

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



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Проект холодильника для фермерського господарства

Здобувача Осадчий В.М.

(прізвище, ініціали)

4 курсу ЕН-141а групи

Керівник доц. каф. ХУКП 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 _____ Михайло ХМЕЛЬНЮК

(назва кафедри)

(підпис)

(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

Осадчого Володимира Миколайовича

- Тема роботи Проект холодильника для фермерського господарства
Затверджена наказом академії від 26.09.2025 р. наказ № 499-03
- Термін здачі здобувачем закінченої роботи 30.05.2026 р.
- Вихідні дані роботи: теплове навантаження 20кВт; температура конденсації $t_k = 30^\circ\text{C}$; вантажопідйомність 1000 кг; температури кипіння $t_0 = -15^\circ\text{C}$; робоча речовина R-134a (провести порівняння з R-290)
- Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; технічні рішення прийняті в проєкті; теплові розрахунки: холодильного циклу, компресора, конденсатора, повітроохолоджувача; підбір допоміжного устаткування; автоматизація; економічна частина; цивільний захист; охорона праці; перелік використаної літератури
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): план причепу; розміщення холодильного обладнання; повітроохолоджувач; презентація

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 _____

Осадчий Володимир Миколайович

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ, технічні рішення прийняті в проекті	15.02.2026	виконав
2	Тепловий розрахунок холодильного циклу та підбір компресора	15.03.2026	виконав
3	Тепловий розрахунок повітроохолоджувача та конденсатора, автоматизація	01.04.2026	виконав
4	Підбір допоміжного устаткування, Цивільний захист. Охорона праці. Техніко-економічний розрахунок. Креслення.	01.05.2026	виконав

Здобувач-дипломник _____ Осадчий Володимир Миколайович

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 роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник Осадчий Володимир Миколайович

РЕФЕРАТ

Бакалавр ЕН-141а групи Осадчий Володимир Миколайович

Керівник: доцент, кандидат технічних наук Подмазко О.С.

Об'єкт дослідження: Причеп на базі холодильної установки.

Мета дослідження: Створити пристрій (причеп), що дозволяє транспортувати сільськогосподарську продукцію від виробника до споживача та сприяти збільшенню термінів зберігання.

Як відомо, при охолодженні продукції рослинного походження загальмовуються процеси дихання і дозрівання, знижується активність мікробіологічної флори і швидкість ферментативних процесів. Усі ці чинники сприяють збільшенню термінів зберігання. Для попередження небажаних якісних змін в продуктах необхідно з охолоджувати відразу після збору. Кінцевою метою сільгоспвиробників є не усі зростаючі обсяги виробництва продукції, а реалізація її за найбільш вигідною ціною. В кваліфікаційній роботі був розроблений причеп (вантажопідйомність 1000 кг) на базі холодильної установки, що дозволяє зберігати та транспортувати сільськогосподарську продукцію. Холодильна установка має теплове навантаження 20 кВт при температурі конденсації та температурі кипіння, відповідно $t_k = 30^{\circ}\text{C}$ та $t_0 = -15^{\circ}\text{C}$. В холодильному циклі використовується робоча речовина R-134a. В кваліфікаційній роботі було приділено увагу таким питанням, як теплові розрахунки: холодильного циклу, компресора, конденсатора, повітроохолоджувача; підбір допоміжного устаткування; автоматизація; економічна частина; цивільний захист; охорона праці.

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 82 с., 15 рис., 21 табл., 15 літературних джерел, 14 ілюстративного матеріалу.

Ключові слова: ПРИЧЕП, ТЕМПЕРАТУРИ КИПІННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЇ, ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ, РОБОЧА РЕЧОВИНА, КОМПРЕСОР, ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧ, КОНДЕНСАТОР, ЦИКЛ.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ABSTRACT

Bachelor of the EN-141a group Osadchy Volodymyr Mykolayovych

Supervisor: Associate Professor, Candidate of Technical Sciences Podmazko O.S.

Object of research: Trailer based on a refrigeration unit.

Purpose of research: To create a device (trailer) that allows transporting agricultural products from the producer to the consumer and contribute to increasing the shelf life.

As is known, when cooling products of plant origin, the processes of respiration and ripening are slowed down, the activity of microbiological flora and the speed of enzymatic processes are reduced. All these factors contribute to increasing the shelf life. To prevent undesirable qualitative changes in products, it is necessary to cool them immediately after harvesting. The ultimate goal of agricultural producers is not to increase the volume of production, but to sell them at the most favorable price. In the qualification work, a trailer (loading capacity of 1000 kg) based on a refrigeration unit was developed, which allows storing and transporting agricultural products. The refrigeration unit has a heat load of 20 kW at the condensation temperature and boiling temperature, respectively $t_k = 30^{\circ}\text{C}$ and $t_0 = -15^{\circ}\text{C}$. The working fluid R-134a is used in the refrigeration cycle. The qualification work paid attention to such issues as thermal calculations: refrigeration cycle, compressor, condenser, air cooler; selection of auxiliary equipment; automation; economic part; civil protection; labor protection.

The bachelor's qualification work contains 82 p., 15 fig., 21 tab., 15 literary sources, 14 illustrative material.

Keywords: TRAILER, BOILING AND CONDENSATION TEMPERATURES, HEAT LOAD, WORKING FLUID, COMPRESSOR, AIR COOLER, CONDENSER, CYCLE.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
1. Технічні рішення прийняті в проекті.....	11
2. Тепловий розрахунок компресора.....	15
3. Тепловий та конструктивний розрахунок повітроохолоджувача.....	28
4. Тепловий та конструктивний розрахунок конденсатора з повітряним охолодженням.....	42
5. Розрахунок та підбір допоміжного обладнання.....	51
6. Основні принципи автоматичного управління роботою машини.....	58
7. Економічна частина.....	67
8. Охорона праці.....	73
9. Цивільний захист.....	78
Список використаної літератури.....	81

					Д.П.: Проект холодильника для фермерського господарства				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Осадчий В.М.			Пояснювальна записка	Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Подмазко О.С.					6	82	
Реценз.						ОНТУ гр. ЕН-141а			
Н. Контр.									
Затверд.									

