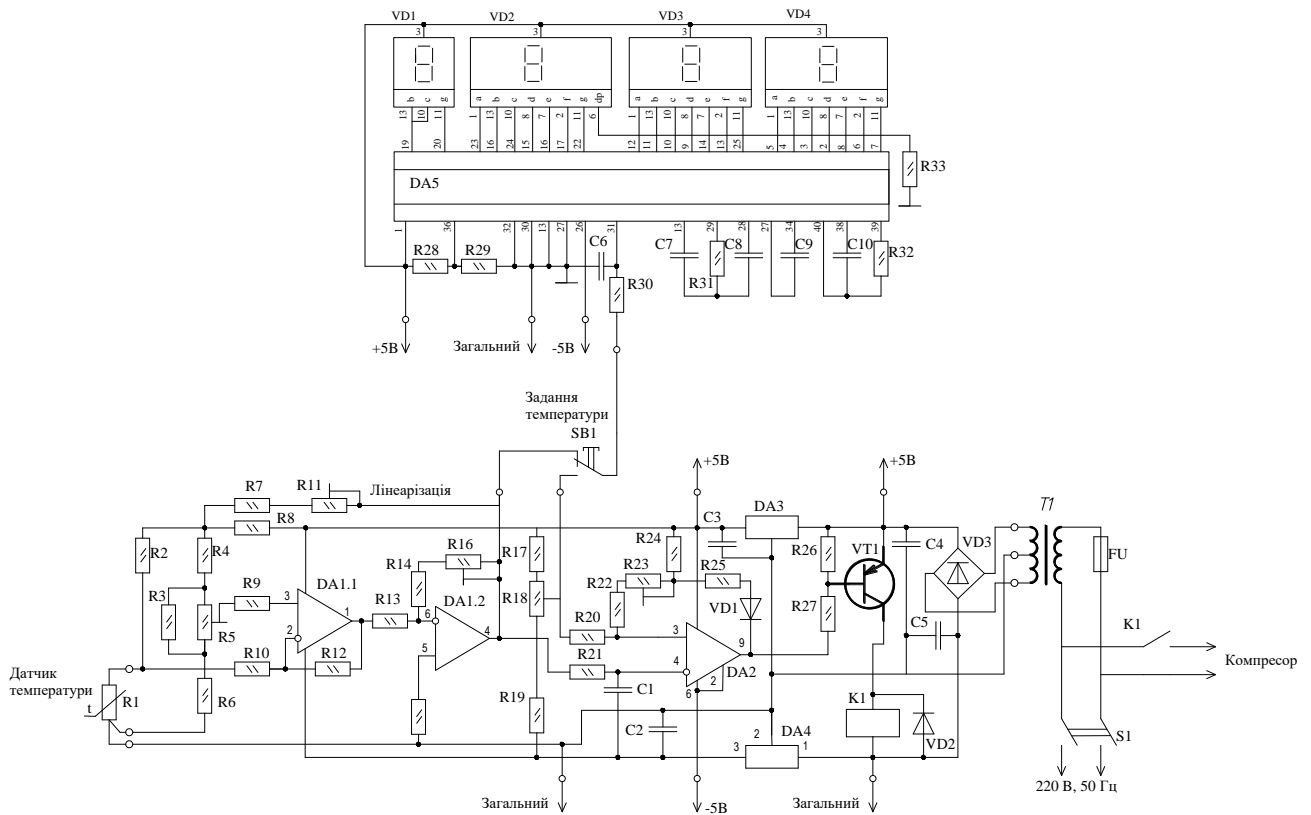


Рисунок 2.5 – Схема електрична принципова регулятора температури

При застосуванні цього пристрою як терморегулятора холодильника повзунок резистора винен знаходитися в середньому положенні. Резистором R23 регулюють гістерезис робочої характеристики, який повинен знаходитися в межах 2° .. 3° С У пристрої використовується операційні підсилювачі прецизійного ряду, подвійні або одинарні - КР140УД20, К140УД14 або можна використати зарубіжні аналоги. Застосовується також інтегральний стабілізатор від'ємної напруги DA4 - LM7905, LM79L05. Також здійснюється вибір решти активних елементів. Використано електромагнітне реле, що має котушку на напругу 24 В і максимальний струм через контакти, що перевищує струм

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

навантаження. Це реле 843-1A-C 24VDC 24B / 5A, 240V дозволяє комутувати навантаження при струмі 5 А і напрузі 240 В.

Для виставлення температурного режиму роботи холодильника потрібно натиснути і утримувати кнопку SB1, що знаходиться на передній панелі холодильника. При цьому індикатор буде відображати температуру налаштування терморегулятора. Зміна температури налаштування здійснюється змінним резистором R18. Його маховичок знаходиться на передній панелі холодильника. Після встановлення температури кнопка SB1 відпускається і індикатор знову буде відображувати поточну температура в камері холодильника.

Використання електронного терморегулятора значно підвищує ергономічну зручність користування морозильною камерою, оскільки користувач в любий момент часу знає температуру в холодильному відділенні і здатен змінювати в залежності від продуктів, що зберігаються.

2.6 Висновки до другого розділу

В цьому розділі здійснено розробку конструкції морозильної камери. Наводиться основна ідея створення конструкції морозильної камери. Здійснюється розрахунок товщини стінки шафи морозильної камери та загальної висоти холодильника. Розроблено конструкцію її основних вузлів і елементів, зокрема холодильника, випаровувача та мотор-компресора.

Проведено також розробку регулятора температури з цифровою індикацією.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ МОРОЗИЛЬНОЇ КАМЕРИ

3.1 Розрахунок теплопритоків в шафу морозильної камери і визначення холодопродуктивності компресора

Початкові дані для розрахунку:

- висота морозильної камери $H_m = 1555$ мм;
- ширина полиці компресійного відсіку $B_{KO} = 250$ мм;
- висота компресійного відсіку $H_{KO} = 250$ мм;
- кут нахилу днища 45° ;
- відносна вологість повітря 80 %.

Визначення інших розмірів.

Глибина внутрішньої шафи морозильної камери визначається за формулою:

$$A_M = A - A_O - \delta_M - \delta_{M3} = 600 - 50 - 80 - 90 = 380 \text{ мм.} \quad (3.1)$$

Ширина морозильної камери знаходиться із виразу:

$$B_M = B - 2 \cdot \delta_M = 440 \text{ мм.} \quad (3.2)$$

Загальний теплоприток в шафу морозильної камери визначається за наступною схемою:

- конструкція шафи розбивається на складові частини, для яких знаходиться величина теплопритоку в окремому елементі.

