

Міністерство освіти і науки України

Одеський національний технологічний університет
Кафедра холодильних установок і кондиціонування повітря



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Дослідження використання акумулювання холоду при транспортуванні харчових продуктів в авторефрижераторі

Здобувача

Лободенко В.В.

(прізвище, ініціали)

4

курсу ХМ- 741а групи

Керівник

доц. Подмазко О.С.

(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: проф. каф. ХУКП Хмельнюк М.Г.

доц. каф. ХУКП Когут В.О.

(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 28.05.2026 р. протокол № 10

Завідувач кафедри ХУКП _____
(назва кафедри) (підпис)

Михайло ХМЕЛЬНЮК
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2026 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут	Холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського
Кафедра	Холодильні установки і кондиціонування повітря
Ступінь вищої освіти	Бакалавр
Спеціальність	142 Енергетичне машинобудування
Освітня програма	Холодильні машини, установки і кондиціонування повітря

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.

«16» березня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА Лободенко Василя Васильовича

- Тема роботи: Дослідження використання акумулювання холоду при транспортуванні харчових продуктів в авторефрижераторі
Затверджена наказом академії від 26.09.2025 р. наказ № 499-03
- Термін здачі здобувачем закінченої роботи 30.05.2026 р.
- Вихідні дані роботи: Авторефрижератор. Розміри фургону: довжина 5,5 м. ширина 2,5м. висота 2,5м. Температури кипіння: $t_0 = -8$ та -30 °C. Робочі речовини R-134a та R-404a Евтектичні акумулятори
- Перелік питань, які потрібно розробити:
Вступ. Технічні характеристики авторефрижератора. Тепловий розрахунок і підбір компресорів. Розрахунки: конденсатора, повітроохолоджувача. Порівняльний аналіз роботи ХУ авторефрижератора на R134a та R404a Акумулювання холоду. Охорона праці. Цивільний захист. Економічна частина. Список використаної літератури
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Авторефрижератор. Повітряний конденсатор. Повітроохолоджувач. Компресор. Евтектичні акумулятори холоду.

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

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Когут В.О., доц. ХУКП	01.02.2026р.	15.05.2026 р.
Цивільний захист	Хмельнюк М.Г., проф. ХУКП	01.02.2026р.	15.05.2026 р.
Економічна частина	Хмельнюк М.Г., проф. ХУКП	01.02.2026р.	15.05.2026 р.

7. Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

Керівник _____

Подмазко Олександр Степанович

Завдання прийняв до виконання _____

Лободенко Василь Васильович

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. Технічні характеристики авторефрижератора	15.02.2026	виконав
2	Тепловий розрахунок і підбір компресорів.	01.03.2026	виконав
3	Розрахунки: конденсатора, повітроохолоджувача.	15.03.2026	виконав
4	Порівняльний аналіз роботи ХУ авторефрижератора на R134a та R404a	01.04.2026	виконав
5	Акумуляування холоду. Охорона праці.	15.04.2026	виконав
6	Цивільний захист. Економічна частина	01.05.2026	виконав
7	Висновки	15.05.2026	виконав

Здобувач-дипломник _____ Лободенко Василь Васильович

Керівник роботи _____ Подмазко Олександр Степанович

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

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

Здобувач-дипломник Лободенко Василь Васильович _____

РЕФЕРАТ

Виконав: бакалавр гр. ХМ-741а Лободенко Василь Васильович

Керівник: Подмазко Олександр, доцент, к.т.н.

Тема роботи: ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЮВАННЯ
ХОЛОДУ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ В
АВТОРЕФРИЖЕРАТОРІ

Об'єкт дослідження: Авторефрижератор

Для транспортування харчових продуктів використовуються такі види транспорту, як залізничний, морський та автомобільний. Останній найбільше дорогий, але дозволяє доставити продукти в будь який пункт призначення. Оскільки харчовий продукт, це продукт, що швидко псується, то потрібно забезпечити відповідну температуру для його транспортування. Раніше для цього використовували лід, сіль, сухий лід (вуглекислота в твердому стані), зеротери. Вараз для цього використовують авторефрижератори, які мають холодильну установку, або евтектичні акумулятори. Перші потребують дизель генератори, а другі ні. В кваліфікаційній роботі проведені розрахунки: тепло припливів, холодильник циклів для перевезення охолоджених продуктів ($t_0 = -8^{\circ}\text{C}$) та заморожених ($t_0 = -30^{\circ}\text{C}$), повітряного конденсатора, повітроохолоджувача. Проведений порівняльний аналіз роботи холодильної установки авторефрижератора на робочих речовинах R-134a та R-404a. Розглянуті питання використання евтектичних приборів для транспортування харчових продуктів в залежності від їх виду, та температур, які вони потребують.

Також в кваліфікаційній роботі приділено увагу охороні праці, цивільному захисту та економічним питанням.

					Досл. використання акумуля. холоду при транспорт. харчових прод. в автореф								
Змн.		№ докум.	Підпис	Дата	ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА				Літ.		Маса	Масштаб	
Розроб.		Лободенко В.В..											
Перевір.		Подмазко О.С.											
Т. Контр.													
Реценз.									Арк.		4	Аркушів 85	
									ОНТУ гр. ХМ-741а				
Н. Контр.													
Затверд.													

Кількість ілюстрацій - 38, таблиць – 31, література - 14

Ключові слова: АВТОРЕФРИЖЕРАТОР, КОМПРЕСОР, КОНДЕНСАТОР, ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧ, РАБОЧА РЕЧОВИНА, ТЕМПЕРАТУРИ КИПІННЯ, КОНДЕНСАЦІЇ.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Prepared by: Vasyl Vasylovych Lobodenko, Bachelor's student, Group HM-741a

Supervisor: Oleksandr Podmazko, Associate Professor, Ph.D. in Engineering

Thesis Topic: RESEARCH INTO THE USE OF COLD ACCUMULATION IN TRANSPORTING FOOD IN A REFRIGERATED VEHICLE

Subject of Study: Refrigerated Truck

Food products are transported by rail, sea, and road. Road transport is the most expensive, but it allows products to be delivered to any destination. Since food products are perishable, it is necessary to maintain the appropriate temperature during transport. Previously, ice, salt, dry ice (solid carbon dioxide), and zero-temperature containers were used for this purpose. Now, refrigerated trucks equipped with refrigeration units or eutectic accumulators are used. The former require diesel generators, while the latter do not. This thesis includes calculations of: heat inflows, refrigeration cycles for transporting chilled products ($t_0 = -8^{\circ}\text{C}$) and frozen products ($t_0 = -30^{\circ}\text{C}$), air condensers, and air coolers. A comparative analysis of the operation of a refrigerated truck's refrigeration system using the refrigerants R-134a and R-404a was conducted. The use of eutectic devices for transporting food products depending on their type and the temperatures they require was examined.

The thesis also addresses occupational safety, civil protection, and economic issues.

Number of illustrations: 38; tables: 31; references: 14

Keywords: REFRIGERATOR, COMPRESSOR, CONDENSER, AIR COOLER, REFRIGERANT, BOILING AND CONDENSATION TEMPERATURES.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	12
1. Технічні характеристики авторефрижератора	15
2. Розрахунок тепло припливів.....	
3. Тепловий розрахунок і підбір компресорів.	19
4. Розрахунок конденсатора	29
5. Розрахунок повітроохолоджувача	
6. Порівняльний аналіз роботи ХУ авторефрижератора на R134a та R404a	
7. Акумуляування холоду.	
8. Охорона праці.....	32
9. Цивільний захист.....	
10. Економічна частина.....	55
Висновки	84
Список використаної літератури	85

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Для транспортування харчових продуктів використовуються такі види транспорту, як залізничний, морський та автомобільний. Останній найбільше дорогий, але дозволяє доставити продукти в будь який пункт призначення. Оскільки харчовий продукт, що швидко псується, то потрібно забезпечити відповідну температуру. Раніше для цього використовували лід, сіль, сухий лід (вуглекислота в твердому стані), зеротери. Зараз для цього використовують авторефрижератори, які мають холодильну установку, або евтектичні акумулятори. Перші потребують дизель генератори, а другі ні.

Принцип роботи, будову та головні типи автомобільних рефрижераторів

Рефрижератор - це свого роду напівпричіп, основна частина якого зветься ізотермічний фургон. Він закритий спеціальними сендвіч-панелями, а всередині встановлене холодильне обладнання. Використовується вантажівка для перевезення товару, що вимагає спеціальних умов зберігання: заморожених напівфабрикатів, морозива, молочної продукції тощо.

Потужне холодильне обладнання здатне регулювати температуру всередині напівпричепа в діапазоні від -20 до +12 градусів, створюючи саме умови перевезення, які потрібні вантажу.



Автомобільні рефрижератори					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			8

Вітчизняні транспортні компанії широко використовують автомобільні рефрижератори. Причому потреба у перевезеннях існує не лише влітку, а й узимку. Ціна транспортування вантажу в такій машині трохи вища, ніж іншими видами вантажівок.

Напівпричіп, крім основної функції рефрижератора, може використовуватися як льодовик або приміщення, що зберігає тепло. В такому випадку як холодоагент можуть бути використані евтектичні плити, лід, як сухий, так і водяний, газ. При використанні обігрівача температура всередині може підніматися до 12 градусів вище за нуль, при морозі зовні до -20 оС. Середній за герметичністю фургон здатний підтримувати таку різницю температур до 12 годин.

Існують також спеціальні мульти температурні рефрижератори, які можуть підтримувати різну температуру в окремих відсіках загальної ізоtermічної камери. Експлуатуються машини-рефрижератори при параметрах довкілля від -40 морозу до +40 тепла та вологості не вище 80%.

Як працює рефрижератор

Корпус фургона виготовляється з спеціальних ізоtermічних сендвич-панелей товщиною від 4 до 8 мм. Спеціальні елементи кріплення надійно тримають панелі один з одним. Всі стики максимально герметично закриваються, щоб не утворювалося містків холоду. Гумовий ущільнювач на дверях забезпечує додаткову термоізоляцію.

Найчастіше як утеплювач у сендвич-панелях виступає пінополіуретан. Він не токсичний, може використовуватися як промисловий утеплювач, має низьку теплопровідність 0,035 Вт/м2, при щільності всього 60 кг/м3. Матеріал не гниє і не ушкоджується пліснявою.

Основна проблема будівництва рефрижератора – вага. У сучасних машинах застосовується складання без каркасу та матеріали високої міцності. Це дозволяє знизити вагу термо конструкції, зберігши при цьому корисний об'єм і відповідно максимальну масу корисного вантажу.

Облицювальними матеріалами обробки можуть виступати:

- фанера;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- нержавіюча сталь;
- листи сталі або алюмінію із термомеханічним покриттям;
- фанера зі спеціальним пластиковим ламінуванням;
- оцинкування, найчастіше з додатковим покриттям із емалі або полімерів.

Як підлогове покриття може виступати сендвіч-панель з пінополіуретану та фанерних листів. Для додаткового захисту під час щоденного використання підлога додатково захищається металевими листами або полімерними наливними сумішами.

Типи рефрижераторів

Найчастіше можна зустріти рефрижератор у двох варіаціях:

- на основі напівпричепа. У такому форматі використовується сендвіч-панель як підлогове покриття;
- спец шасі, на якому закріплений ізотермічний фургон з конструкцією підлоги, що несе.

Варіант №2 має велику вантажопідйомність, за всіх інших рівних характеристик, оскільки має меншу вагу конструкції. Щоб ще більше знизити вагу шасі рефрижератора, його роблять напів рамним. Але з такою конструкцією помітно зростає ризик виникнення тріщин.

Усередині фургона можуть бути встановлені спеціальні сортувальні сітки та перегородки.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Холодильні агрегати рефрижератора

Основними типами холодильного обладнання, що використовується у рефрижераторах, є:

- Устаткування з автономним джерелом енергії. Принцип його роботи побудований на використанні джерела живлення, відмінного від ДВЗ вантажівки. Найчастіше встановлено на об'ємних напівпричепах.
- Агрегати з ДВС. Використовується лише на невеликих рефрижераторах, оскільки споживає багато корисної роботи двигуна.
- Холодильники із евтектичними плитами. Дозволяє максимально зберігати холод при частих відчинення дверей. Дуже популярно у машинах з перевезення морозива. Плити заморожуються в холодильниках з урахуванням стоянки машини, зазвичай до температури -30 градусів. Після цього вони поміщаються у фургон і протягом робочого дня підтримують встановлену температуру, незалежно від частоти та тривалості відчинення дверей.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1. Технічні характеристики авторефрижератора

1.1 Принцип роботи рефрижератора

Рефрижератор - це холодильна установка, призначена для перевезення продуктів, що швидко псуються. Основне завдання установки - це підтримання оптимальної температури протягом періоду перевезення продукту. Холодильна установка рефрижератора розрахована передачі теплоти від холодного джерела до гарячого. Згідно з другим законом термодинаміки теплота не може переходити від холодного тіла до гарячого сама собою. У холодильній установці така передача теплоти відбувається завдяки механічній енергії компресора, що витрачається на стиск та подачу парів холодоагенту по колу циркуляції холодильної машини. На малюнку 1.1а бачимо схематичний принцип роботи холодильної установки, але в малюнку 1.1б показаний важливий цикл холодильної установки.

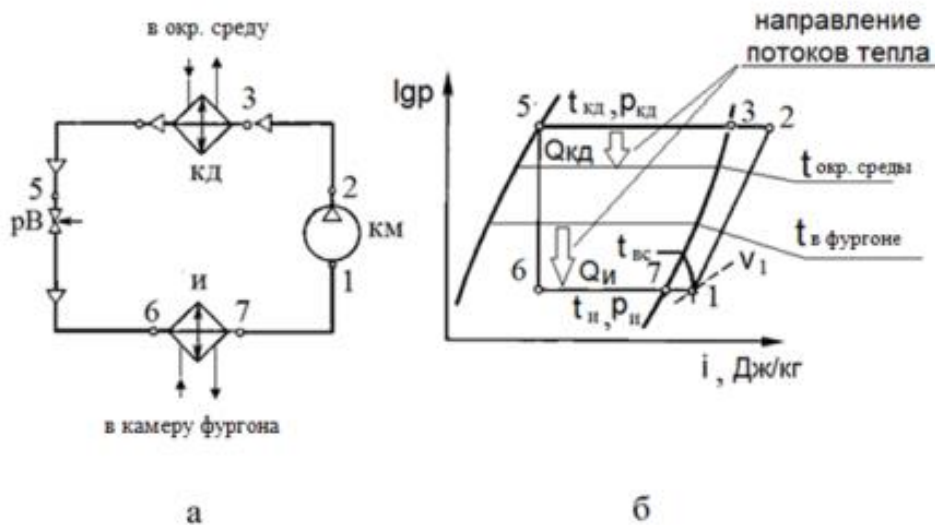


Рис. 1.1. А - схема роботи холодильної установки; б - цикл роботи холодильної установки рефрижератора. 1,2-компресор, 3-конденсатор, 5-регулюючий вентиль; 6,7-випарник

Основними складовими частинами холодильної установки рефрижератора є:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компресор, що одержує енергію від двигуна автомобіля; конденсатор, що знаходиться зовні рефрижератора; випарник, встановлений усередині фургона; терморегулюючий розширювальний вентиль, що є регулюючим пристроєм, що дроселює; холодоагент, що циркулює в системі як охолоджувальну речовину з певними фізичними характеристиками.

1.2 Компресор

У компресорі над газом здійснюється технічна робота L_{TECH} , Дж, вона рівна:

$$L_{TECH} = - L_{KM},$$

Де L_{KM} - робота компресора, Дж.

Знак мінус говорить про те, що не газ робить роботу (як, наприклад, у детандері), а навпаки, над газом здійснюється робота. У компресорі відбувається адіабатний стиск, тобто без теплообміну з навколишнім середовищем ($Q=0$), стискається до тиску P_2 і нагрівається до температури T_2 (див. рис. 1.1б процес 1-2). У разі адіабатного процесу робота стиснення йде за законом збереження та перетворення енергії, у цьому випадку змінюється лише ентальпії газу. У компресорі відбувається стиск холодоагенту, рахунок чого його температура підвищується. Конденсатор. У конденсаторі гарячий холодоагент охолоджується при постійному тиску ($p_2 = p_5 = \text{const}$). За рахунок охолодження газ спочатку перетворюється на пару, яка поступово конденсується і перетворюється на рідину (див. малюнок 1б лінія конденсації 2–5). Слід враховувати, що процес конденсації в області "рідина + пар" (відрізок 3-5 на лінії конденсації) відбувається не тільки при постійному тиску РКД, але і постійної температури ТКД. Це відбувається до тих пір, поки вся пара не перетвориться на рідину (точка 5). Тепло при конденсації відводиться від робочого тіла та передається навколишньому середовищу. Таким чином, в конденсаторі холодоагент під впливом високого тиску конденсується і переходить у рідкий стан, виділяючи тепло.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Терморегулюючий вентиль (ТРВ). Терморегулюючий вентиль необхідний створення необхідної різниці тисків між конденсатором і випарником, у якому відбувається цикл теплопередачі. У регульовальному вентилі холодоагент розширюється, проходячи через короткий отвір. У цьому тиск його зменшується, а обсяг зростає. Процес розширення у вентилі відбувається без здійснення зовнішньої технічної роботи. Здійснюється лише зовнішня робота: робота проти сил зовнішнього тиску, яку називають роботою проштовхування. Здійснюється ще одна робота проти сил тертя, що переходить у тепло. За рахунок цього тепла зростає ентропія паро-рідинної суміші холодоагенту. Особливістю процесів дроселювання паро-рідкісних сумішей є те, що ентальпія в цих процесах залишається постійною ($i_5=i_6$), а ентропія росте ($s_6>s_5$) завдяки роботі тертя, що переходить у тепло. При дроселюванні паро-рідкісних сумішей розширюються, при цьому відбувається робота між молекулами сумішей проти сил взаємодії. Ця робота відбувається за рахунок внутрішньої енергії суміші. Загалом, при дроселюванні речовина може нагріватися, охолоджуватися або не змінювати свою температуру. Все залежить від фізичних властивостей речовини та параметрів навколишнього середовища. У розглянутому випадку використовується холодоагент 404a

1.3 Випарник

Параметри регулюючого вентиля рВ (див. рисунок 1а) розраховані так, що тиск холодоагенту у випарнику холодильної установки зменшується настільки, що речовина починає кипіти при цьому тиску. Холодоагент кипить у випарнику І при постійній температурі T_I та тиску P_I (див. на малюнку 1б процес 6–7). Кипіння в цьому процесі відбувається в результаті того, що температура парорідинної суміші холодоагенту, істотно нижче навколишнього середовища у випарнику. Тому, згідно з другим законом термодинаміки, тепло мимоволі переходить від гарячішого до холоднішого тіла. Процес випаровування рідкого холодоагенту у випарнику супроводжується поглинанням тепла, яке відбирається від повітряного потоку, що проходить через випарник.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Повітря, що у фургоні рефрижератора, продувається через випарник і охолоджується. Волога, що міститься в повітрі, конденсується або зливається по дренажних трубках у зовнішнє середовище. Термодинамічний стан точкою 7 на лінії насиченої сухої пари (див. малюнок 1б). Таку пару не можна подавати під поршень компресора, тому що при швидкому стиску він може перетворитися на рідину, що буде причиною аварії компресора і виходу його з ладу. Для того щоб виключити поломку компресора (усунути так званий "вологий хід" компресора), насичену пару, перед тим як він попрямує в компресор, підігрівають природним шляхом. При цьому суха насичена пара перетворюється на перегріту пару (див. процес 7–1), тобто — на газ, який подається на вхід компресора. Потім холодоагент направляється компресор і цикл знову повторюється.