ВСТУП

Рослинні продукти є біологічними активними. Основним процесом рослинних продуктів є процес дихання, який пов'язаний з втратою ними вологи, втратою стійкості до захворювань, а також в'яненням. Таким чином охолодження рослинних продуктів є біологічними обумовленим процесом, який забезпечує збереження продуктів. При охолодженні продукції рослинного походження загальмовуються процеси дихання і дозрівання, знижується активність мікробіологічної флори і швидкість ферментативних процесів. Усі ці чинники сприяють збільшенню термінів зберігання. Для попередження небажаних якісних змін в продуктах необхідно з охолоджувати відразу після збору. Кінцевою метою сільгоспвиробників є не усі зростаючи обсяги виробництва продукції, а реалізація її за найбільш вигідною ціною. Проект аграрного маркетингу організував і провів останнім часом цілу низку заходів, присвячених цим актуальним питанням. Фермери отримали можливість зустрітися, прослухати лекції, отримати консультації і практичні рекомендації по кожному зі своїх господарств. Овочі починають швидше "старіти" і робитися непридатними, тому украй важливо якнайшвидше охолодити продукцію, призначену для закладки на тривале зберігання. Для найбільш успішного зберігання зібраних продуктів слід впроваджувати так званий "холодильний ланцюг" - інфраструктуру холодильних об'єктів, яка діє як єдине ціле від поля до споживача. Її початкові ланки - це приміщення для попереднього охолодження по сусідству з виробництвом (полем, садом). Також потрібне створення малих і середніх холодильних сховищ в зручно розташованих місцях(зони виробництва, розподільні пункти, ринки)

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зберігання овочів

В період збору картоплі велике значення мають температура, вологість, наявність кисню, яка за відсутності світла регулюється за допомогою вентиляції. Контроль за цими чинниками здійснюється впродовж усього періоду зберігання.

Відразу після збирання картоплі починається лікувальний період, впродовж якого картопля дозріває, отримані нею в період прибирання ушкодження поступово гояться, шкірка зміцнюється, а смак стає кращий. Тривалість лікувального періоду 40-45 діб, оптимальна температура в цей час 18-19°C, але може доходити до 11-13°C (залежно від умов погоди), вологість 90-95%. Для проходження лікувального періоду картоплю можна закладати на тимчасове зберігання. Продовольча картопля в лікувальний період повинна знаходитися в темряві, насінній може міститися на світлі і озеленюватися. У кінці лікувального періоду проявляються усі приховані поразки картоплі, тому перед закладкою на постійне зберігання її оглядають і видаляють усі пошкоджені. Продовольча картопля може зберігатися і при температурі 1-2°C, особливо після збирання в несприятливих умовах (перезволоження, фітофтороз). Така температура стримує розвиток грибних і бактерійних хвороб, та зате сприяє накопиченню у картоплі підвищеного вмісту цукру. Тому перед вживанням на продовольчі цілі або на переробку картоплі необхідно 1-2 тижні витримати при температурі 15-17°C. Цукор, що за цей час накопичився, перейде в крохмаль і смак картоплі відновиться. Температура повітря при зберіганні насінної картоплі дещо вищий, ніж продовольчого. Різним сортам потрібно неоднакові температурні умови, але зберігання при температурі від 4-6°C не приводить, як правило, до зниження насінних якостей.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зберігання баклажанів

Баклажани - харчовий продукт високої біологічної цінності. У них міститься у великій кількості солі калію, які сприяють виведенню з організму рідини і хлористого натрію(повіреному солі), а також органічні кислоти і вітамін С. Це дозволяє рекомендувати їх людям середнього та похилого віку, а також людям, які страждають серцево-судинними захворюваннями. Для закладки на зберігання плоди збирають перед початком заморозків. Ножем їх зрізують разом з плодоніжкою завдовжки до 3 см. Термін зберігання баклажанів - до двох місяців, залежно від сорту, міри зрілості і температури в сховищі. Найкраща температура 6 - 7 градусів, відносна вологість повітря - 85 - 90 відсотків.

Зберігання цвітної капусти

Цвітна капуста разом з невеликою кількістю розеткового листя упаковується в поліетиленову плівку завтовшки 50-80 мкм. Аналогічним методом упаковується і рання капуста. Така майже герметична упаковка дозволяє при температурі 2-4 градуси зберігати капусту до двох міс., а при 0-1 градусі - до трьох - чотирьох мес. Цвітну капусту укладають в один шар, щоб зменшити можливість ушкодження. Ключовою умовою є саме температура зберігання, оскільки при тій же упаковці, але з температурою 6-8 градусів можна зберегти якісним цей продукт на менш чим 8-10 діб.

Зберігання томатів

Помідори залежно від міри зрілості вимагають різних температурних умов зберігання! Після збору їх сортують і укладають в 1-2 ряди в невеликі ящики. Плоди червоної або споживчої міри зрілості здатні зберігатися близько 30 днів, але їх варто помістити в холодильну камеру і зберігати при температурі 0-2 градуси і при відносній вологості 85-90 відсотків. Зелені і молочній зрілості томати призначені для тривалого зберігання.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Їх зберігають при температурі 10-12 градусів. Відносна вологість підтримується на рівні 80-85 відсотків. У таких умовах вони можуть зберігатися декілька місяців. Якщо температуру понизити до 1-2 градусів, томати втрачають здатність до дозрівання.

Зберігання огірків

Щоб зібрані огірки зберегти не 2-3 дні, а 10-15, їх пакують в поліетиленові пакети по 2кг, потім наповнені пакети відкритими встановлюють в ящики місткістю 10-15кг або на стелажі. Оптимальна температура їх зберігання 8-10°C. Якщо температура буде більш високою, огірки в'януть і жовтіють, якщо ж низькою - вони переохолоджувалися, після чого можуть з'являтися фізіологічні зміни. Упаковка дозволяє зберігати потрібну відносну вологість повітря (85-95%).

Зберігання кабачків

Зберігати кабачки краще в поліетиленових пакетах, або використовуючи поліетиленову плівку або папір як прокладення між шарами кабачків, якщо вони складені в ящиках. Це дозволить уникнути скупчення конденсату на плодах. Для хорошого зберігання кабачків важливо підтримувати температуру 0 +4°C. Якщо кабачки зберігаються більше 15 днів, вони огрубівають.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПРИЙНЯТІ В ПРОЕКТІ

Машина призначена для роботи в складі сільськогосподарської техніки при зборі врожаю зернових, фруктів, ягід, при підготовці молока для здачі на переробні заводи.

Машина може забезпечувати підтримку низької температури в приміщенні тимчасового перебування людей при несприятливих зовнішніх умовах (висока температура навколишнього середовища, тимчасового перебування швидко псуючих продуктів харчування та ін.).

Машина змонтована як єдиний блок с автономним джерелом живлення (бензиновим генератором) і встановлена на автомобільному причепі. Причеп розрахований на вантажопідйомність 1000 кг.

