

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Холодильні машини і установки»
_____ Омельченко О.В.
« ____ » _____ 20__ року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування»
за освітньою програмою «Холодильні машини і установки»

на тему: **«Проект побутового холодильника-морозильника з
номінальним загальним об'ємом зберігання 350 літрів»**

Виконав:
здобувач вищої освіти Лазоренко Ростислав Ігорович _____ (підпис)
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник: доцент, к.т.н. Красновський І.Н. _____ (підпис)
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань

Здобувач вищої освіти _____ (підпис)

Кривий Ріг
2021

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	2
ВСТУП.....	3
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	7
1.1 Загальна інформація про холодильник-морозильник.....	7
1.2 Опис пропонованих конструктивних рішень	10
1.3 Теоретичні основи розрахунку теплопритоків.....	17
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	21
2.1 Розрахунок теплопритоків в охолоджуваній об'єм через огорожі	21
2.2 Розрахунок параметрів циклу і теплових величин	27
2.3 Розрахунок і підбір компресора	32
2.4 Розрахунок і підбір конденсатора.....	33
2.5 Розрахунок і підбір випарника	34
3.ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
3.1 Аналіз проектного побутового холодильника.	36
3.2 Обґрунтування вибору матеріалів	36
3.3 Забезпечення безпеки конструкції.....	37
3.4 Розрахунок захисного заземлення.	38
3.5 Розрахунок рівня шуму	40
3.6 Розрахунок гумових віброізоляторів.....	41
3.7 Забезпечення ергономічних вимог.	41
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	43

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ Докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Лазоренко</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Красновський</i>						
<i>Н. контр.</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>							
<i>Проект побутового холодильника-морозильника з номінальним загальним об'ємом зберігання 350 літрів Пояснительная записка</i>							

ВСТУП

Проблема випуску в Україні конкурентоспроможних побутових холодильників і морозильників стала очевидною необхідністю в зв'язку з недостатнім забезпеченням населення і виходом на світові ринки збуту.

Створення холодильників і морозильників відповідно до сучасних тенденцій розвитку побутової холодильної техніки вимагає комплексного підходу у вирішенні наукових і технічних завдань.

У зв'язку з проектуванням побутового двокамерного холодильника доцільно розглянути характерні риси дизайну основних виробників з точки зору тенденцій розвитку сучасної побутової холодильної техніки.

На сучасному етапі розвитку побутових холодильних приладів (ПХП) все більшого значення набувають питання підвищення їх комфортності. Сучасний споживач оцінює холодильний прилад в тому числі і за такими характеристиками, як кількість зон з різним температурним режимом, можливість автоматичної відтаювання випарника морозильної камери, наявність індикації температури в камерах холодильного приладу і режимів його роботи, тощо.

Колірна гамма більшості БХП - біла, проте все частіше і частіше зустрічаються холодильники не тільки натуральних, чистих кольорів, а й холодильники з дрібним текстурованим малюнком і навіть "холодильники-картини" із зображеними на них міськими і природними пейзажами і просто абстрактними малюнками. Все це досягається завдяки плівковим покриттям.

Аналіз різноманітності конструкцій і концепцій побутових холодильників дозволяє сформулювати деякі загальні тенденції розвитку цього напрямку холодильної техніки, а саме:

-збільшення товщини теплоізоляції холодильної камери, що дозволяє економити електроенергію і утримувати температурний режим в камері протягом тривалого часу після відключення холодильника);

-підвищення внутрішнього комфорту, використання полиць з прозорого небиткого скла з організацією циркуляції повітря в зазорах уздовж задньої стінки камери (більшість сучасних моделей);

-використання скляних дверей (побутові і офісні вітрини), в т.ч. з вертикальним розподілом двері на дві частини;

-розширення асортименту вбудованих моделей, використання їх розподілу по секціях (холодильна, морозильна і криоскопічна);

-ретро-дизайн корпусу холодильника в стилі 50-60-х років.

Аналіз дизайну сучасної продукції основних виробників БХП показує, що основний акцент ставиться на якість використовуваних матеріалів і покриттів.

Конструктивні відмінності холодильних приладів нових розробок наступні:

- наявність виносного пульта управління, який дає можливість спостерігати за роботою не відкриваючи дверей холодильного приладу;

- наявність формованого зливу в холодильній камері, що дозволяє виводити талу воду за межі холодильника. Така конструкція полегшує догляд за

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		3

- внутрішньою камерою холодильника, перешкоджає утворенню забруднень;
- наявність судини талої води на компресорі, що полегшує роботу компресора завдяки додатковому охолодженню випаровується вологи в посудині;
 - застосування нероз'ємного холодильного агрегату, що підвищує герметичність холодильного приладу, значно знижує матеріаломісткість;
 - застосування запінені блоку випарників і трубки перехідною, що підвищує герметичність холодильного приладу;
 - скляні двері для холодильників;
 - зниження витрат електроенергії;
 - застосування в деяких холодильних приладах елементів автоматичного управління;
 - переклад холодильних приладів на екологічно чистий холодоагент R 600A;
 - застосування в якості піноутворювача ППУ циклопентану.

Як правило, БХП класифікують за функціональною ознакою, конструктивним виконанням, способу установки, організації системи охолодження, кліматичному виконанню, рівнем комфортності.

За функціональною ознакою розрізняють холодильники:

- для зберігання свіжих продуктів;
- для зберігання свіжих і заморожених продуктів;
- морозильники для заморожування і зберігання заморожених продуктів;
- холодильники - морозильники.

Можливість зберігання заморожених продуктів забезпечується в разі, якщо в низькотемпературному відділенні підтримується температура не вище мінус 6 °С.

Відповідно до міжнародних і вітчизняних стандартів застосовується розподіл холодильників на три категорії:

- для короткострокового (кілька днів) зберігання заморожених продуктів - температура не вище - мінус 6 °С.
- для середньострокового зберігання (до двох місяців) - температура не вище мінус12 °С.
- для тривалого зберігання (від 4 до 12 місяців) - температура не вище мінус 18 °С.

Відповідно маркують холодильники однієї (*), двома (**), або трьома зірочками (***)

За конструктивним виконанням холодильні прилади бувають з однією камерою, з двома камерами (Д), трьома камерами (Т), чотирма камерами (Ч) і т.д

Крім того, вони поділяються на двокамерні з верхнім, нижнім, бічним розташуванням камер. У багатоканерних є теплоізоляційні перегородки між камерами. Застосовуються також комбіновані холодильні прилади, які мають два компресори і роздільні системи (конвекційні, примусові і змішані) охолодження камер.

Спостерігається стійка тенденція зниження частки однокамерних

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		4

холодильників. Відзначається збільшення пропозиції і продажу багатокамерних холодильників, комбінованих холодильників-морозильників, морозильних шаф і скринь. Зберігається тенденція зростання морозильників і морозильних камер середньої місткості, а також зростання частки низькотемпературного обсягу в загальному обсязі холодильника, внаслідок збільшення споживання швидкозаморожених продуктів і прагнення власників садово-городніх ділянок зберегти урожай протягом зимового періоду. Значно зростає кількість пропонуваних холодильників з камерами "сухий" і "вологої свіжості" (bio fresh), що дозволяють продовжити термін зберігання продуктів в свіжому незаморозений стані (-2 °С + 2 °С). Намічається тенденція збільшення ємності зони "свіжості" або універсальної камери, з можливістю зміни в широких межах температурних режимів зберігання продуктів.

Останнім часом підвищеним попитом користуються двокамерні холодильники ємністю 320-350 л.

За способом установки холодильні прилади поділяються на:

- підлогові типу шафа (Ш);
- підлогові типу стіл (С);
- підлогові типу скриня (Л);
- настінні холодильні прилади;
- переносні;
- міні-холодильники;
- холодильні вітрини;
- холодильники-бари;
- холодильники-серванти.

Удосконалення дизайну кухонних приміщень в оселях формує тенденцію, коли побутової холодильник вбудований в кухонні меблі. Вбудовані холодильні прилади в підвіконні і стінні ніші, в малоздібні для інших цілей вільні простори, під сходами двоярусних квартир сприяють злиттю побутових холодильників з архітектурно-будівельної оболонкою житла.

Габаритні розміри вітчизняних моделей розраховані на установку в комплектах стандартних кухонних меблів в квартирах будинків масових забудов і збігаються з найбільш поширеними розмірами масових західноєвропейських моделей. Ширші і більш глибокі американські, австрійські, корейські та японські моделі не пристосовані для малогабаритних кухонь, створюють проблеми при доставках на поверхи в будинках без вантажних ліфтів і в переміщеннях через дверні прорізи на шляху від ліфта до місця установки (доводиться знімати двері або частково розбирати холодильник).

За способом отримання холоду розрізняються абсорбційні, термоелектричні і компресійні холодильні прилади. Найбільш поширеними є компресійні холодильні прилади.

За організації системи охолодження холодильні прилади поділяються на охолоджувані:

- природним шляхом (конвекційним);
- примусовим (за допомогою вентилятора);

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		5

- змішаним (наприклад, низькотемпературна камера примусово, а плюсова - природним шляхом).

За здатністю працювати при максимальній температурі навколишнього середовища холодильні прилади поділяються на такі класи:

- розширений помірний (SN) - для роботи при температурі навколишнього середовища від 10 до 32 °С;
- помірний (N) - для роботи при температурі навколишнього середовища від 16 до 32 °С;
- субтропічний (ST) - для роботи при температурі навколишнього середовища від 18 до 38 °С;
- тропічний (T) - для роботи при температурі навколишнього середовища від 18 до 43 °С.

За ступенем комфортності холодильні прилади бувають звичайної і підвищеної комфортності.

Холодильники підвищеної комфортності мають:

- пристрій для автоматичного або напівавтоматичного відтавання випарника холодильної камери з подальшим видаленням талої води;
- один або декілька пристроїв для підтримки певної вологості в холодильній камері (або в її частині);
- охолодження напоїв з видачею їх без відкривання дверей;
- сигналізацію режимів роботи холодильника;
- примусове автоматичне закриття дверей при відкриванні її на кут більше 10 градусів.
- обмеження кута відкривання дверей, що запобігає удару двері об стіну;
- можливість перестановки полиць по висоті з інтервалом не більше 50 мм або висунення завантаженої полки не менше ніж на половину її глибини за умови збереження горизонтального положення;
- зовнішній пульт управління для регулювання температурного режиму роботи холодильних приладів без відкривання дверей;
- світлову та звукову сигналізацію незакритих дверей холодильних приладів;
- можливість перевішування двері для правостороннього або лівостороннього відкривання;
- закриті ємності для зберігання продуктів;
- сервіровчу площину;
- можливість переміщення холодильного приладу по підлозі за допомогою роликів опор.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		6

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Завданням є проект двокамерного холодильника загальним обсягом 350 літрів з розробкою компонування, основних вузлів і деталей.

1.1 Загальна інформація про холодильник-морозильник

Найменування: двокамерний холодильник-морозильник

Технічні характеристики

Загальний обсяг холодильника-морозильника, дм ³	350
Загальний обсяг холодильної камери, дм ³	250
Загальний обсяг морозильної камери, дм ³	10 0
Габарити (ВхШхГ), мм	1800 × 574 × 650
Маса, кг	77
Час підвищення температури в морозильній камері від -18 °С до -9 °С при відключенні електроенергії, ч, не менше	10
Температура в морозильній камері, не вище	-18
Середня температура в холодильній камері, °С	+4
Потужність заморожування, кг / добу, не менше	10,0
Добовий витрата електроенергії, кВт-год, не більше:	
МК	0,53
ХК	0,43
Кількість компресорів, шт	2
холодоагент	R600a

Двокамерний холодильник першої групи складності (режим заморожування) з нижнім розташуванням морозильної камери (МК).

У двокамерному холодильнику застосовані два автономних агрегату - холодильної камери (ХК) і МК. Агрегат ХК складається з: листотрубних випарника, компресора, фільтра-осушувача і сполучних патрубків. Агрегат МК складається з: листотрубних блоку випарників, компресора, фільтра-осушувача і сполучних патрубків. Випарник ХК винесено за задню стінку ХК. Конденсатор розділений на дві частини, які працюють в складі агрегатів ХК і МК. Відведення конденсату з задньої стінки ХК здійснюється через формований слив в посудину талої води, встановлений на компресорі.

В блок управління (БУ) холодильника входять наступні комплектуючі вироби: лампа освітлення ХК і патрон, розташовані в корпусі плафона, два пусказахисна реле, два електричних конденсатора, джгути з'єднані тільні, два датчика-реле температури, блок сигналізації (БС), блок сигналізації і управління (БСУ), вимикач освітлення (ВОК).

Корпус плафона з електричними комплектуючими розташований на верхній стінці ХК. У верхній частині двокамерний холодильник має розбірну площину сервіровочну висотою 30 мм. У площині сервіровочної розташовується виносної пульт управління, функціонально розділений на дві частини:

ХК, який включає в себе: блок звукової сигналізації і світлової індикації

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		7

незакритих дверях і світлової індикації включення ХК в мережу, датчик реле температури, вимикач освітлення;

МК, який включає в себе: блок сигналізації і управління та датчик-реле температури.