1.4 Режими рефрижераторної холодильної установки

Основне завдання холодильної установки рефрижератора полягає у створенні сприятливих температурних умов на час перевезення вантажу та підтримання заданих температурно - вологісних режимів в робочому приміщенні, що охолоджується, фургона під час зберігання і транспортування вантажу.

Температурний діапазон таких холодильних установок: від -20 до +10°C. Існують такі експлуатаційні режими: охолодження, нагрівання та розморожування.

1.5 Режим охолодження

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

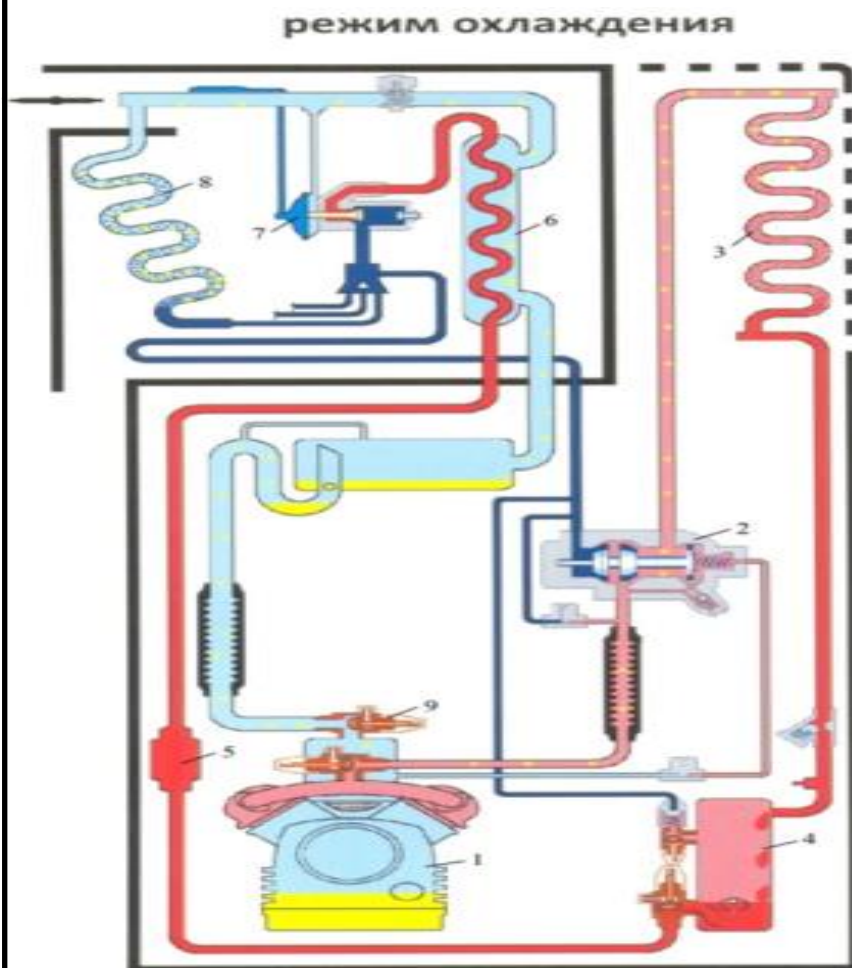


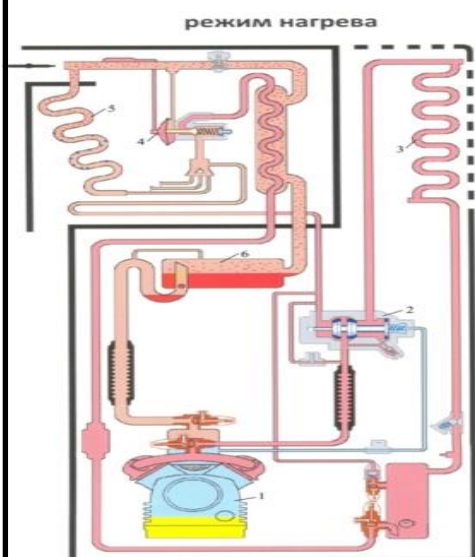
Рис. 1.2. Режим охолодження

Режим охолодження (див. рис.1.2) ідентичний процесу в холодильній машині. У холодильному встановленні рефрижератора холодоагент циркулює під тиском. У деяких точках системи холодоагент перебуває під різним тиском і в різному агрегатному стані (рідина, пара або газ). Процес переходу з одного агрегатного стану до іншого супроводжується поглинанням або виділенням тепла. Процес охолодження відбувається в такий спосіб. Через всмоктуючий клапан (лінія низького тиску) компресор (1) надходить газ холодоагент з низьким тиском, компресор стискає газоподібний холодоагент від 8 до 11 атм. Стиснення супроводжується підвищенням температури холодоагенту. У процесі стиску компресор направляє газ по лінії нагнітання триходовий клапан (2). З клапана холодоагент впливає в конденсатор і проходить по змійовику конденсатора (3).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Змійовик конденсатора омивається повітрям з навколишнього середовища, яке має нижчу температуру, ніж холодоагент. Таким чином, холодоагент у змійовику охолоджується до точки конденсації. Процес конденсації завжди супроводжується виділенням тепла, яке надається потоку повітря. Після цього рідкий холодоагент подається в ресивер (4), а потім надходить у відокремлювач (5), де відфільтровуються домішки, і видаляється волога. Рідкий холодоагент під високим тиском направляється в теплообмінник (6), де відбувається переохолодження холодоагенту. На виході з теплообмінника рідкий холодоагент направляється у вентиль високої швидкості (7), після чого холодоагент перебуває під низьким тиском. Температура кипіння рідини нижче температури у фургоні, і рідина починає кипіти (випаровуватися), перетворюючись на газ. Повітря з фургона автомобіля проганяється через випарник за рахунок вентиляторів випарника. Процес випаровування рідкого холодоагенту у випарнику супроводжується поглинанням тепла, яке відбирається від повітряного потоку, що проходить через змійовик випарника (8). Волога, що міститься в повітрі, конденсується на випарнику та вливається по дренажних трубках у зовнішнє середовище. Холодоагент перегрівається в теплообміннику і йде по лінії всмоктування, через вентиль всмоктування (9) компресор і цикл повторюється.

1.6. Режим нагріву



					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Рис. 1.3. Режим нагріву

Рефрижератор призначений для використання не тільки в літній період часу, коли існує необхідність охолодження продукції до необхідної температури, але і в зимовий період, коли температура продукції, що перевозиться, не повинна опускатися нижче межі від 0 до +5 °С (наприклад, при перевезенні квітів і зелені). Режим нагрівання (див. рис 3) відбувається наступним чином: через всмоктуючий клапан компресор (1) надходить гарячий газ. Компресор стискає його та направляє через триходовий клапан (2) (лінія високого тиску) у конденсатор. У режимі нагрівання газ проходить по змійовику конденсатора (3), але не конденсується, а проходить у газоподібному стані до вентиля високої швидкості (4), після нього холодоагент надходить у випарник. Повітря, яке знаходиться у фургоні нижче за температуру холодоагенту, тому проходячи через змійовик випарника (5), газ конденсується. Процес конденсації холодоагенту супроводжується виділенням тепла, яке віддається потоку повітря із фургону. Пародидкісний холодоагент направляється в накопичувач (6), де утворюється «зона» рідина + пара. У накопичувачі залишається рідкий холодоагент, а холодоагент пар направляється по лінії всмоктування компресор, і процес повторюється. Відмінною особливістю роботи рефрижераторної установки в режимі тепла є те, що вентилятори конденсатора протягом тривалого часу не працюють. У камері випарника вентилятори установки включаються не відразу після першого включення, а із затримкою (в інтервалі від 1 до 10 хвилин), яка залежить від зовнішньої температури.

1.7. Режим розморожування

При нормальній експлуатації на змійовику випарника поступово нарастає іній. Періодично цей іній потрібно розтоплювати, щоб запобігти поломці в охолодженні та обдуванні фургону. Режим розморожування (див. рис.4) відбувається наступним чином: гарячий газоподібний холодоагент проходить через змійовик випарника для розтоплення інею (або льоду). Гарячий газ надходить по лінії всмоктування компресор (1). У режимі розморожування спрацьовує триходовий клапан (2),

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

який перекриває вхід конденсатора. Тому холодоагент проходить через триходовий клапан, що відкрився, у випарник (4), де газоподібний холодоагент починає конденсуватися. Пародидкисний холодоагент надходить у накопичувач (5), де утворюється «зона» рідина + пара. У накопичувачі залишається рідкий холодоагент, а холодоагент пар направляється по лінії всмоктування компресор.

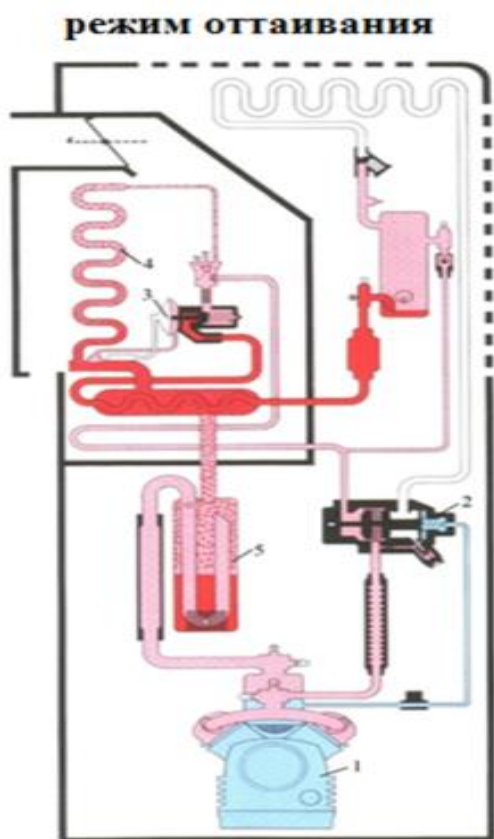


Рис. 1.4. Режим розморожування

Тала вода зливається з установки на землю дренажними трубками. Під час режиму відтавання заслінка відтавання закривається, щоб запобігти проникненню теплого зовнішнього повітря у вантажний відсік. Передбачені два способи увімкнення режиму розморожування: автоматично, при цьому використовуються датчики температури, і ручне включення дозволяє оператору включити цикл розморожування, натиснувши на кнопку.

1.8. Камера фургона рефрижератора

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даний час, існує безліч варіантів виготовлення без каркасних стін, підлоги і стелі ізотермічних фургонів. Фургони подібного типу збирають із так званих сендвіч-панелей (див. малюнок 5). Вони різняться між собою кількістю шарів. Кожен виробник прагне залучити клієнта, тому намагається внести в конструкцію власні новинки, але загальна сутність від цього не змінюється. Фургонна надбудова збирається з листів високоміцного пластику, у проміжок між якими заливають теплоізоляційну піну (пінополіуретан). Ці матеріали протягом великої кількості років, не втрачають своїх властивостей.



Рис. 1.5. Камера фургону

Якщо не брати до уваги "технології з'єднання склеюванням без заклепок", "спеціальні лаки" та інші фірмові ноу-хау, то якість ізотерми залежить в першу чергу від товщини стінок і кількості шарів. Підлогове покриття кузова – не менш важливий елемент конструкції. Основні тепловтрати холодильної установки рефрижератора припадають на неправильно обладнану підлогу фургона. Найбільш зручним у використанні є алюмінієве «дно». Таке покриття значно підвищує вартість конструкції, зате має незаперечні переваги в порівнянні з фанерним або гумовим покриттям підлоги рефрижератора. Основна перевага алюмінієвого покриття є збереження поверхні від мікро тріщин, а значить, у підлоговому покритті

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не будуть накопичуватися частинки продуктів, що перевозяться. Таку підлогу зручніше і простіше чистити, тому у фургонів з алюмінієвим покриттям відсутні неприємні запахи гниття.

1.9. Вимоги щодо завантаження та підготовки фургона

Рефрижераторні холодильні установки призначені лише для підтримки температури продуктів. Тому продукти перед завантаженням у фургон повинні попередньо підготовлені до перевезення. Фургон рефрижератора охолоджується протягом 1 години для видалення внутрішнього тепла, при цьому встановлюється на термостаті температура 0° С, потім включається режим відтавання для видалення волог з камери фургона. Необхідно пам'ятати, що під час завантаження продуктів холодильну установку потрібно вимикати та завантажувати їх швидко та раціонально. Не менш важлива умова — повітряний потік повітря всередині фургона. Необхідно переконатися, що повітряний потік, що виробляється холодильною установкою в 60 разів більший за внутрішній об'єм камери фургона. Це означає, що потік повітря повинен зробити коло в холодильній камері за 1 хвилину і повернутися у випарник. При недотриманні цього правила утворюються «гарячі плями» і відбудеться псування продуктів, що перевозяться.

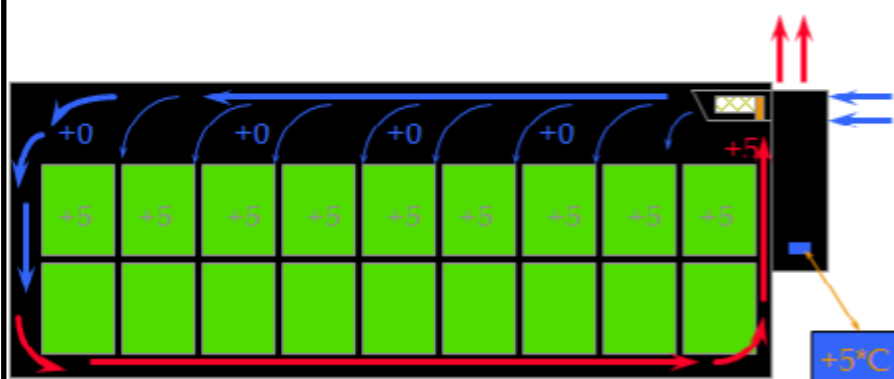


Рис. 1.6. Контроль повітряного потоку

На рис. 1.6. показано правильне утворення повітряного потоку повітря. Повна циркуляція повітря навколо всієї продукції є запорукою його успішної доставки. Температура продукту, що перевозиться +5° С.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В випарника подається повітряний потік з температурою 0°C , він відбирає тепло у продуктів, таким чином, нагрівається і повертається у випарник з температурою $+5^{\circ}\text{C}$. Що стосується вимоги щодо завантаження продуктів, що швидко псуються, то слід не захарашувати нижню частину випарника для доступу зворотного повітря. У разі потреби встановити перегородку перед каналом зворотного повітря у випарника. При обмеженні повернення повітря піднімає потужність установки та призводить до підморожування верхніх шарів вантажу. При завантаженні продуктів внутрішня частина фургона має бути чистою. Двері очищені від уривків упаковки та паперу, оскільки вони можуть потрапити у внутрішню частину випарника або заблокувати циркуляцію повітря біля підлоги. При відкритті дверей необхідно вимикати установку. Якнайменше тримайте двері відчиненими. Слід застосовувати пластикові фіранки на дверях. При правильному використанні автомобільного рефрижератора він може прослужити довше часу.

2. Розрахунок тепло притоків

Автомобільний рефрижератор призначений для підтримки оптимальних умов при перевезенні харчових продуктів та забезпечення високої швидкості доставки продукції. Авторефрижератор дозволяє за короткий час доставити продукцію, що швидко псується, до споживача. За допомогою авторефрижератора збільшується тривалість зберігання продуктів, що з'являються, з'являється можливість продавати харчові продукти сезонного виробництва протягом року, знижуються товарні втрати при транспортуванні харчового товару, задоволення потреб населення в доброякісних продуктах харчування, які потрібно привозити з інших областей. В даний час широко використовуються автомобільні рефрижератори. Тепер уже неможливо уявити без них перевезення продуктів, що швидко псуються. Для визначення повного теплового навантаження автомобільного рефрижератора використовується така методика:

1. Виконується розрахунок тепло приток у камеру в результаті теплопередачі через її стінки. Камера перевозить морозиво при температурі -29°C . Висота стелі в

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

камері дорівнює 2,5 м. Температура навколишнього середовища атмосфери дорівнює +25 ° С. Стіни складаються з поліуретану товщиною 100 мм.

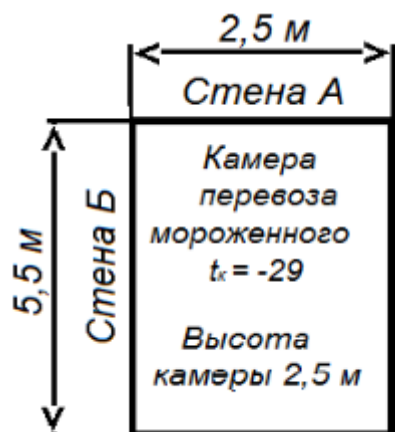


Рис.2. 1. Схема фургону

Розрахунок тепло приток виконується окремо для стін, стелі та підлоги. Тепловий потік при теплопередачі через стінку $Q_{ст}$ Вт розраховується за формулою:

$$Q_{ст} = K \cdot S \cdot \Delta t$$

де K - коефіцієнт теплопередачі стіни, що розглядається, Вт/м²·К; S - площа поверхні стіни, що розглядається, м²; Δt - різниця температур повітря по обидва боки стіни.