В схему холодильної машини входять: компресор, конденсатор повітряного охолодження, повітроохолоджувач, лінійний ресивер, масловіддільник. Робочою речовиною в машині являється фреон R-134a.

Працює схема таким чином: компресор відсмоктує пару робочої речовини з повітроохолоджувача і стискує її. Далі, пари робочої речовини поступають у масловіддільник, де масло відділяється. Після масловіддільника очищена пара поступає в конденсатор з повітряним охолодженням, де відбувається перехід з пароподібного стану в рідкий. Після конденсатора робоча речовина поступає в лінійний ресивер. Після ресиверу рідина проходячи дросельний пристрій, знижує свій тиск від тиску конденсації до тиску кипіння. У повітроохолоджувачі відбувається кипіння під впливом зовнішніх і внутрішніх тепло припливів, та робоча речовина знову стає пароподібною.

Повітроохолоджувач – повітряний, оснащений осьовим вентилятором, розміщеним в кожусі, кожух всього повітроохолоджувача заізолюваний ізоляцією. Повітроохолоджувач підключений повітряними трубопроводами до охолоджуваного об'єкту.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Конденсатор – повітряний, оснащений осьовим вентилятором, розміщеним в кожусі може підключатися за допомогою м'яких трубопроводів до приміщення, якщо потрібно його опалювати.

Лінійний ресивер забезпечує запас холодильного агенту в системі.

Масловіддільник – встановлений на лінії між компресором і конденсатором забезпечує надійне повернення масла в компресор.

Компресор – спіральний, герметичний, марки Copeland – ZR160-KC.

В якості регулюючих пристроїв використовується – терморегулюючий вентиль (TRV).

Машина призначена для роботи в діапазоні температур:

$$t_{\text{нав.сер.}} = (-20... + 50^{\circ} \text{C})$$

1.1 Визначення раціональної холодопродуктивності мобільної холодильної установки

Холодильна і тепло насосна техніка, змонтована на мобільних пристроях або транспортних засобах, повинна відповідати таким вимогам:

- вантажопід'ємність транспортного засобу і габаритні розміри кузова є головним аргументом для розрахунку продуктивності холодильної машини або теплового насоса та вибору устаткування, що їх комплектує;
- температурний режим роботи установки не повинен залежати від коливань температури зовнішнього повітря;
- система охолодження та підігріву теплообмінних апаратів повинна бути тільки типу " повітря - повітря ";
- система енергопостачання установки не повинна залежати від головного двигуна транспортного засобу;
- керування і регулювання роботи установки повинне забезпечуватися через повну автоматизацію за допомогою електронних приладів;
- компоновання теплообмінних апаратів повинно мати просте, швидке та надійне з'єднання установки з об'єктом дії.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виконання всіх перерахованих умов є необхідним при проектуванні мобільних холодильних машин і теплових насосів для використання їх у системі сільського господарства.

На підставі сказаного робимо таким чином: по загальним показникам в діапазоні продуктивності від 10 до 70 кВт у режимі $t_0 = -10^{\circ}\text{C}$ і $t_k = 45^{\circ}\text{C}$ на R22 визначаємо масу і габарити всіх елементів холодильної машини (компресора, повітряного конденсатора, повітроохолоджувача) і системи автономного енергопостачання машини.

Для розрахунку будуть використані математичні залежності:

Характеристики компресора:

$$Q_0 = V_h * q_v * \lambda$$

$$Q_k = V_h * q_v * \lambda * \frac{COP_{mn}}{COP_{xm}}$$

Характеристика повітроохолоджувача:

$$Q_0 = k_{\text{вo}} * F_{\text{вo}} * \theta_{\text{м вo}}$$

Характеристика конденсатора:

$$Q_{\text{кo}} = k_{\text{кo}} * F_{\text{кo}} * \theta_{\text{м кo}}$$

Маса – габаритні характеристики елементів машини:

Компресор:

$$V_h = f(Q_0)$$

$$M_{\text{км}} = f(V_h) \quad V_{\text{км}} = f(V_h)$$

Повітроохолоджувач:

$$M_{\text{во}} = f(F_{\text{во}}) \quad V_{\text{во}} = f(F_{\text{во}})$$

Конденсатор:

$$M_{\text{ко}} = f(F_{\text{ко}}) \quad V_{\text{ко}} = f(F_{\text{ко}})$$

Дизельний генератор:

$$M_{\text{дe}} = f(N_e) \quad V_{\text{дe}} = f(N_e)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Реальні габаритні характеристики машини включають не тільки чисті габарити кожного елемента, але й обсяг простору, необхідний для вільної циркуляції повітря через конденсатор і повітроохолоджувач, простір для нормальної експлуатації кожного елемента системи, несучої рами та ізоляційної конструкції повітроохолоджувача.

Додатковий габаритний простір визначений на підставі вивчення комплектування моноблочних машин різного призначення малої і середньої продуктивності. Коефіцієнт використання простору, відповідно, в 2,2...6 разів менше повних габаритів машини. Менше значення ставиться до машин більшої продуктивності, більше значення - до машин меншої продуктивності.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК КОМПРЕСОРА

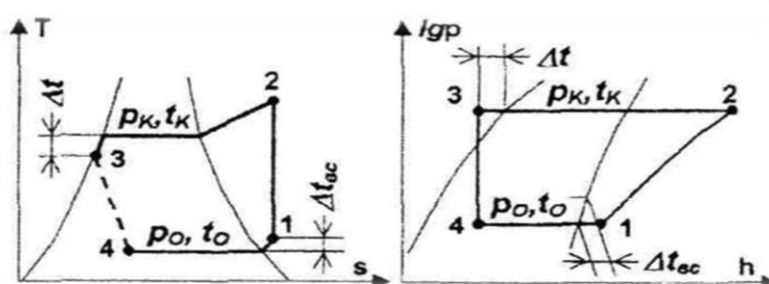
2.1 Розрахунок на R-134a

Вихідні дані: $Q_0 = 20$ кВт;

$$t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$t_k = 30\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Цикл холодильної машини



Таблиця 2.1- Параметри циклу

Параметри	Од. вим.	Точки			
		1	2	3	4
Тиск, p	мПа $^{\circ}\text{C}$	1,641	7,7	7,7	1,641
Температура, t		0	51	25	-15
Ентальпія, h	кДж/кг	401	435	234	234
Об'єм, v	кг/м ³	0,129			

Питомі характеристики циклу.