Площа теплопередаючої поверхні морозильної камери з товщиною ізоляції стінок $\delta_O = 80$ мм (верх, низ, бічні стінки і двері):

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		36

$$F_M = (2 \cdot A_M \cdot B_M + 2 \cdot A_M \cdot H_M + B_M \cdot H_M) \cdot 10^{-6}, \quad (3.3)$$

$$F_M = (2 \cdot 380 \cdot 440 + 2 \cdot 380 \cdot 1555 + 440 \cdot 1555) \cdot 10^{-6} F_X = 2,2 \text{ м}^2.$$

Товщина ізоляції стінок холодильного агрегату (верх, бічні стінки і двері) визначається за виразом:

$$\delta_{iM3} = \delta_X - \delta_1 - \delta_2. \quad (3.4)$$

Відповідно отримаємо:

$$\delta_{iM3} = 37,6 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт теплопровідності визначається за формулою:

$$k_M = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{iM3}}{\lambda_{iM3}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \cdot 10^{-3} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.5)$$

де $k_i = 0,52 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Температурний напір знаходиться за виразом:

$$\Delta t_M = t_{OC} - t_M; \quad (3.6)$$

$$\Delta t_M = 32 - (-15) = 47^\circ\text{C}.$$

Величину теплопритоку в морозильну камеру через верхню, бічні стінки і двері визначаємо за формулою:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_M = k_M F_M \Delta t_M ; \quad (3.7)$$

$$Q_M = 0,52 \cdot 2,2 \cdot 47 = 53,75 \text{ Вт.}$$

Площа теплопередаючої поверхні задньої стінки холодильного відділення з товщиною ізоляції $\delta_{M3} = 90$ мм визначається виразом:

$$\delta_{ИЗМ3} = \delta_{M3} - \delta_1 - \delta_2 = 87,6 \text{ мм.} \quad (3.8)$$

Коефіцієнт теплопровідності знаходиться:

$$k_{XC} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{\text{ЕЦЦ}}}{\lambda_{\text{ЕЦ}}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \cdot 10^{-3} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.9)$$

де $K_{M3} = 0,43 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

$$\text{Температурний } \Delta t_{XC} = (t_{OC} + 10) - t_i , \quad (3.10)$$

$$\Delta t_{iC} = 32 + 10 - (-15) = 57 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Величина теплопритоку в морозильну камеру через задню стінку знаходиться за формулою:

$$Q_{M3} := k_{M3} \cdot F_{M3} \cdot \Delta t_{M3} , \quad (3.11)$$

$$Q_{M3} = 0,43 \cdot 440 \cdot 1555 \cdot 10^{-6} \cdot 57 = 16,8 \text{ Вт.}$$

Загальний теплоприток в морозильну камеру визначається як сума його складових частин. Відповідно отримаємо:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{M1} = Q_M + Q_{M3}, \quad (3.12)$$

$$Q_{M1} = 53,75 + 16,8 = 70,55 \text{ Вт.}$$

Визначення експлуатаційних втрат холоду в морозильній камері (сюди відносяться втрати холоду при відкриванні дверей, при включені лампочки освітлення і т.п.):

$$Q_{M2} = 0,2 \cdot Q_{M1}. \quad (3.13)$$

$$Q_{M2} = 0,2 \cdot 70,55 = 14,11 \text{ Вт.}$$

Визначення теплопритоків, пов'язаних з охолодженням продуктів, які заморожуються в морозильній камері.

1. Вага продуктів що охолоджуються в морозильній камері за добу:

$$G_M = 10 \text{ кг/добу.}$$

Тепломісткість продуктів харчування становить:

- до охолодження:

$$j_1 = 296,8 \text{ кДж/кг;}$$

- охолодження в морозильній камері:

$$j_3 = 13 \text{ кДж/кг.}$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Тоді витрати холоду на охолодження цих продуктів можна знайти за формулою:

$$Q_{M3} = G_M \cdot (j_1 - j_2). \quad (3.14)$$

$$Q_{M3} = 10 \cdot (296,8 - 13) = 2838 \text{кДж/добу}.$$

Годинна холодопродуктивність на охолодження продуктів в холодильній та морозильній камерах відповідно визначається із виразу:

$$Q_{M3Г} = \frac{Q_{M3}}{24}, \quad (3.15)$$

$$Q_{M3Г} = 2838/24 = 118,25 \text{кДж}.$$

Потужність заморожування продуктів знаходиться:

$$Q_{M3BT} = \frac{Q_{M3Г}}{3,6}, \quad (3.16)$$

$$Q_{M3BT} = 118,25/3,6 = 32,85 \text{Вт}.$$

Загальний тепловий потік в морозильну камеру рівний сумі:

$$Q_M := Q_{M1} + Q_{M2} + Q_{M3BT}, \quad (3.17)$$

$$Q_M = 70,55 + 14,11 + 32,85 = 118 \text{Вт}.$$

3.2 Розрахунок основних термодинамічних параметрів холодильного агрегату

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3.2.1 Розрахунок одноступінчатого поршневого компресора холодильної машини

Вхідні дані:

Холодопродуктивність Q_0 118 Вт.

Температура конденсації T_k 55 °С.

Температура кипіння T_0 -23,3 °С.

Робоче тіло.....R 600a.

Завданням теплового розрахунку є:

- визначення потрібної об'ємної продуктивності компресора;
- підбір компресора;
- визначення потужності, що споживається;
- визначення теплового навантаження на конденсатор.

Залежно від вибраного робочого тіла за діаграмою стану зазначеної робочої речовини будують цикл ГМ (рисунок 3.1).

Визначення параметрів точок циклу холодильної машини.

Згідно до діаграми, представленої на рисунку 3.1, будуємо цикл холодильної одноступінчатої машини. З цією метою:

1. Наносяться лінії постійного тиску $P_0 = 0,064$ МПа і $P_k = 0,763$ МПа, що відповідають температурам насичення $T_0 = -24$ °С і $T_n = 55$ °С;

При цьому як правило вважають, що тиск всмоктування рівний тиску кипіння ($P_{вс}=P_0$) і тиск нагнітання рівняється тиску конденсації ($P_n=P_k$).

2. На перетині ізобари P_0 з ізотермою $T_1=32$ °С, що знаходиться відразу ж за правою прикордонною кривою, знаходиться точку, що характеризує перебування перегрітої пари на вході в компресор.