МК комплектується льодоформою, лопаткою, ґратами, двома кошиками, шторкою.

ХК комплектується металевими або скляними полками, овочевими судинами, пластмасовою полицею, яка встановлюється над овочевими судинами, посудиною для масла з кришкою.

Двері МК і ХК мають округлений форму. На двері ХК встановлюються: бар'єр, бар'єр-полки (в тому числі з вкладишем для яєць, герметичними посудинами з кришками).

На рисунку 1.1 показаний зовнішній вигляд холодильника-морозильника.

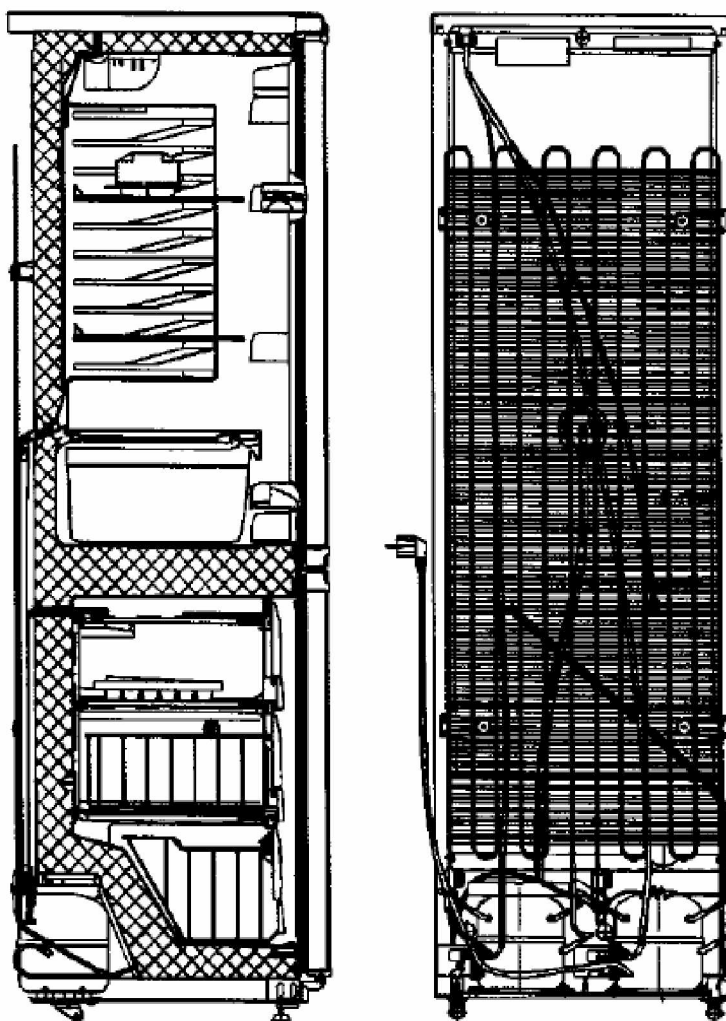


Рисунок 1.1 - Двокамерний холодильник-морозильник

На рисунку 1.2 показана схема холодильного агрегату холодильника-морозильника.

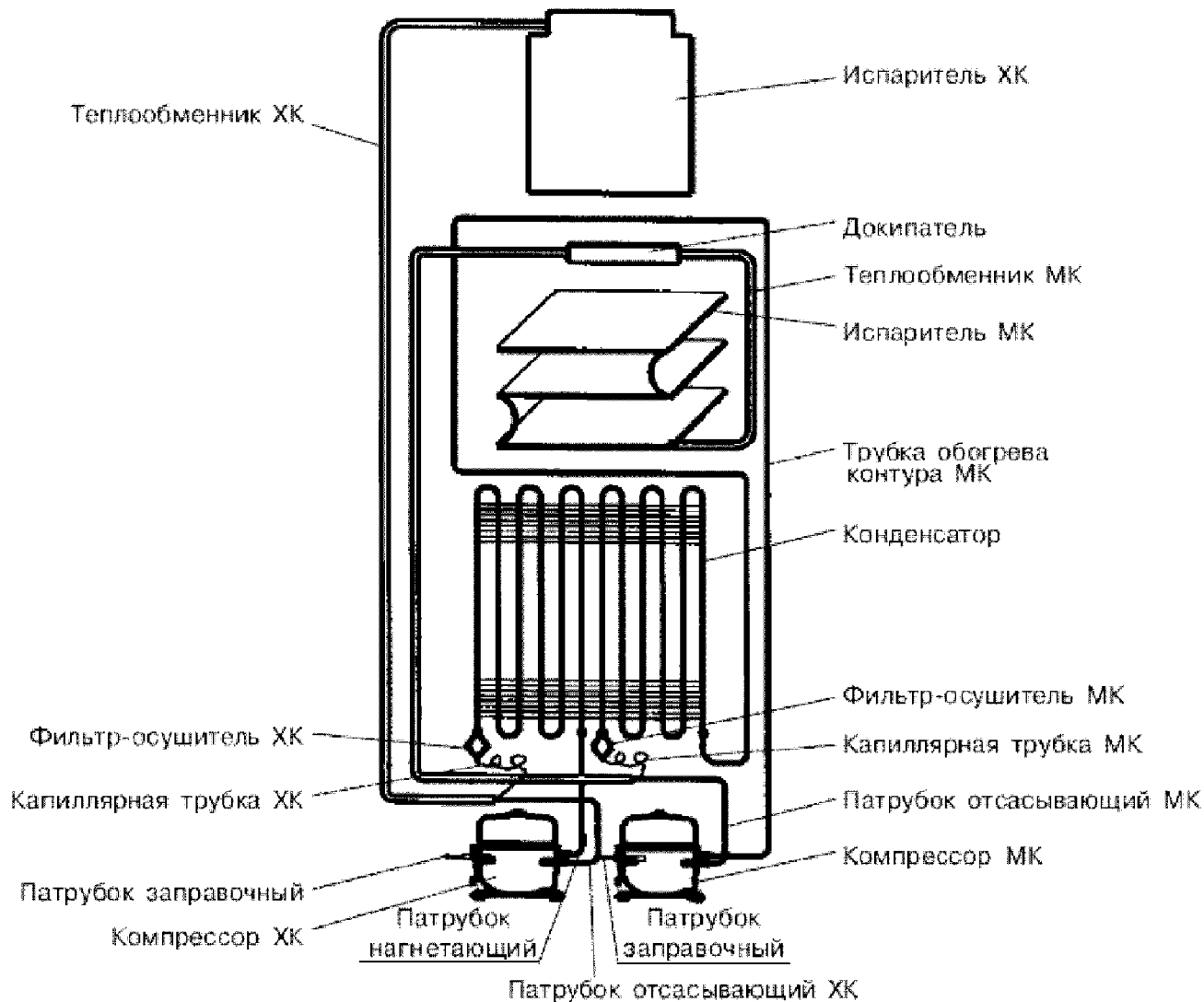


Рисунок 1.2 - Схема холодильного агрегату.

На рисунку 1.3 показана схема принципова електрична холодильника-морозильника.

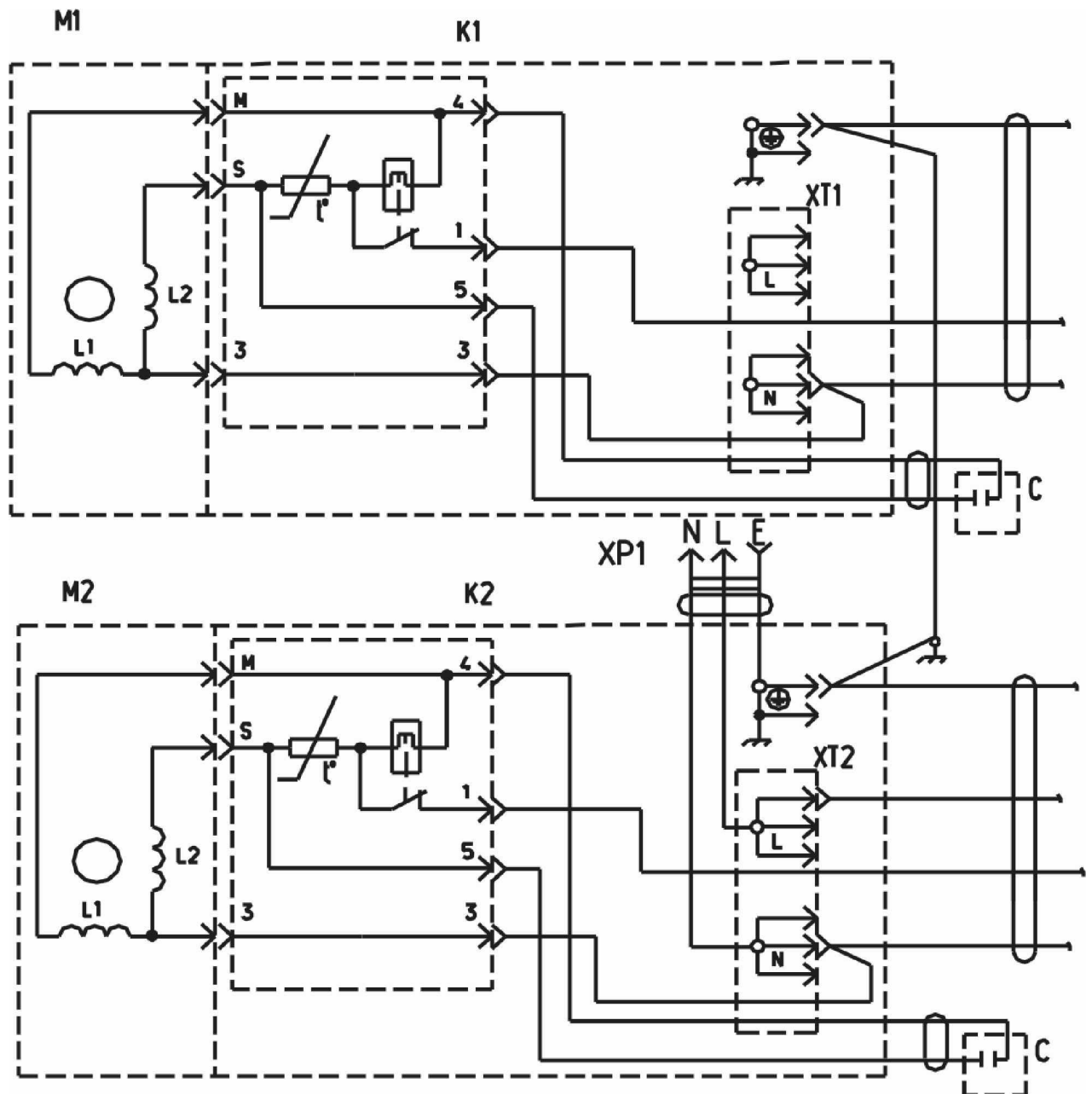


Рисунок 1.3 - Схема принципова електрична
 SQ - Вмикач освітлення ХК; EL - Лампа; 1 - Струм сигналізації та управління; 2 - Струм сигналізації; SK1 - Датчик-реле температури морозильної камери; SK2 - Датчик-реле температури холодильної камери; K1K2 - Реле пуско-захисне; M1M2 - Компресор; XP1 - Шнур армований; С - Конденсатор.

1.2 Опис пропонуваніх конструктивних рішень

Шафа холодильника повинна складатися з наступних вузлів і деталей: панелі ліва і права, кришка, планка нижня, блок випарників, камера ХК, поперечина, камера МК, стінка задня (ламінований картон), опора в зборі. Теплоізоляція шафи - пінополіуретан.

Панелі шафи - безшвелерні, з оригінальним куточком (рисунок 1.4).

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		10

Планка нижня, поперечина і кришка - оригінальні (рисунок 1.5, 1.6). З'єднання панелей шафи з кришкою і планкою нижньої - за допомогою заклепок. Петля середня літа; петлі верхня і нижня - взаємозамінюєми, штамповані (рисунок 1.7).

Камера ХК - оригінальна, глибиною 448 мм (напрявні під полки повинні мати подформовкі в задній частині для надійної фіксації полиць. На боковій стінці камери, в місці кріплення плафона, має бути виконаний отвір для установки деталі «Кришка», яка забезпечує застосування запінені трубки сільфона .

Полки холодильної камери - оригінальні (рисунок 1.8). Полки холодильної камери і полиця-скло над овочевими судинами повинні мати пластикові обрамлення.

Блок випарників. Випарник ХК - лістотрубний, випарник МК - складається з чотирьох полиць (рисунок 1.9).

Стінка задня з ламінованого картону.

Трубка сільфона датчика реле температури повинна виводитися на пластину випарника холодильної камери через отвір в деталі «Кришка» і деталь «Трубка».