Для стіни А

$$Q_{ст.А} = 0,245 \cdot 2,5 \cdot 2,5 \cdot (25 - (-29)) = 82,7 \quad \text{Вт}$$

Для стіни Б

$$Q_{ст.Б} = 0,245 \cdot 2,5 \cdot 5,5 \cdot (25 - (-29)) = 181,9 \quad \text{Вт}$$

Для стінок паралельно розташованим стінкам А і Б тепло притоки ідентичні.

Для стелі та підлоги:

$$Q_{\text{пот. и пола}} = 0,245 \cdot 2,5 \cdot 5,5 \cdot (25 - (-29)) = 181,9 \quad \text{Вт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відси повне теплове навантаження на камеру рефрижератора $Q_{стен. Вт}$,
обумовлене тепловими потоками через її стіни, стелю та підлогу

$$Q_{стен} = 2 \cdot Q_{стA} + 2 \cdot Q_{стB} ++ Q_{пот.} + Q_{пол.}$$

$$Q_{стен} = 2 \cdot 82,7 + 2 \cdot 181,9 + 181,9 + 181,9 = 893 Вт$$

2. Виконано розрахунок теплового навантаження внаслідок відчинення дверей, або, як її часто називають, тепловим навантаженням інфільтрації зовнішнього повітря в камеру фургона, Вт вважається за формулою:

$$Q_{инф} = \dot{Q} \cdot D_{\tau} \cdot D_f (1-E)$$

Де $\dot{Q}$ - сумарне добове теплове навантаження на холодильну камеру, Вт; D_{τ} -

Коефіцієнт, що враховує час, коли протягом доби двері залишаються відчиненими;

D_f - Коефіцієнт, що враховує характер повітряного потоку в дверному отворі;

$D_f = 0,8$, т.к. різниця температура всередині та зовні камери більше $16^{\circ}C$; E -

Ступінь ефективності захисного пристрою (завіси) дверного отвору.

$$Q_{инф} = 187 \cdot 3,34 \cdot 0,8(1 - 0,2) = 399,7 Вт$$

3. Теплове навантаження, обумовлене присутністю персоналу, $Q_{перс}$, Вт,
розраховується за формулою:

$$Q_{перс} = \frac{n \cdot q_{перс} \cdot \tau}{21,6}$$

де n - число співробітників, які працюють у секції рефрижераторі; $q_{перс}$ - кількість тепла, Вт, що виділяється в одиницю часу однією людиною за середньої активності, в камері = 444 Вт; тривалість щоденного перебування одного працівника у камері рефрижератора, с.

4. Сумарні теплопритоки у камері

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{стен}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{перс}} ,$$

$$Q_{\Sigma 1} = 893 + 399,7 + 296 = 1,59 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Автомобільний рефрижератор призначений для підтримки оптимальних умов при перевезенні харчових продуктів та забезпеченні високої швидкості доставки продукції до споживача. Це стає зручно як з економічного боку, так і з технологічного, з'являється можливість реалізувати продукти сезонного виробництва протягом року, знижуються товарні втрати. Для цього необхідно провести термодинамічний аналіз найбільш ефективного використання холодоагентів у холодильній системі автомобіля – рефрижератора.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК І ПІДБІР КОМПРЕСОРІВ

Оскільки авторефрижератор може перевозити як охолоджені так і заморожені продукти, проведемо розрахунок на дві температури кипіння: $t_0 = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $t_0 = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$

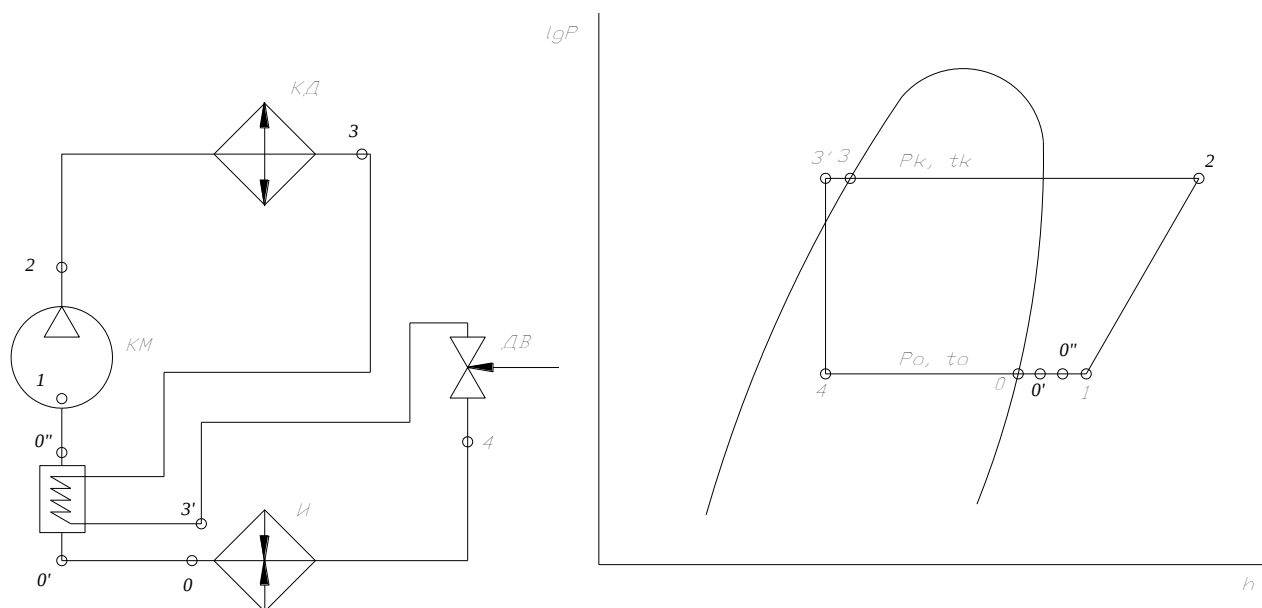


Рис. 3.1 Схема і цикл холодильної машини

По діаграмі стану $\lg P-h$ для R-404A знаходимо усі параметри у вузлових точках. Усі дані заносимо до таблиці.

Таблиця 3.1 Параметри вузлових точок для $t_0 = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Параметри	t,	P,	v,	h,
№ точки	$^{\circ}\text{C}$	бар	м ³ /кг	кДж/кг
0'	-25	2,05	—	355
0''	-15	2,05	—	363
1	0	2,05	0,109	375
2	102	20,5	—	433
3	41	20,5	—	266
3'	36	20,5	—	258
4	-30	2,05	—	258

Таблиця 3.2 Параметри вузлових точок для $t_0 = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$

Параметри	t,	P,	v,	h,
№ точки	$^{\circ}\text{C}$	бар	$\text{м}^3/\text{кг}$	кДж/кг

0'	-3	4,64	—	369
0''	7	4,64	—	378
1	22	4,64	0,05	391
2	91	20,5	—	441
3	41	20,5	—	266
3'	36	20,5	—	257
4	-8	4,64	—	257

Розрахунок компресора на $t_o = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Питома масова холодовидатність:

$$q_0 = i_{0'} - i_4$$

$$q_0 = 355 - 258 = 97\text{ кДж/кг}$$

Масова витрата холодильного агенту:

$$M_1 = Q_0 / q_0$$

$$M_1 = 1,59 / 97 = 0,016\text{ кг/с}$$

де Q_0 – навантаження на компресор, кВт.

Дійсна об'ємна витрата:

$$V_d = M_1 \cdot v_1$$

$$V_d = 0,016 \cdot 0,109 = 0,0018\text{ м}^3/\text{с}$$

де v_1 – питомий об'єм пару, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Теоретична об'ємна подача:

$$V_T = V_d / \lambda$$

$$V_T = 0,0018 / 0,69 = 0,0026\text{ м}^3/\text{с}$$

де λ – коефіцієнт подачі, при $P_K / P_0 = 20,5 / 2,05 = 10$

$$\lambda = \lambda_c \cdot \lambda_w$$

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
					27

$$\lambda = 0,91 \cdot 0,76 = 0,69$$

де λ_c – коефіцієнт, враховуючий мертвий простір;

λ_w – коефіцієнт, враховуючий об'ємні витрати.

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

$$\lambda_c = 1 - 0,01 \cdot \left[\left(\frac{20,5}{2,05} \right)^{1/1} - 1 \right] = 0,91$$

де c – відносна величина мертвого простору, приймається у межах 0,01...0,04;

P_k, P_0 – тиск конденсації і кипіння відповідно, мПа;

m – показник політропи (для фреона $m = 1$).

$$\lambda_w = T_0 / T_k$$

$$\lambda_w = 243 / 318 = 0,76$$

$$M_{KM} = \frac{\lambda \cdot V_T}{v_1}$$

$$M_{KM} = 0,69 \cdot 0,0026 / 0,109 = 0,016 \text{ кг/с}$$

Дійсна холодовидатність компресору:

$$Q_{0D} = M_{KM} \cdot q_0$$

$$Q_{0D} = 0,016 \cdot 97 = 1,59 \text{ кВт}$$

Потужність приводу компресора:

$$N_T = M_{KM} \cdot (i_2 - i_1)$$

$$N_m = 0,016 \cdot 58 = 0,93 \text{ кВт}$$

Дійсна потужність компресора:

$$N_i = N_T / \eta_i$$

$$N_i = 0,93 / 0,8 = 1,16 \text{ кВт}$$

де η_i – індикаторний К.К.Д.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективна потужність на валу компресора:

$$N_E = N_i / \eta_M$$

$$N_e = 1,16 / 0,85 = 1,36 \text{ кВт}$$

де η_M – механічний К.К.Д., враховуючий втрати на тертя.

Електрична потужність двигуна:

$$N_{el} = N_E / \eta_{дв} \quad (2.13)$$

$$N_{el} = 1,36 / 0,85 = 1,6 \text{ кВт}$$

де $\eta_{дв}$ – електричний К.К.Д. двигуна.

Навантаження на конденсатор:

$$Q_k = Q_0 + N_i \quad (2.14)$$

$$Q_k = 1,59 + 1,16 = 2,75 \text{ кВт}$$

Розрахунок компресора на $t_o = -8^\circ\text{C}$.

Питома масова холодовидатність:

$$q_0 = 369 - 257 = 112 \text{ кДж/кг}$$

Масова витрата холодильного агента:

$$M_1 = 1,59 / 112 = 0,014 \text{ кг/с}$$

Дійсна об'ємна витрата:

$$V_d = 0,014 \cdot 0,05 = 0,0007 \text{ м}^3/\text{с}$$

Теоретична об'ємна подача:

$$V_T = 0,0007 / 0,805 = 0,00087 \text{ м}^3/\text{с}$$

λ при $P_k / P_0 = 20,5 / 4,64 = 4,42$

$$\lambda = 0,9658 \cdot 0,833 = 0,805$$
$$\lambda_c = 1 - 0,01 \cdot \left[\left(\frac{20,5}{4,64} \right)^{1,4} - 1 \right] = 0,9658$$

$$\lambda_w = 265 / 318 = 0,833$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{KM} = \frac{\lambda \cdot V_T}{\nu_1}$$

$$M_{KM} = 0,85 \cdot 0,00087 / 0,109 = 0,0068 \text{ кг/с}$$

Дійсна холодовидатність компресору:

$$Q_{0D} = M_{KM} \cdot q_0$$

$$Q_{0D} = 0,0068 \cdot 97 = 0,66 \text{ кВт}$$

Потужність приводу компресора:

$$N_T = M_{KM} \cdot (i_2 - i_1) \quad N_m = 0,0068 \cdot 58 = 0,39 \text{ кВт}$$

Дійсна потужність компресора:

$$N_i = N_T / \eta_i$$

$$N_i = 0,39 / 0,8 = 0,49 \text{ кВт}$$

Ефективна потужність на валу компресора:

$$N_E = N_i / \eta_M$$

$$N_e = 1,16 / 0,85 = 1,36 \text{ кВт}$$

де η_M – механічний К.К.Д., враховуючий втрати на тертя.

Електрична потужність двигуна:

$$N_{el} = N_E / \eta_{ДВ}$$

$$N_{el} = 1,36 / 0,85 = 1,6 \text{ кВт}$$

Навантаження на конденсатор:

$$Q_K = Q_0 + N_i$$

$$Q_K = 1,59 + 0,8 = 2,39 \text{ кВт}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 Каталог компресорів Біцер

Verdichter Typ	Motor Version	Förder- volumen bei 1450 min ⁻¹	Anzahl der Zylinder	Kälteleistung Refrigerating capacity Q_0 Холодопроизводительность				Öl- füllung	Gewicht	Rohran- schlüsse DL SL	
Compressor type	Motor version	Displace- ment at 1450 min ⁻¹	Number of cylinders	R134a		R404A		Oil charge	Weight	Pipe connections DL SL	
Тип	Версия	Объемная	Количес	t_o / t_c 5°C / 50°C	t_o / t_c -10°C / 45°C	t_o / t_c -10°C / 45°C	t_o / t_c -35°C / 40°C	Заправ-	Вес	DL	SL
2KES-05(Y)	1	4,06	2	1960	1010	1720	435	1,0	43	12	16
2JES-07(Y)	1	5,21	2	2510	1290	2380	675	1,0	43	12	16
2HES-1(Y)	2	6,51	2	3330	1820	3000	890	1,0	44	12	16
2HES-2(Y)	1			3320	1810	3080	910		45		
2GES-2(Y)	1	7,58	2	3910	2160	3550	1110	1,0	45	12	16
2FES-2(Y)	2	9,54	2	4820	2680	4380	1360	1,0	45	12	16
2FES-3(Y)	1			4810	2670	4370	1350		47		
2EES-2(Y)	2	11,4	2	6070	3310	5680	1770	1,5	68	16	22
2EES-3(Y)	1			6070	3310	5680	1770		71		
2DES-2(Y)	2	13,4	2	7260	3980	6810	2180	1,5	68	16	22
2DES-3(Y)	1			7260	3980	6810	2180		71		
2CES-3(Y)	2	16,2	2	8940	4950	8440	2790	1,5	70	16	22
2CES-4(Y)	1			8940	4950	8440	2790		70		
4CES-6(Y)	2	32,5	4	17690	9730	16720	5400	2,0	91	22	28
4CES-9(Y)	1			17690	9730	16720	5400		91		

Згідно каталогу фірми Біцер вибираю напівгерметичний компресор з параметрами при $Q_0 = 1,770$ кВт и $N_e = 3,3$ кВт марки 2EES-(Y) с $V_h = 11.4$ м³/год. При температурі кипіння $t_o = -8$ °C його холодовидатність буде складати 5,58 кВт

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРАХУНОК КОНДЕНСАТОРА

Вихідні дані для розрахунку: для $t_0 = -30^\circ\text{C}$

- теплове навантаження $Q_k = 2750 \text{ Вт};$
- температура конденсації $t_k = 45^\circ\text{C};$
- початкова температура повітря $t_{n1} = 32^\circ\text{C};$
- кінцева температура повітря $t_{n2} = 38^\circ\text{C};$
- холодильний агент R404A;
- труби мідні;
- діаметр внутрішній $d_{\text{вн}} = 10,6 \text{ мм};$
- діаметр зовнішній $d_0 = 12 \text{ мм};$
- товщина стінки $0,7 \text{ мм};$
- крок труб – шаховий:

$$S_1 = 50 \text{ мм};$$

$$S_2 = 25 \text{ мм};$$

- ребра алюмінієві пластинчаті:

$$S_p = 2,1 \text{ мм};$$

$$\delta = 0,3 \text{ мм}.$$

Середній температурний напір між R404A і повітрям:

$$\ln \frac{t_k - t_{n1}}{t_k - t_{n2}} = \ln \frac{45 - 32}{45 - 38} = 0,5 \quad ^\circ\text{C} \quad (4.1)$$

Розрахуємо геометричні характеристики оребреної труби.

Площа тепло передавальної поверхні труби довжиною 1 м:

- внутрішня:

$$F_{\text{вн}} = \pi \cdot d_{\text{вн}} = 3,14 \cdot 0,0106 = 0,0333 \text{ м}^2 / \text{м} \quad (4.2)$$

- зовнішня носійна стіна труби:

$$F_{01} = \pi \cdot d_0 = 3,14 \cdot 0,012 = 0,0377 \text{ м}^2 / \text{м} \quad (4.3)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повна зовнішня поверхня ребер F_{p1} і міжреберних діляниць (F_{mp1}):

$$F_{31} = F_{p1} + F_{mp1} = \frac{1}{S_p} \cdot [2 \cdot (S_1 \cdot S_2 - \pi \cdot d_0^2 / 4) + (S_p - \delta) \cdot \pi \cdot d_0] \quad (4.4)$$

$$F_{31} = \frac{1000}{2,1} [2(0,05 \cdot 0,025 - 3,14 \cdot 0,012^2 / 4) + (0,0021 - 0,0003) 3,14 \cdot 0,012] =$$

$$1,083 + 0,04 = 1,12 \text{ м}^2 / \text{м}$$

коефіцієнт оребрення:

$$\beta = F_{31} / F_{\text{вн}} = 1,12 / 0,0333 = 33,6 \quad (4.5)$$

зовнішня степе́нь оребрення:

$$\varphi_3 = F_3 / F_0 = 1,12 / 0,0377 = 29,7 \quad (4.6)$$

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі α_κ від повітря до зовнішньої поверхні визначаємо згідно рівняння Д. М. Іоффе для пластинчатих ребер з шаховим розташуванням труб:

$$Nu_\Pi = 0,178 \cdot Re_\Pi^{0,6} \cdot (L / d_{\text{ек}})^{-0,14} \quad (4.7)$$

У якості характерного розміру прийнятий еквівалентний діаметр звуженого перетину для проходу повітря:

$$d_{\text{ек}} = \frac{2 \cdot (S_1 - d_0) \cdot (S_p - \delta)}{(S_1 - d_0) + (S_p - \delta)} = \frac{2 \cdot (50 - 12) \cdot (2,1 - 0,3)}{(50 - 12) + (2,1 - 0,3)} = 3,44 \text{ мм} \quad (4.8)$$

де L – ширина ребра, яка дорівнює у нашому випадку кроку труб S_1 .