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4 (\text{кДж/кг}) \quad (2.1)$$

$$q_0 = h_1 - h_4 = 401 - 234 = 167 (\text{кДж} / \text{кг})$$

Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (2.2)$$

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{167}{0,129} = 1294,6 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right)$$

Питома адіабатна робота стиску:

$$l = h_2 - h_1, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.3)$$

$$l = h_2 - h_1 = 435 - 401 = 34 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Питоме тепло, відведене в конденсаторі:

$$q_k = h_2 - h_3, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.4)$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 435 - 234 = 201 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Масова витрата агенту:

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right) \quad (2.5)$$

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{20}{167} = 0,12 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_\partial = M_a \times v_1, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.6)$$

$$V_\partial = M_a \times v_1 = 0,12 \times 0,129 = 0,0155 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \times \lambda'_w \quad (2.7)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

$$\lambda_c = 1 - c \times \left[\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (2.8) \quad \lambda'_w = \frac{T_0 + \theta}{\alpha \times T_k + \beta \times \theta} \quad (2.8)$$

де:

λ_c – коефіцієнт подачі, який враховує вплив «мертвого простору»;

c - відносна величина «мертвого простору». В компресорі приймається $c = 0,03$;

m – показник політропи зворотного розширення з «мертвого простору»;

λ'_w - коефіцієнт, який враховує об'ємні втрати, обумовлені дроселюванням пари в клапанах, підігрів пари від стінок циліндра в процесі всмоктування, перетіканням з порожнини стискування в порожнину всмоктування в результаті внутрішніх нещільностей;

θ - загальний перегрів робочої речовини на всмоктуванні:

$$\theta = t_1 - t_0, ^\circ\text{C} \quad (2.9)$$

$$\theta = t_1 - t_0 = 0 - (-15) = 15^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 1 - 0,03 \times \left[\left(\frac{7,74}{1,641} \right)^1 - 1 \right] = 0,89$$

$$\lambda'_w = \frac{258 - 15}{1,12 \times 303 + 0,5 \times 15} = 0,78$$

$$\lambda = 0,89 \times 0,78 = 0,694$$

Теоретична об'ємна продуктивність:

$$V_h = \frac{V_\partial}{\lambda}, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.10)$$

$$V_h = \frac{V_\partial}{\lambda} = \frac{0,0155}{0,694} = 0,022 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \times l, (\text{кВт}) \quad (2.11)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_a = M_a \times l = 0,12 \times 34 = 4,08 \text{ (кВт)}$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i}, \text{ (кВт)} \quad (2.12)$$

де η_i – індикаторний ККД:

$$\eta_i = \lambda'_w + b \times t_0, \quad (2.13)$$

b – коефіцієнт: $b = 0,0025$

$$\eta_i = 0,78 + 0,0025 \times (-15) = 0,7425$$

$$N_i = \frac{4,08}{0,7425} = 5,5 \text{ (кВт)}$$

Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{imp}, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

де: P_{imp} - середній індикаторний тиск тертя, приймаємо $P_{imp} = 50 \text{ кПа}$

$$N_{mp} = 0,022 \times 50 = 1,1 \text{ (кВт)}$$

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_{mp} + N_i, \text{ (кВт)} \quad (2.15)$$

$$N_e = N_{mp} + N_i = 1,1 + 5,5 = 6,6 \text{ (кВт)}$$

2.2 Розрахунок на R-290

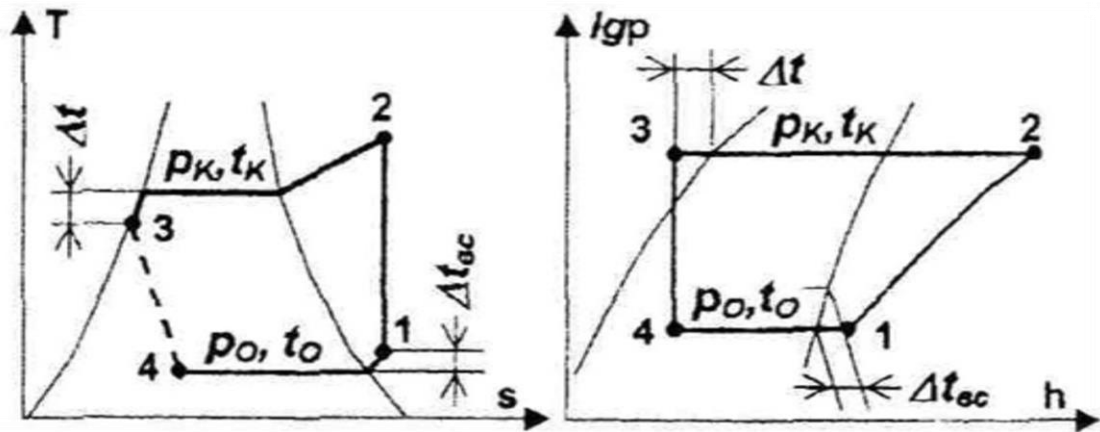
Вихідні дані: $Q_0 = 20 \text{ кВт}$;

$$t_0 = -15 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_k = 30^\circ\text{C}.$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цикл холодильної машини



Таблиця 2.2- Параметри циклу

Параметри	Од. вим.	Точки			
		1	2	3	4
Тиск, p	мПа	2,9	11	11	2,9
Температура, t	°C	0	51	25	-15
Ентальпія, h	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	582	648	263	263
Об'єм, v	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,166			

Питомі характеристики циклу.

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.16)$$

$$q_0 = h_1 - h_4 = 582 - 263 = 319 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (2.17)$$

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{319}{0,166} = 1921,7 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right)$$

Питома адіабатна робота стиску:

$$l = h_2 - h_1, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.18)$$

$$l = h_2 - h_1 = 648 - 582 = 66 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Питоме тепло, відведене в конденсаторі:

$$q_k = h_2 - h_3, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.19)$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 648 - 263 = 385 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Масова витрата агенту:

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right) \quad (2.20)$$

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{20}{319} = 0,063 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_o = M_a \times v_1, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.21)$$

$$V_o = M_a \times v_1 = 0,063 \times 0,166 = 0,01 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \times \lambda'_w, \quad (2.22)$$

де:

$$\lambda_c = 1 - c \times \left[\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (2.24) \quad \lambda'_w = \frac{T_0 + \theta}{\alpha \times T_k + \beta \times \theta}, \quad (2.23)$$

де:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

λ_c – коефіцієнт подачі, який враховує вплив «мертвого простору»;
 c - відносна величина «мертвого простору». В компресорі приймається
 $c = 0,03$;

m – показник політропи зворотного розширення з «мертвого простору»;

λ'_w - коефіцієнт, який враховує об'ємні втрати, обумовлені дроселюванням пари в клапанах, підігрів пари від стінок циліндра в процесі всмоктування, перетіканням з порожнини стискування в порожнину всмоктування в результаті внутрішніх нещільностей;