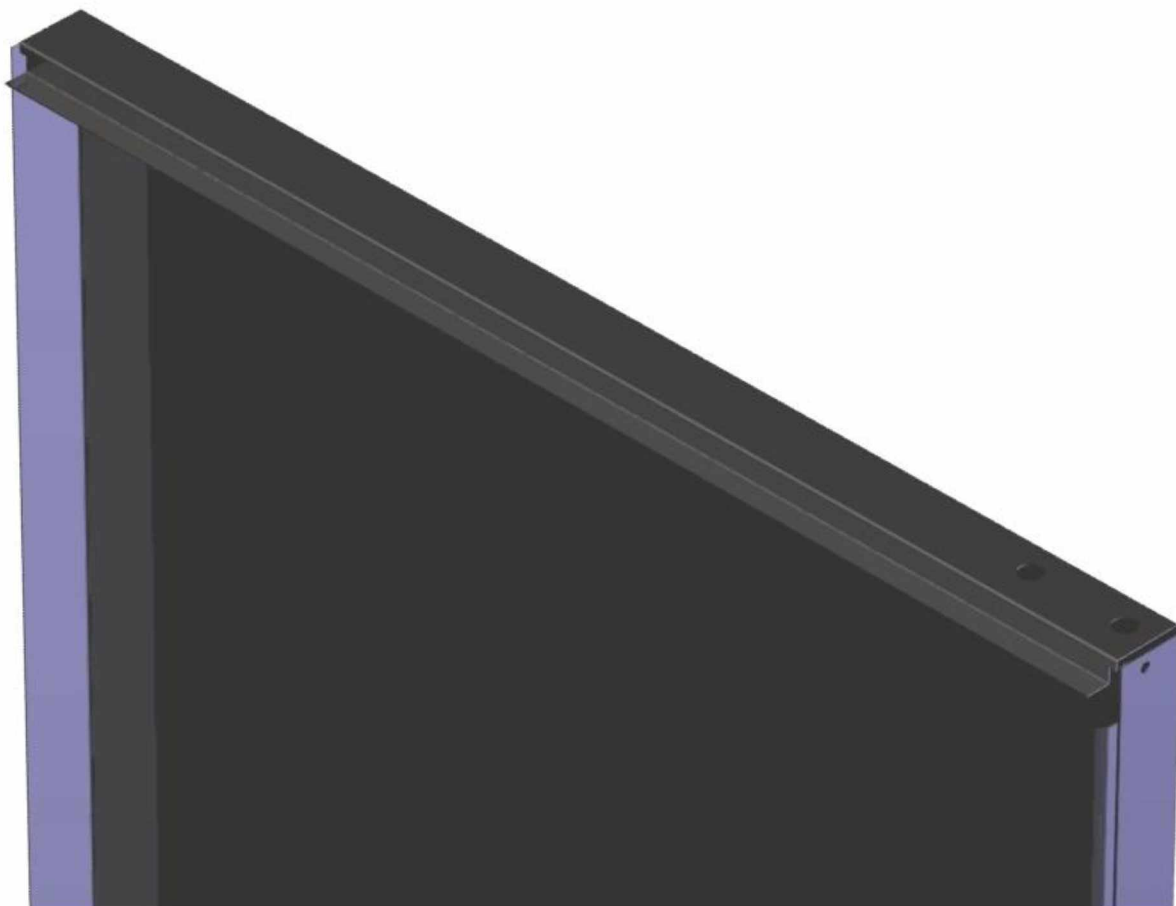


Рисунок 1.4 - Панель шафи (верхня частина)