При середній температурі повітря в апараті $t_\Pi = t_3 - \theta_m = 45 - 6,5 = 38,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\lambda_\Pi = 0,0272 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\mu_\Pi = 18,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Приймаємо масову швидкість руху повітря $w_{p\Pi} = 5 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$

$$Re_\Pi = \frac{w \cdot \rho_\Pi \cdot d_{\text{ек}}}{\mu} = \frac{5 \cdot 0,00344 \cdot 10^6}{18,9} = 910 \quad (4.9)$$

$$\alpha_\Pi = 0,178 \cdot \frac{\lambda_\Pi}{d_{\text{ек}}} \cdot Re_\Pi^{0,6} \cdot (L / d_{\text{ек}})^{-0,14} = 0,178 \cdot \frac{0,0272}{0,00344} \cdot 910^{0,6} \cdot \left(\frac{50}{3,44} \right)^{-0,14} = 57,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.10)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо приведений коефіцієнт тепловіддачі.

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = \frac{thmh^1}{mh^1} = \frac{th(1,34)}{1,34} = 0,65 \quad (4.11)$$

$$\text{де } h^1 = \frac{d_0}{2} \cdot (p-1) \cdot (1 + 0,805 \cdot \lg p) = \frac{12}{2} \cdot (4,2-1) \cdot (1 + 0,805 \cdot \lg 4,2) / 1000 = 0,029 \text{ м} \quad (4.12)$$

$$p = 1,15 \cdot \frac{S_1}{d_0} = 1,15 \cdot \frac{50}{12} = 4,2 \quad (4.13)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_B}{\lambda_p \cdot \delta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 57,7}{0,0003 \cdot 180}} = 46,23 \frac{1}{\text{м}} \quad (4.14)$$

$$m \cdot h^1 = 46,23 \cdot 0,029 = 1,34 \quad (4.15)$$

Тут λ_p – теплопровідність алюмінієвого ребра, $\lambda_p = 180 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Коефіцієнт тепловіддачі, приведений до внутрішньої поверхні (при відсутності теплового опору у місці контакту труб і ребер):

$$\alpha_{\text{пр.вн}} = \alpha_{\text{п}} \cdot \left(\frac{F_{\text{р1}}}{F_{\text{вн1}}} \cdot E + \frac{F_{\text{мп1}}}{F_{\text{вн1}}} \right) = 57,7 \cdot \left(\frac{1,083}{0,0333} \cdot 0,65 + \frac{0,04}{0,0333} \right) = 1289 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.16)$$

Рівняння для щільності теплового потоку від внутрішньої поверхні стінки труби до повітря:

$$q_{\text{п}} = \alpha_{\text{пр.вн}} \cdot \theta_{\text{п}} = 1289 \cdot \theta_{\text{п}} \text{ Вт/м}^2 \quad (4.17)$$

де $\theta_{\text{п}} = t_{\text{см}} - t_{\text{п}}$ – частковий температурний напір між стінкою труби і повітрям.

Рівняння для щільності теплового потоку від R404A до внутрішньої поверхні труби:

$$q_a = \alpha_a \cdot \theta_a \quad (4.18)$$

Для визначення коефіцієнта тепловіддачі конденсованого у горизонтальній трубі R404A застосовуємо теоретичну формулу:

$$\alpha_a = 0,555 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r \cdot \rho \cdot \lambda^3}{v \cdot \theta_a \cdot d_{\text{вн}}}} = 0,555 \cdot \sqrt[4]{r \cdot \frac{g \cdot r \cdot \rho \cdot \lambda^3}{v}} \cdot d_{\text{вн}}^{-\frac{1}{4}} \cdot \theta_a^{-\frac{1}{4}} \quad (4.19)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\theta_a = t_3 - t_{cm}$ – температурний напір між конденсовуваним R404a і внутрішньою стінкою труби.

З додатку по $t_k = 45$ °C знаходимо:

$$\sqrt[4]{r} = 20,02; \quad \sqrt[4]{\frac{g \cdot r \cdot \rho \cdot \lambda^3}{v}} = 72,3;$$

$$\alpha_a = 0,555 \cdot 20,02 \cdot 72,3 \cdot 0,0106^{-0,25} \cdot \theta_a^{-0,25} = 2504 \cdot \theta_a^{-0,25} \quad (4.20)$$

Щільність теплового потоку від агента до стінки труби:

$$q_a = 2504 \cdot \theta_a^{0,75} \quad (4.21)$$

Визначаємо щільність теплового потоку від агента до повітря. Будуємо у координатах $q-\theta$ графіки рівнянь для q_v і q_a по даним таблиці 4.1

Таблиця 4.1

θ_a	1	2	3	4	5	6	7
q_a	2504	4211,21	5707,89	7082,38	8372,63	9599,48	10776
θ_B	1	2	3	4	5	6	7
q_{Π}	1289	2578	3867	5156	6445	7734	9023

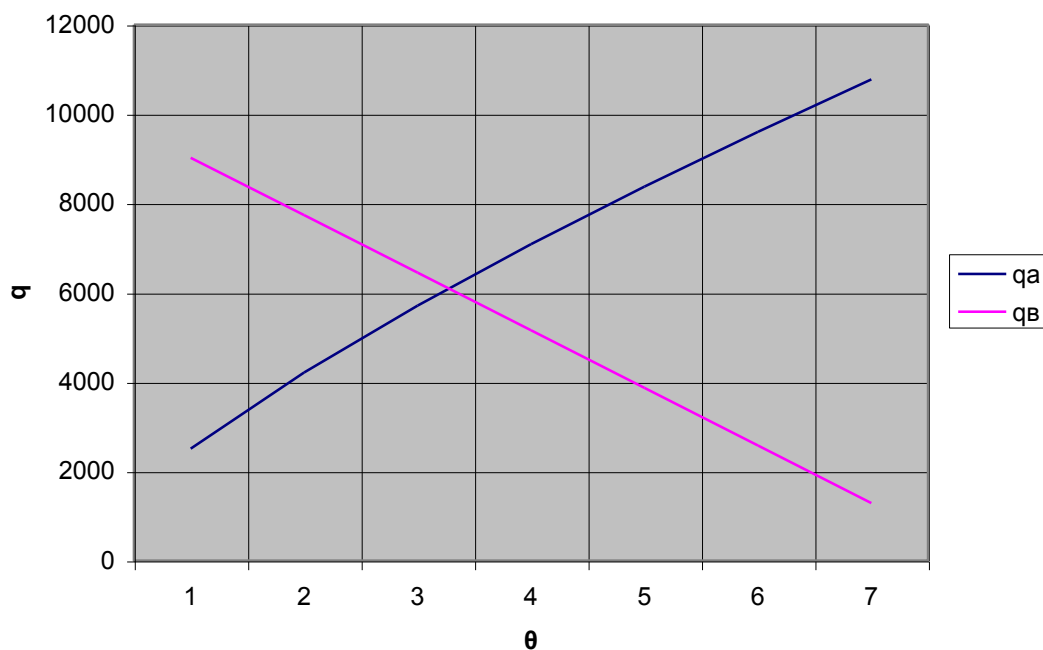


Рисунок 4.1 Визначення щільності теплового потоку

У точці їх перетину знаходимо значення: $q_{BH} = 6010 \text{ Вт/м}^2$; $\theta_a = 3,3^\circ\text{C}$;

$$\theta_{II} = \theta_m - 3,32 = 6,5 - 3,3 = 3,2^\circ\text{C} \quad (4.22)$$

Визначаємо коефіцієнти тепловіддачі агента і теплопередачі.

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_a = q_{BH} / \theta_a = 6010 / 3,3 = 1821 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)} \quad (4.23)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

- віднесений до внутрішньої поверхні:

$$k_{BH} = q_{BH} / \theta_m = 6010 / 6,5 = 925 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.24)$$

- віднесений до зовнішньої поверхні:

$$k_z = k_{BH} / \beta = 925 / 33,6 = 27,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.25)$$

Перевіряємо вірність виконаного графоаналітичного розрахунку:

$$\alpha_{k_{BH}}^a = \frac{2504 \cdot \theta_a^{-0,25}}{\frac{1}{1289} + \frac{0,0007}{380} + \frac{1}{1821}} = \frac{2504 \cdot 3,3^{-0,25}}{854} = 1858 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.26)$$

$$\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)} \quad (4.27)$$

Визначаємо основні компоновальні характеристики конденсатора.

Площа зовнішньої поверхні конденсатора:

$$F = Q_0 \cdot B / G_{BH} = 2750 \cdot 33,6 / 6010 = 15 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

Вихідні дані до розрахунку:

- теплове навантаження $Q_0 = 1590 \text{ Вт};$
- кількість повітроохолоджувачів $N = 2;$
- температура повітря у камері $t_K = -20^\circ\text{C};$
- відносна вологість повітря у камері $\varphi_K = 85\%;$
- холодильний агент $\text{R-404A}.$

Геометричні розміри ребристої труби повітроохолоджувача, виготовленої шляхом лиття під тиском.

труба:

- зовнішній діаметр $d_{\text{ТР}} = 0,015 \text{ м};$
- внутрішній діаметр $d_{\text{ВН}} = 0,013 \text{ м};$
- товщина стінки $\delta_{\text{Т}} = 0,001 \text{ м};$
- матеріал $\lambda_{\text{Т}} = 380 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$

ребро:

- товщина у вершини $\delta_{\text{ВЕР}} = 0,0004 \text{ м};$
- товщина біля основи $\delta_{\text{ОР}} = 0,002 \text{ м};$
- крок $u = 0,010 \text{ м};$
- матеріал $\lambda_{\text{р.}} = 180 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К});$
- компонування пучка труб – коридорний
- крок труб $S_{\text{п}} \times S_{\text{пз}} = 50 \times 50 \text{ мм}$

В основу розрахунку закладені наступні передумови:

- параметри повітря на вході у повітроохолоджувач дорівнюють параметрам повітря в охолоджуємому приміщенні t_K і φ_K ;
- температура кипіння холодильного агенту t_0 і температура поверхні $t_{\text{п}}$ теплообмінної секції повітроохолоджувача постійні;
- кількість труб у поздовжньому ($z_{\text{пз}}$) і поперечному ($z_{\text{п}}$) перетині теплообмінної секції повітроохолоджувача знаходиться у межах рекомендованих значень $z = 4 \dots 16 \text{ шт.}$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тепловий розрахунок. Кінцевою метою розрахунку є визначення площі поверхні повітроохолоджувача, яка повинна відводити задане теплове навантаження і підтримувати необхідну температуру у камері.

Задаємося величиною під охолодження повітря у повітроохолоджувачі $\Delta t_{\Pi} = 6^{\circ}\text{C}$.

Визначимо температуру повітря на виході з апарату:

$$t_2 = t_{\text{вих.}\Pi} = t_{\text{к}} - \Delta t_{\text{в}} = -20 - 6 = -26^{\circ}\text{C}$$

Визначимо середню температуру повітря:

$$t_{\text{сєр.}\Pi} = 0,5 \cdot (t_2 + t_{\text{к}}) = 0,5 \cdot (-26 - 20) = -23^{\circ}\text{C}$$

Приймаємо температуру кипіння $t_0 = -30^{\circ}\text{C}$.

Визначимо температурний напір:

$$\Theta = (t_{\text{сєр.}\Pi} - t_0) = -23 + 30 = 7^{\circ}\text{C}$$

Вибираємо з таблиць теплофізичні властивості вологого повітря при визначальній температурі $t_{\text{сєр.}\Pi}$:

- $\nu_{\Pi} = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості;
- $\lambda_{\Pi} = 2,256 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – коефіцієнт теплопровідності;
- $\text{Pr}_{\Pi} = 0,7181$ – число Прандтля;
- $\rho_{\Pi} = 1,41 \text{ кг}/\text{м}^3$ – щільність;
- $c_{\Pi} = 1,009 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ – питома теплоємність.

У діаграмі $i - d$ будуємо процес зміни стану повітря у повітроохолоджувачі у наступній послідовності $1 \rightarrow \Pi \rightarrow 2$ (див. рис. 5.1).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

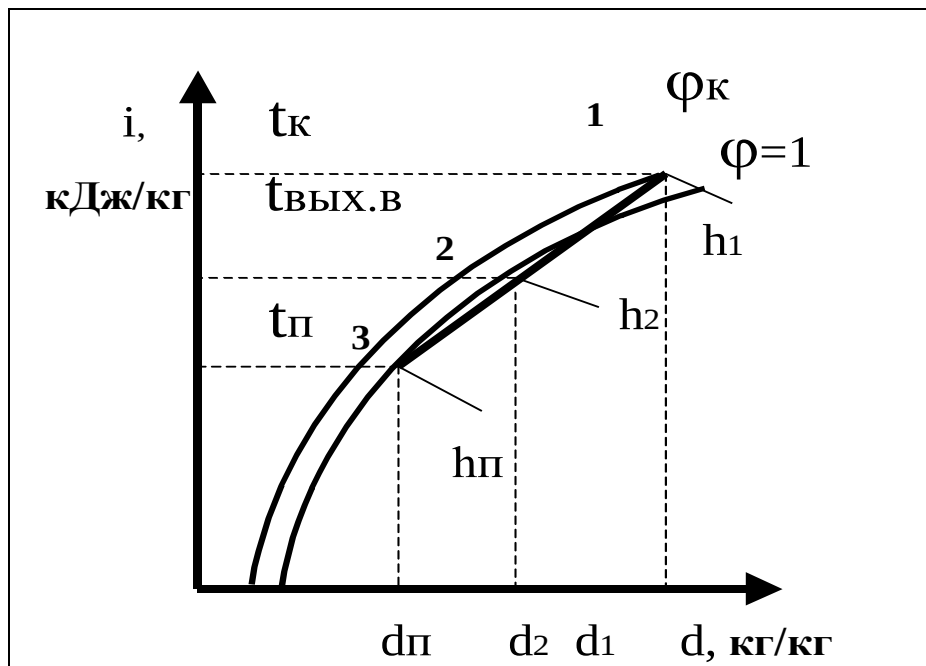


Рисунок 5.1 Процес зміни стану повітря у повітроохолоджувачі

1 – стан повітря на вході у повітроохолоджувач при t_k і ϕ_k ;

2 – стан повітря на виході з повітроохолоджувача;

3 – стан насиченого повітря у прикордонному шарі у поверхні інею повітроохолоджувача при t_p і $\phi = 1,0$.

$$t_2 = t_{\text{вих.п}} = t_k - \Delta t_p$$

Для цього задаємося середньою температурой поверхні повітроохолоджувача (інею) $t_{\text{п}}$ з умови, що $t_0 < t_{\text{п}} < t_k$, використовуючи приблизне співвідношення $t_{\text{п}} = t_k - (0,7 \dots 0,9) \cdot \theta$.

Приймаємо у першому наближенні значення температури поверхні інею $t_{\text{п}} = -26^\circ\text{C}$.

По діаграмі $i - d$ за допомогою таблиць і розрахункових залежностей наведених нижче визначаємо параметри повітря: $(t, d, i)_j$, і знайдені значення у точках процесу зміни стану повітря у повітроохолоджувачі заносимо у таблицю.

Таблиця 5.1 Параметри повітря в точках

№ точки	t, °C	d·10 ³ , кг/кг	h, кДж/кг	φ, %
1	–20	0,6408	–18,4	90
2	–24	0,3957	–25	113
3(п)	–26	0,2323	–29,6	100

Ґрунтуючись на принципі подібності трикутників (див. рис. 5.1) можна записати:

$$(d_1 - d_{п''}) / (t_1 - t_{п''}) = (d_1 - d_2) / (t_1 - t_2)$$

Звідси невідоме значення вологовмісту:

$$d_2 = d_1 - [(t_1 - t_2) \cdot (d_1 - d_{п''}) / (t_1 - t_{п''})]$$

$$d_2 = 0,6408 \cdot 10^{-3} - [(-20 + 24) \cdot (0,6408 - 0,2323) \cdot 10^{-3} / (-20 + 26)] = 0,3957 \cdot 10^{-3} \text{ кг/кг.}$$

Відносна вологість повітря на виході з апарату:

$$\phi_2 = d_2 / d_2'' = (0,3957 \cdot 10^{-3} / 0,351 \cdot 10^{-3}) = 1,13$$

де $d_{п''}$ і d_2'' – відповідно, вологовміст насиченого повітря при $t_{п''}$ і t_2 .

Отримане значення відносної вологості повітря $\phi_2 = 113$ % заносимо у таблицю 5.1.

Ентальпію повітря (кДж/кг) в точках процесу 1, 2 і 3 при від'ємних значеннях температури поверхні апарату (інея) знаходимо по залежностям:

$$i_2 = 1,0078 \cdot t_2 + (2835 + 2,09 \cdot t_2) \cdot d_2$$

$$i_2 = 1,0078 \cdot (-24) + [(2835 + 2,09 \cdot (-24))] \cdot 0,3957 \cdot 10^{-3} = -25 \text{ кДж/кг}$$

$$i_3 = 1,0078 \cdot t_3 + (2835 + 2,09 \cdot t_3) \cdot d_3$$

$$i_3 = 1,0078 \cdot (-26) + [(2835 + 2,09 \cdot (-26))] \cdot 0,2323 \cdot 10^{-3} = -29,6 \text{ кДж/кг}$$

$$i_1 = 1,0078 \cdot t_1 + (2835 + 2,09 \cdot t_1) \cdot d_1$$

$$i_1 = 1,0078 \cdot (-20) + [(2835 + 2,09 \cdot (-20))] \cdot 0,6408 \cdot 10^{-3} = -18,4 \text{ кДж/кг}$$

Переходимо до розрахунку геометричних характеристик тепло передавального елемента.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні характеристики поверхні ребристого елемента, вільного від інею.