Θ - загальний перегрів робочої речовини на всмоктуванні:

$$\Theta = t_1 - t_0, ^\circ\text{C} \quad (2.24)$$

$$\Theta = t_1 - t_0 = 0 - (-15) = 15^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 1 - 0,03 \times \left[\left(\frac{11}{2,9} \right)^1 - 1 \right] = 0,91$$

$$\lambda'_w = \frac{258 - 15}{1,12 \times 303 + 0,5 \times 15} = 0,78$$

$$\lambda = 0,91 \times 0,78 = 0,71$$

Теоретична об'ємна продуктивність:

$$V_h = \frac{V_\partial}{\lambda}, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.25)$$

$$V_h = \frac{V_\partial}{\lambda} = \frac{0,01}{0,71} = 0,014 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \times l, (\text{кВт}) \quad (2.26)$$

$$N_a = M_a \times l = 0,63 \times 66 = 4,158 (\text{кВт})$$

Індикаторна потужність компресора:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i}, (\text{кВт}) \quad (2.27)$$

де: η_i – індикаторний ККД.

$$\eta_i = \lambda'_w + b \times t_0, \quad (2.28)$$

b – коефіцієнт: $b = 0,0025$

$$\eta_i = 0,78 + 0,0025 \times (-15) = 0,7425$$

$$N_i = \frac{4,158}{0,7425} = 5,6 (\text{кВт})$$

Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{imp}, \text{кВт} \quad (2.29)$$

де: P_{imp} - середній індикаторний тиск тертя, приймаємо $P_{imp} = 50$ кПа

$$N_{mp} = 0,014 \times 50 = 0,7 (\text{кВт})$$

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_{mp} + N_i, (\text{кВт}) \quad (2.30)$$

$$N_e = N_{mp} + N_i = 0,7 + 5,6 = 6,3 (\text{кВт})$$

2.3 Розрахунок на R-22

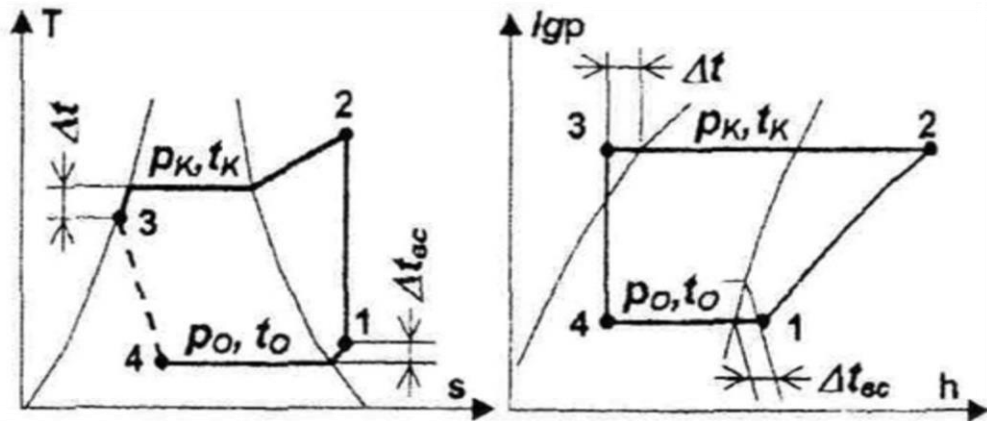
Вихідні дані: $Q_0 = 20$ кВт;

$$t_0 = -15^\circ\text{C};$$

$$t_k = 30^\circ\text{C}.$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цикл холодильної машини



Таблиця 2.3 - Параметри циклу

Параметри	Од. вим.	Точки			
		1	2	3	4
Тиск, p	мПа	3	12	12	3
Температура, t	°C	0	69	25	-15
Ентальпія, h	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	410	447	230	230
Об'єм, v	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	0,083			

Питомі характеристики циклу.

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = h_1 - h_4, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.31)$$

$$q_0 = h_1 - h_4 = 410 - 230 = 180 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Питома об'ємна холодопродуктивність:

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right) \quad (2.32)$$

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} = \frac{180}{0,083} = 2168,7 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3} \right)$$

Питома адіабатна робота стиску:

$$l = h_2 - h_1, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.33)$$

$$l = h_2 - h_1 = 447 - 410 = 37 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Питоме тепло, відведене в конденсаторі:

$$q_k = h_2 - h_3, \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right) \quad (2.34)$$

$$q_k = h_2 - h_3 = 447 - 230 = 217 \left(\frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \right)$$

Масова витрата агенту:

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0}, \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right) \quad (2.35)$$

$$M_a = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{20}{180} = 0,11 \left(\frac{\text{кг}}{\text{с}} \right)$$

Дійсна об'ємна продуктивність компресора:

$$V_d = M_a \times v_1, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.36)$$

$$V_d = M_a \times v_1 = 0,11 \times 0,083 = 0,009 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Коефіцієнт подачі компресора:

$$\lambda = \lambda_c \times \lambda'_w, \quad (2.37)$$

де:

$$\lambda_c = 1 - c \times \left[\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right] \quad (2.40) \quad \lambda'_w = \frac{T_0 + \theta}{\alpha \times T_k + \beta \times \theta}, \quad (2.38)$$

λ_c – коефіцієнт подачі, який враховує вплив «мертвого простору»;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

c - відносна величина «мертвого простору». В компресорі приймається $c = 0,03$;

m – показник політропи зворотного розширення з «мертвого простору»;

λ'_w - коефіцієнт, який враховує об'ємні втрати, обумовлені дроселюванням пари в клапанах, підігрів пари від стінок циліндра в процесі всмоктування, перетіканням з порожнини стискування в порожнину всмоктування в результаті внутрішніх нещільностей;

θ - загальний перегрів робочої речовини на всмоктуванні:

$$\theta = t_1 - t_0, ^\circ\text{C} \quad (2.39)$$

$$\theta = t_1 - t_0 = 0 - (-15) = 15^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 1 - 0,03 \times \left[\left(\frac{12}{3} \right)^1 - 1 \right] = 0,91$$

$$\lambda'_w = \frac{258 - 15}{1,12 \times 303 + 0,5 \times 15} = 0,78$$

$$\lambda = 0,91 \times 0,78 = 0,71$$

Теоретична об'ємна продуктивність:

$$V_h = \frac{V_\theta}{\lambda}, \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right) \quad (2.40)$$

$$V_h = \frac{V_\theta}{\lambda} = \frac{0,009}{0,71} = 0,0127 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \right)$$