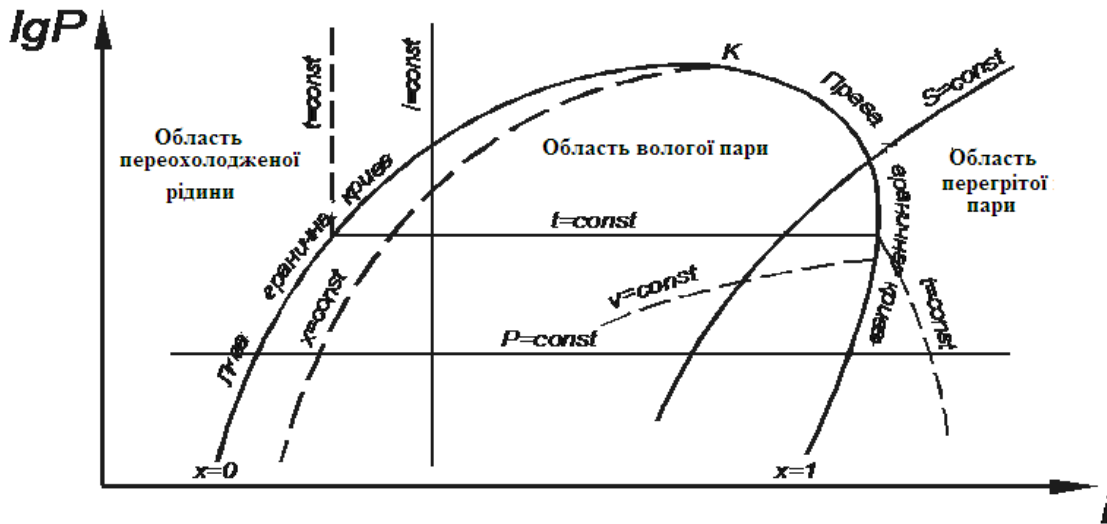


Рисунок 3.1 - lg P – i - діаграма

3. Через точку 1' проводиться лінія постійної ентропії (адіабата) до її перетину з ізобарою P_K , отримується точка 2. Ця точка характеризує стан пари холодоагента, що виходить з компресора.

4. На перетині ізобари P_K з прикордонною кривою для рідини, знаходиться точка 3, що характеризує перебування рідини на виході з конденсатора.

5. Знаходиться точка 3', продовжуючи ізобару P_K вліво до перетину з лінією постійної ентальпії, значення якої знаходиться з теплового балансу теплообмінника, з врахуванням температури переохолодження перед дросельним вентиляем:

$$i_{3'} = i_3 - (i_{1'} - i_1) = 333,98 - (612,5 - 523,48) = 333,98 - 89,02 = 245 \text{ кДж/кг. (3.18)}$$

6. Через точку 3' проводиться лінія постійної ентальпії до її перетину з ізобарою P_0 – точка 4, що характеризує стан парорідинної суміші на вході у випарник.

7. На перетині лінії P_0 з прикордонною кривою напів насиченої пари лежить точка 1, що характеризує повне перетворення рідини на пару.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Теоретичний цикл одноступінчатої холодильної машини зображений на рисунку 3.2:

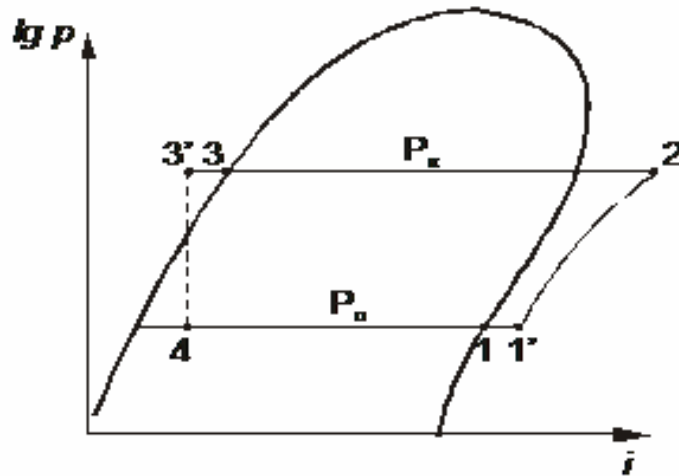


Рисунок 3.2 - Теоретичний цикл одноступінчатої холодильної машини у $i - lgr$ діаграмі

Після побудови циклу визначається значення параметрів вузлових точок. Для цього використовується діаграма $i - P$ стану холодоагенту R-600A (рисунок 3.3).

Отримані величини вносяться в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Теплофізичні властивості холодоагента R600a

Точки	$t, ^\circ\text{C}$	$P, \text{Мпа}$	$i, \text{кДж/кг}$	$V, \text{м}^3/\text{кг}$
0	-24,00	0,61	523,48	0,5640
1	32,00	0,61	612,5	0,7028
2	103,75	7,91	731,23	0,0614
3	55,00	7,91	333,98	0,0020
3	19,30	7,91	244,96	0,0018
4	-24,00	0,61	244,96	0,0452