Зовнішня поверхня ребра:

$$F_P = 2 \cdot (A \cdot B - 0,785 \cdot d_3^2)$$

$$F_P = 2 \cdot (0,05 \cdot 0,05 - 0,785 \cdot 0,015^2) = 23,23 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Зовнішня поверхня труби між двома суміжними ребрами:

$$F_T = \pi \cdot d_3 \cdot (u - \delta_{OP}) \quad F_T = 3,14 \cdot 0,015 \cdot (0,010 - 0,002) = 3,77 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Внутрішня поверхня труби ребристого елемента для усіх типів поверхонь:

$$F_B = \pi \cdot d_3 \cdot u \quad F_B = 3,14 \cdot 0,013 \cdot 0,010 = 4,08 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Повна зовнішня поверхня ребристого елемента:

$$F_3 = F_P + F_T$$

$$F_3 = (23,23 + 3,77) \cdot 10^{-4} = 27 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт β і степе́нь φ оребрення теплообмінної поверхні:

$$\beta = F_3 / F_B = 27 \cdot 10^{-4} / 4,08 \cdot 10^{-4} = 6,62 \quad \varphi = F_3 / (\pi \cdot d_3 \cdot u) = 27 \cdot 10^{-4} / (3,14 \cdot 0,015 \cdot 0,010) = 5,73$$

Умовний коефіцієнт оребрення теплообмінної поверхні:

$$\beta_y = F_3 / F_T = 27 \cdot 10^{-4} / 3,77 \cdot 10^{-4} = 7,16$$

Геометричні характеристики поверхні інею, що осів на ребристому елементі при прийнятій товщині шару $\delta_I = 0,003 \text{ м}$.

Зовнішня поверхня інею на ребрі:

$$F_{PI} = 2 \cdot [A \cdot B - 0,785 \cdot (d_3 + 2 \cdot \delta_i)^2]$$

$$F_{PI} = 2 \cdot [0,05 \cdot 0,05 - 0,785 \cdot (0,015 + 2 \cdot 0,003)^2] = 21,54 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня інею на трубі між двома суміжними ребрами:

$$F_{TI} = \pi \cdot (d_3 + 2 \cdot \delta_i) \cdot [u - (\delta_{OP} + 2 \cdot \delta_i)]$$

$$F_{TI} = 3,14 \cdot (0,015 + 0,006) \cdot [0,01 - (0,002 + 0,006)] = 1,32 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Повна зовнішня поверхня інею на ребристому елементі:

$$F_{3I} = F_{PI} + F_{TI} = 21,54 \cdot 10^{-4} + 1,32 \cdot 10^{-4} = 22,86 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт β^I ребрення поверхні, покритої інеєм:

$$\beta^I = F_{HI} / F_B = 22,86 \cdot 10^{-4} / 4,08 \cdot 10^{-4} = 5,6 \text{ м}^2$$

Мінімальний «живий» перетин одного ребристого елементу, покритого шаром інею, прийнятої товщини:

$$f_{\text{ж}} = (s_1 - d_3 - 2 \cdot \delta_I) \cdot (u - \delta_P - 2 \cdot \delta_I)$$

$$f_{\text{ж}} = (0,05 - 0,015 - 2 \cdot 0,003) \cdot (0,01 - 0,0004 - 2 \cdot 0,003) = 1,044 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Задаємося швидкістю повітря у «живому» перетині повітроохолоджувача:
 $\omega_{\Pi} = 4 \text{ м/с}.$

Визначаємо режим руху повітря:

$$Re = (\omega_{\Pi} \cdot d_E) / \nu_{\Pi} = (4 \cdot 0,0151) / 11,5 \cdot 10^{-6} = 5252$$

Число Нуссельта для труб з коридорним розміщенням труб:

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot (L / d_E)^m$$

$$Nu = 0,041 \cdot 5252^{0,78} \cdot (50)^{0,14} = 57$$

де d_E – еквівалентний діаметр, який визначає розміри в критеріях Nu і Re ;

L – сумарна довжина пластин по ходу повітря, $L / d_E = 4 \dots 50$

$$d_E = 2 \cdot (S_1 - d_3) \cdot (u - \delta_P) / [(S_1 - d_3) + (u - \delta_P)]$$

$$d_E = 2 \cdot (0,05 - 0,015) \cdot (0,01 - 0,0004) / [(0,05 - 0,015) + (0,01 - 0,0004)] = 0,0151 \text{ м}.$$

$$C = [0,518 - 0,02315 \cdot L / d_E + 0,425 \cdot 10^{-3} \cdot (L / d_E)^2 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot (L / d_E)^2] \cdot (1,36 - 0,24 \cdot 10^{-3} \cdot Re)$$

$$C = [0,518 - 0,02315 \cdot 50 + 0,425 \cdot 10^{-3} \cdot (50)^2 - 3 \cdot 10^{-6} \cdot (50)^2] \cdot (1,36 - 0,24 \cdot 10^{-3} \cdot 5252) = 0,041$$

$$n = 0,45 + 0,0066 \cdot L / d_E = 0,45 + 0,0066 \cdot 50 = 0,78$$

$$m = -0,28 + 0,08 \cdot (Re / 1000) = -0,28 + 0,08 \cdot (5252 / 1000) = -0,08$$

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі на стороні повітря:

$$\alpha_K = Nu \cdot \lambda_B / d_E$$

$$\alpha_K = 57 \cdot 2,256 \cdot 10^{-2} / 0,0151 = 85 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

де d_E – визначальний розмір, м.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт вологовипадіння:

$$\xi = 1 + (d_K'' \cdot \phi_K - d_{\Pi}'') \cdot (r - h_{\Pi}) / [c_{\Pi}' \cdot (t_K - t_{\Pi})]$$

$$\xi = 1 + (0,6408 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 - 0,2323 \cdot 10^{-3}) \cdot (2835 + 62,7) / [1,007 \cdot (-20 + 26)] = 1,1$$

де $r = 2835$ кДж/кг – питома теплота фазового переходу при $t_{\Pi} < 0^{\circ}\text{C}$;

$d_{\Pi}'' = 0,2323 \cdot 10^{-3}$ кг/кг – вологовміст повітря у прикордонному шарі у поверхні інею при $t_{\Pi} = -26^{\circ}\text{C}$ і $\phi = 1,0$;

$$h_{\Pi} = 2,09 \cdot t_{\Pi} = 2,09 \cdot (-26) = -62,7 \text{ кДж/кг} - \text{ентальпія інею};$$

$c_{\Pi}' = 1,006 + 1,9 \cdot d_m = 1,006 + 1,9 \cdot 0,6004 \cdot 10^{-3} = 1,007$ кДж/(кг·К) – питома теплоємність вологого повітря;

$d_m = 0,5 \cdot (d_K + d_2) = 0,5 \cdot (0,6408 + 0,56) \cdot 10^{-3} = 0,6004 \cdot 10^{-3}$ кг/кг – вологовміст повітря при середній температурі.

Приведений коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зовнішньої поверхні тепло передавального елемента з урахуванням термічного опору шару інею:

$$\alpha_{\text{ПР}} = [1 / (\alpha_K \cdot \xi) + \delta_I / \lambda_I]^{-1} = [1 / (85 \cdot 1,1) + 0,003 / 0,2]^{-1} = 39 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

де $\lambda_I = 0,2$ Вт/(м·К) – коефіцієнт теплопровідності інею.

Коефіцієнт ефективності ребра:

$$E = \text{th } mh' / mh' = \text{th } 1,06 / 1,06 = 0,74$$

де mh' – безрозмірний комплекс; $mh' = h' \cdot [2 \cdot \alpha_{\text{ПР}} / (\delta_{\text{ВЕР.}} \cdot \lambda_P)]^{0,5} = 0,0312 \cdot [2 \cdot 39 / (0,0004 \cdot 180)]^{0,5} = 1,06$.

Умовна висота для суцільних ребер:

$$h' = 0,5 \cdot d_3 \cdot (\rho - 1) \cdot (1 + 0,35 \cdot \ln \rho)$$

$$\text{де } \rho = 1,15 \cdot S / d_3 = 1,15 \cdot 50 / 15 = 3,8333$$

$$h' = 0,5 \cdot 0,015 \cdot (3,8333 - 1) \cdot (1 + 0,35 \cdot \ln 3,8333) = 0,0312 \text{ м}$$

Умовний коефіцієнт тепловіддачі, віднесений до зовнішньої поверхні ребристого елемента:

$$\alpha_{\text{ПР.З}} = \alpha_{\text{ПР}} \cdot (F_P \cdot E \cdot \Psi \cdot c_K + F_{\text{ТР}}) / F_3$$

$$\alpha_{\text{ПР.Н}} = 39 \cdot (23,23 \cdot 10^{-4} \cdot 0,82 \cdot 0,95 \cdot 0,8 + 3,77 \cdot 10^{-4}) / 27 \cdot 10^{-4} = 26,4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

де $\Psi = 1 - 0,058 \cdot mh' = 0,95$ – коефіцієнт, враховуючий нерівномірність тепловіддачі по висоті ребра;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

c_K – коефіцієнт, враховуючий контактний термічний опір між трубою та ребром, для мідних труб і алюмінієвих ребер $c_K = 0,8$.

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні R404a в трубах апарата:

$$\alpha_0 = 32 \cdot q_B^{0,15} \cdot (\omega \cdot \rho)^{0,47}$$

$$\alpha_0 = 32 \cdot 3665^{0,15} \cdot 100^{0,47} = 955 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

де q_B – щільність теплового потоку, віднесена до внутрішньої поверхні труби;

$\omega \cdot \rho$ – масова швидкість холодильного агента, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$. Приймаю $\omega \cdot \rho = 100 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$

$$q_B = \alpha_K \cdot \xi \cdot (t_{\text{СЕР.П}} - t_{\text{П}}) \cdot \beta^I = 85 \cdot 1,1 \cdot (-23 + 30) \cdot 5,6 = 3665 \text{ Вт/м}^2$$

Коефіцієнт теплопередачі:

- віднесений до зовнішньої поверхні інею:

$$k_3^I = (1 / \alpha_{\text{ПР.З}} + \varphi \cdot \delta_T / \lambda_T + \beta^I / \alpha_0)^{-1}$$

$$k_3^I = (1 / 26,4 + 5,73 \cdot 0,001 / 380 + 5,6 / 955)^{-1} = 23 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

- віднесений до зовнішньої «сухої» поверхні апарату без інею:

$$k_3 = k_3^I \cdot \beta / \beta^I = 23 \cdot 6,62 / 5,6 = 27 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Перевіряємо значення раніш прийнятої температури поверхні інею і визначаємо площу зовнішньої поверхні повітроохолоджувача.

Розрахункова різниця температур повітря і поверхні інею:

$$\Delta t_P = q_3 / (\alpha_K \cdot \xi) = 161 / (85 \cdot 1,1) = 2 \text{ }^\circ\text{C}$$

де q_3 – щільність теплового потоку, віднесена до зовнішньої поверхні інею.

$$q_3 = k_3^I \cdot (t_{\text{СЕР.П}} - t_0) = 23 \cdot (-23 + 30) = 161 \text{ Вт/м}^2$$

Відносна похибка прийнятої і розрахункової різниці температур:

$$\delta = |(\Delta t_P - \Delta t) / \Delta t_P| \cdot 100 = |(2 - 2) / 2| \cdot 100 = 0 \%$$

де $\Delta t = -24 + 26 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ – прийнята різниця температур повітря і поверхні інею.

Так як значення відносної похибки $\delta \leq 7\%$, визначаємо площу зовнішньої поверхні повітроохолоджувача.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

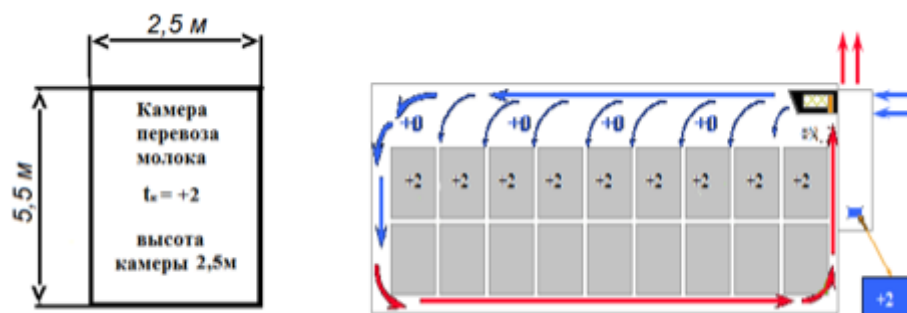
Площа (сухої) поверхні повітроохолоджувача:

$$F_3 = Q_0 / [N \cdot k_3 \cdot (t_{\text{сеп.п}} - t_0)] = 1590 / [2 \cdot 27 \cdot (-23 + 30)] = 4,2 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ХУ АВТОРЕФРИЖЕРАТОРА НА R134a та R404a

На малюнку 6.1 представлено схему



фургона

Рис. 1. Схема фургона

Основні термодинамічні параметри холодоагентів R134a та R404a (питома холодопродуктивність, холодильний коефіцієнт, питомий об'єм газу на вході в компресор тощо) провести їх порівняння. Найважливішим у цьому аналізі є холодильний коефіцієнт, який дозволяє визначити енергетичну ефективність роботи холодильної установки автомобільного рефрижератора.

Використовуючи методику розрахунку, представлену в роботі визначили теплові надходження за рахунок інфільтрації зовнішнього повітря в камеру фургона, теплові навантаження на камеру рефрижератора обумовленої тепловим потоком через стіни, стелю та підлогу; теплового навантаження, обумовленого присутністю персоналу. Сумарні тепло притоки в камеру фургона визначено та взято з роботи. Як робоча речовина в холодильно-опалювальній установці автомобільного рефрижератора розглядаються два фторсодержащих хладагента: R134a (тетрафторетан CH_2FCF_3) і R404a (пентафторетан CHF_2CF_3). Всі ці холодоагенти безпечні для озонового шару землі та мають коефіцієнт $\text{ODP}=0$. З погляду утворення парникового ефекту перевагу має холодильний агент R404a ($\text{GWP}=0,001$). Аналіз фізичних властивостей пентафторетан підтвердив ефективність, виявляючись у зниженні енергоспоживання та зменшення шуму роботи холодильно-опалювальної установки автомобільного рефрижератора.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Термодинамічний аналіз циклів «тиск-ентальпія» холодоагентів R134a та R404a розглянуто у табл. 6.1.

Таблиця 6.1. Показники ентальпії та питомого об'єма

№ точки цикла	R134a		R404a	
	i , кДж/кг	v , м ³ /кг	i , кДж/кг	v , м ³ /кг
1	400	0,150	375	0,055
2	440	0,022	400	0,012
3	410	0,020	385	0,010
4	255		260	
5	230		240	
6	230		240	
7	390		360	

У системах холодильного обладнання в транспортному обладнанні використовуються два холодоагенти. R134a - холодоагент низького тиску. Робочий тиск близько 16 атмосфер. Він застосовується так само в автомобільних та автобусних кондиціонерах. Є однокомпонентним газом та допускає будь-які дозаправки під час ремонтів та перезавантаження. Авторефрижератори, що працюють на R134a, на відміну від працюючих на R404a, швидше збивають температуру всередині фургона, а саме на 30%, в діапазоні від +30 до 0 градусів.

Холодоагент R404a є сумішшю високого тиску. Робочий тиск близько 27 атм. Він застосовується у всіх авторефрижераторах, що працюють на тепло та для перевезення заморожених продуктів. Є три компонентні гази і у разі витоку понад 30 % від обсягу заправки потрібна повна заправка під час ремонту, що здорожує його обслуговування.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Так як робочий тиск у холодоагенту R404a майже в 2 рази більше, ніж у R134a, тому компресори призначені для роботи на цих холодоагентах будуть різні як за виконанням, так і за ціною. Компресори R404a мають спеціальне маркування типу HD або XD, і від звичайних компресорів відрізняються наявністю спеціального тефлонового покриття на поршнях і спеціальних неопренових ущільнювачах між корпусними деталями компресора. Якщо компресор «народжений» для R134a застосовувати в системах з R404a, то це рівносильно якщо двигун працює на бензині А76, залити бензин А95. Двигун перегріється та заклинить. Для подібних даних зроблено розрахунок основних компонентів та зведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2. Показники термодинамічної ефективності

Найменування показників	Величина показника	
	R134a	R404a
Питома холодопродуктивність q_0 , кДж/кг	527,3	662,8
Питома масова холодопродуктивність q_m , кДж/кг	160	120
Робота компресора l , кДж/кг	40	25
Холодильний коефіцієнт COP ϵ	4	4,8
Масова витрата газу, $\dot{m}$ мкг/с	9,94	13,25
Питомий об'єм газу на вході в компресор v_1 /кг	$1,49 \cdot 10^{-3}$	$0,86 \cdot 10^{-3}$

Доведено, що ці холодоагенти є безпечними для озонового шару планети. Фторвуглецеві холодоагенти у разі витіку в рідкому стані швидко випаровуються, але необхідно пам'ятати, що вони заморожують усе з чим стикаються в цей момент. Так само холодоагенти при контакті з відкритим полум'ям або електрично розрядом утворюють токсичні гази подразнювальної дії. Вплив з ним може стати причиною детального результату.

На рисунках 6.2 та 6.3 наочно зображено порівняльний аналіз показників термодинамічної ефективності.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

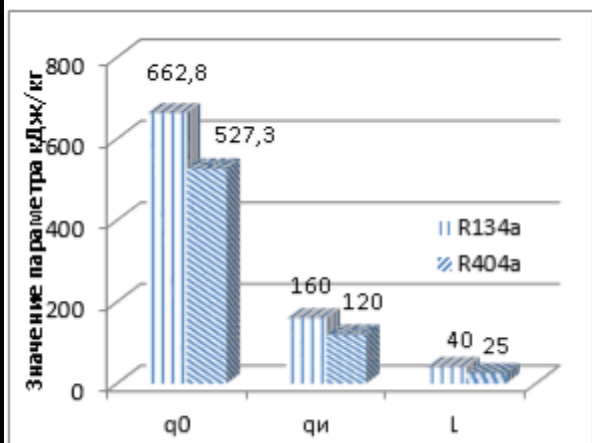


Рис. 6. 2.Порівняльний аналіз

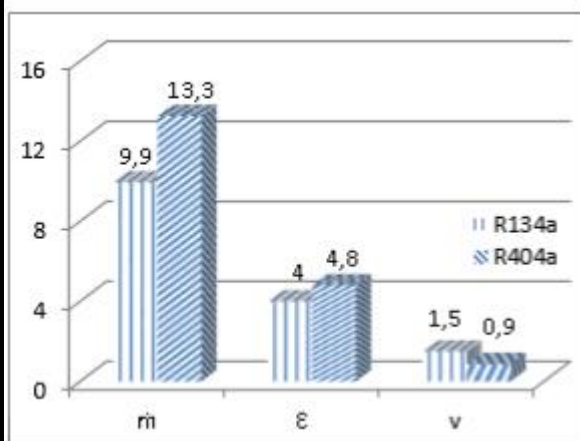


Рис. 6.3. Порівняльний аналіз показників

Результати порівняльних показників зображено на рис.6. 2 і 6.3. Аналіз отриманих результатів показує, що більш висока питома холодопродуктивність, питома масова холодопродуктивність, робота компресора і питомий об'єм газу на вході в компресор у холодильного агенту R134a, а холодильний коефіцієнт і масова витрата газу вище хладагенту R404a. З цього випливає, що найбільш ефективним у цьому порівнянні, а саме термодинамічному аналізі ефективності автомобільної холодильної установки є холодильний агент R404a. Так як компресора, що працюють на R134a використовують в автомобільних кондиціонерах, їх випускають в сотні разів більше, ніж компресора, що працюють на R404a для авторефрижераторів.