Адіабатна потужність компресора:

$$N_a = M_a \times l, (\text{кВт}) \quad (2.41)$$

$$N_a = M_a \times l = 0,11 \times 37 = 4,07 (\text{кВт})$$

Індикаторна потужність компресора:

$$N_i = \frac{N_a}{\eta_i}, (\text{кВт}) \quad (2.42)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: η_i – індикаторний ККД.

$$\eta_i = \lambda'_w + b \times t_0, \quad (2.43)$$

b – коефіцієнт: $b = 0,0025$

$$\eta_i = 0,78 + 0,0025 \times (-15) = 0,7425$$

$$N_i = \frac{4,07}{0,7425} = 5,48(\text{кВт}) \quad (2.44)$$

Потужність тертя:

$$N_{mp} = V_h \times P_{imp}, \text{кВт} \quad (2.45)$$

де: P_{imp} - середній індикаторний тиск тертя, приймаємо $P_{imp} = 50$ кПа

$$N_{mp} = 0,0127 \times 50 = 0,635 (\text{кВт})$$

Ефективна потужність компресора:

$$N_e = N_{mp} + N_i, (\text{кВт}) \quad (2.46)$$

$$N_e = N_{тр} + N_i = 0,635 + 5,48 = 6,115 (\text{кВт})$$

В тепловому розрахунку компресора були проведені розрахунки на речовинах R-22, R-134a і R-290. Це проводилося для того, щоб вибрати холодильний агент, в якому буде найменше значення об'ємної холодопродуктивності, а значить і менший по габаритах і масі компресор. В даному проекті використано компресор, який по габаритам, масі відповідає вантажопід'ємності причепа 1000 кг.

Різні компанії по виробництву компресорів пропонують величезну кількість моделей з різними характеристиками. Перевага надана фірмі по виробництву компресорів Copeland. З програми по вибору компресора, яку пропонує фірма, вибираємо компресор по холодопродуктивності, а також об'ємній холодопродуктивності.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибираємо спіральний компресор – Copeland марки ZR160KC-TFD.

2.4 Характеристики компресора Copeland марки ZR160KC-TFD.

Холодопродуктивність: $Q_0 = 29$ кВт;

Ефективна потужність: $N_e = 7,4$ кВт;

Масова витрата: $M_a = 3,91$ кг/год. ;

Об'ємна продуктивність: $V_h = 37 \frac{\text{м}^3}{\text{г}}$;

Довжина: $L = 264$ мм;

Ширина: $B = 284$ мм;

Висота: $H = 552$ мм;

Вага нетто: $M = 64$ кг;

Вага брутто: $M = 75$ кг

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ТЕПЛОВИЙ ТА КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ПОВІТРООХОЛОДЖУВАЧА

Вихідні дані:

Теплова навантаження на апарат: $Q_0 = 20 \text{ кВт}$;

Температура кипіння: $t_0 = -15^\circ\text{C}$;

Температура входу повітря в апарат: $t_{\text{вх}}^n = -5^\circ\text{C}$;

Температура виходу повітря з апарату: $t_{\text{вих}}^n = -10^\circ\text{C}$

Внутрішній діаметр труби: $d_{\text{вн}} = 8 \text{ мм}$;

Зовнішній діаметр труби: $d_{\text{зов}} = 10 \text{ мм}$;

Крок труб: $S_1 = S_2 = 30 \text{ мм}$;

Крок ребер: $u_p = 4 \text{ мм}$;

Товщина ребра: $\delta_p = 0,3 \text{ мм}$

Матеріал труб: мідь;

Матеріал ребер: сталь;

Форма ребра: квадрат.

Холодильний агент: R-22.

Визначаємо живий перетин 1 ребристого елемента:

$$f_{\text{ж.п}} = (S - d_{\text{зов}}) \times (u_p - \delta_p), \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

$$f_{\text{ж.п}} = (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003) = 0,74 \times 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо кількість ребристих елементів на 1 метрі труби:

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{u_p}, \text{ шт} \quad (3.2)$$

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ шт.}$$

Внутрішня поверхня теплообміну 1 ребристого елемента:

$$F_{\text{вн}} = \pi \times d_{\text{вн}} \times u_p, \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

$$F_{\text{вн}} = 3,14 \times 0,008 \times 0,004 = 0,0001 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поверхня теплообміну зовнішньої поверхні 1 ребристого елементу:

$$F_{\text{зов}} = \pi \times d_{\text{зов}} \times u_p, \text{ м}^2 \quad (3.4)$$

$$F_{\text{зов}} = 3,14 \times 0,01 \times 0,004 = 0,000126 \text{ м}^2$$

Міжреберна поверхня гладких труб:

$$F_{\text{м.т}} = (u_p - \delta_p) \times \pi \times d_{\text{зов}}, \text{ м} \quad (3.5)$$

$$F_{\text{м.т}} = (0,004 - 0,0003) \times 3,14 \times 0,01 = 0,00012 \text{ м}$$

Поверхня одного ребра:

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{зов}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (3.6)$$

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times 0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} = 0,00164 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{зов}} = F_{\text{м.т}} + F_{\text{од.р}}, \text{ м}^2 \quad (3.7)$$

$$F_{\text{зов}} = 0,00012 + 0,00164 = 0,00176 \text{ м}^2$$

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\theta = \frac{t_{\text{вих}}^{\text{п}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}}}{\ln \frac{t_{\text{вих}}^{\text{п}}}{t_{\text{вх}}^{\text{п}}}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.8)$$

$$\theta = \frac{-10 + 5}{\ln \frac{10}{5}} = 7,2^\circ\text{C}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

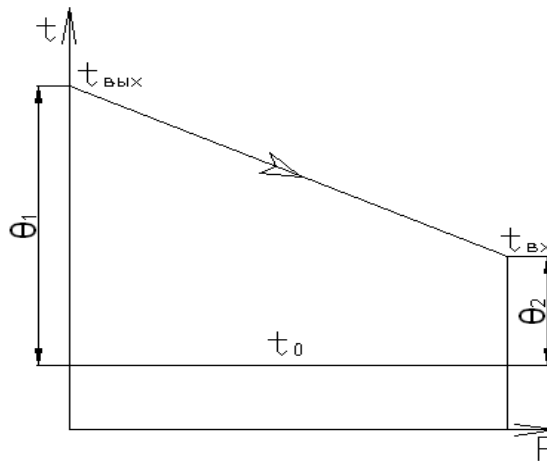


Рис. 3.1 Зміна температур робочого середовища повітроохолоджувача

Витрата повітря:

$$M_n = \frac{Q_0}{c_{\theta} \times (t_{\text{ВХ}}^{\text{п}} - t_{\text{ВЫХ}}^{\text{п}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (3.9)$$

$$M_n = \frac{20}{1,005 \times (-5 + 10)} = 3,98 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_n = \frac{M_n}{\rho_n}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (3.10)$$

$$V_n = \frac{3,98}{1,247} = 3,19 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$c_{\theta} = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$ – теплоємність повітря при 30°C;

$\rho_n = 1,247 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина повітря при 30°C.