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>		11

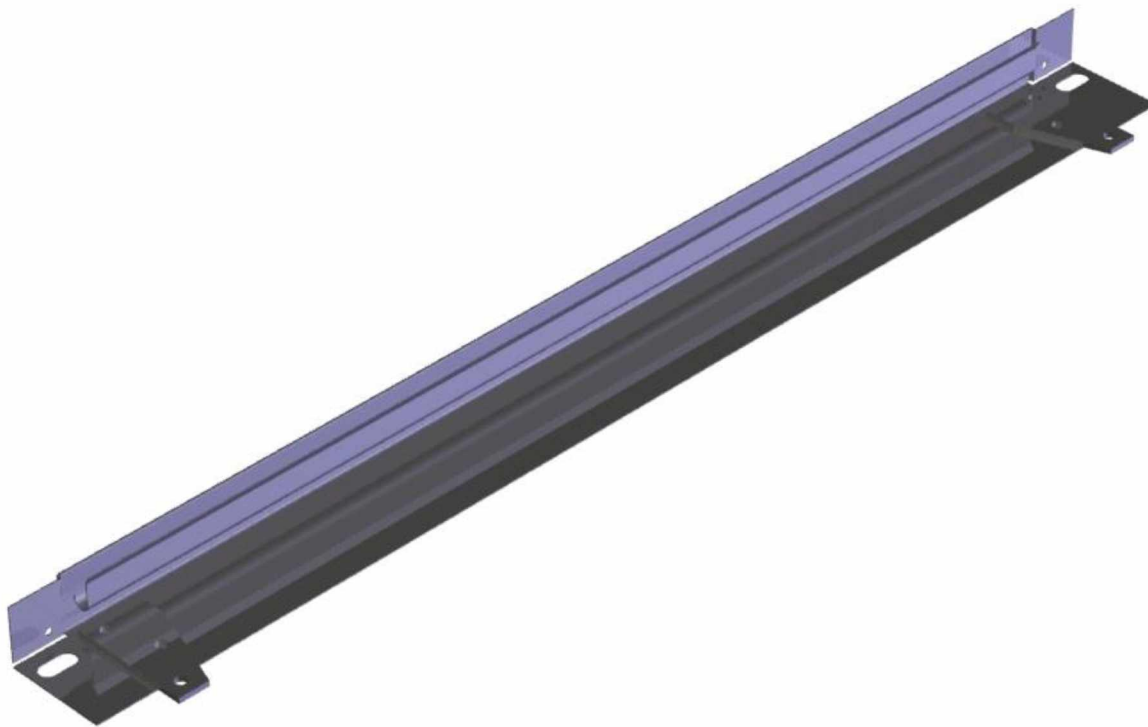


Рисунок 1.5 - Планка нижня в зборі

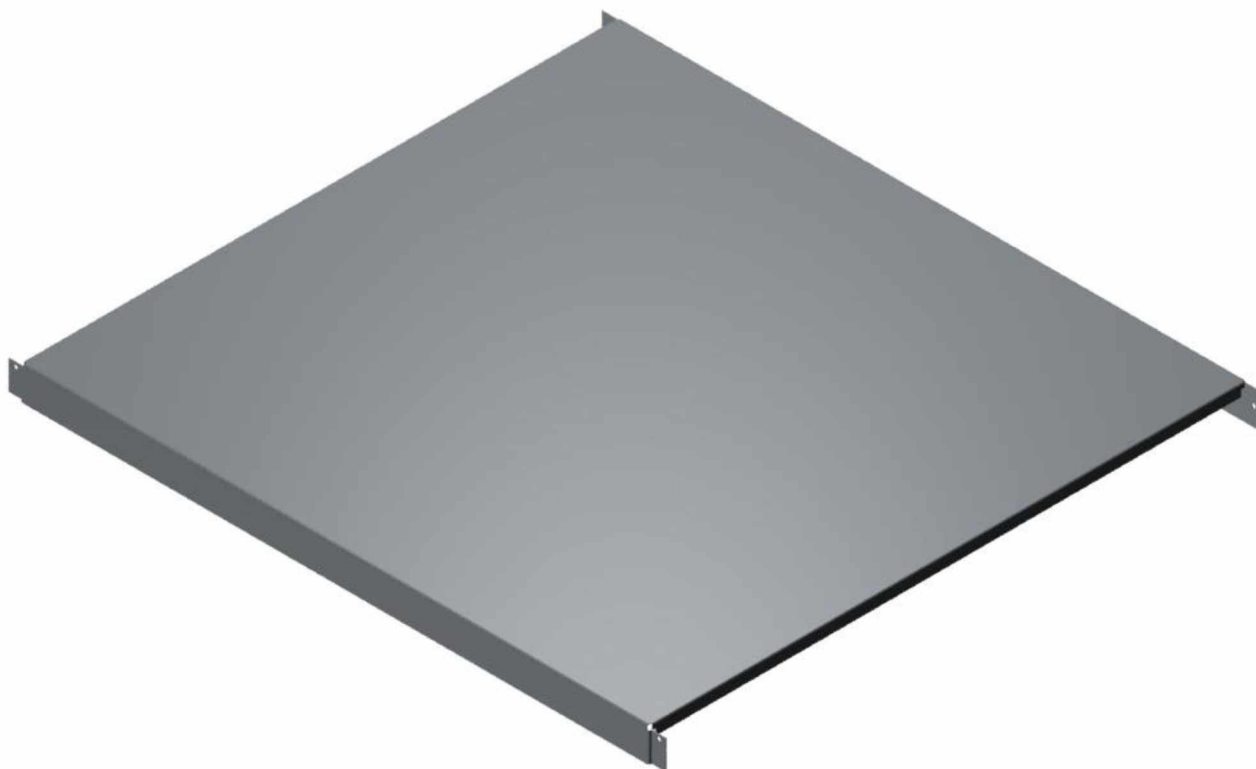


Рисунок 1.6 - Кришка

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		12



Рисунок 1.7 - Петля в зборі

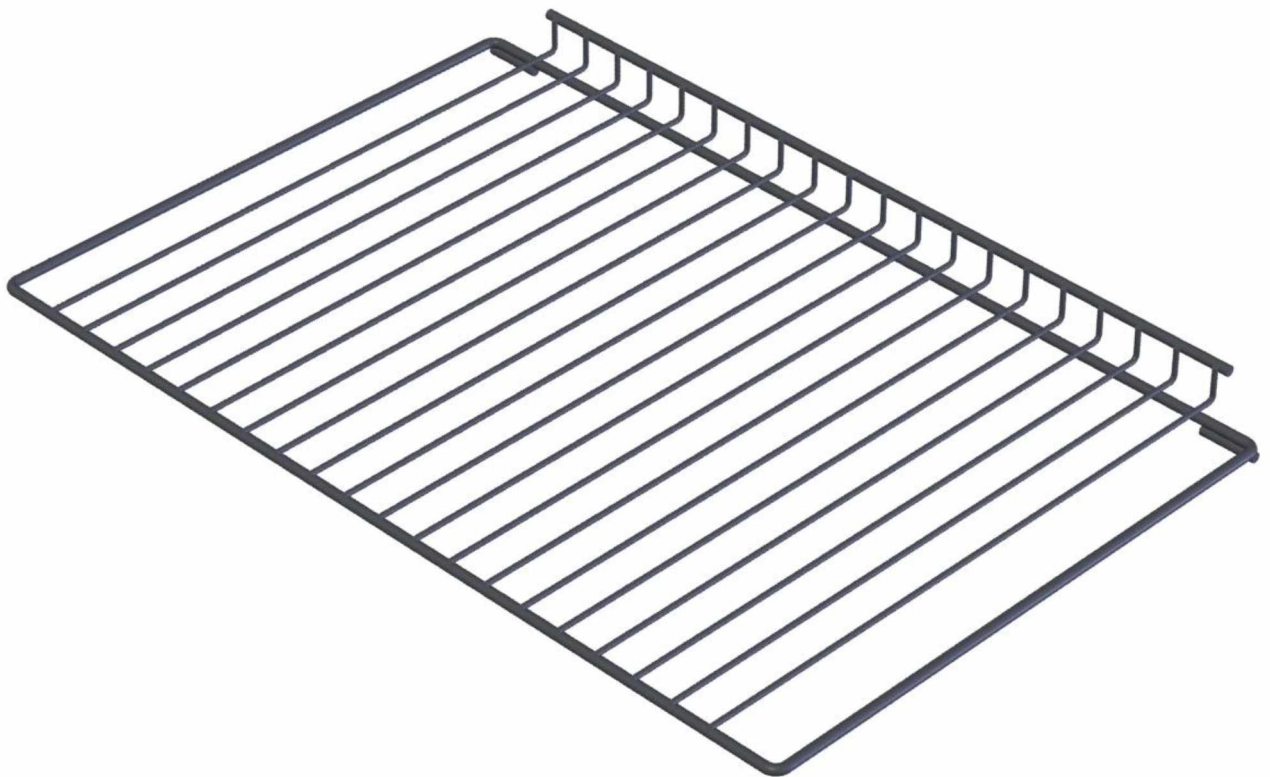


Рисунок 1.8 - Полка холодильної камери

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ

Лист

13

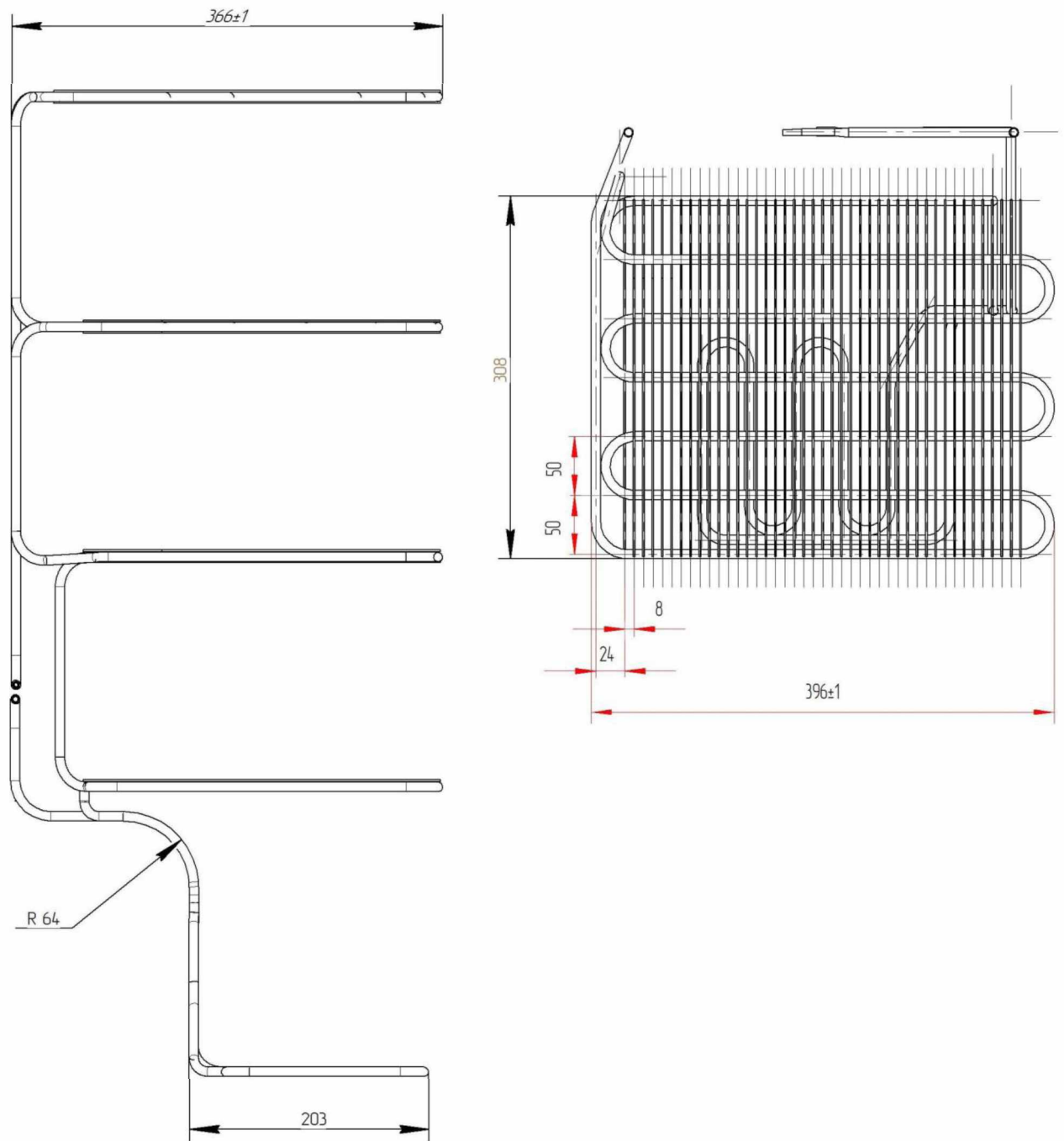


Рисунок – 1.9 – Випарник морозильної камери

Двері морозильної камери складається з наступних оригінальних деталей: панель зовнішня (Рисунок 1.10), панель внутрішня, ручка, накладка, ущільнювач дверей. Теплоізоляція дверей - пінополіуретан. Щільність ППУ - 30-32 кг/м³, не менше.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.
			Дата

ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ

Лист

14

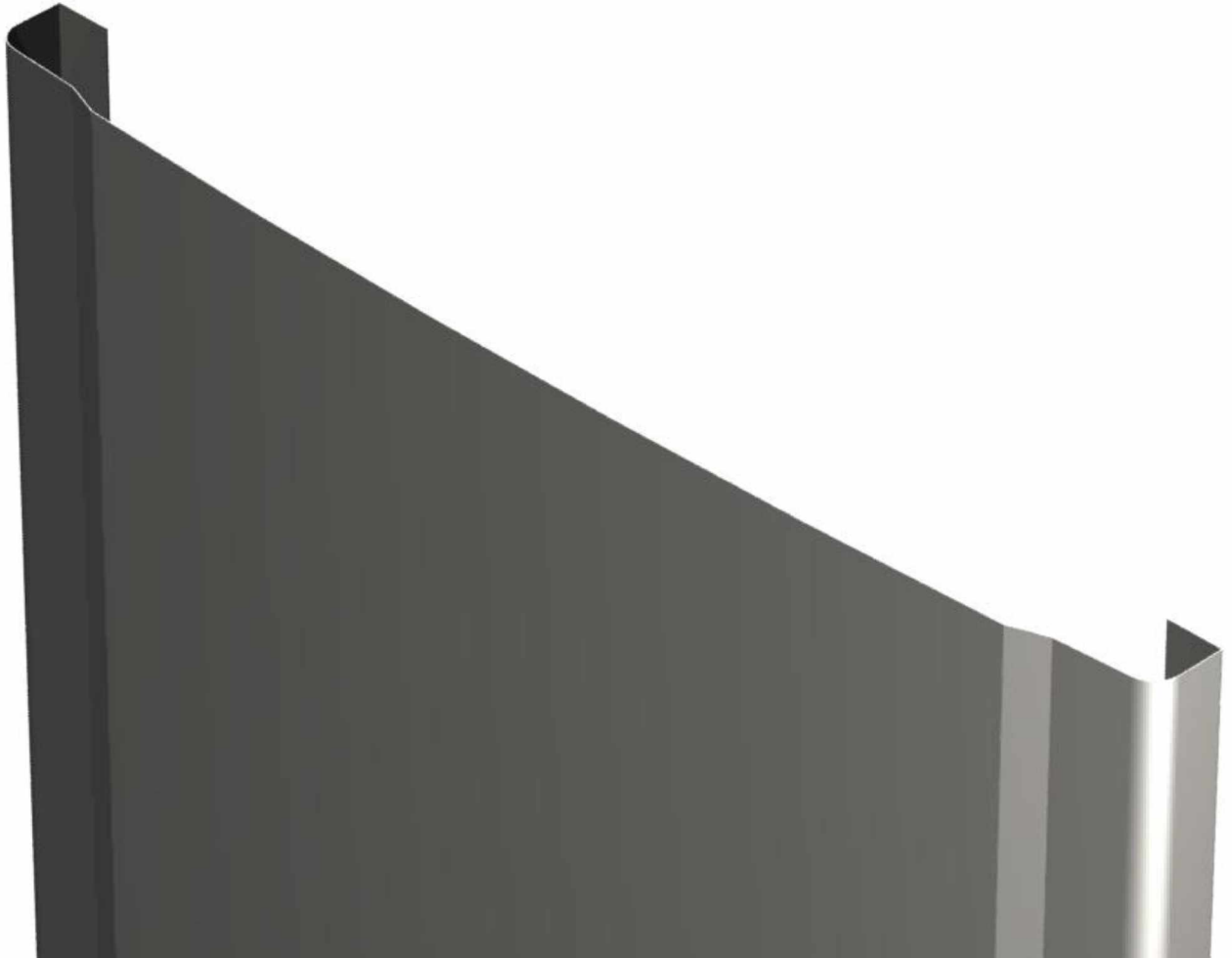


Рисунок 1.10 - Панель зовнішня двері (фрагмент)

Двері холодильної камери, ручка, накладка - серійні, ущільнювач двері. Теплоізоляція двері - пінополіуретан. Щільність ППУ - 30-32 кг/м³, не менше.

Блоки управління холодильників - серійні з необхідним зміною в частині довжини джгутів сполучних.

Конденсатор серійний. Кріплення конденсатора до шафи здійснюється 4-ма серійними кронштейнами конденсатора.

Холодоагент - R600a.

У холодильнику повинна бути передбачена можливість застосування герметичних компресорів, розміщених на опорі задньої.

Відведення талої води від задньої стінки ХК повинно здійснюватися через втулку водовідведення в посудину талої води, встановлену на компресорі. Холодильники повинні комплектуватися очищувачем водовідведення. Відтавання випарника МК має відбуватися природним чином.

Холодильник повинен комплектуватися наступними деталями:

- лопатка 1 шт .;
- форма для льоду 1 шт .;
- полка-скло 1 шт .;
- обрамлення полки-скло 1 шт .;

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		15

- решітка 1 шт .;
- посудина овочева оригінальна 1 шт .;
- бар'єр-полка велика оригінальна двері ХК 1 шт .;
- полка МК металева 1 шт .;
- обрамлення полки 1 шт .;
- посудина 1 шт .;
- кришка посудини 1 шт .;
- вкладиш 1 шт.

Холодильний прилад повинен відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 62552: 2016. «Прилади побутові холодильні. Функціональні характеристики і методи випробування» (ІЕС 62552: 20013, IDT)

За ступенем захисту від ураження електричним струмом холодильник повинен виготовлятися класу 1.

Холодильний прилад повинен бути сконструйований так, щоб була забезпечена достатня захист від випадкового контакту з струмоведучими частинами.

Конструкція і матеріали огорож.

Огороджувальні конструкції проектного побутового холодильника є багатошарові стінки, які виготовляються з наступних матеріалів: сталь, фольгокартон, пінополіуретан, полістирол.

Металева шафа, для захисту від впливу вологи покрита шаром емалі, який утворює щільний суцільний шар на поверхні шафи проектного побутового холодильного приладу. Крім захисної функції шар емалі додає шафі холодильника естетичний зовнішній вигляд, що має важливе значення в умовах сучасного ринку.

Нанесення емалі на поверхню металевих конструкцій здійснюється методом напилення. Для цієї мети використовується порошкоподібна, екологічно нешкідлива суміш. Так як товщина шару незначна (близько 0,2 мм), то при розрахунку теплопритоків через огорожі побутового холодильного приладу можна знехтувати.

Для виготовлення шафи холодильника використовується сталь 08КП. Товщина сталевих конструктивних елементів дорівнює 0,55 мм.

Для полегшення маси готового виробу в проектованому холодильнику задня стінка виготовляється з фольгокартону.

Пінополіуретан є основним теплоізоляційним матеріалом в даному холодильнику. Пінополіуретан є губчаста світло-коричнева маса. Перевагою пінополіуретану є те, що він не сприймає сторонні запахи, не гігроскопічний. Також пінополіуретан збільшує жорсткість конструкції, володіє шумопоглинаючими властивостями.

Для заливки проектного холодильника будемо використовувати пінополіуретан.

У холодильнику внутрішніми огороджувальними поверхнями є камери, виконані з полістиролу. Полістирол має гладку, білу поверхню. З поверхні полістиролу легко видаляються забруднення. Важливою перевагою полістиролу

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		16

є те, що він не пропускає вологу.

Необхідну складну поверхню внутрішнього обсягу камер отримують методом вакуумформування.

У конструкції стінок постійну товщину мають фольгокартон, полістирол, сталь, а змінюється товщина теплоізоляційного шару, тобто пінополіуретану.

1.3 Теоретичні основи розрахунку теплопритоків

Теплопередача або теплообмін - процес поширення теплоти в просторі. Під процесом поширення теплоти розуміють обмін внутрішньою енергією між окремими елементами і між областями розглянутої середовища. Перенесення теплоти здійснюється трьома основними способами: теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням [1].

Теплопровідність - молекулярний процес передачі теплоти від однієї частини тіла до іншої або між окремими дотичними тілами, якщо між ними існує температурний перепад.

Механізм передачі теплоти теплопровідністю обумовлений рухом мікроструктурних елементів тіла (електронів, атомів, молекул) і залежить від фізичних властивостей середовища.

У газах перенесення енергії теплопровідністю здійснюється за рахунок хаотичного молекулярного руху, дифузії молекул, інтенсивність якої пропорційна температурі. Відбувається зіткнення окремих молекул газу, що володіють різною кінетичною енергією, що призводить до обміну енергією теплового руху. При цьому інтенсивність руху молекул, що володіють спочатку більшої кінетичною енергією (швидкістю), зменшується, а інтенсивність руху молекул, що володіють меншою кінетичною енергією, збільшується.

У рідинах і твердих діелектриках передача теплоти здійснюється пружними хвилями внаслідок взаємодії атомів або молекул. У твердих тілах, наприклад, діелектриках, відсутні вільні електрони, а їх кристалічна решітка утворена з атомів, молекул або груп молекул. Ці частинки здійснюють коливання щодо положення рівноваги, утримувані міжатомними (міжмолекулярними) силами зчеплення. При нагріванні інтенсивність коливання грат (амплітуда коливань) збільшується і внаслідок сил зчеплення між частинками енергія коливань (енергія теплового руху) передається сусіднім верствам частинок, тобто, відбувається енергетичний обмін між частинками і шарами тіла. Цей процес передачі енергії носить хвильовий характер, подібно, наприклад, пружним звуковим хвилям дзвони, коли по ньому ударяють.

Теплопровідність діелектриків з підвищенням температури зазвичай зростає, але чисельні значення порівняно малі через повільно протікаючих процесів хвильового переносу теплоти.

Для більшості рідин теплопровідність зі збільшенням температури зменшується (виняток становлять вода і гліцерин), а з підвищенням тиску зростає.