В цього впливає, що ціна компресора R134a нижче. Через погоню за дешевизною авторефрижератора деякі використовують компресори призначені для R134a в авторефрижераторах заправлених холодоагентом R404a. Так як компресор низького тиску встановлюють у систему високого тиску, він швидко перегрівається і виходить із ладу.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. АКУМУЛЮВАННЯ ХОЛОДУ

7.1. Способи охолодження фургонів-рефрижераторів

Джерела холоду для охолодження фургонів-рефрижераторів поділяються на тимчасові, що забезпечують підтримку необхідної температури в кузові без повторного заряду батарей охолодження холодом протягом обмеженого терміну, і постійні, що забезпечують підтримку заданої температури без періодичного відновлення запасу. До тимчасових джерел холоду відносяться льодосоляна суміш, сухий лід, заморожені евтектичні розчини, установки з жид 10вул азотом. Постійним джерелом холоду є машинне охолодження. Тимчасові джерела холоду. Охолодження льодосоляною сумішшю, що є сумішшю льоду і кухонної солі, засноване на поглинанні сумішшю тепла з простору кузова. Ефективність охолодження кузова залежить від кількості та місткості бачків, заповнених льодосоляною сумішшю, та її складу. При збільшенні вмісту кухонної солі від 0 до 30% температура суміші знижується від 0 до -20°C , а холодопродуктивність підвищується від 33 до 193 Дж/кг. Недоліком застосування льодосоляного охолодження є велика трудомісткість заповнення бачків подрібненим льодом, великий обсяг, що займає бачки, і підвищена корозія кузова. Тому льодосоляне охолодження в даний час не знаходить широкого поширення. Охолодження сухим льодом (тверда вуглекислота) позбавлене основних недоліків льодосоляного охолодження. Воно має відносно високий холодильний ефект при порівняно невеликому обсязі, що займається сухим льодом. Охолодження за допомогою сухого льоду може здійснюватися контактним та безконтактним способами. При контактному способі блоки сухого льоду не відокремлюються від продукту, завдяки чому пари вуглекислоти омивають продукти. При безконтактному способі сухий лід завантажують в ємності, що герметично закриваються. Основним недоліком охолодження за допомогою сухого льоду є висока його вартість. Охолодження замороженими евтектичними розчинами, укладеними в герметичних судинах, засноване на поглинанні тепла з кузова при відтаванні розчинів. Застосовують водні розчини хлористого натрію NaCl (кухонна сіль), хлористого калію KCl і воду

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

7.2. Фізичні властивості евтектичних розчинів

Таблиця 7.1 Фізичні властивості евтектичних розчинів

Вода та розчин	Склад, % за масою		Температура замерзання (кріогідратна точка), °C	Температура повітря в кузові, °C
	Сіль	Вода		
Вода H ₂ O	-	100	0	+6 і вище
Хлористий калій KCl	19,7	80,3	-11,1	Від -4 до +6
Натрій хлористий NaCl	23,6	76,4	-21,2	Від -10 до -12

Охолодження внаслідок відтавання заморожених евтектичних розчинів може здійснюватися за допомогою спеціальних об'ємних судин (зероторів) та акумуляційним способом, коли використовують акумуляційні батареї, періодичне заморожування яких проводиться без зняття з автомобіля. В даний час широкого поширення набуває охолодження кузовів за допомогою зріджених газів (рідкої вуглекислоти і рідкого азоту). Такий спосіб охолодження застосовують як основного, так попереднього охолодження. Основні його переваги такі: простота конструкції та догляду; можливість підтримки необхідної температури в широкому діапазоні (від +12 до -30 ° C); створювана в кузові інертне газове середовище, що покращує умови безпеки і скорочує втрати від усушки; помірна вартість. Одним із методів попереднього охолодження кузовів є упорскування рідкої вуглекислоти в кузов. В результаті випаровування вуглекислоти відбувається швидко та рівномірне охолодження. Найбільш перспективним способом охолодження кузовів-рефрижераторів є використання рідкого азоту.

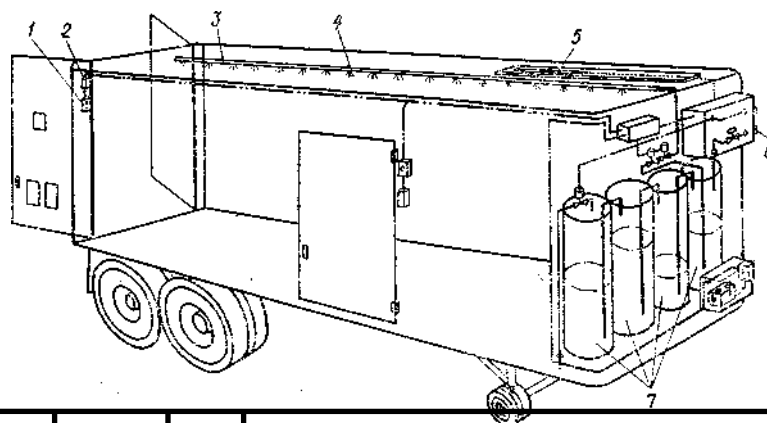


Рис. 7.1. Схема охолодження кузова-рефрижератора:

1 - дверний вимикач; 2 - аварійний вимикач; 3 - трубопровід для форсунок; 4 - форсунка; 5 - термочутливий елемент; 6 - штуцер для заправки рідкого азоту; 7 - резервуари з рідким азотом.

Рідкий азот, який знаходиться в спеціальних резервуарах, розташованих поза кузовом, постійно випаровується всередину кузова і підтримує там задану температуру. Резервуари мають вакуумну термоізоляцію, що запобігає їх запотіванню. У верхній частині резервуарів є регулюючий пристрій, який за допомогою термостата, керованого магнітним клапаном, автоматично підтримує задану температуру в кузові. Рідкий азот подається в трубку, що знаходиться під стелею кузова, під дією невеликого тиску (110 кПа), що зберігається в баку. При відкриванні задніх дверей спрацьовує блокування, і подача рідкого азоту в кузов припиняється. Широке використання цього способу перевезень вимагає створення мережі заправних станцій рідкого азоту. Універсальним агентом придушення мікрофлори, гальмування обмінних процесів та старіння свіжих плодів та овочів є озон. Його можна отримувати на спеціальних установках за допомогою високовольтних розрядів безпосередньо із кисню повітря. Встановлено, що періодичне оброблення свіжої плодоовочевої продукції повітряно-озонної сумішшю в концентрацією озону 10-15 мг/м³ скорочує втрати в 1,5-1,8 рази. Деякі продукти в зимовий час слід перевозити при температурі вище нуля (молоко та молочні продукти, мінеральна та фруктові вода тощо). При перевезенні картоплі та овочів необхідно вживати запобіжних заходів, враховувати температуру їх замерзання.

У зимовий період картопля та овочі перевозять рухомим складом, обладнаним ізотермічними кузовами з обігрівом. Холодильні установки, які можна використовувати взимку для обігріву кузова, називаються оборотними. Переведення холодильної установки на режим обігріву кузова здійснюється шляхом перемикання, за допомогою спеціальних пристроїв, подачі гарячої пари холодоагенту не в конденсатор, а в випарник.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 7.2. Температура замерзання овочей

Продукт	Температура замерзання, °С	
	От	До
Огірки, салат, шпинат, цибуля зелена	-0,5	-0,7
Помідори, кабачки, баклажани	-0,7	
Картопля	-0,9	
Морква	-1,4	
Буряк	-1,4	-1,8
Цибуля ріпчаста	-1,8	
Капуста білокачанна	-2,0	-3,0

7.3. Вибір холодильної (обігрівальної) установки

Вибір холодильної (обігрівальної) установки здійснюється на основі складання теплового балансу, що складається при перевезенні продуктів. Кількість тепла, яке необхідно відвести з кузова Q , має дорівнювати сумі, що складається з кількості тепла, що проходить через стінки кузова Q_1 , що накопичується в харчових продуктах, що перевозяться, і упаковці Q_2 , що віддається перевезеними продуктами при випаровуванні, бродінні і т. д. Q_3 . Крім того, необхідно враховувати втрати холоду в системі.

Тепловий баланс може бути представлений наступним виразом:

$$Q = \delta_n (Q_1 + Q_2 + Q_3),$$

де δ_n Коефіцієнт, що враховує втрати холоду внаслідок сонячної радіації, інфільтрації повітря, відчинення дверей та ін. У практичних розрахунках можна

приймати $\delta_n = 1,33$;

$$Q_1 = 3,6KS(T_n - T_e)T;$$

$$Q_2 = (m_1c_1 + m_2c_2)\Delta t;$$

$$Q_3 = m_1q_{y0}T,$$

де T - Тривалість перевезення, год;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

m_1 і m_2 - відповідно маса продукту та тари, кг;

Δt - Різниця між температурою продукту при завантаженні і в кінці перевезення, ° С;

c_1 і c_2 — відповідно питома теплоємність продукту, що перевозиться, і матеріалу упаковки, кДж/(кг °С);

q_{yd} — питома кількість тепла, що віддається продуктом за певної температури всередині кузова, кДж/(кг.год).

У табл. 7.3. Наведено температурні режими при міжміських перевезеннях деяких продуктів, що швидко псуються.

Назва продукту	Температура продукту при завантаженні, °С	Температура повітря в кузові при перевезенні, °С	
		Від	До
Морозиві вантажі (м'ясо, субпродукти, птиця, риба тощо)	Не вище – 8	Не вище – 12	-
Олія вершкове, слабо солоне оселедець в ящиках	– 6	Не вище – 6	-
Маринади, балики копчені та в'ялені, ікра рибна	0	0	– 3
Ковбаси копчені та напів копчені	0...+ 4	0	– 3
Риба гарячого копчення заморожена	– 10	Не вище – 8	-
Сири різні	+ 8	+ 8	– 2
Виноград	+ 8	+ 8	+ 1
Апельсини	+ 7...+ 10	+ 10	+ 4
Молоко свіже пастеризоване, молочні продукти у	+ 5	+ 5	0

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7.4. Вибір холодильної установки (ХУ) авторефрижератора з акумуляторами холоду

Оскільки харчовий продукт, це продукт, що швидко псується, то потрібно забезпечити відповідну температуру для його транспортування. Раніше для цього використовували лід, сіль, сухий лід (вуглекислота в твердому стані), зеротери. Вараз для цього використовують авторефрижератори, які мають холодильну установку, або евтектичні акумулятори. Перші потребують дизель генератори, а другі ні. Авторефрижератори з евтектичними акумуляторами холоду мають іншу конструкцію в порівнянні зі звичайними. Оскільки зарядка акумуляторів проходить як правило в відповідний час доби (нічний період), а далі авторефрижератор працює без використання ХУ. Тому основну увагу приділяють кузову (фургону) на предмет ізоляції, та конструкції дверей. На рис. 7.2.



Рис. 7.2 Авторефрижератор з евтектичними акумуляторами холоду

На рис. 7.3. показані евтектичні акумулятори холоду, які розміщуються в середині кузова.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис. 7.3. Евтектичні акумулятори холоду

В залежності від того в якому стані транспортується продукт (температура в фургоні) в акумуляторах можна використовувати різні розчини на основі води. Чим менше будуть тримати двері фургона в відкритому стані, тим довше акумулятори будуть виконувати свою функцію.

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

У кваліфікаційній роботі застосовується R404A це зеотропна суміш R125/R143a/R134a із співвідношенням масових часток компонентів 44/52/4. Температурний глайд менше 0,5 K. R404A спочатку використовували в новому устаткуванні, розрахованому на низькі і середні температури кипіння. В даний час R404A застосовують як заміник R502 при ретрофіті систем. При цьому необхідна заміна мінерального масла на полієфірне і фільтри-осушувачі. Компонентом R404A служить R143a, який в чистому вигляді стає горючим при тиску 1 · 10⁵ Па і температурі 177 °C і в суміші з повітрям – при об'ємній долі 60 %. При низьких температурах для виникнення горючості потрібні високі тиски. Тому R404A також не слід змішувати з повітрям або користуватися і допускати присутність високих концентрацій повітря з тиском вище атмосферного або при високих температурах. Кількість продуктів розкладання різко зростає з підвищенням температури. Продукти розкладання не мають запаху і кольору, що збільшує небезпеку отруєння. Симптоми отруєння при вдиханні повітря з високою концентрацією хладонових продуктів і їх розкладання виявляються через 30-60 хвилин. З'являються головний біль, слабкість, почастищення пульсу і дихання, можуть спостерігатися нудота і блювота. При роботі з холодоагентом рекомендується застосовувати захисні рукавички і окуляри. Необхідна примусова вентиляція приміщення.

Апарати хладонових холодильних установок розміщені в приміщеннях заввишки 4,8 м.

У одному приміщенні з хладоновими установками забороняється розміщувати апарати і прилади з відкритим полум'ям або з нагрітими зовнішніми поверхнями, температура яких перевищує 350 °C. Двері приміщення повинні виходити назовні будівлі або в коридор (вестибюль), відокремлений дверима від інших приміщень і відкриватися у бік виходу.

При розміщенні холодильного устаткування забезпечують:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зручність монтажу, обслуговування і ремонт його елементів;
- компактність розташування устаткування, що дозволяє скоротити площу для її установки і протяжність трубопроводів;
- можливість реконструкції і розширення без тривалої зупинки устаткування;
- дотримання вимог техніки безпеки і протипожежного захисту.

Для хладонових холодильних установок передбачають:

- ширину основного проходу не менше 1,2 м;
- ширину проходу між виступними частинами машин не менше 1 м.

Допускається установка апаратів біля перегородок без наявності проходів у випадку, якщо немає необхідності обслуговування апаратів з боку перегородки. Між ізольованими апаратами і перегородкою слід залишати відстань, необхідну для установки теплової ізоляції.

Всі посудини, що працюють під тиском, до їх пуску в роботу мають бути зареєстровані в органах Держтехнагляду і відповідати розробленим Правилам пристрою і безпечної експлуатації посудин, працюючих – технічному огляду (внутрішній огляд і гідравлічне випробування) до пуску в роботу, періодично і достроково.

Посудини, на які поширюються дії Правил, повинні піддаватися технічним оглядам: внутрішньому огляду і гідравлічним випробуванням (дня знов встановлених судин перед пуском в роботу), внутрішньому огляду в процесі експлуатації – не рідше за один раз в 2 роки, гідравлічним випробуванням один раз в 8 років.

На посудини, що знаходяться в експлуатації, наносять фарбою (або прикріплюють табличку) наступні дані: реєстраційний номер, дозволений тиск, дата (місяць і рік) наступного внутрішнього огляду і гідравлічного випробування.

Роботи по проведенню огляду відносять до особливо небезпечних, оскільки при розтині апарату перед внутрішнім оглядом може статися витік холодоагента, а при пневматичному випробуванні – розрив апарату.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Перед проведенням огляду начальник цеху оформляє наряд-допуск, в якому вказує заходи безпеки, особу, відповідальну за виконання роботи, час і місце проведення робіт, особливі умови і термін дії наряду-допуску.

При пневматичних випробуваннях приймають наступні заходи безпеки:

- припиняють роботу холодильної установки;
- місце випробування захищають і вивішують попереджувальні написи;
- персонал віддаляється в безпечні місця;
- не допускають знаходження сторонніх осіб при випробуванні;
- двері і вікна в приміщенні, де випробовують апарат, відчиняють, приміщення перед випробуванням вентилують;
- не допускають різкого підвищення або зниження тиску в апараті;
- КІП, клапани і замкову арматуру виводять за межі приміщення і розміщують за захисним екраном.

Розрахунок і підбір запобіжного клапана.

Запобіжні клапани установок, що містять фреони, повинні мати відповідні труби для випуску холодоагента назовні. Установка замкових органів на відповідних трубах не допускається.

Пропускна спроможність запобіжного клапана вибирається так, щоб в посудині не міг створитися тиск, що перевищує робочий тиск на 15% (максимальний тиск в системі — тиск конденсації, $p_k = 2,05$ МПа).

Справність клапанів перевіряють не рідше за 1 раз в 6 міс. Після перевірки і регулювання клапани пломбують із складанням акту. Несправні запобіжні клапани негайно замінюють справними.

Мінімальна площа перетину запобіжного клапана:

$$F = \frac{G_p}{\mu \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot p_{сер} \cdot (P_1 - P_2)}} \text{ м}^2$$

де G_p – масова витрата пари холодильного агента, кг/с; $G_p = 0,792$ кг/с;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\mu = 0,75$ – коефіцієнт витрати пари для даної конструкції клапана (визначений виготівником клапана експериментально і записаний в паспорт клапана);

$\rho_{\text{сер}}$ – щільність середовища при тиску P_1 ; $\rho_{\text{сер}} = 105 \text{ кг/м}^3$;

P_1, P_2 – відповідно максимальний абсолютний тиск перед клапаном і за клапаном, $P_1 = 2,05 \text{ МПа}$; $P_2 = 0,1013 \text{ МПа}$;

B – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості речовини при робочих параметрах:

$$B = 1,59 \cdot \sqrt{\frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}} = 1,59 \cdot \sqrt{\frac{1,15}{1,15+1} \cdot \left(\frac{2}{1,15+1}\right)^{\frac{1}{1,15-1}}} = 9,09$$

k – показник адіабати, $k = 1,15$; $0,792$

$$F = \frac{0,75 \cdot 0,909 \sqrt{2 \cdot 105 (19,5 - 1,013) \cdot 10^5}}{16,01 \cdot 10^{-5}} = 16,01 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Визначимо мінімальний діаметр прохідного перетину сідла клапана:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,01 \cdot 10^{-5}}{3,14}} = 1,43 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Електробезпека в приміщенні компресорного цеху.