Площа живого перетину:

Задаємось швидкістю повітря – $\omega = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$$F_{\text{ж.п}} = \frac{V_n}{\omega}, \text{м}^2 \quad (3.11)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{ж.п} = \frac{3,19}{6} = 0,53 \text{ м}^2$$

Кількість ребристих елементів в фронтальному перерізі:

$$n_{p.e}^{\phi} = \frac{F_{ж.п}}{f_{ж.п}}, \quad (3.12)$$

$$n_{p.e}^{\phi} = \frac{0,53}{0,000074} = 7162$$

Довжина труб по фронту:

$$L = \frac{n_{p.e}^{\phi}}{n_{p.e}}, \text{ м} \quad (3.13)$$

$$L = \frac{7162}{250} = 28,64 \text{ м}$$

Розрахунковий еквівалентний діаметр зі сторони повітря:

$$d_{екв} = \frac{2 \times (S - d_{зоб}) \times (u_p - \delta_p)}{(S - d_{зоб}) + (u_p - \delta_p)}, \text{ м} \quad (3.14)$$

$$d_{екв} = \frac{2 \times (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003)}{(0,03 - 0,01) + (0,004 - 0,0003)} = 0,0062 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{екв}}{\nu}, \quad (3.15)$$

$$Re = \frac{6 \times 0,0062}{12,43 \times 10^{-6}} = 2992,8$$

де $\nu = 12,43 \times 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості при 30 °С.

Число Нусельта:

$$Nu_n = C \times Re^n \times \left(\frac{L}{d_{екв}}\right)^m, \quad (3.16)$$

Коефіцієнти:

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{L}{d_{екв}}, \quad (3.17)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{0,15}{0,0062} = 0,6$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{Re}{1000}, \quad (3.18)$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{2992,8}{1000} = -0,04$$

$$C = A \times B, \quad (3.19)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{Re}{1000}, \quad (3.20)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{2992,8}{1000} = 0,64$$

$$A = 0,163,$$

$$C = 0,163 \times 0,64 = 0,104$$

Число Нусельта:

$$Nu_n = 0,104 \times 2992,8^{0,6} \times \left(\frac{0,15}{0,0062} \right)^{-0,04} = 11,15$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря:

$$\alpha_n = \frac{Nu_n \times \lambda_n}{d_{екв}}, \quad (3.21)$$

$$\alpha_n = \frac{11,15 \times 2,67 \times 10^{-2}}{0,0062} = 48,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}},$$

де $\lambda_n = 2,67 \times 10^{-2}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при 30°C.

Поверхня труби між ребрами:

$$F_{mp} = \pi \times d_{зов} \times \left(1 - \frac{\delta_p}{u_p} \right), \text{ м}^2 \quad (3.22)$$

$$F_{mp} = 3,14 \times 0,01 \times \left(1 - \frac{0,0003}{0,004} \right) = 0,03 \text{ м}^2$$

Поверхня ребер:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_p = 2 \times \left(S^2 - \frac{\pi \times d_{306}^2}{4} \right) \times \frac{1}{u_p}, \text{ м}^2 \quad (3.23)$$

$$F_p = 2 \times \left(0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} \right) \times \frac{1}{0,004} = 0,425 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{306} = F_{mp} + F_p, \text{ м}^2 \quad (3.24)$$

$$F_{306} = 0,03 + 0,425 = 0,455 \text{ м}^2$$

Основна поверхня труби:

$$F_0 = \pi \times d_{306}, \text{ м}^2 \quad (3.25)$$

$$F_0 = 3,14 \times 0,01 = 0,0314 \text{ м}^2$$

Ступінь ефективності ребра:

$$E = \frac{th(m \times h)}{m \times h}, \quad (3.26)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times \alpha_6}{\delta_p \times \lambda_p}}, \quad (3.27)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 48,02}{0,0003 \times 45,4}} = 82,8,$$

де

$\lambda_p = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ – коефіцієнт теплопровідності для сталевих ребер

Умовна висота ребра:

$$h = \frac{d_{306}}{2} \times (\rho' - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg \rho'), \quad (3.28)$$

де

$$\rho' = 1,28 \times \frac{S}{d_{306}} \times \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} - 0,2, \quad (3.29)$$

$$\rho' = 1,28 \times \frac{0,03}{0,01} \times \sqrt{1 - 0,2} = 3,43$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h = \frac{0,01}{2} \times (3,43 - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg 3,43) = 0,013$$

$$E = \frac{th(82,8 \times 0,013)}{82,8 \times 0,013} = 0,63$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря, віднесений до внутрішньої поверхні труби:

$$\alpha_{n,np} = \alpha_n \times \left(\frac{F_n}{F_0} \times E + \frac{F_{mp}}{F_0} \right) \times \frac{d_{зov}}{d_{вн}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad (3.30)$$

$$\alpha_{n,np} = 48,02 \times \left(\frac{0,455}{0,0314} \times 0,63 + \frac{0,03}{0,0314} \right) \times \frac{0,01}{0,008} = 692,27 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Питомий тепловий потік зі сторони повітря:

$$q_{nF_{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{n,np}} + \frac{F_{вн}}{F_{вн} + F_n} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.31)$$

$$q_{nF_{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{692,27} + \frac{0,0314}{0,0314 + 0,455} \times \frac{0,001}{385}} \times \Delta T = 692,11 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{nF_{вн}} = 692,11 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі при кипінні робочих речовин HCF і CHFC типів в середині труб:

$$\alpha_a = \frac{q_{aF_{вн}}^{0,6} \times G_a^{0,2}}{d_{вн}^{0,6}} \times A, \quad (3.32)$$

де $A = 1,04$ - коефіцієнт, який залежить від фізичних властивостей робочої речовини і температури кипіння

Витрата рідини:

$$M_a = \frac{Q_0}{h_{вих} - h_{ex}}, \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (3.33)$$

де $h_{вих} = 402 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ - ентальпія перегрітої пари на виході з повітроохолоджувача при $t_{вих} = t_0 + 5 = -15 + 5 = -10^\circ\text{C}$;

$h_{ex} = 237 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ - ентальпія вологої пари на виході з повітроохолоджувача,