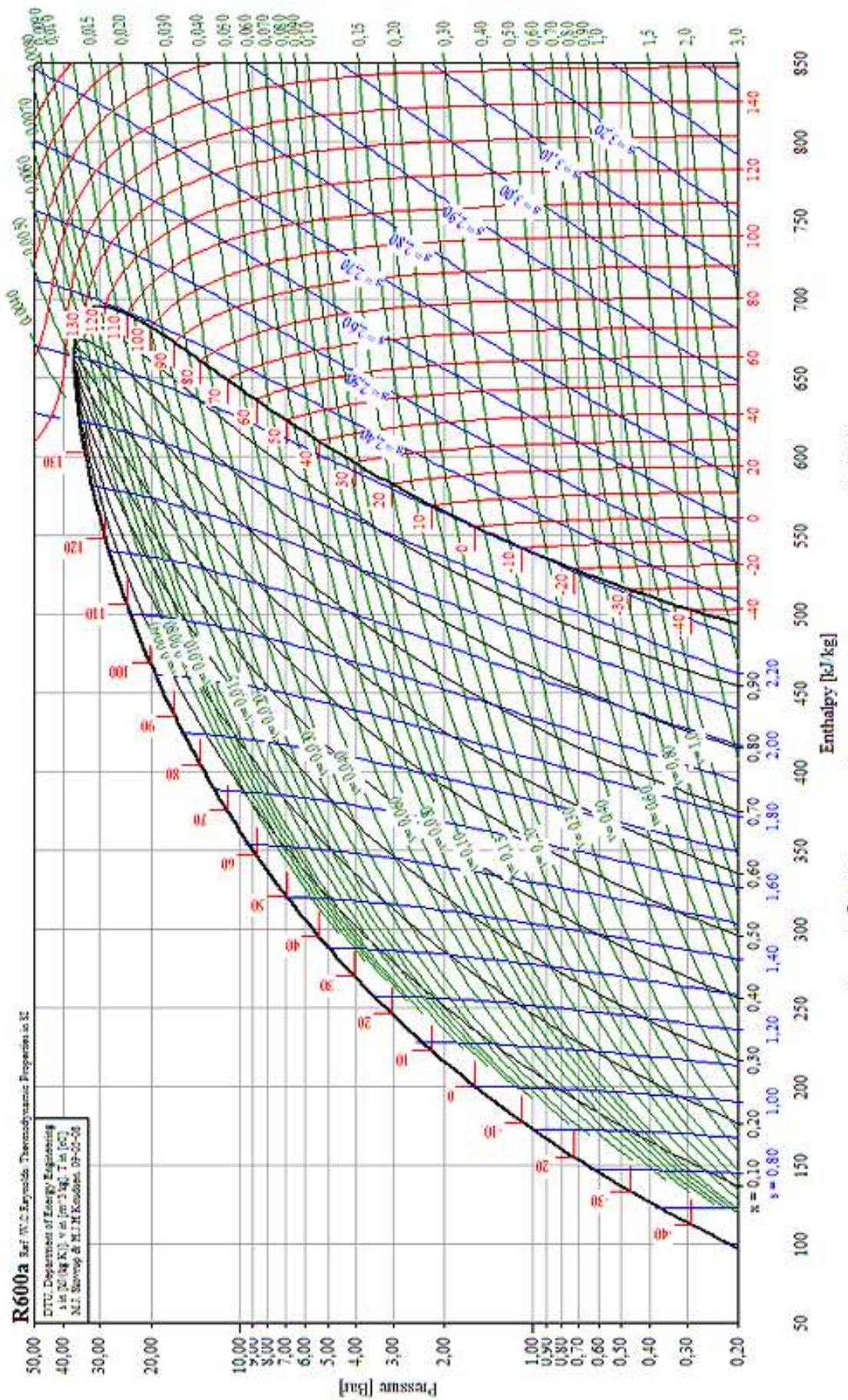


Рис. 3.3. Діаграма і-р стану холодоагенту R600a

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

БРМА24.00.00.000 ПЗ

Питома масова холодопродуктивність визначається як різниця значень ентальпій вузлових точок 1' і 4:

$$q_0 = i_{1'} - i_4 = 612,5 - 244,96 = 367,54 \text{ (кДж/кг)} \quad (3.19)$$

Питома робота стиснення в компресорі, кДж/кг знаходиться із виразу:

$$L_r = i_2 - i_1, \quad (3.20)$$

$$L_r = 731,23 - 612,5 = 118,73 \text{ кДж/кг.}$$

Питома теплота, що відводиться від конденсатора, кДж/кг знаходиться із:

$$Q_k = i_2 - i_3, \quad (3.21)$$

$$q_k = 731,23 - 244,96 = 486,27 \text{ кДж/кг.}$$

Питома ізоентропна робота циклу визначається із циклу:

$$L_s = i_2 - i_1; \quad (3.22)$$

$$L_s = 731,23 - 612,5 = 118,73 \text{ кДж/кг.}$$

Технічний холодильний коефіцієнт:

$$E_T = \frac{q_0}{L_s} = \frac{367,54}{118,73} = 3,09. \quad (3.23)$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

Масова витрата робочої речовини m_a визначається як відношення холодопродуктивності компресора Q_0 до питомої масової холодопродуктивності q_0 . Відповідно:

$$m_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{118}{367540} = 3,21 \cdot 10^{-4} \text{ (кг/с)}. \quad (3.24)$$

Ізоентропна потужність компресора, Вт знаходиться із виразу:

$$N_s = m_a \cdot L_{s,,} \quad (3.25)$$

$$N_s = 3,21 \cdot 10^{-4} \cdot 118,73 \cdot 10^3 = 38,12 \text{ Вт.}$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора визначається із формули:

$$V_q = m_a \nu_V = 3,21 \cdot 10^{-4} \cdot 0,7028 = 2,26 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^3\text{/с)}. \quad (3.26)$$

Ступінь підвищення тиску рівняється:

$$\pi_\kappa = \frac{P_\kappa}{P_0} = \frac{790,78}{61,28} = 12,9. \quad (3.27)$$

Теоретичний об'єм, що описується поршнями, м³/сек.:

$$V_T = V_q / \lambda, \quad (3.28)$$

де λ - коефіцієнт подачі при $P_\kappa/P_0 = 12,9$ (для безсальникових поршневих компресорів $\lambda = 0,6$);

$$V_T = 2,26 \cdot 10^{-4} / 0,6 = 0,00038 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Теоретична (адіабатна) потужність N_m , Вт визначається:

$$N_m = m_a (i_2 - i_1); \quad (3.29)$$

$$N_m = 3,21 \cdot 10^{-4} (731,23 - 523,48) \cdot 10^3 = 66,7 \text{ Вт.}$$

Індикаторна потужність в розрахунковому режимі знаходиться:

$$N_i = N_m / \eta_i \quad (3.40)$$

де $\eta_i = 0,6$ – індикаторний коефіцієнт корисної дії;

$$N_i = 66,7 / 0,6 = 111,14 \text{ Вт.}$$

Ефективна потужність компресора знаходиться, Вт:

$$N_e = N_i / \eta_m \quad (3.41)$$

де η_m – механічний коефіцієнт корисної дії, що враховує втрати на тертя.

Прийнято механічний к.к.д. 0,8. Тоді:

$$N_e = 111,14 / 0,8 = 139 \text{ Вт.}$$

За результатами даних розрахунків вибрано компресор ЕМУ111У (табл. 3.2). Аналіз технічних даних показав, що цей компресор споживає 111 Вт електричної енергії, таким чином забезпечуючи холодопродуктивність 143 Вт

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

при температурі кипіння холодоагенту $-23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це засвідчує про досконалість його конструкцій, що забезпечує значно вищий механічний коефіцієнт корисної дії ніж був прийнятий. Але практика показує, що заявлені в технічних даних показники компресорів (особливо закордонного виробництва) не завжди співпадають з експериментальними. Тому слід використовувати вірити не паспорту, а зробленим розрахункам.