Приміщення машинного відділення по мірі небезпеки поразки електричним струмом відноситься до групи приміщень без підвищеної небезпеки (сухі, з підлогами з струмонепровідних матеріалів, без струмопровідного пилу).

Згідно Правил пристрою електроустановок, електричне устаткування холодильної установки даного дипломного проекту відноситься до I групи (робоча напруга до 1000 В).

Найважливішим аспектом електробезпеки є хороше заземлення.

Заземлення в даному проекті штучні. У земляований пристрій в

установках розраховую так, щоб система заземлення мала опір менше 4 Ом.

У цехових установках перевірка заземлення проводиться не рідше, ніж 1 раз на рік. Для розрахунку приймаємо контурне заземлення.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункове значення питомого опору ґрунту:

$$p_{zp} = p_p \cdot \psi \quad \text{Ом/м}$$

де p_p – питомий опір, Ом/м; $p_p = 30$ Ом/м;

ψ – кліматичний коефіцієнт, $\psi = 1,3$ Ом/м;

$$p_{zp} = 30 \cdot 1,3 = 39$$

Приймаємо у якості електродів сталеві вертикальні труби: діаметр стрижня $d = 0,04$ м, довжина стрижня $l = 3$ м, відстань між стрижнями $l' = 9$ м.

Відстань від середини стрижня до рівня землі:

$$t = \frac{l}{2} + t_0 \quad \text{м}$$

де t_0 – відстань від вершини стрижня до рівня землі, м; приймаємо $t_0 = 0,6$ м;

$$t = \frac{3}{2} + 0,6 = 2,1 \quad \text{м.}$$

Розраховуємо опір одного вертикального уземлювача:

$$R_0 = \frac{p_{zp}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{l}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right] \quad \text{Ом.}$$

$$R_0 = \frac{39}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,04} \right) + \frac{3}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,1 + 3}{4 \cdot 2,1 - 3} \right) \right] = 12,69 \quad \text{Ом.}$$

Мінімальна кількість уземлювачів:

$$n = \frac{R_0}{R_{\text{необ}}}$$

де $R_{\text{необ}}$ – необхідний опір, Ом; $R_{\text{необ}} = 4,0$ Ом;

$$n = \frac{12,69}{4} = 3,17$$

Приймаємо $n = 4$.

Відношення відстані між стрижнями до довжини стрижня:

$$\frac{l'}{l} = \frac{9}{3} = 3$$

Опір системи вертикальних стрижневих уземлювачів:

$$R_{cy} = \frac{R_0}{n \cdot \eta_e}$$

					$R_{cy} = \frac{R_0}{n \cdot \eta_e}$	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\eta_e = 0,85$ – коефіцієнт використання вертикальних стрижневих уземлювачів;

$$R_{cy} = \frac{12,69}{4 \cdot 0,85} = 3,73 \text{ Ом.}$$

Загальна довжина сполучної смуги (контурне заземлення):

$$l_{cm} = l \cdot n = 9 \cdot 4 = 36 \text{ м.}$$

Визначимо опір розтікання струму сполучної смуги:

$$R_{cm} = \frac{\rho_{zp}}{2 \cdot \pi \cdot \eta_e} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{b \cdot t_0} \text{ Ом}$$

де b – ширина сполучної смуги, м; $b = 0,025$ м;

$$R_{cm} = \frac{39}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,92} \cdot \ln \frac{2 \cdot 36^2}{0,025 \cdot 0,6} = 81,41 \text{ Ом.}$$

Загальний опір системи заземлення дорівнює:

$$R_c = \frac{R_{cm} \cdot R_{cy}}{R_{cm} + R_{cy}} \text{ Ом} \quad R_c = \frac{81,41 \cdot 3,73}{81,41 + 3,73} = 3,57 \text{ Ом.}$$

Протипожежні вимоги до конструкції будівлі і міра його вогнестійкості.

Хладонові холодильні установки по класу вибухо-пожежній і пожежній небезпеці відносяться до категорії Д (негорючі речовини і матеріали в холодному стані), згідно СНіП II-2-80.

Основні конструкції будівлі, в якій розміщуватиметься проектована МКУ, відповідно до СНіП 2.01.02-85 мають бути II міри вогнестійкості з неспалимих матеріалів (міра вогнестійкості несних стін, сходових кліток, колон – не менше 2 годин; сходових майданчиків і так далі – не менше 1 години; перегородок зовнішніх стін з навісних панелей і покриттів – не менше 0,25 години).

Для захисту будівель і споруд від поширення пожежі на весь об'єкт (при його виникненні на якій-небудь ділянці) передбачають протипожежні перешкоди. До таких перешкод відносяться протипожежні стіни, перегородки, перекриття та ін. Поширення вогню допускається лише по конструкціях перегородок на величину не більше 40 см.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також в приміщенні компресорного цеху є засоби пожежної сигналізації. Надійний пожежний зв'язок і сигналізація грають важливу роль в своєчасному виявленні пожеж і виклику пожежних підрозділів до місця пожежі.

За призначенням пожежі зв'язок розділяється на три види:

- зв'язок сповіщення, призначений для виклику пожежних частин (команд) на пожежу;
- диспетчерська, призначена для повсякденного керівництва і керування пожежною охороною;
- зв'язок на пожежі, призначений для керівництва пожежними підрозділами при гасінні пожеж.

Електричну пожежну сигналізацію складають встановлені на ділянках і цехах підприємства сповісники, за допомогою яких сигнал передається на пункт зв'язку, пожежній частині. Пожежні сповісники можуть бути ручної дії і автоматичними. Вони діляться на теплові, димові, світлові, комбіновані і ультразвукові.

У якості засобів пожежогасіння на даній холодильній машині можна рекомендувати вогнегасники, вживані для гасіння спалаху на автотранспортних засобах. Малі габарити, доступність і достатня підйомність дозволять в разі спалаху установки за короткі терміни усунути вогнище пожежі.

Приймаємо у якості основного вуглекислотний брометиловий вогнегасник типу ОУ-5. У якості заряду в ньому використовується зріджений діоксид вуглецю. Подібним вогнегасником можна гасити різні речовини, що горять, і устаткування, що знаходиться під напругою.

Слід розташовувати декілька вогнегасників біля вірогідних вогнищ спалаху пожежі:

- один вогнегасник біля щита автоматики і управління;
- два вогнегасника біля самої установки в досяжному місці.

Так само слід обладнати щит для пожежогасіння:

- ящик з піском (1 шт.);

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- щільне полотно (войлок, асбест);
- лом (2 шт.);
- багор (2 шт.);
- сокира (2 шт.).

Щит слід розташовувати так, щоб в разі виникнення вогню, він був досяжний і не піддався займанню.

Робимо розрахунок ємності пожежного резервуару для гасіння пожежі на виробничому підприємстві.

$$\text{Об'єм приміщень } V = a \cdot b \cdot h = 648 \cdot 4,8 = 3,11 \cdot 10^3 \text{ м}^3$$

Міра вогнестійкості будівлі – ІІ.

Категорія по вибухонебезпеці – Д.

Час гасіння пожежі $\tau = 3$ години.

Кількість одночасних пожеж $n = 1$.

Витрата води на 1 пожеж $= 10 \text{ м}^3 / \text{с}$

Ємність пожежного резервуару:

$$V_{\text{с}} = \frac{k \cdot n \cdot g \cdot \tau \cdot 3600}{1000} \text{ м}^3$$

де K – поправковий коефіцієнт, $K = 1,1 - 1,2$;

n – кількість пожеж;

g – витрата води, $\text{м}^3 / \text{с}$;

τ – час гасіння пожежі;

$$V_{\text{с}} = \frac{1,2 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3600}{1000} = 129,6 \text{ , м}^3$$

Виробнича санітарія. Виробниче освітлення.

У приміщеннях машинних і апаратних відділень холодильних установок передбачають наступні види штучного освітлення:

- робоче;
- аварійне;
- місцеве (для ремонту, наглядання і так далі).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Освітленість робочих поверхонь в машинних і апаратних відділеннях, що створюється робочим освітленням, повинна складати не менше 75 лк при використанні ламп розжарювання або не менше 150 лк при використанні люмінесцентних ламп (система загального освітлення). Освітленість приладів контролю повинна складати не менше 300 лк при використанні будь-яких ламп (система комбінованого освітлення).

Окрім робочого освітлення, в приміщеннях передбачають аварійне освітлення від незалежного джерела, що автоматично включається при відключенні основного джерела освітлення.

Для місцевого освітлення при огляді, ремонті і очищенні внутрішніх порожнин машин і апаратів холодильних установок приймають переносні світильники у вибухозахисному виконанні напругою не вище 12 В.

Розрахуємо освітленість машинного відділення методом світлового потоку. При цьому вибираємо:

- джерело світла – лампи люмінесцентні;
- систему освітлення – загальне освітлення;
- тип світильника – УПД;
- розміри приміщення: довжина $A = 18\text{м}$, ширина $B = 12\text{м}$, висота $H = 4,8\text{м}$.

Приймаємо:

$$L / H_p = 1,4$$

де L – відстань між центрами світильників, м;

H_p – висота світильників над робочою поверхнею, м.

Визначимо висоту світильників над робочою поверхнею:

$$H_p = H - (H_1 + H_2) \text{ м.}$$

де H_1 – відстань від площини робочого місця до підлоги, м; $H_1 = 0,9 \text{ м}$;

H_2 – відстань від світильника до стелі, м; $H_2 = 0,4 \text{ м}$;

$$H_p = 4,8 - (0,9 + 0,4) = 3,5 \text{ м.}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо відстань між центрами світильників. З рівняння

$$L = 1,4 \cdot 3,5 = 4,9 \text{ м.}$$

Кількість світильників:

$$n = \frac{A \cdot B}{L^2} = \frac{18 \cdot 12}{4,9^2} = 9$$

Визначимо освітленість:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot \kappa \cdot z \cdot F \cdot 100}{n \cdot \eta} \text{ лм}$$

де E_H – нормативна мінімальна освітленість, лм; $E_H = 150$ лм;

κ – коефіцієнт запасу, $\kappa = 1,5$;

z – коефіцієнт мінімальної освітленості для люмінесцентних ламп, $z = 1,1$;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, вибирається залежно від вибраного світильника і індексу приміщення і:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A+B)} = \frac{18 \cdot 12}{3,5(18+12)} = 2,06$$

по таблиці визначаємо $\eta = 54$, тоді:

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 216 \cdot 100}{6 \cdot 54} = 16500 \text{ лм}$$

Підбираємо стандартну лампу типу КГ 220-1000-5, зі світловим потоком $\Phi = 22000$ лм.

Визначимо електричну потужність всієї освітлювальної системи:

$$P_{\text{сист}} = P \cdot N \cdot n = 1000 \cdot 1 \cdot 6 = 6000 \text{ Вт}$$

де P – потужність лампи, $P = 1000$ Вт;

N – кількість ламп в одному світильнику, $N = 1$.

n – кількість світильників, $n = 6$.

Обґрунтування потреби у вентиляції повітря. Розрахунок вентиляції.

Забезпечення чистоти повітря і заданих метрологічних умов в приміщеннях є завданням вентиляції. Це завдання особливо важливе для таких приміщень як госпіталь, лікарня і інші виробничі приміщення. Вентиляція досягається видаленням забрудненого або нагрітого повітря з приміщення і подачею в нього свіжого повітря (приплив і витяг).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За способом переміщення повітря, вентиляція буває природною і механічною або змішаною (поєднання природною і механічною).

Система вентиляції може служити для подачі (припливу) або видалення (витяг) повітря з приміщення або для того і іншого (припливно-витяжний). Вона також може бути загальною змінною або місцевою.

Розрахуємо повітрообмін в приміщенні за годину:

$$L = k \cdot V \text{ м}^3 / \text{год}$$

де k – кратність вентиляції або повітрообміну:

- основна $k_{\text{осн}} = 5$,
- аварійна $k_{\text{авар}} = 10$;

V – об'єм приміщення, м^3 :

$$V = A \cdot B \cdot H = 18 \cdot 12 \cdot 4,8 = 1036,8 \text{ м}^3$$

Продуктивність основної вентиляції:

$$L_{\text{осн}} = K_{\text{осн}} \cdot V, \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$L_{\text{осн}} = 5 \cdot 1036,8 = 5184 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Продуктивність аварійної вентиляції:

$$L_{\text{авар}} = K_{\text{авар}} \cdot V, \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$L_{\text{авар}} = 10 \cdot 1036,8 = 10368, \text{ м}^3 / \text{год}$$

Установочна потужність електродвигуна вентилятора:

$$N = \frac{k_3 \cdot L_{\text{авар}} \cdot P_B \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\text{п}}} \text{ кВт}$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, приймаємо $k_3 = 1,1$;

η_B – К.К.Д. вентилятора Ц4-70 № 6,3, $\eta_B = 0,7$;

$\eta_{\text{п}}$ – К.К.Д. приводу, $\eta_{\text{п}} = 1,0$;

$$N = \frac{1,1 \cdot 1036,8 \cdot 600 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,7 \cdot 1} = 0,272, \text{ кВт}.$$

Приймаємо 2 вентилятори і приводи.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Долікарська допомога потерпілому.

У разі отруєння холодоагентом R404a потерпілого треба вивести на свіже повітря або в чисте тепле приміщення, зняти з нього забруднений хладном одяг, прослідити, аби дихання було вільним, і надати повний спокій.

У всіх випадках отруєння вдихати кисень (протягом 30 – 45 хвилин) і зігрівати хворого грілками. У разі потреби давати вдихати з ватки нашатирний спирт.

При роздратуванні слизистої оболонки рекомендується полоскати горло і промивати ніс 2%–м розчином соди або водою. Незалежно від стану потерпілого, він має бути відправлений до лікаря. При ядусі і кашлі хворого слід транспортувати лежачи.

При попаданні холодоагента R404a на шкіру, щоб уникнути обмороження, слід обробити поранену ділянку теплою водою ($35 \div 40^{\circ}\text{C}$), а в разі поразки великої поверхні тіла, зробити загальну ванну. Після ванни шкіру не розтирати, а прикладати рушник, що добре витирає воду. Потім на пошкоджену ділянку шкіри накладають пов'язку з маззю, або просто змащують маззю (Вишневського або пеніциліном). Можна використовувати несолоне вершкове масло. Пухирі, що з'явилися, не розкривати, а накласти на них пов'язку.

При попаданні холодоагента R404a в очі промити струменем чистої води і до приходу лікаря надіти темні окуляри. Не можна забинтовувати очі або накладати на них пов'язку.

Долікарська допомога потерпілому від електричного струму складається з двох послідовних етапів. Перш за все, необхідно швидко потерпілого звільнити від дії струму, потім негайно приступити до надання йому медичної допомоги; одночасно викликають лікаря.

Звільнення потерпілого від дії струму. Звільнити потерпілого від дії струму можна декількома способами. Найбільш простий спосіб – відключення відповідної частини електроустановки.

Аби відірвати потерпілого від струмопровідних частин, можна взятися за його одяг, якщо він сухий. При необхідності, щоб доторкнутися до тіла

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потерпілого, необхідно спочатку надіти на руки діелектричні рукавички або обмотати їх сухим одягом.

Відкинути дрiт, якого торкається потерпілий, можна за допомогою сухої дерев'яної палиці, дошки і інших подібних предметів.

Заходи першої медичної допомоги потерпілому залежать від його стану. Якщо потерпілий в свідомості, але до цього був в непритомності або нетривалий час знаходився під дією струму, йому необхідно створити повний спокій до прибуття лікаря і забезпечити подальше спостереження протягом 2 – 3 г; при неможливості швидко викликати лікаря треба терміново доставити потерпілого до лікувальної установи. За відсутності свідомості, але збереженому диханні, слід укласти потерпілого на м'яку підстилку, розстебнути пояс і одяг, забезпечити приплив свіжого повітря, давати нюхати нашатирний спирт, оббризкувати обличчя водою, розтирати і зігрівати тіло.

Якщо потерпілий дихає насилу – дуже рідко і судорожно, необхідно робити штучне дихання і масаж серця. За відсутності ознак життя, тобто за відсутності дихання, серцебиття, пульсу, не можна вважати потерпілого мертвим, оскільки смерть часто буває такою, що лише здається. В цьому випадку також треба робити штучне дихання і масаж серця, які виконують до відновлення діяльності серця і дихання, в усякому разі, продовжують їх до прибуття медичної допомоги. Лише лікар має право констатувати смерть.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

9.1 Захист приладів, апаратури і системи енергоживлення централізованої холодильної машини (установки) від дії електромагнітного імпульсу ядерного вибуху

Електромагнітний імпульс – один з чинників ядерного вибуху за своєю природою є електромагнітним випромінюванням у вигляді могутнього короткого імпульсу, що вражає електричну і електронну апаратуру. Виникає ЕМІ в основному в результаті взаємодії гамма-випромінювання, що утворюється під час вибуху, з атомами навколишнього середовища.

При взаємодії гамма-квантів з атомами середовища останнім повідомляється імпульс енергії, невелика частка якої витрачається на іонізацію атомів, а основна – на повідомлення поступальної ходи електронам і іонам, що утворилися в результаті іонізації. При цьому в просторі на деякий час відбувається розділення позитивних і негативних зарядів.

Унаслідок того, що щільність повітря в атмосфері зменшується з висотою, в області, що оточує місце вибуху, виходить асиметрія в розподілі електричного заряду (потoku електронів). Асиметрія потоку електронів може виникнути також із-за несиметричності самого потоку гамма-квантів зважаючи на різну товщину оболонки бомби і інших чинників. Несиметричність електричного заряду (потoku електронів) в місці вибуху в повітрі викликає імпульс струму. Він випромінює електромагнітну енергію так само, як і проходження його у випромінюючій антені.