В металах перенесення теплоти здійснюється головним чином внаслідок

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		17

дифузії вільних електронів. Частка пружних коливань кристалічної решітки в загальному процесі перенесення теплоти незначна через величезну рухливості електронів («електронного газу»). З цієї ж причини теплопровідність металів значно вище діелектриків і інших речовин. При підвищенні температури коливання кристалічної решітки не тільки сприяє переносу енергії, але в той же час створює перешкоди руху «електронного газу», що позначається на електро- і теплопровідності металів. Теплопровідність чистих металів (крім алюмінію) з підвищенням температури, зменшується, особливо різко теплопровідність знижується при наявності домішок, що пояснюється збільшенням структурних неоднорідностей, які перешкоджають руху електронів і призводять до їх розсіюванню. На відміну від металів теплопровідність сплавів зі зростанням температури збільшується.

Температурним полем називається сукупність значень температур в даний момент часу у всіх точках розглянутого простору, зайнятого тілом.

Якщо температура поля t з плином часу τ змінюється, то воно називається нестационарним і описується рівнянням:

$$t=f(x,y,z,\tau),$$

де x, y, z , - координати точки поля.

Якщо ж температура в кожній точці поля з плином часу залишається незмінною, то таке температурне поле називається стаціонарним. Температура в даному випадку є функцією тільки просторових координат x, y, z :

$$t=f(x,y,z); \partial t/\partial \tau=0$$

У кожен конкретний момент часу в температурному полі можна виділити поверхні, утворені крапками, що мають однакові температури. Такі поверхні називаються ізотермічними. У стаціонарному температурному полі ізотермічні поверхні з часом не змінюють свій вигляд і розташування, в той час як в нестационарному поле вона з часом змінюються.

Ізотермічні поверхні ніколи між собою не перетинаються. Вони або закінчуються на кордонах тіла, або замикаються на себе, цілком розташовуючись всередині самого тіла.

Температурний градієнт. Однією з важливих характеристик температурного поля є температурний градієнт, що представляє собою вектор, спрямований по нормалі до ізотермічної поверхні в бік зростання температури.

Для обґрунтування підбору площі випарника, розрахунку і підбору компресора, конденсатора, необхідно провести розрахунок теплопритоків.

Розрахунок теплопритоків виконуємо за такою формулою:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

де Q_1 - теплопритокі від огорожувальних конструкцій;

Q_2 - експлуатаційні теплопритоки;

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		

Q_3 - теплопритоки від продуктів.

Розрахунок теплопритоків від огорожувальних конструкцій.

Теплопритоки надходять в охолоджуваний об'єм через стінки шафи, двері, кришки і через днище холодильника.

Теплообмін відбувається за допомогою природної конвекції в необмеженому просторі, так як середовищем омиває холодильник є повітря, який циркулює вільно.

При розрахунку враховуємо, що холодильник буде експлуатуватися в помірному кліматичному поясі. Температуру навколишнього середовища для розрахунку приймаємо 32 °С.

Побутові холодильні прилади встановлюються на відстані 10-15 см від стіни. Так як при роботі холодильника компресор нагрівається до температури 75 °С, а конденсатор до температури 50 °С і вище, то температуру навколишнього повітря біля задньої стінки холодильника приймаємо рівною 38 °С.

Температура в холодильній камері приймаємо 4 °С, морозильної -18 °С.

Для визначення теплопритоків внаслідок теплопередачі використовується наступна формула:

$$Q = kF(t_n - t_{en}), \text{ Вт}$$

де k - дійсний коефіцієнт теплопередачі огороження, Вт/(м²град)

F - площа теплопередаючої поверхні, м².

t_n - зовнішня температура повітря, °С.

t_{en} - внутрішня температура повітря (в охолоджуваному обсязі) °С.

Коефіцієнт теплопередачі огорожі визначається за формулою:

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{en}} \right)^{-1}, \text{ Вт/(м}^2 \times \text{К)}$$

де α_n - коефіцієнт тепловіддачі стінки зовнішньої, Вт/(м²×К);

α_{en} - коефіцієнт тепловіддачі стінки внутрішньої, Вт/(м²×К);

λ_i - теплопровідність i -го шару багат шарового огороження;

δ_i - товщина i -го шару багат шарового огороження, м.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}, \text{ Вт/(м}^2 \times \text{К)}$$

де λ - теплопровідність повітря, Вт/(м²×К);

l - характерний розмір стінки. Як характерний розмір для вертикальних стінок використовується висота стінки, для горизонтальних стінок - найменша

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		19

сторона.

Для визначення критерію Нусельта використовується формула:

$$Nu = c \cdot (Gr \times Pr)^n$$

де Nu – критерій Нусельта;
 Gr – критерій Грасгофа;
 Pr – критерій Прандтля.

Значення коефіцієнта C і показника ступеня n для вертикальної і горизонтальної поверхонь в залежності від твору $(Gr \times Pr)$ наведені нижче

Умови тепловіддачі	C	n
$Gr \times Pr \leq 10^9$ – ламінарний прикордонний шар	0,8	1/4
$Gr \times Pr > 10^9$ – турбулентний прикордонний шар	0,15	1/3

Для визначення критерію Грасгофа використовуємо формулу:

$$Gr = g\beta(t_p - t_w)l^3\nu^{-2}$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;
 β - коефіцієнт вільного розширення, К^{-1} .

$$\beta = \frac{1}{T}, \text{ К}^{-1}$$

де T – абсолютна температура газу або рідини, К .

$$T = 273,15 + t, \text{ }^\circ\text{C}$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		20

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок теплопритоків в охолоджуваній об'єм через огорожі

Тепловіддачу горизонтальних плит можна наближено розраховувати за формулою. Тоді за визначальний розмір береться менша сторона плити. При цьому, якщо тепловіддаюча поверхня звернена догори, то отримане з формули значення коефіцієнта тепловіддачі збільшується на 30%; якщо донизу - зменшується на 30%.

Таким чином, розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі для огорожувальних поверхонь холодильника будемо проводити за допомогою формул:

$$Nu = C(Cr Pr)^n$$

- для вертикальних стінок,

$$Nu = 1,3C(Cr \cdot Pr)^n$$

- для горизонтальних стінок, охолоджуваних зверху;

$$Nu = 0,7C(Cr \cdot Pr)^n$$

- для горизонтальних стінок, охолоджуваних знизу.

Постійні (C) і (n) беруться з вищенаведеної таблиці.

Для визначення теплопритоків через огорожувальні поверхні холодильника задаємося значенням коефіцієнтів теплопровідності (λ), кінематичної в'язкості (ν), критерієм Прандтля (Pr) для повітря в залежності від температури. Значення наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів для повітря.

t °C	$\nu \cdot 10^{-6}$, м ² /с	λ , Вт/м·К	Pr
Повітря			
- 18	12,3	0,0234	0,712
5	13,93	0,0248	0,706
30	16,0	0,0267	0,701
40	16,96	0,0276	0,699

Наведемо значення λ для всіх матеріалів які використовуються для огорожень у таблиці 2.2.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		21

Таблиця 2.2 – Значення λ

Матеріал	λ , Вт/м·К
Сталь	59,4
ППУ	0,025
Полістирол	2,45
Фольгокартон	0,175

Наведемо графіки зміни температури повітря та матеріалів теплоізоляційних огорожень у рисунку 2.1. Значення температури зовнішнього повітря приймаються в залежності від розташування стінки холодильника.

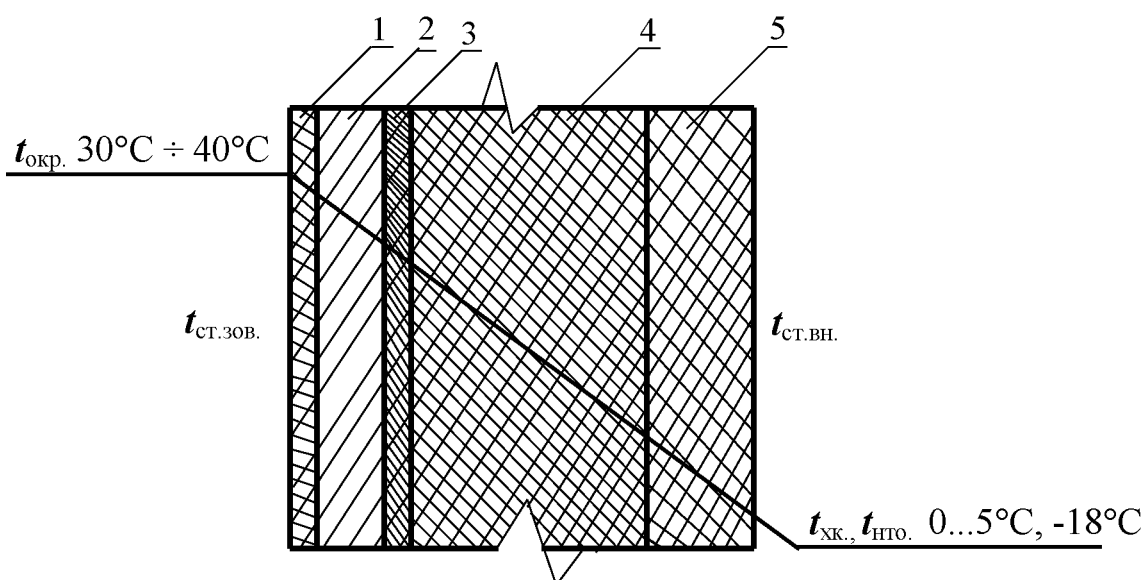


Рисунок 2.1

1 – емаль, 2 – сталь, 3 – фольгокартон, 4 – ППУ, 5 – полістирол.

$t_{\text{окр.}}$ – температура зовнішнього повітря; $t_{\text{ст.зов.}}$ – температура зовнішньої стінки; $t_{\text{ст.вн.}}$ – температура внутрішньої стінки; $t_{\text{хк.}}, t_{\text{нто.}}$ – температура повітря всередині охолоджуваних камер холодильника.

При визначенні теплопритоків в охолоджуваній об'єм холодильника необхідно знати площі всіх теплоізоляційних поверхонь. Для зручності всі дані зведемо в таблицю 2.3.

Проведемо розрахунок теплопритоків через огорожувальні конструкції на

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		22

прикладі стінки 1:

1. Задаємося температурою зовнішньої поверхні стінки $t_{\text{ст.зов.}} = 29^\circ\text{C}$
2. При температурі навколишнього повітря $t_{\text{окр.}} = 32^\circ\text{C}$ параметри його будуть наступні:

$$\begin{aligned} \nu &= 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \lambda &= 0,0267 \text{ Вт}/(\text{м} \times \text{К}); \\ Pr &= 0.701. \\ \beta &= 1/(t_{\text{окр.}} + 273) = 1/(32 + 273) = 0,0032 \text{ К}^{-1}; \end{aligned}$$

Таблиця 2.3 – Геометричні характеристики стінок.

Стінка	Визначальний розмір l , м	Площа F , м ²	Товщина ППУ δ , м
1	1,20	0,624	0,055
2	0,52	0,296	0,062
3	0,48	0,274	0,042
4	0,52	0,296	0,062
5	0,52	0,249	0,055
6	0,52	0,249	0,062
7	1,2	0,576	0,045
8	1,2	0,684	0,055
9	1,2	0,684	0,062
10	0,48	0,274	0,048
11	0,48	0,274	0,036
12	0,48	0,274	0,036

3. Обчислимо значення комплексу $(Gr \times Pr)_{\text{нар.}}$:

$$\begin{aligned} (Gr \cdot Pr)_{\text{нар.}} &= \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu^2} \\ (Gr \cdot Pr)_{\text{нар.}} &= \frac{9,81 \cdot 0,032 \cdot 3 \cdot 1,2^3}{(16 \cdot 10^{-6})^2} = 0,65 \cdot 10^7 \end{aligned}$$

4. З таблиці знаходимо значення коефіцієнтів: $C = 0,75$; $n = 0,25$;
5. Число Нуссельта

$$\begin{aligned} Nu &= C(Gr \cdot Pr)^n \\ Nu &= (0,65 \cdot 10^7)^{0,25} = 159 \end{aligned}$$

6. Коефіцієнт тепловіддачі до зовнішньої поверхні стінки

$$\alpha_{\text{нар.}} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		23

$$\alpha_{нар} = \frac{159 \cdot 0,0267}{1,2} = 3,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

7. Температура внутрішньої поверхні стінки

$$t_{ст.вн} = t_{ст.зов} - \alpha_{нар} \cdot (t_{окр} - t_{ст.зов}) \cdot \left(\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)$$

$$t_{ст.вн} = 29 - 3,55 \cdot (32 - 29) \cdot \left(\frac{0,0007}{59,4} + \frac{0,003}{2,45} + \frac{0,002}{0,175} + \frac{0,055}{0,025} \right) = 5,41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

8. При температурі повітря $t_{вк} = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ згідно з таблицею

$$\nu = 13,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$\lambda = 0,0248 \text{ Вт}/(\text{мК});$$

$$\beta = 1/(t_{окр} + 273) = 1/(0 + 273) = 0,00366 \text{ К}^{-1};$$

9. Значення комплексу

$$(Gr \cdot Pr)_{нар} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu^2}$$

$$(Gr \cdot Pr)_{нар} = \frac{9,81 \cdot 0,032 \cdot 32 \cdot 1,2^3}{(13,93 \cdot 10^{-6})^2} = 1028 \cdot 10^7$$

11. Значення коефіцієнтів: $C = 0,75$; $n = 0,25$.