Тепловий потік Q_K в конденсаторі з врахуванням втрат в процесі стиснення, Вт визначається:

$$Q_K = Q_0 + N_i; \quad (3.42)$$

$$Q_K = 118 + 111,4 = 229,4 \text{ Вт.}$$

3.3 Конструктивний і тепловий розрахунок теплообмінних апаратів

Тепловий розрахунок здійснюється в наступному порядку:

- складається тепловий баланс апарату;
- визначається середній температурний натиск між середовищами в апараті;
- визначаються коефіцієнти тепловіддачі теплового і холодного середовищ;
- визначається коефіцієнт теплопередачі апарату і щільність теплового потоку;
- знаходиться площа поверхні теплообміну.

Рівняння теплопередачі, з якого як правило визначають площу поверхні теплообміну, має наступний вигляд:

$$Q = kF\theta, \quad (3.43)$$

де k - коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$;

F - площа поверхні теплообміну, м^2 ;

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2

Технічні характеристики компресорів Embraco, що працюють на холодоагенті R600a

Модель	Тип двигуна	Електрична схема	Струм при заклинюванні ротора, А	Об'єм паливара, см ³	Об'єм масла, см ³	Маса, кг	Холодопродуктивність, Вт							При температурі -23,3°С		
							температура випару, °С							Споживана потужність, Вт	Споживаний струм, А	K _g
							-30	-25	-23,3	-20	-15	-10	-5			
EM250P	RSR-RSCR	1	3,00	5,19	200	7,1	61	76	92	97	126	160	206	57	0,4	1,22
EM200P	RSR-RSCR	1	3,50	5,96	200	7,5	66	87	96	113	146	189	230	72	0,5	1,32
EM400P	RSR-RSCR	1	4,40	7,69	200	7,5	64	110	120	140	184	230	286	94	0,6	1,26
EM400P	RSR-RSCR	1	5,30	8,59	200	7,5	96	126	137	153	207	259	319	108	0,8	1,27
EM250C	RSCR	2	2,00	5,19	200	7,5	52	69	76	96	120	154	194	57	0,3	1,34
EM200C	RSCR	2	2,60	5,96	200	7,7	61	83	91	109	142	180	224	66	0,3	1,29
EM400C	RSCR	3	3,30	7,69	200	7,7	63	109	119	142	183	230	285	84	0,3	1,43
EM400C	RSCR	3	3,60	8,59	200	7,7	96	126	138	164	210	264	326	97	0,4	1,43
EM200C	RSCR	1	2,25	4,15	180	7,7	39	55	59	75	98	125	156	42	0,21	1,43
EM200C	RSCR	1	2,25	5,19	180	7,7	58	70	85	102	132	164	203	57	0,25	1,49
EM200C	RSCR	1	2,20	5,96	180	7,7	64	87	96	115	149	187	231	62	0,28	1,35
EM400C	RSCR	1	2,70	7,23	180	7,7	64	113	123	146	185	231	286	80	0,38	1,35
EM400C	RSCR	1	3,50	7,96	180	7,7	94	124	135	161	205	256	317	88	0,38	1,53
BPE104Y	RSR-RSCR	1	2,70	3,40	200	6,5	33	45	49	59	77	99	123	52	0,4	0,95
BPE105Y	RSR-RSCR	1	3,20	4,60	200	6,6	50	65	72	85	110	139	173	65	0,5	1,10
BPE107Y	RSR-RSCR	1	3,20	5,64	200	6,6	62	80	87	104	133	166	208	76	0,6	1,14
BPE1084Y	RSR-RSCR	1	4,00	6,67	200	6,8	75	98	107	123	164	206	255	92	0,7	1,16
BPE111Y	RSR-RSCR	1	4,90	8,87	200	7,1	101	129	141	166	210	262	322	113	0,8	1,25
BPK104Y	RSR-RSCR	1	3,20	3,40	200	7,1	35	47	51	61	81	98	121	45	0,3	1,13
BPK105Y	RSR-RSCR	1	2,00	4,60	200	7,1	52	65	71	84	108	137	171	60	0,4	1,20
BPK107Y	RSR-RSCR	1	2,90	5,64	200	7,1	65	81	88	103	130	163	202	71	0,5	1,25
BPK1084Y	RSR-RSCR	1	3,60	6,67	200	7,1	74	97	107	127	162	203	250	80	0,5	1,29
BPK111Y	RSR-RSCR	1	4,90	8,87	200	7,7	102	131	143	167	209	256	310	111	0,7	1,26
BPK114Y	RSR-RSCR	1	6,90	10,10	200	7,7	114	146	159	187	237	291	355	128	0,9	1,34

K_g (Btu/h) — питома холодопродуктивність при температурі випару +5,4 °С

θ - середня логарифмічна різниця температур, °С.

Коефіцієнт теплопередачі k є важливою теплотехнічною характеристикою апарату. Його величина залежить від коефіцієнтів тепловіддачі середовищ і від термічного опору стінки.

У теплообмінних апаратах трубчастого типу через невелику товщину стінки труби коефіцієнт теплопередачі прийнято розраховувати так само, як до в апаратах з плоскою поверхнею теплообміну, за формулою для плоскої стінки.

3.3.1 Розрахунок геометричних параметрів конденсатора

Основною метою розрахунку геометричних параметрів конденсатора є визначення його мінімальної площі теплопередаючої поверхні, яка буде забезпечувати потужність (Дж/с) теплообміну між парами холодоагенту і повітрям зовнішнього середовища достатню для конденсації.

Вихідні дані для розрахунку конденсатора:

Температура конденсації T_k 55 °С.

Робоча речовина..... R 600a.

Тепловий потік Q_k 230 Вт.

Матеріал труби.....сталь.

Температура навколишнього середовища ...32 °С.

Діаметр труби зовнішній..... $d_{зов} = 0,00476$ м.

Діаметр труби внутрішній..... $d_{вн} = 0,00406$ м.