Основними параметрами ЕМІ, що визначають що вражає дію, є характер зміни напруженості електричного і магнітного полів в часі – форма імпульсу і максимальна напруженість поля – амплітуда імпульсу.

Основна частина енергії ЕМІ доводиться на частоти до 30 кГц.

9.2 Характер дії ЕМІ на електричну частину холодильної машини (установки)

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЕМІ здатний викликати могутні імпульси струмів і напруги в проводах і кабелях повітряних і підземних ліній електропередачі, сигналізації, управління і т.п.

Дія ЕМІ може привести до згорання чутливих електронних і електричних елементів, пов'язаних з відкритими проводами, а також до серйозних порушень в цифрових і контрольних пристроях, звично без необоротних змін. Отже, вплив ЕМІ необхідно враховувати для всіх електричних і електронних систем. Особливістю ЕМІ як вражаючого чинника є його здатність розповсюджуватися на десятки і сотні кілометрів в навколишньому середовищі і по різних комунікаціям (мережам електро- і водопостачання, дротяному зв'язку і т. п.). Тому ЕМІ може надати дію там, де ударна хвиля, світлове випромінювання і проникаюча радіація втрачають своє значення як що вражають чинники.

При наземних і низьких повітряних вибухах в зоні радіусом в декілька кілометрів від місця вибуху, в лініях зв'язку і електропостачання виникає напруга, яка може викликати пробій ізоляції проводів і кабелів щодо землі, а також пробій ізоляції елементів апаратури і пристроїв, підключеної до повітряних і підземних ліній.

Ступінь пошкодження залежить в основному від амплітуди наведеного імпульсу напруги або струму і електричної міцності устаткування. Найбільш схильні до дії ЕМІ системи сигналізації, управління і зв'язки. Вживані в цих системах кабелі і апаратура мають граничну електричну міцність не більше 10 кВ імпульсної напруги, тоді як імпульси напруги від ЕМІ ядерного вибуху, що наводяться, можуть перевищувати ці значення.

Людина наражається на небезпеку в районі дії ЕМІ тільки у разі безпосереднього контакту із струмопровідними предметами.

10.3 Методи захисту від дії ЕМІ

Головне завдання захисних пристроїв від ЕМІ – виключити доступ наведених струмів до чутливих вузлів і елементів устаткування, що захищається. Проблема захисту від ЕМІ ускладнюється тим, що імпульс протікає приблизно в 50 разів

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидше, ніж, наприклад, розряд блискавки, і тому прості газові розрядники в даному випадку малоефективні.

У кожному конкретному випадку повинні бути знайдені найбільш ефективні і економічно доцільні методи захисту електричних і електронних елементів. Серед цих методів найбільш поширені:

- екранування;
- оптимальне просторове розміщення і заземлення окремих частин системи;
- застосування пристроїв, що перешкоджають перенапруженню в найбільш критичних місцях.

10.4 Оцінка стійкості роботи холодильного логістично-складського комплексу до дії ЕМІ

Складський комплекс розташований на відстані 6 км. від вірогідної точки прицілювання $R_r = 6$ км.; очікувана потужність боєприпасів $q = 1000$ кт; вибух наземний, вірогідне максимальне відхилення боєприпасів від крапки прицілювання $r_{отк} = 0,6$ км.; у приміщенні лабораторії встановлена електронна контрольно-вимірювальна апаратура і прилади автоматики для проведення необхідних досліджень.

Елементи, схильні дії ЕМІ: система програмного управління лабораторним стендом даного дипломного проекту, що складається з пульта управління і розводящій мережі. Пульт управління виконаний на мікросхемах, які мають струмопровідні елементи заввишки 0,05 м. Робоча напруга мікросхем $U_1 = 12$ В. Живлення від загальної мережі напругою 220В через трансформатор. Допустимі коливання напруги $\pm 15\%$. Розводяща мережу має горизонтальну лінію $l_1 = 50$ м і вертикальні відгалуження висотою $l_2 = 2$ м до різних споживачів.

Робоча напруга $U_2 = 220$ В. Допустиме коливання напруги $\pm 15\%$. Коефіцієнт екранування системи $\eta = 2$.

1. Визначаємо можливу мінімальну відстань від центру вибуху до механічного

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цеху:

$$R_x = R_r - r_{отк} = 6,0 - 0,6 = 5,4 \text{ км.}$$

2. Розраховуємо очікувані на об'єкті максимальні значення вертикальної E_v і горизонтальної E_r складових напруженості електричного поля:

$$E_v = 5 \cdot 10^3 \cdot \frac{(1 + 2 \cdot R_x)}{R_x^3} \lg 14,5 \cdot q = 5 \cdot 10^3 \cdot \frac{(1 + 2 \cdot 5,4)}{5,4^3} \lg 14,5 \cdot 1000 = 1580 \text{ В/м}$$

$$E_r = 10 \cdot \frac{(1 + 2 \cdot R_x)}{R_x^3} \lg 14,5 \cdot q = 10 \cdot \frac{(1 + 2 \cdot 5,4)}{5,4^3} \lg 14,5 \cdot 1000 = 3,2 \text{ В/м}$$

3. Визначаємо максимальну очікувану напругу наведень в системі програмного управління стендом:

– в розвідній електромережі

$$U_r = \frac{E_r \cdot l}{\eta} = \frac{3,2 \cdot 50}{2} = 76 \text{ В}$$

$$U_{v1} = \frac{E_v \cdot l_1}{\eta} = \frac{1580 \cdot 2,0}{2} = 1580 \text{ В}$$

– в пульті управління

$$U_{v2} = \frac{E_v \cdot l_2}{\eta} = \frac{1580 \cdot 0,05}{2} = 40 \text{ В}$$

4. Визначаємо допустиму напругу наведень:

– в пульті управління

$$U_{д1} = 1,15 \cdot U_1 = 1,15 \cdot 12 = 13,8 \text{ В}$$

– в розвідній електромережі

$$U_{д2} = 1,15 \cdot U_2 = 1,15 \cdot 220 = 253 \text{ В}$$

5. Одержані дані записуємо в таблицю і аналізуємо результати оцінки.

Таблиця 9.1 Результати оцінки стійкості механічного цеху до дії ЕМІ наземного ядерного вибуху

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елементи	Допустим а напруга наведень $U_{д у}$	Напруженість електричних полів, В/м		Напруга, що наводиться, в струмопровідни х елементах, В		Результати дії
		$E_{в}$	$E_{г}$	$U_{в}$	$U_{г}$	
Система програмного управління експериментальним стендом						
Пульт управління	13,8	1580	3,2	40	—	Може вийти з ладу
Розвідна електромере жа	253	1580	3,2	1580	76	Може вийти з ладу вертикальної складової електричного поля

Висновки.

1. Складський комплекс може опинитися в зоні дії ЕМІ наземного ядерного вибуху. При цьому може вийти з ладу пульт управління експериментальним стендом. Цех нестійкий до дії ЕМІ.

2. Для підвищення стійкості роботи цеху до ЕМІ ядерного вибуху необхідно провести наступні заходи:

- розвідну мережу системи програмного управління прокласти в сталевих трубах, а пульт управління закрити екраном, екран заземлити;
- на входах (виходах) пульта управління стендом поставити швидкодіючі вимикальні пристрої

10. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В умовах відкритої ринкової економіки розширюється діапазон оцінки ефективності науково-технічних розробок, а отже, збільшується кількість основних видів ефективності НДДКР, які необхідно визначити з метою цієї оцінки. До них належать:

- **науково-технічний ефект**, який проявляється у підвищенні науково-технічного рівня, поліпшенні параметрів техніки і технологій, що впливає з відкриття нових законів та закономірностей у природі, а отже, і нових технологічних засобів виробництва речовин, матеріалів та видів продукції;
- **економічний ефект** полягає в отриманні економічних результатів від науково-технічних розробок як в цілому для народного господарства, так і для кожного виробничого суб'єкта. Економічна ефективність науково-технічних розробок за відповідною системою показників має відображати вплив їхньої результативності
 - на розвиток економіки країни в цілому, а також регіонів, галузей, організацій і підприємств, що беруть участь у реалізації технологічних нововведень;
- **соціальний ефект**, що відображає зміни умов діяльності людини в суспільстві. Його прояв спостерігається в змінах характеру та умов праці, підвищенні життєвого рівня населення, поліпшенні побутових його умов, розширенні можливостей духовного розвитку особистості, у змінах стану довкілля;
- **маркетинговий ефект**, що відображає потреби ринку в наукових дослідженнях і розробках та можливість їх реалізації.

Науково-технічну ефективність (НТЕ) результатів прикладних робіт визначають на основі показників науково-технічного рівня. Оцінка науково-технічної ефективності НДДКР відбувається на основі показника ($O_{НТЕ}$),

який представляє собою ступінь досягнення максимально можливого рівня, значення якого дорівнює 1 (одиниці):					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	76

$$O = K^{\Phi}_{\text{НТЕ}} / K^{\Pi}_{\text{НТЕ}} \quad (10.1)$$

де $K^{\Phi}_{\text{НТЕ}}$ – показник (коефіцієнт) фактичного рівня науково-технічної ефективності;

$K^{\Pi}_{\text{НТЕ}}$ – показник (коефіцієнт) потенціально можливого рівня науково-технічної ефективності (дорівнює одиниці).

Значення показника $K^{\Phi}_{\text{НТЕ}}$ визначають на основі шкали експертних оцінок (табл.(10.1).

Таблиця 10.1

Шкала експертних оцінок для виміру рівня
науково-технічної ефективності проектів

	Групи показників	Характеристика показників	Інтервал рейтингового числа	Коефіцієнт значущості показників
	Науково-технічний рівень	Перевищує кращі світові аналоги	10	0,35
		Відповідає світовому рівню	7 – 9	
		Нижче кращих світових аналогів	5 – 6	
		Перевищує кращі вітчизняні аналоги	3 – 4	
		Відповідає вітчизняному рівню	1 – 2	
		Нижче вітчизняного рівня	0	
	Перспективність	Першочергова значущість	8 – 10	0,35
		Значущий	5 – 7	
		Корисний	1 – 4	
	Потенційний масштаб практичного використання	Світовий ринок	10	0,20
		Галузі національної економіки	7 – 9	
		Галузь (регіон)	3 – 6	
		Окремі підприємства (об'єднання)	1 – 2	
	Ступінь	Великий	10	0,10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

	вірогіднос-ті	Середній	5 – 9	
	досягнення пози- тивних результатів	Малий	1 – 4	

Примітка: об'єкт оцінки і аналог(и), які порівнюють за однаковими показниками, наведеними у співставленому вигляді відхилення в значеннях кожного з показників, мають бути однаковими для варіантів, що порівнюються.

Проведення оцінки

Визначають K^{Φ}_{HTE} на основі експертної оцінки науково-технічного рівня розробки.

З цією метою:

- розроблюють перелік специфічних показників, необхідних для виміру науково-технічного рівня розробки;
- формують групу аналогів, які реалізовані на світовому і вітчизняному ринках;
-
- здійснюють відповідні розрахунки для співставлення показників і визначення балів по табл.10.2

До числа специфічних показників відносять:

- **для нової техніки:** продуктивність, споживання інженерних ресурсів на виробітку одиниці продукції, потреба в робочих, які обслуговують обладнання, експлуатаційні витрати на одиницю продукції;
- **для нових матеріалів і речовин:** вміст корисних речовин для виробітки готової продукції, питома вага відходів у загальному обсязі переробленої сировини, вартість одиниці ... нового матеріалу;
- **для нових технологій:** якість виробленої продукції, енергоємність і трудомісткість продукції, собівартість одиниці

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– продукції.

З метою спрощення визначення $K^{\Phi}_{НТЕ}$ у табл. 10.2 не введено показника витрат на одиницю продукції.

Таблиця 10.2

Порівняльні показники для виконання оцінки НТЕ

ПОКАЗНИКИ	ВАРІАНТИ ТЕХНОЛОГІЙ	
	розробленої	співвідносної (аналога)
Рівень новизни	світовий	-
Якість продукції	найвища	вища
Споживання на 1 т продукції		
– тепла, Гкал	5,14	6,85
– електроенергії, кВт·годину	46,72	54,36
– води, м ³	4,13	3,12
Трудомісткість виробництва, людино-годин/ тонну	17,5	6,17

На основі співставлення даних таблиці встановлюють бали по характеристиках чотирьох груп і на цій основі розраховують значення інтегрального показника НТЕ:

$$НТЕ = \sum B_i \times K_i^3 \quad (10.2)$$

де $i = 1 \div 4$,

B_i – бали (рейтингове число),

K – коефіцієнт значущості показників.

Рівень науково-технічної ефективності НДДКР розраховано на основі наведених даних прикладу (табл. 10.3).

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

Таблиця 10.3

	Групи показників	Рейтинг експертів			Середня за експертними оцінками	НТ Е
		1	2	3		
	Науково-технічний рівень	8	8	9	8,33	2,91 (8,33 х 0,35)
	Перспективність	6	7	6	6,33	2,21 (6,33 х 0,35)
	Потенційний масштаб практичного використання	4	5	5	4,67	0,93 (4,67 х 0,20)
	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	7	8	7	7,33	0,73 (7,33 х 0,10)
В С Ъ О Г О						6,78

Експертна оцінка і розрахунок величини інтегрального показника НТЕ

$$\text{НТЕ} = 7 \cdot 0,35 + 6 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,1 = 2,45 + 2,1 + 1 + 0,6 = 6,15$$

Отриманий результат слід порівняти з максимально можливим значенням, яке дорівнює 10 балам ($10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,35 + 10 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,1$).

Отже, оцінка рівня НТЕ може бути зроблена за допомогою інтегрального коефіцієнта оцінки НТЕ ($K_{\text{НТЕ}}$):

$$K_{\text{НТЕ}} = \frac{\text{НТЕ}}{10} \cdot 100 \%$$

На основі даних табл. 10.3 можна дійти до висновку, що $K_{\text{НТЕ}}$ відповідає 61,5 %, тобто:

$$K_{\text{НТЕ}} = (6,15 \cdot 100) / 10 = 61,5 \%$$

В тому випадку, коли значення $K_{\text{НТЕ}}$ перевищує середнє значення, яке дорівнює 5,0, має бути зроблено висновок про достатній рівень НТЕ:

- цілком достатній 5,0 – 6,0;
- достатній 6,1 – 8,0;
- достатньо високий 8,1 – 9,0;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– високий 9,1 – 10.

Таким чином, рівень НТЕ технології можна визнати достатнім. Отже, розроблену технологію пропонується впроваджувати у виробництво

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності роботи холодильного обладнання авторефрижератора при транспортуванні харчових продуктів.

На основі проведених досліджень можна сформулювати наступні головні висновки:

1. Запропоноване використання акумулювання холоду за рахунок встановлення евтектичних приборів охолодження в авторефрижераторах дозволяє отримати значну економію коштів. Раніше таку схему використовували при перевезенні морозива. Авторефрижератор розвозив продукцію по магазинах, при цьому двері фургона відкривали доволі часто і тим не менше зарядки акумуляторів було достатньо на 12 годин.

2. Що стосується авторефрижераторів з використанням евтектики, які здійснюють між місткі перевезення, то в цьому випадку можливо отримати значну економію коштів. Як відомо зараз вартість дизельного палива доволі значна. Звичайні авторефрижератори використовують дизель генератори, що приводить до значних витрат коштів. При транспортуванні харчової продукції між містами двері евтектичних авторефрижераторів не відчиняються, що дозволяє уникнути зовнішніх тепло припливів в фургон і ефект евтектики буде зберігатись значно довше.

3. По автомобільній трасі є автокемпінги, де можна до зарядити евтектичні батареї за рахунок використання холодильної установки авторефрижератора.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Конспект лекцій по холодильним установкам [Електронний ресурс]
/ О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціювання повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 59 с.
2. Діагностика та аналіз роботи холодильних установок : конспект лекцій [Електронний ресурс] : з напрямку підгот. “Енергомашинобудування”
/ О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціювання повітря. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 61 с.
3. Конспект лекцій по холодильним установкам [Електронний ресурс]
/ О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціювання повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 59 с.
4. Методичні вказівки для розрахунку провізійних камер [Електронний ресурс]
/ О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціювання повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2020. — 24 с.
5. Методичні вказівки та примірний розрахунок по курсовому та дипломному проектуванню з дисципліни "Холодильні машини і установки спеціального призначення" [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціювання повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2019. — 34 с.
6. Монтаж та ремонт холодильних установок : конспект лекцій [Електронний ресурс] : з напрямку підгот. “Енергомашинобудування” / О. С. Подмазко ; Каф. холодильних установок і кондиціювання повітря. — Одеса : ОНТУ, 2022. — 52 с.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. Суднова холодильна техніка [Електронний ресурс] : конспект лекцій / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНАХТ, 2020. — 59 с.
8. Холодильні установки спеціального призначення : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 99 с.
9. Штучний холод в енергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії [Електронний ресурс] : навч. посіб. / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Одес. нац. технол. ун-т. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 184 с. : рис., табл. — Бібліогр. : 16 назв. Мова: **Українська** Шифр: **621.56/59(075)** Авторський знак: **П45**
10. Аналіз зміни середньооб'ємної температури при охолодженні харчових продуктів [Текст] / О. С. Подмазко, І. О. Подмазко // Холодил. техніка та технологія. — 2018. — Т. 54, № 2. — С.48-51 : рис., табл. — Бібліогр.: 3 назв.
11. Суднова холодильна техніка. Рефрижераторні контейнери : метод. вказівки [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 23 с.
12. Холодильні установки. Системи відводу теплоти конденсації : метод. вказівки [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. А. Піщанська ; Каф. холодильних установок і кондиціонування повітря. — Одеса : ОНТУ, 2023. — 21 с.
13. Холодильні установки спеціального призначення [Текст] : підручник / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Вид. Грінь Д.С., 2013. — 488 с. : табл., рис. — Бібліогр.: с. 483.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Холодильні установки та сфери їх використання [Текст] : підручник
 / М. Г. Хмельнюк, О. С. Подмазко, І. О. Подмазко ; під заг. ред. М. Г. Хмельнюка ;
 Одес. нац. акад. харч. технологій. — Херсон : Грінь Д.С., 2014. — 484 с. : іл.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.3.9	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		