12. Число Нуссельта:

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)^n$$

$$Nu = (1028 \cdot 10^7)^{0,25} = 318$$

13. Коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої поверхні стінки:

$$\alpha_{вн} = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

$$\alpha_{вн} = \frac{318 \cdot 0,0248}{1,2} = 6,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

14. Коефіцієнт теплопередачі огорожі визначається:

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_{нар}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{вн}} \right)^{-1}$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		24

$$k = \left(\frac{1}{3,55} + 2,21 + \frac{1}{6,21} \right)^{-1} = 0,37$$

15. Теплоприток через стінку 1 дорівнює:

$$Q = k \times F \times (t_{окр} - t_{хк}) = 0,37 \times 0,62 \times (32 - 0) = 7,47 \text{ Вт}$$

Аналогічно розраховуємо теплопритоки через інші стінки. Результати розрахунків теплопритоків через огорожувальні теплоізоляційні покриття представимо в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунків теплопритоків

№ огорожі	$t_{ст. нар}, ^\circ C$	$t_{ст. вн}, ^\circ C$	$Nu_{нар}$	$Nu_{вн}$	$\alpha_{нар}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	$\alpha_{вн}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	$K, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	$Q, \text{Вт}$	$\Sigma Q, \text{Вт}$
1	29	5,4	159,75	318,45	3,55	6,21	0,376	7,47	
2	29	5,39	72,13	173,83	3,15	6,66	0,36	6,289	
3	29	3,87	41,83	100,8	3,78	7,99	0,38	6,727	
4	29	5,39	72,13	173,83	3,15	6,66	0,36	6,289	
5	29	-3,66	54,37	131,05	4,92	10,39	0,34	5,43	
6	29	-9,8	46,77	84,63	2,72	4,06	0,41	5,808	
								МК	38.02
7	29	6,83	60,92	115,86	3,34	5,90	0,37	4,682	
8	29	5,4	159,75	318,45	3,55	6,21	0,376	7,47	
9	29	6,83	60,92	115,86	3,34	5,90	0,37	4,682	
10	29	4,94	68,73	130,72	3,20	5,66	0,33	4,926	
11	0	-9,8	46,77	84,63	2,72	4,06	0,41	2,45	
12	-12	4,86	111,24	125,46	5,39	6,38	0,54	-3,48	
								ХК	20.73
								Разом	58,75

Теплоприток в морозильну камеру дорівнює сумі теплопритоків через всі стінки камери

$$Q_I^{мор} = 2Q_I^1 + Q_I^3 + Q_I^4 + Q_I^5 + Q_I^6$$

$$Q_I^{мор} = 38,02 \text{ Вт}$$

Теплоприток в холодильну камеру дорівнює сумі теплопритоків через всі стінки камери

$$Q_1^{хол} = 2Q_1^1 + Q_1^3 + Q_1^4 + Q_1^5 + Q_1^6$$

$$Q_1^{хол} = 20,73 \text{ Вт}$$

Загальний теплоприток в камери холодильника через огорожі

$$Q_1^{хол} = 20,73 \text{ Вт}$$

$$Q_1^{мор} = 38,02 \text{ Вт}$$

$$Q_1 = Q_1^{хол} + Q_1^{мор}$$

$$Q_1 = 58,75 \text{ Вт}$$

Експлуатаційні теплопритоки приймаємо 50% від теплопритоків через огорожувальні конструкції холодильника

$$Q_2^{хол} = 10,36 \text{ Вт}$$

$$Q_2^{мор} = 16,01 \text{ Вт}$$

$$Q_2 = Q_2^{хол} + Q_2^{мор}$$

$$Q_2 = 26,37 \text{ Вт}$$

Для визначення теплопритоків від продуктів, що зберігаються використовуємо таку формулу:

$$Q_3 = G_{np} (i_2 - i_1) \frac{1000}{\tau \cdot 3600}$$

де - G_{np} – добова витрата продукту з камери, кг; 5 3
 i_1 – ентальпія продукту до охолодження; 134,1 134,1
 i_2 – ентальпія продукту після охолодження; 20,98 -370,1
 t - час зберігання продукту, ч.

$$Q_3^{хол} = 6,55 \text{ Вт}$$

$$Q_3^{мор} = 17,51 \text{ Вт}$$

$$Q_3 = Q_3^{хол} + Q_3^{мор}$$

$$Q_3 = 24,05 \text{ Вт}$$

Загальні теплопритоки надходять в холодильну камеру:

$$Q_0^{хол} = Q_1^{хол} + Q_2^{хол} + Q_3^{хол}$$

$$Q_0^{хол} = 37,64$$

Загальні теплопритоки надходять в морозильну камеру:

$$Q_0^{мор} = Q_1^{мор} + Q_2^{мор} + Q_3^{мор}$$

$$Q_0^{мор} = 71,54$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		26

Загальні теплопритоки надходять в обсяг холодильника:

$$Q_0 = Q_0^{хол} + Q_0^{мор}$$

$$Q_0 = 109,18 \text{ Вт}$$

2.2 Розрахунок параметрів циклу і теплових величин

Побудуємо діаграму циклу роботи холодильної машини в координатах ($\lg P - i$).

Визначимо температуру кипіння $t_{кин}$ і конденсації $t_{конд}$ холодоагенту в циклі.

$$\text{Температура кипіння } t_{кин} = t_{он} - 10 = -18 - 10 = -28 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Температура конденсації } t_{конд} = t_{н} + 10 = 38 + 10 = 48 \text{ }^\circ\text{C}$$

Знаходимо параметри холодоагенту R600a в характерних точках холодильного циклу (таблиця 2.4) використовуючи електронні таблиці Computer-Aided Thermodynamic Tables 2 (САТТ2), потім переносимо їх в програму Microsoft Excel і з її допомогою будуємо в координатах $\lg P - i$ процеси роботи холодильної машини (малюнок 2.2) і визначаємо параметри циклу і основні теплові величини. Діаграма циклу роботи холодильної машини зображена на малюнку 2.3.

Таблиця 2.4 - Параметри холодоагенту R600a в характерних точках холодильного циклу.

№	Temp, C	Pressure, MPa	Volume, m3/kg	Energy, kJ/kg	Enthalpy, kJ/kg	Entropy, kJ/kg/K	Quality
1	32	0,05061	0,8522	-27,81	15,32	0,2217	
2	102,9	0,6513	0,07573	85,54	134,9	0,2217	
2"	48	0,6513	0,05988	-17,39	21,6	-0,1037	1
3'	48	0,6513	0,001922	-281,5	-280,2	-1,043	0
3	32	0,6513	0,001844	-322,4	-321,2	-1,174	
4	-28	0,05061	0,2474	-334,3	-321,2	-1,111	0,365
1"	-28	0,05061	0,6749	-113,8	-79,68	-0,124	1

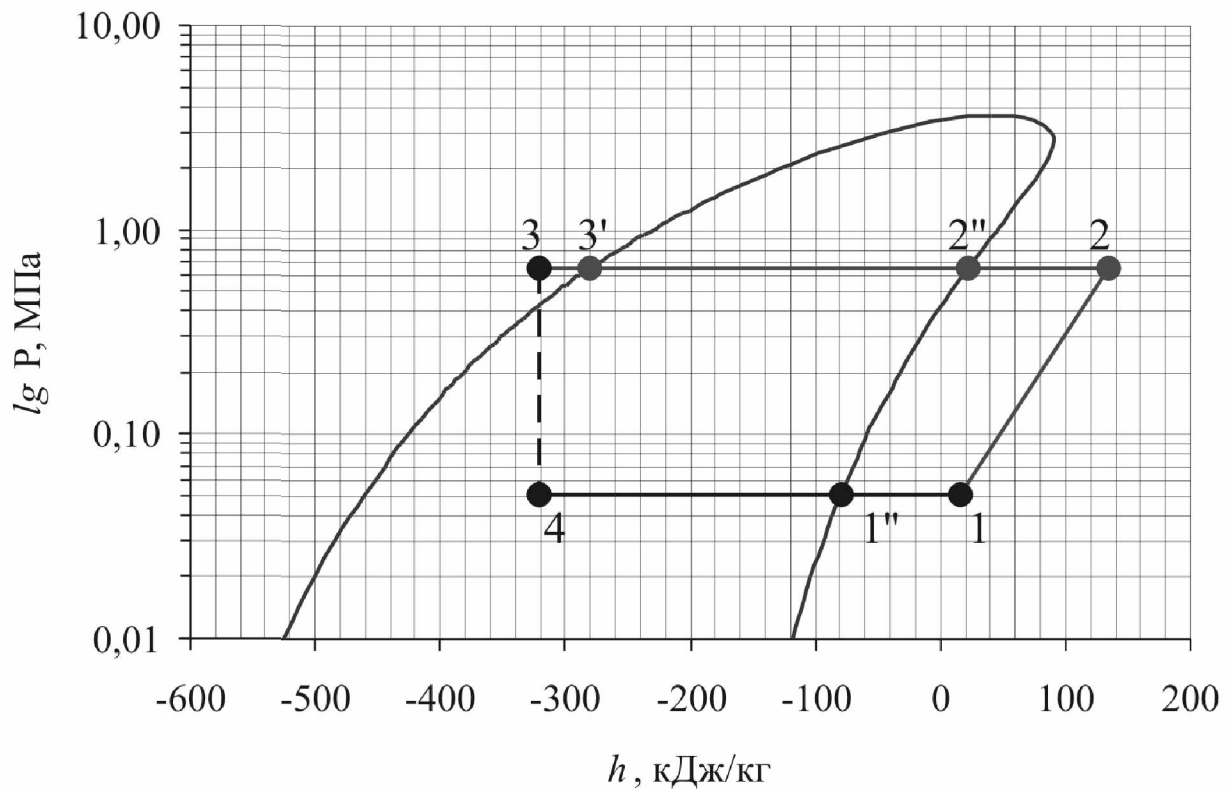


Рисунок 2.2 - Процеси роботи холодильної машини

1'' - 1 - перегрів пари на всмоктуванні; 1 - 2 - адіабатне стиснення в компресорі від $P_{\text{про}}$ до $P_{\text{до}}$; 2 - 2'' - зняття перегріву в конденсаторі; 2'' - 3' - конденсація пара в конденсаторі; 3' - 3 - переохолодження рідини; 3 - 4 - дроселювання від $P_{\text{про}}$ до $P_{\text{до}}$; 4 - 1'' - кипіння рідини в випарнику.

Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата

ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ

Лист

28

Лист	
№ Докум.	
Площ.	
Дата	

ДОННУЕТ.142.ЗЕМБ-16.2021.ПЗ

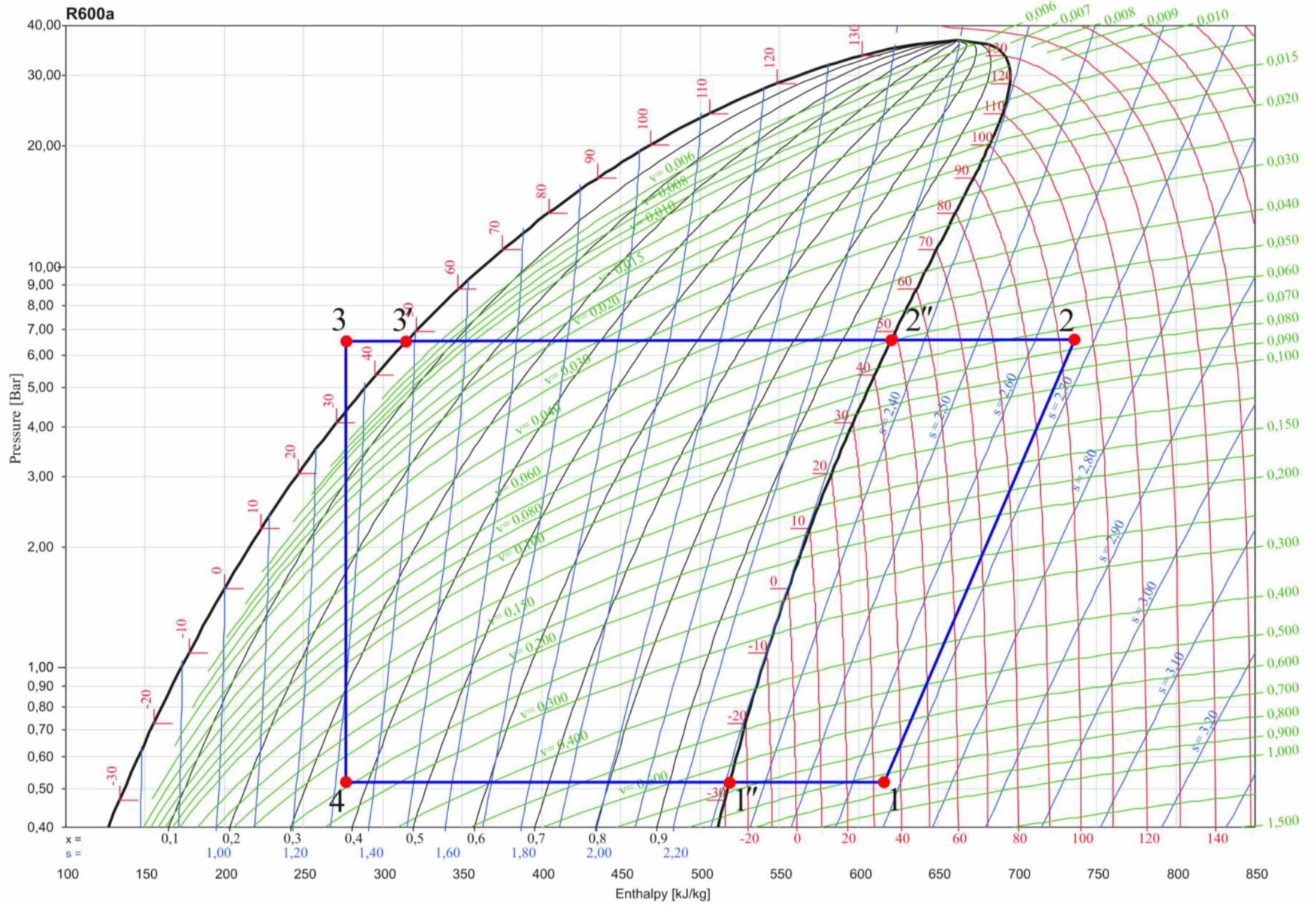


Рисунок 2.3 - Діаграма циклу компресійної холодильної машини

Параметри циклу

Питома масова холодопродуктивність циклу

$$q_0 = h_{1''} - h_4 = 241,52 \text{ кДж/кг}$$

Питома робота стиснення в компресорі

$$l_T = h_2 - h_1 = 119,58 \text{ кДж/кг}$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор

$$q_k = h_{1''} - h_4 = 415,10 \text{ кДж/кг}$$

Холодильний коефіцієнт циклу

$$e_T = q_0 / l_T = 2,02$$

Теплові величини

Холодильна камера

Теплоприток в холодильну камеру

$$Q_0 = 37,64 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт робочого часу

$$l = 0,75$$

Навантаження на компресор

$$Q_{\text{ком}} = Q_0 / l = 50,19 \text{ Вт}$$

Масова витрата пара

$$M = Q_{\text{ком}} / q_0 = 0,2078 \text{ кг/с}$$

Тепловий потік в конденсаторі (теоретичний)

$$Q_k = M \times q_k = 86,25 \text{ Вт}$$

Теоретична (адіабатне) потужність

$$N_T = M (h_2 - h_1) = 24,85 \text{ Вт}$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		30

Дійсна (індикаторна) потужність

$$N_i = N_T / \eta_i = 31,20 \text{ Вт}$$

Тепловий потік в конденсаторі (дійсний)

$$Q_k = Q_{\text{ком}} + N_i = 81,60 \text{ Вт}$$

Морозильна камера

Теплоприток в морозильну камеру

$$Q_0 = 71,54 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт робочого часу

$$l = 0,75$$

Навантаження на компресор

$$Q_{\text{ком}} = Q_0 / l = 95,39 \text{ Вт}$$

Масова витрата пара

$$M = Q_{\text{ком}} / q_0 = 0,395 \text{ кг/с}$$

Тепловий потік в конденсаторі (теоретичний)

$$Q_k = M \times q_k = 163,96 \text{ Вт}$$

Теоретична (адіабатне) потужність

$$N_T = M (h_2 - h_1) = 47,23 \text{ Вт}$$

Дійсна (індикаторна) потужність

$$N_i = N_T / \eta_i = 59,04 \text{ Вт}$$

Тепловий потік в конденсаторі (дійсний)

$$Q_k = Q_{\text{ком}} + N_i = 154,43 \text{ Вт}$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		31

2.3 Розрахунок і підбір компресора

Для підбору компресора необхідно отримане теплову навантаження на компресор $Q_{ком}$ перерахувати в потрібну холодопродуктивність компресора в стандартних умовах $Q_{ком ст}$

$$Q_{ком ст} = \frac{Q_{ком} \cdot \lambda_{ст}}{\lambda_0}$$

де $\lambda_{ст}$ - коефіцієнт подачі компресора в стандартних умовах

λ_0 - коефіцієнт подачі компресора в умовах, при яких розрахована навантаження на компресор.

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_n,$$

де λ_c – коефіцієнт, що відображає вплив мертвого простору компресора;

λ_n – коефіцієнт підігріву, що враховує підігрів всмоктуючого пара і випаровування рідини.

Для коефіцієнту λ_c вірна формула:

$$\lambda_c = 1 - C \cdot \left[\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right],$$

де C – величина мертвого обсягу, для поршневих герметичних компресорів ($C = 0,04$).

m – показник політропи розширення "залишкового газу" з мертвого об'єму, для більшості герметичних компресорів - близький до одиниці.

Прийнявши $C = 0,04$; $m = 1$, отримаємо значення коефіцієнта мертвого простору компресора $\lambda_{c ст}$ для стандартних і $\lambda_{c 0}$ розрахункових умов

$$\lambda_{c 0} = 1 - 0,04(0,6513/0,05061 - 1) = 0,52$$

$$\lambda_{c ст} = 1 - 0,04(0,772/0,07195 - 1) = 0,61$$

Коефіцієнт підігріву:

$$\lambda_{n 0} = \frac{T_0 / T_k,}{273 + (-28)} = 0,76$$

$$\lambda_{n ст} = \frac{T_0 / T_k,}{273 + (-20)} = 0,77$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		32

де T_o и T_k – абсолютні температури кипіння і конденсації.

Коефіцієнт подачі

$$\lambda_o = 0,52 \times 0,76 = 0,40$$

$$\lambda_{ст} = 0,61 \times 0,77 = 0,46$$

Холодопродуктивність компресора холодильної камери в стандартних умовах

$$Q_{ком ст} = \frac{50,19 \times 0,46}{0,40} = 57,71 \text{ Вт.}$$

Холодопродуктивність компресора морозильної камери в стандартних умовах

$$Q_{ком ст} = \frac{95,39 \times 0,46}{0,40} = 109,70 \text{ Вт.}$$

Вибираємо для холодильної та морозильної камери компресор з типоразмерного ряду компресорів виробництва вітчизняного виробника - ОКВ 7-3-К.

Технічні характеристики компресора ОКВ 7-3-К:

Холодопродуктивність, Вт, не менше 130

Питома холодопродуктивність, Вт, не менше 1,80

Споживана потужність, Вт, не більше 87

Описаний обсяг, см³ / (1ход) 6,93

Корегований рівень звукової потужності, дБА, не більше 38

Маса, кг, не більше 8,4

2.4 Розрахунок і підбір конденсатора

Розрахунок конденсатора виробляємо в наступному порядку.

Теплопередающа поверхня конденсатора визначається за формулою

$$F = Q_k / (k \times \Delta t_{cp})$$

де: Q_k – теплове навантаження на конденсатор;

k – коефіцієнт теплопередачі;

Δt_{cp} – середня різниця температур між холодильним агентом, що конденсується і охолоджуючої середовищем.

Коефіцієнт теплопередачі для конденсатора з повітряним охолодженням і дрововим оребренням приймаємо рівним [1]:

$$k = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К}),$$

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		33

Середню різницю температур між холодильним агентом, що конденсується і навколишнім середовищем для фреонових холодильних машин з повітряним охолодженням приймаємо рівною [2]:

$$\Delta t_{cp} = 10^{\circ}\text{C},$$

Для холодильної камери

$$F_x = 86,25 / (15 \times 10) = 0,57 \text{ м}^2$$

Для морозильної камери

$$F_m = 163,96 / (15 \times 10) = 1,09 \text{ м}^2$$

Загальна поверхня конденсатора

$$F_x = F_x + F_m = 1,66 \text{ м}^2$$

Застосований на базовій моделі конденсатор задовольняє зробленому розрахунку, тому в проектуваному холодильнику встановлюємо конденсатор однотипний з конденсатором базової моделі.

2.5 Розрахунок і підбір випарника

Даний розрахунок аналогічний розрахунку конденсатора.

Зводиться він до того, щоб визначити необхідну теплопередаючу поверхню.

Теплопередаючу поверхню випарника камери визначається за тепловим навантаженням на камеру з урахуванням коефіцієнта робочого часу за формулою;

$$F = Q_o / (l \times k \times \Delta t),$$

де: Q_o – загальні теплопритоки що надходять в камеру, Вт;

l – коефіцієнт робочого часу;

k – коефіцієнт теплопередачі ($k = 7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C})$)

Δt – різниця між температурою кипіння холодоагенту і температурою повітря в камері, $^{\circ}\text{C}$.

Теплопередаюча поверхня випарника холодильної камери

$$F = 37,64 / (0,75 \times 7 \times 10) = 0,72 \text{ м}^2$$

Розрахункове значення необхідної поверхні $0,72 \text{ м}^2$. Випарник холодильної камери розміщується на задній стінці. Розмір рівній гладкій поверхні задньої

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		34

стілки камери холодильника - $0,87 \times 0,50 \text{ м}^2$. Тому приймаємо випарник з розмірами $0,87 \times 0,50 \text{ м}^2$ і теплопередаючої поверхнею $F= 0,435 \text{ м}^2$, який займає всю рівну поверхню задньої стінки.

Теплопередаюча поверхня випарника морозильної камери

$$F = 71,54 / (0,75 \times 7 \times 10) = 1,36 \text{ м}^2$$

Поверхня полки-випарника застосовуваної в морозильній камері $0,35 \text{ м}^2$
Блок випарника складається з чотирьох полиць, загальна поверхня блоку випарника $1,4 \text{ м}^2$.

Приймаємо випарник загальною поверхнею блоку випарника $1,4 \text{ м}^2$.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		35

3.ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Аналіз проектового побутового холодильника.

Проектований побутовий двокамерний холодильник об'ємом 350 л (обсяг холодильної камери – 250 л, об'єм морозильної камери – 100 л) призначений для заморожки і тривалого зберігання продуктів. Двокамерний холодильник виконаний у вигляді шафи прямокутної форми. Зовнішні стіни шафи виконані із сталевих листів, покритих білою емаллю. Внутрішні стінки виконані з полістиролу. Простір між зовнішньою і внутрішньою стінками заповнено теплоізоляційним матеріалом - пінополіуретаном.

Компресор розташований в нижній задній частині холодильника-морозильника. Конденсатор виконаний у вигляді змійовика і розташований на задній стінці. Компресор холодильника-морозильника працює від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

За ступенем небезпеки ураження електричним струмом приміщення, в якому передбачається експлуатувати двокамерний холодильник, без підвищеної небезпеки.

Так як деякі вузли холодильника знаходяться під напругою, що ставлять під загрозу життя людини, то необхідно передбачити заходи щодо забезпечення електробезпеки.

Система холодильника знаходиться під дією надлишкового тиску, тому є потенційна небезпека руйнування її під дією перепадів тиску.

Холодильним агентом проектового холодильника є хладон R600a. Даний холодильний агент є екологічно чистим. Цей холодоагент не руйнує озоновий шар, не сприяє появі парникового ефекту. Холодильні агрегати з R600a характеризуються меншим рівнем шуму через низький тиск в робочому контурі холодоагенту. Однак, він має такі недоліки: горючий, малий граничний допуск дози заправки, недостатній рівень тиску в контурі охолодження. Ізобутан легко запалюється і вибухонебезпечний. Займистість ізобутану при з'єднанні з повітрям: при об'ємній частці холодоагенту 1,5% (38 г/м³) - нижня межа вибуховості, при об'ємній частці холодоагенту 8,5% (203 г/м³) - верхня межа вибуховості. Мінімальна температура займання дорівнює 460 °С.

У зв'язку з вищевказаним, проектований побутової двокамерний холодильник потенційно володіє наступними небезпечними і шкідливими факторами:

- використання електричного струму з небезпечною напругою;
- наявність в системі надлишкового тиску;
- шум і вібрація;
- використання вибухонебезпечного холодоагенту R600a (ізобутан).

3.2 Обґрунтування вибору матеріалів

Для виготовлення холодильника використані наступні матеріали: сталь,

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		36

алюмінієвий сплав, пінополіуретан, мідь, фольгокартон, полістирол, емаль, тощо.

Зовнішній шафа холодильника виготовлений зі сталі 08КП. Виготовлення шафи з даного матеріалу забезпечує достатню міцність і жорсткість конструкції. Зовнішня поверхня покрита емаллю для додання морозильниці естетичного зовнішнього вигляду і захисту від корозії.

В якості теплоізоляційного матеріалу в холодильнику використовується пінополіуретан, на відміну від раніше використовуваної скловати, має низку переваг: не подразнює шкіру, не сприймає сторонні запахи, є гарним поглиначом шуму і вібрації, не гігроскопічний, а також є діелектриком, так як він володіє спіненою структурою з великою кількістю мікропорожнеч.

Внутрішній шафа холодильника, панелі дверей, виготовляються з полістиролу дозволеного до використання в харчовій промисловості.

Гладка поверхня полістиролу має естетичний зовнішній вигляд і забезпечує хорошу санітарну обробку. Полістирол практично не сприйнятливий до сторонніх запахів, має достатню міцність.

Кожух компресора виготовлений зі сталі 09Г2С, що забезпечує достатню його міцність.