Площа теплопередаючої поверхні конденсатора знаходиться за формулою:

$$F = \frac{Q_k}{\theta_m \cdot k}, \quad (3.44)$$

де Q_k - тепловий потік на конденсатор, Вт;

$$Q_k = Q_0 + N_i, \quad (3.45)$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де Q_0 - холодопродуктивність машини;

N_i - індикаторна потужність компресора;

θ_m - середня логарифмічна різниця температур конденсації і поверхні стінки, на якій відбувається конденсація, $^{\circ}\text{C}$;

$$\theta_m = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{t_k - t_1}{t_k - t_2}\right)}, \quad (3.46)$$

де t_1, t_2 - початкова і кінцева температури охолоджуючого середовища;

t_k - температура конденсації;

$$\theta_m = \frac{37 - 32}{\ln\left(\frac{55 - 32}{55 - 37}\right)} = 20,44 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

Ефективність охолодження конденсатора знаходиться із виразу:

$$\Phi_E = PR, \quad (3.47)$$

де P і R -безрозмірні температурні параметри для апарату;

$$P = t_2 - t_1 / t_n - t_1; \quad (3.48)$$

де t_n – температура перегріву, на вході в конденсатор;

$$R = t_n - t_k / t_2 - t_1; \quad (3.49)$$

$$P = t_2 - t_1 / t_n - t_1 = 37 - 32 / 20 - 32 = 0,41; \quad (3.50)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$R=t_n-t_K/t_2=20-55/37-32=7; \quad (3.51)$$

$$\Phi_E=7 \cdot 0,41=2,87.$$

Коефіцієнт теплопередачі від зовнішньої поверхні конденсатора до навколишнього середовища, Вт/м²К:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} \right) + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.52)$$

де λ_{mp} - коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби, Вт/м К ($\lambda_{mp} = 40$ Вт/м К);

δ_{mp} - товщина стінки труби конденсатора, м; ($\delta_{mp} = 0,0007$ м).

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні конденсатора до навколишнього середовища, Вт/м² К знаходиться:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{BH}}, \quad (3.53)$$

де $\lambda = 2,757 \cdot 10^{-3}$ - коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/м К;

Nu - критерій Нуссельта, що визначається з критеріального рівняння для випадку тепловіддачі при вільній під дією сил тяжкості конвекції повітря.

Значення d_{BH} , $d_{зов}$, $D_{тр}$ прийняті з конденсатора, що використовується на серійних холодильниках:

$$Nu = 46 \cdot Gr^{0,21}, \quad (3.54)$$

де Gr - критерій Гроссгофа;

$$Gr = \frac{g \cdot d_{НАР}^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \theta_m, \quad (3.55)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

$\beta = 1/T = 1/32 = 0,0032$ -коефіцієнт об'ємного розширення;

$\nu = 16 \cdot 10^6$ - в'язкість сухого повітря при температурі навколишнього середовища 32°C і нормальному атмосферному тиску;

θ_m - різниця температур конденсації і поверхні стінки, на якій здійснюється конденсація, приймається рівною $20,44^\circ\text{C}$;

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,00476^3}{2,56 \cdot 10^{12}} \cdot 0,0032 \cdot 20,44 = 2,7 \cdot 10^{-20}.$$

$$Nu = 0,46(2,7 \cdot 10^{-20})^{0,21} = 1,242 \cdot 10^{-4}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні конденсатора до навколишнього середовища, $\text{Вт/м}^2\text{К}$ визначається із формули:

$$\alpha_1 = \frac{1,242 \cdot 10^{-4} \cdot 2,757 \cdot 10^3}{0,00406} = 84,34 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі з боку робочого тіла, що конденсується, визначається за формулою, $\text{Вт/м}^2\text{К}$:

$$\alpha_2 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{r \cdot \rho^2 \cdot \lambda^3 \cdot g}{\mu \cdot \theta_m \cdot d_{ВН}}}, \quad (3.56)$$

де γ - теплота паротворення, рівна $295,79 \cdot 10^3$ Дж/кг;

λ - коефіцієнт теплопровідності холодоагента, рівний $0,095$ Вт/мК; ρ - щільність рідкого холодоагента, рівна 221 кг/м³;

$d_{\text{вн}}$ - внутрішній діаметр труби, рівний $0,00406$ м;

μ - динамічна в'язкість холодоагента, рівна $1,2 \cdot 10^{-4}$ Па·с;

g - прискорення вільного падіння, рівне $9,81$ м/с².

Відповідно:

$$\alpha_2 = 0,72 \cdot \sqrt[4]{\frac{295,79 \cdot 10^3 \cdot 221^2 \cdot 0,095^3 \cdot 9,81}{1,2 \cdot 10^{-4} \cdot 20,44 \cdot 0,00406}} = 1,346 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2\text{К};$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{84,34} + \frac{0,0007}{40} + \frac{1}{2,217 \cdot 10^3}} = 136,6 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Площа поверхні конденсатора знаходиться із виразу:

$$F = \frac{Q_K}{\theta_m \cdot k}. \quad (3.57)$$

В результаті було отримано:

$$F = \frac{230}{20,44 \cdot 136,6} = 0,0823 \text{ м}^2.$$

Знаючи площу поверхні конденсатора і зовнішній діаметр трубки, розраховується її мінімальна довжина:

$$L_{\text{msn}} = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{НАР}}}, \quad (3.58)$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$L_{\min} = \frac{0,0823}{3,14 \cdot 0,00476} = 5,506 \text{ м.}$$

Для надійності конденсації було збільшено отримане значення на 20%.

Тоді довжина трубопроводу складає:

$$L = L_{\min} \cdot 1,2 = 6,607 \text{ м.} \quad (3.59)$$

Конструктивне виконання конденсатора враховує ширину задньої стінки холодильника і її висоту.

Виходячи з того, що ширина задньої стінки холодильника 570 мм було прийнято ширину конденсатора 540 мм. Мінімальна кількість поперечних частин трубопроводу складає:

$$n_{\min} = \frac{L_{\min}}{L_{\text{конд}}} = \frac{6,607}{540} = 12,3 \quad (3.60)$$

Для того, щоб патрубки конденсатора виходили в різні сторони (згідно конструкції холодильного агрегату) було прийнято число поперечних частин непарним і рівним 13.

3.3.2 Розрахунок геометричних параметрів випарника

Завданням теплового і конструктивного розрахунку випарника є визначення площі тепло передаючих поверхонь і його основних геометричних розмірів.

Вихідні дані:

- температура кипіння T_k $-23,3^\circ\text{C}$;
- робоча речовина.....R 600a;

- температура в морозильній камері $T_{\text{хк}} \dots -15^{\circ}\text{C}$;
- матеріал труби.....алюміній;
- діаметр труби зовнішній $d_{\text{зов}} = 0,008 \text{ м}$;
- діаметр труби внутрішній $d_{\text{вн}} = 0,00675 \text{ м}$.

Розрахунок випарника зводиться до визначення площі тепло передаючих поверхонь, м^2 . Відповідно можна записати:

$$F_u = \frac{Q_u}{k \cdot \Delta T}, \quad (3.61)$$

де Q_u – кількість теплоти, що віддається випарником в охолоджуваній простір за секунду, Вт;

ΔT - температурний натиск.