Конденсатор холодильника виготовлений із сталевих трубок, має дротове ребра для збільшення поверхні теплопередачі. Конденсатор покритий шаром емалі для захисту від корозії.

3.3 Забезпечення безпеки конструкції

Конструктивними рішеннями для забезпечення безпеки проектованої моделі побутового холодильника передбачено:

- розміщення компресорів і конденсатора за задньою стінкою холодильника, що в значній мірі знижує ймовірність опіку (в процесі роботи компресор нагрівається до температури 75 °С, а конденсатор - до 55 °С);
- зміщення центру ваги холодильника до його основи шляхом розміщення там компресорів, цей захід підвищує стійкість виробу і знижує ймовірність його перекидання;
- ущільнення двері гнучкими магнітами забезпечує надійну ізоляцію внутрішнього обсягу шафи від впливів зовнішнього навколишнього середовища;
- застосування пускозахисна реле забезпечує пуск двигуна, а також захист двигуна від струмових перевантажень;
- заземлення немеханічних елементів конструкції холодильника;
- на компресорі, що працює на холодоагенті R600a, повинна бути етикетка жовтого кольору з попередженням про займисті газі;
- розміщення терморегулятора з переключаючими контактами в пульті управління під верхньою кришкою холодильника;
- застосування додаткової захисної кришки в пускозахисна реле для герметизації переключаючих контактів;
- патрон лампи освітлення камери має спеціальний герметизуючий поясок;

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		37

вимикач освітлення холодильної камери розташований в виносному блоці управління, штовхач закритий герметизуючим чохлам;

- основний напрямок забезпечення безпеки при експлуатації малої холодильної техніки, що працює на ізобутані, цей поділ просторів з циркулюючим холодоагентом і перемикає електричними приладами; одне з рішень в цій частині - запінювання випарника в холодильній шафі;

- термостати потрібно виконувати герметичними, запобігши тим самим просочування газоподібного холодоагенту до переключаючим контактам;

- випарник виконують виключно герметичним;

Вказівки щодо застосування повинні містити інформацію та попередження щодо безпечного поводження, такі як: не користуватися скребками при розморожуванні випарників і встановлювати побутовий прилад в кімнаті, в якій на 1 м³ простору доводиться не менше 8 г холодоагенту.

Компресор з безпеки повинен відповідати вимогам ДСТУ ІЕС 60335-3-34, по 1 класу захисту від ураження електричним струмом. Холодильний агрегат повинен бути герметичним.

Пайка стиків трубопроводів блоку випарників і холодильного агрегату повинна бути щільною і герметичною. Залишки флюсу повинні бути видалені. Місця пайки повинні бути зафарбовані.

3.4 Розрахунок захисного заземлення.

Щоб уникнути ураження електричним струмом при експлуатації холодильника передбачено захисне заземлення. Ступінь захисту від вражений електричним струмом класу 1.

На корпусі компресора є заземлюючий болт, який позначається. 

Розрахунок захисного заземлення проводиться з використанням ПЕОМ за наступними вихідними даними:

довжина труб	1,45 м
відстань між трубами	1,5 м
розташування труб	в ряд
вид ґрунту	торфовище

За даними розрахунку найбільш оптимальним варіантом є варіант №7, якому відповідає мінімальне число труб $Z = 4$; коефіцієнт підвищення опору $k = 1,5$; коефіцієнт зменшення опору $k = 0,88$.

Розрахунок і пристрій заземлення виконані згідно ГОСТ 12.1.030-81. Згідно ГОСТ 12.1.030-81 опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

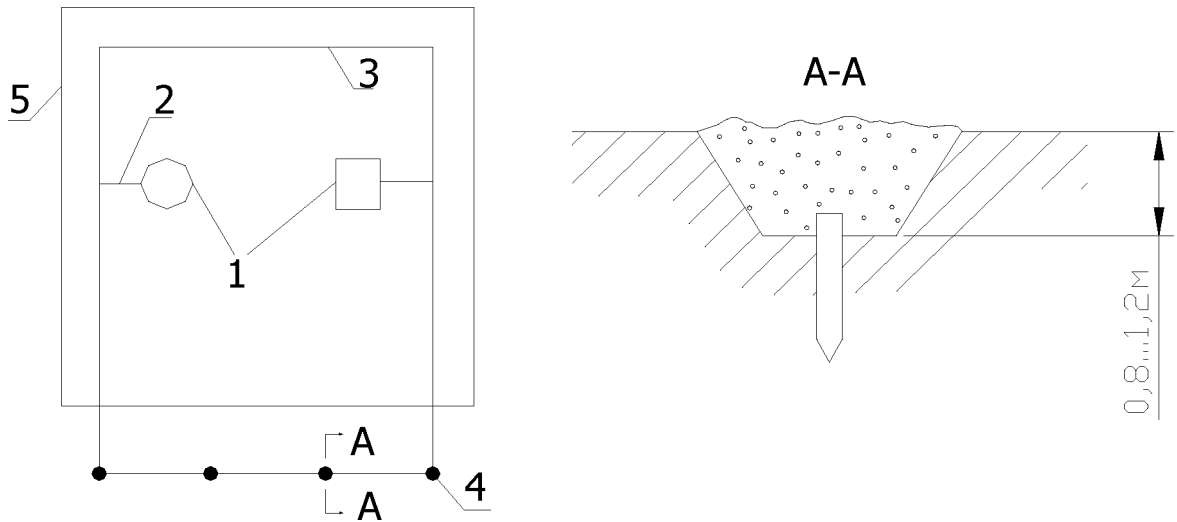


Рисунок 3.1. Принципова схема захисного заземлення.

У схему входять: 1 - електрообладнання; 2 - заземлення; 3 - транзитна шина; 4 - штучні заземлювачі; 5 - контури цеху.

Металеві конструктивні елементи приєднані до заземлювального провідника, який в свою чергу приєднаний до транзитної шини. Приєднання заземлюючого провідника до корпусу - болтове, до транзитної шини - болтове або шляхом зварювання. Виступаючі з траншеї кінці трубчастих заземлювачів з'єднані між собою сталеву смугою шляхом зварювання; транзитна шина приєднується до сталевій смузі шляхом зварювання не менше ніж у двох місцях. Загальний опір заземлюючого пристрою прийнято 4 Ом

Розрахунок ізоляції провідників здійснюється за формулою:

$$R_{из} = \frac{U}{1000 + \frac{N}{100}}; \text{МОм}$$

де U - напруга в мережі, В;
 N - споживана потужність, Вт;

$$R_{из} = \frac{220}{1000 + \frac{0,09}{100}} = 0,220 \text{МОм}$$

Опір ізоляції отримане при розрахунку є достатнім для забезпечення захисту від ураження електричним струмом. Прийmemo опір ізоляції провідників 0,5 МОм.

Розрахунок плавких запобіжників проводиться таким чином. Визначають номінальний струм працює електроустановки:

$$I_n = \frac{P}{U} = \frac{85}{220} = 0,39 \text{А}$$

де P - споживана потужність електроустановки, Вт,
 U - напруга в мережі, В,
Знаходять величину пускового струму:

$$I_n = K_n \times I_n = 5 \times 0.39 = 1.93 \text{ А}$$

де $K_n = 5...7$ - кратність пускового струму.

Визначають величину струму плавкої вставки

$$I_{пл} = I_n / K_u = 1.93 / 2 = 0.97 \text{ А}$$

де $K_u = 1,6...2,5$ - коефіцієнт інерційності плавкою вставки.

За чисельним значенням $I_{пл}$ підбирають з наявної номенклатури запобіжник з найближчої величиною струму руйнування його плавкою вставки.

Приймаємо запобіжник, розрахований на напругу $U = 220\text{В}$ і з величиною струму плавкої вставки рівній 1А.

3.5 Розрахунок рівня шуму

Рівень шуму, що створюється компресором розраховується за формулою:

$$L = 10 \lg N + 20 \lg n + 8...10 \text{ дБ};$$

де N - потужність на валу кВт;

n - частота обертання валу об/мин.

$$L = 20 \lg 3000 + 8 = 77.5 \text{ дБ}.$$

В даному випадку шафа холодильника є огорожа, тому необхідно врахувати ослаблення шуму. Розрахунок зниження шуму від огорожувальної поверхні виконуємо за формулою:

$$L_{огр} = 23 \lg m_{огр} - 13 \text{ дБ};$$

де $m_{огр}$ - маса 1м^2 огорожі $\text{кг}/\text{м}^2$.

$$L_{огр} = 23 \lg 16,3 - 13 = 35.4 \text{ дБ};$$

Загальний рівень шуму, створюваний компресором визначимо за формулою:

$$L_{общ} = L - L_{огр} \text{ дБ};$$

$$L_{общ} = 77,5 - 35,4 = 42.1 \text{ дБ};$$

Отримане значення шуму входить в область допустимих значень.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		40

3.6 Розрахунок гумових віброізоляторів.

Розрахунок віброізоляторів виробляємо за наступними даними:

вага компресора	82 Н
ефективність віброізоляції	1,75
Твердість по Шору	до 40
Частота обертання двигуна	50

За результатами розрахунку вибираємо найбільш оптимальний варіант 36 якому відповідають: кількість стовпчиків $N = 4$; загальна площа віброізоляторів $S = 0,00027 \text{ м}^2$; повна висота віброізолятора $H = 0,0092 \text{ м}$. Даний варіант вважаємо оптимальним, так як йому відповідають мінімальне число віброізоляторів і мінімальна площа при прийнятної висоті. Площа, яка припадає під одну опору становить $S_1 = S/4 = 0,00067 \text{ м}^2$, що не перевищує площу однієї опорної поверхні $0,0025 \text{ м}^2$.

3.7 Забезпечення ергономічних вимог.

Двокамерний холодильник має зручну ручку дверей, розташовану на висоті найбільш зручною для експлуатації, тобто для відкривання дверцят не потрібно наклоняться або відчувати інші незручності. Холодильник пофарбований у білий колір з матовим відтінком, не відображає світло, тим самим не викликає втоми очей.

Двокамерний холодильник має оригінальний дизайн зовнішньої поверхні, накладні ручки, принципово нову конструкцію дверей, новий дизайн посуду, ламіновану внутрішню поверхню, антибактеріальне покриття.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		41

ВИСНОВКИ

У процесі дипломного проектування був розроблений двокамерний холодильник-морозильник із загальним обсягом 350 м³.

В результаті розробки збільшений об'єм морозильної камери двокамерного холодильника до 100 м³.

Розроблений двокамерний холодильник-морозильник розширює номенклатурний ряд вітчизняних побутових холодильних приладів, збільшення обсягу морозильної камери покращують його споживчі властивості.

Виконано аналіз сучасних тенденцій розвитку побутової холодильної техніки. На підставі аналізу запропоновано компоновка холодильника, конструктивні особливості холодильника і його вузлів і деталей. Запропоновано сучасні дизайнерські рішення, елементи комфортності.

Наведено теоретичні основи теплового розрахунку побутових холодильників.

Виконано розрахунки теплопритоків, що надходять в охолоджуваній об'єм камер двокамерного холодильника-морозильника через огороження. Розраховані функціональні вузли і комплектуючі забезпечують його працездатність. На підставі розрахунку підібрані компресор, конденсатор і випарники.

Виконано необхідні розрахунки для забезпечення вимог з охорони праці. На підставі розрахунків підібрано захисне заземлення двокамерного холодильника-морозильника. Завдяки віброізоляторам, встановленим під компресором, рівень шуму не перевищує допустимих норм. Двокамерний холодильник-морозильник задовольняє ергономічним вимогам.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		42

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.І. Зеліковській. Малі холодильні машини і установки. Малі установки. Справочник.-М.: Машинобудування, 1986.
2. Е.С. Вайнберг, Л.Н. Вайн. Побутові компресійні холодильники. - М: Харчова промисловість, 1974.
3. В.Б. Якобсон. Малі холодильні машини. - М: Харчова промисловість, 1977.
4. Г.З. Свердлов, Б.К. Явнель. Курсове та дипломне проектування холодильних установок і систем кондиціонування повітря. -М.: Харчова промисловість, 1978-264с.
5. М.А. Міхеєв, Н.М. Міхеєва. Основи теплопередачі. -М.: Енергія. +1972.
6. В.П. Ісаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. Теплопередача. -М: Енергія, 1969.
7. Ф.Е. Мещеряков. Основи холодильної техніки і холодильної Технології.- М.: Харчова промисловість, 1975.
8. Осокін В.В., Селезньова Ю.А. "Удосконалення теплоенергетичних характеристик побутових холодильників на основі дослідження повітрообміном процесів в їх компресорно-конденсаторні відділенні", Донецьк, ДонДУЕТ, 2001.
9. Бабакин Б.С., Вигодін В.А. "Побутові холодильники і морозильники". -М.: Колос, 1998.-с.33-34.
10. Осокін В.В., Сорока І.В., Селезньова Ю.А. "Охорона праці у торгівлі. Підручник для студентів торговельно-економічний і комерційних вузів". - Донецьк, ДонДУЕТ, 2003.-228 с.

					ДонНУЕТ.142.зЕМБ-16.2021.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ Докум.	Подп.	Дата		43