Продуктивність випарника характеризується інтенсивністю проходження теплоти через стінки з простору, що охолоджує або від продукту до киплячої всередині рідини. Тоді можна записати:

$$Q_u = q_0 \cdot m_a, \quad (3.62)$$

де q_0 - питома масова холодопродуктивність холодоагента, кДж/кг;

m_a - масова витрата робочої речовини, кг/с;

$$Q_u = 367,54 \cdot 0,000321 = 0,117 \text{ кВт.}$$

Температурний натиск складає:

$$\Delta T = -24 - (-15) = -9^{\circ}\text{C}.$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Випарник будь-якого призначення повинен мати достатній коефіцієнт теплопередачі для того, щоб киплячий холодоагент поглинав теплоту з високою інтенсивністю, створюючи в той же час потрібне охолодження при роботі в розрахункових умовах.

Поскільки, бажана висока інтенсивність теплопередачі через стінки випарника, то в конструкціях випарника застосовуються метали високої теплопровідності і не вступаючи в реакцію з холодоагентом.

Коефіцієнт теплопередачі від холодоагента до простору, що охолоджується, Вт/м² К визначається із формули:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \left(\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}}\right) + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.63)$$

де λ_{cm} - коефіцієнт теплопровідності стінки труби рівний 209, Вт/мК;

δ_{cm} - товщина стінки труби рівна 0,00125м.

Оскільки, теплопровідність металу велика, особливо у алюмінію, то як правило вона не має великого значення.

Таким чином, коефіцієнт теплопередачі випарника визначається в основному коефіцієнтами тепловіддачі α_1 і α_2 - з внутрішньої і зовнішньої поверхні труби.

Величина коефіцієнта теплопередачі залежить від:

- конструкції матеріалу випарника,
- стану зовнішньої поверхні і охолоджуваного середовища,
- швидкості руху потоку і теплопровідності холодоагента у випарнику,
- відношення внутрішньої площі поверхні випарника до зовнішньої.

Будь-яке забруднення зовнішньої або внутрішньої поверхні випарника грає роль теплоізоляції, таким чином зменшуючи коефіцієнт тепловіддачі

стінок випарника, а так само інтенсивність теплопередачі, проте в представлених розрахунках це не враховувалося.

Визначення коефіцієнта тепловіддачі з боку робочого тіла $\alpha_{1.ж}$ визначається за формулою:

$$\alpha_{1.ж} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_{екв}}, \text{ Вт/м}^2\text{К}, \quad (3.64)$$

де $\lambda = 0,011$ Вт/мК - коефіцієнт теплопровідності холодоагенту;

$d_{екв}$ - діаметр еквівалентний, м.

Критерій Нуссельта, що визначається з критерійного рівняння для випадку тепловіддачі рідкого холодоагента до стінки випарника знаходиться з формули:

$$Nu = 0,06 Re^{0,57} Pr^{0,4}. \quad (3.65)$$

Критерій Рейнольдса визначається з виразу:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{екв}}{\nu}, \quad (3.66)$$

де ω - середня швидкість перетікання рідини, м/с;

$$\omega = \frac{m_a}{3600 \cdot F_{СТР}}, \quad (3.67)$$

де m_a - масова витрата холодоагента;

$F_{СТР}$ - перетин струменя робочого тіла, м².

Відповідно:

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$F_{CTP} = \frac{\pi \cdot d_{BH}^2 \cdot \omega_a}{4 \cdot 100}, \quad (3.68)$$

де ω_a - ступінь заповнення випарника рідким холодоагентом на вході ($\omega_a = 40\%$);

$$F_{cmp} = \frac{3,14 \cdot 0,00675^2 \cdot 40}{4 \cdot 100} = 1,43 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Відповідно:

$$\omega = \frac{0,00019}{3600 \cdot 1,43 \cdot 10^{-5}} = 0,003 \text{ м/с};$$

$$d_{ЭКВ} = \frac{4F_{CTP}}{L_{CM}}; \quad (3.69)$$

$$L_{CM} = \frac{4\pi \cdot d_{BH}}{360}; \quad (3.70)$$

$$L_{CM} = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 0,00675}{360} = 2,356 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Отже, $d_{ЭКВ} = 0,243 \text{ м}$; $Re = 0,066$.

Значення критерію $Pr = 1,208$.

Підставляючи значення, було отримано:

$$Nu = 0,06 \cdot 0,0660,57 \cdot 1,2080,4 = 0,013;$$

$$\alpha_{1,жс} = 5,88 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт тепловіддачі з боку пароподібного робочого тіла α_{1n} , Вт/м²К:

$$\alpha_{1n} = 27,3 \cdot \omega_a^{0,45}, \quad (3.71)$$

$$\alpha_{1n} = 27,3 \cdot 0,6^{0,45} = 21,694 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

Визначення коефіцієнта тепловіддачі від зовнішньої стінки труби випарника, Вт/м²К:

$$\alpha_2 = A_1 \cdot \left(\frac{\Delta T}{d_{НАР}} \right)^{0,25}, \quad (3.72)$$

де значення коефіцієнта $A_1=1,34$ (є табличним значенням для повітря), а визначальний розмір $d_{зов}=0,008$ м (значення взяті з передбачуваного випарника);

$$\alpha_2 = 1,34 \cdot \left(\frac{9}{0,008} \right)^{0,25} = 10,4 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці труби, що омивається рідким холодоагентом R 600a, Вт/м² К:

$$k_P = \frac{1}{\frac{\delta_{СТ}}{\lambda_{СТ}} + \frac{1}{\alpha_{1Ж}}}; \quad (3.73)$$

$$k_P = \frac{1}{\frac{0,00125}{209} + \frac{1}{5,88 \cdot 10^{-4}}} = 5,88 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2 \text{ К.}$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

Коефіцієнт теплопередачі на ділянці труби, що омивається пароподібним холодоагентом R 600a, Вт/м²К:

$$k_n = \frac{1}{\frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_{1n}}}; \quad (3.74)$$

$$k_n = \frac{1}{\frac{0,00125}{209} + \frac{1}{21,694}} = 21,6 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

Коефіцієнт теплопередачі від зовнішньої стінки труби в простір, що охолоджується, Вт/м²К:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}; \quad (3.75)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{0,00125}{209} + \frac{1}{10,6}} = 10,59 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі при заповненні випарника на вході 40 %, Вт/м²К:

$$k = 0,6 \cdot k_n + 0,4 \cdot k_{Ж} + k_1; \quad (3.76)$$

$$k = 0,6 \cdot 21,694 + 0,4 \cdot 5,88 \cdot 10^{-4} + 10,59 = 23,60 \text{ Вт/м}^2\text{К.}$$

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Розрахувавши загальний коефіцієнт теплопередачі випарника, кількість теплоти, що віддається випарником в простір, що охолоджується за секунду Q_u і температурний натиск ΔT , було знайдено площу випарника F_u :

$$F_u = \frac{117}{23,60 \cdot 9} = 0,55 \text{ м}^2.$$

Знаючи площу поверхні теплообміну випарника морозильної камери і зовнішній діаметр трубки, було розраховано довжину труби, м:

$$L = \frac{F}{\pi \cdot d_{НАР}}; \quad (3.77)$$

$$L = \frac{0,55}{3,14 \cdot 0,008} = 21,89 \text{ м.}$$

3.4 Висновки до третього розділу

В цьому розділі проведено розрахунки, що довели працездатність морозильної камери. Здійснено розрахунок теплопритоків в шафу морозильної камери і визначено холодопродуктивність компресора, розрахунок основних термодинамічних параметрів холодильного агрегату, конструктивний і тепловий розрахунок теплообмінних апаратів.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В першому розділі здійснено огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи. Розглянуто особливості становлення ринку побутової техніки та стан асортименту холодильної техніки на ринку України. Здійснено класифікацію холодильників вітчизняного та закордонного виробництва. Визначено основні напрями розвитку і вдосконалення конструкцій та здійснено аналіз існуючих конструкцій побутових холодильників і морозильників.

В другому розділі здійснена розробка конструкції морозильної камери. Наведена основна ідея створення нової конструкції морозильної камери. Здійснено розрахунок товщини стінки шафи морозильної камери та загальної висоти холодильника. Розроблено конструкцію її основних вузлів і елементів, зокрема холодильника, випаровувача та мотор-компресора.

Здійснено також розробку регулятора температури з цифровою індикацією.

В третьому розділі проведено розрахунки, що доводять працездатність морозильної камери. Здійснено розрахунок теплопритоків в шафу морозильної камери і визначено холодопродуктивності компресора, розрахунок основних термодинамічних параметрів холодильного агрегату, конструктивний і тепловий розрахунок теплообмінних апаратів.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Белов В.І., Горбатюк В.С., Чумак І.Г. Побутові машини і прилади – Київ: Вища школа, 2003. – 320 с.
2. Дмитрук О.В. Малі холодильні машини та установки – Львів: Техніка, 2007. – 450 с.
3. Савчук В.М., Поліщук П.В. Організація будівельного виробництва – Київ: Будівельник, 2010. – 440 с.
4. Шевченко П.І., Ковальчук О.В. Технологія будівництва сендвіч-панелей – Київ: Либідь, 2015. – 235 с.
5. Ткаченко В.І. Ремонт, наладка, випробування електропобутових приладів – Харків: Основа, 2012. – 280 с.
6. Мельник О.П., Сидоренко А.І. Обладнання і технологія ремонту побутової техніки – Київ: Техніка, 2014. – 310 с.
7. Ковальчук О.В., Герасимчук Н.А. Холодильні установки – Київ: Вища школа, 2010. – 300 с.
8. Кривов'яз А.В. Основи холодильних техніки – Львів: Світ, 2016. – 260 с.
9. Литвин М.І. Довідник замовника. Довідник будівельника – Київ: Будівельник, 2015. – 260 с.
10. Іванченко У.Р., Петренко П.М. Проектування і будівництво із сендвіч-панелей – Київ: Політехніка, 2017. – 135 с.
11. Василенко В.М. Управління в будівництві – Київ: Техніка, 2016. – 460 с.
12. Гайдук Г.Й. Проектування холодильних установок – Київ: Техносфера, 2018. – 570 с.
13. Лебедев В.С. Розрахунок і конструювання типових машин і апаратів побутового призначення – Київ: Легка та харчова промисловість, 1982. – 330 с.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		64

14. Панфілов Є.А. Методи розрахунку надійності деталей і вузлів побутових машин та приладів – Київ: Легка промисловість, 2010. – 325 с.
15. Мещеряков Ф.Є. Основи холодильних техніки та технології – Київ: Харчова промисловість, 2008. – 560 с.
16. Вейберг Б.С., Вайн А.Н. Побутові компресійні холодильники. Київ: Харчова промисловість, 2004. – 315 с.
17. Мааке В., Еккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Підручник з холодильних техніки / Пер. з франц. під ред. д.т.н. В. Б. Сапожникова. – Київ: Вид. КНУ, 2008. – 1140 с.
18. Кругляк І.М. Домашні компресійні холодильники. Київ: Легка промисловість, 2004. – 220 с.
19. Кругляк І.М. Довідкова книга з ремонту домашніх холодильників. Київ: Легка промисловість, 2007. – 260 с.
20. Лепаєв Д.А. Ремонт побутових холодильників. Довідник. Київ: Легпромбитвидат, 2012. – 355 с.
21. Лепаєв Д.А. Пристрій і ремонт побутових холодильників. Київ: Легка промисловість, 2014. – 415 с.
22. Лепаєв Д.А. Електричні прилади побутового призначення. Київ: Легка промисловість, 2015. – 385 с.
23. Крилов Ю.С., Пирогов П.І. Проектування холодильників. Київ: Легка промисловість, 2012. – 315 с.
24. Холодильні установки / Чумак І. Г., Чепурненко В. П. та ін.; Під ред. д.т.н., проф. І. Г. Чумака. – 3-є вид., переробл. і доп. – Київ: Агропромиздат, 2015. – 500 с.
25. Свердлов В. Г., Явнель Б. К. Курсове і дипломне проектування холодильних установок і систем кондиціонування повітря. – Львів: Енергоатомиздат, 2014. – 330 с.

26. Практикум з холодильних установок: Навчальний посібник для студентів вишів / Бараненко А. В., Калюнов В. С., Румянцев Ю. Д. – Київ: Професія, 2011. – 275 с.

27. Холодильні установки: Підручник для студентів вишів спеціальності "Техніка і фізика низьких температур", "Холодильна кріогенна техніка і кондиціонування" / Курильов Є. С., Оносівський В. В., Румянцев Ю. Д. – Київ: Політехніка, 2009. – 580 с.

28. ДБН В.2.5-28:2006 – Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів.

29. ДБН В.2.2-15:2019 – Холодильники.

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					БРМА24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		