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при прийнятій температурі конденсації холодильного циклу, $t_{ex} = 35^{\circ}\text{C}$.

$$M_a = \frac{20}{402-237} = 0,12 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Тоді:

$$\alpha_a = \frac{q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6} \times 0,12^{0,2}}{0,008^{0,6}} \times 1,04 = 12,37 \times q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6}$$

Питомий тепловий потік зі сторони холодильного агенту:

$$q_{aF_{\text{вн}}} = \alpha_a \times \Delta T_a, \text{ тоді}$$

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 12,37 \times q_{aF_{\text{вн}}}^{0,6} \times \Delta T_a.$$

Перетворимо:

$$q_{aF_{\text{вн}}}^{0,4} = 12,37 \times \Delta T_a,$$

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 12,34^{2,5} \times \Delta T_a^{2,5},$$

$$q_{aF_{\text{вн}}} = 538 \times \Delta T_a^{2,5} \quad (3.34)$$

Таблиця 3.1

ΔT_a	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
$\Delta T_a^{2,5}$	0,178	1	2,76	5,66	9,92	15,5	22,8
$q_{aF_{\text{вн}}}$	95,76	538	1484,9	3045,1	5337	8339	12266,4

Для знаходження питомого теплового потоку, віднесеного до внутрішньої поверхні апарата, будуємо графік залежності $q_{F_{\text{вн}}} = f(\theta)$.

З графіка (Рис.3.3) визначаємо $q_{F_{\text{вн}}} = 3518 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

Тоді:

$$\alpha_a = \frac{3518^{0,6} \times 0,12^{0,2}}{0,008^{0,6}} \times 1,04 = 1660,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}.$$

Поверхня теплообміну однієї секції:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F'_{\text{вн}} = L \times \pi \times d_{\text{вн}}, \text{ м}^2 \quad (3.35)$$

$$F'_{\text{вн}} = 28,64 \times 3,14 \times 0,008 = 0,72 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну всього апарата:

$$F_{\text{вн}} = \frac{Q_0}{q_{F_{\text{вн}}}}, \text{ м}^2 \quad (3.36)$$

$$F_{\text{вн}} = \frac{20}{3518} = 5,69 \text{ м}^2$$

Число секцій:

$$n = \frac{F_{\text{вн}}}{F'_{\text{вн}}}, \quad (3.37)$$

$$n = \frac{5,69}{0,72} = 7,9$$

Приймаємо $n = 8$.

Приймаємо :

Висота апарата: $H = 0,9 \text{ м}$.

Ширина апарата: $L = 0,9 \text{ м}$.

Глибина апарата: $h = 0,24 \text{ м}$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

3.1. Розрахунок повітроохолоджувача з урахуванням снігової шуби

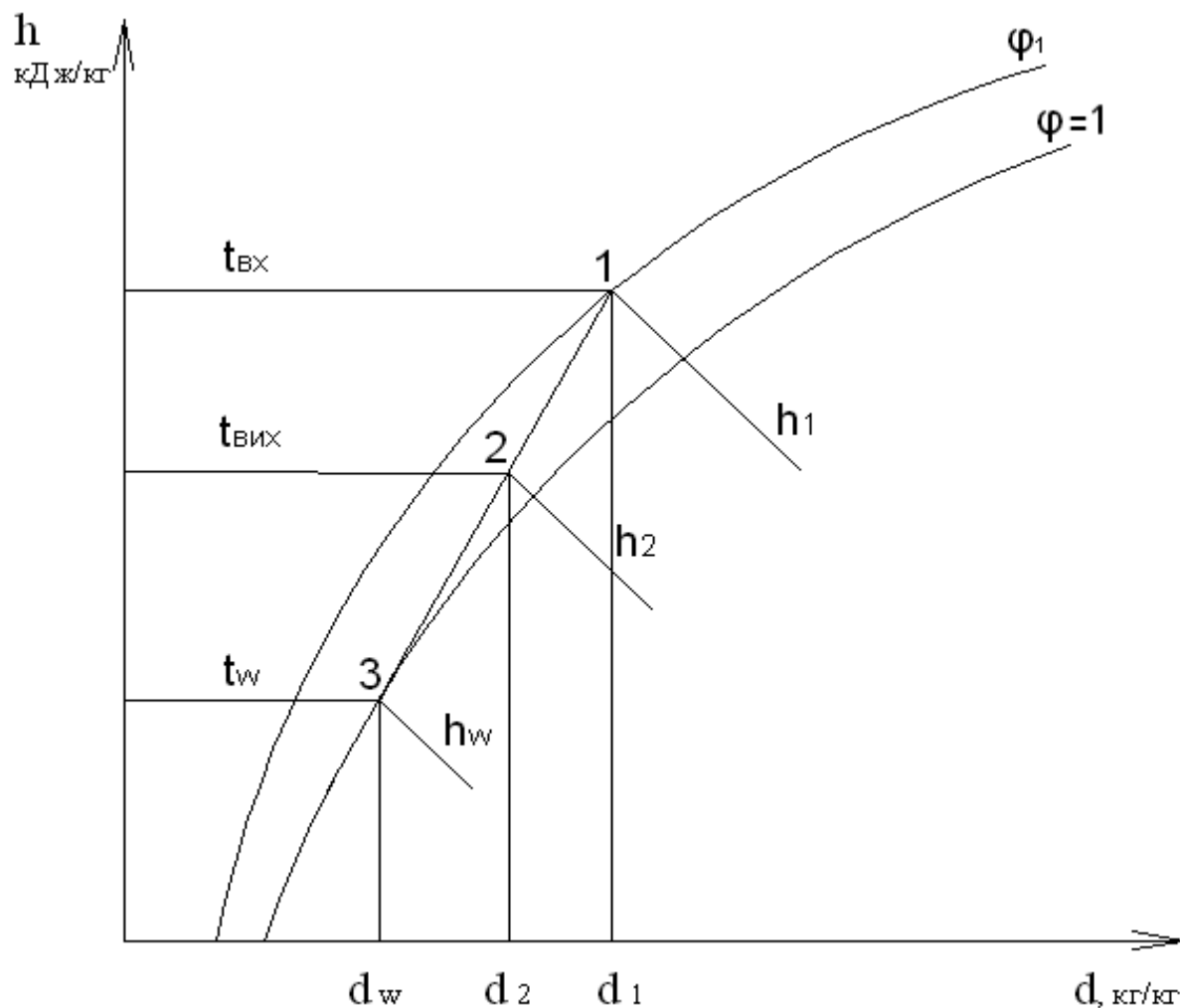


Рис 3.2. Процес зміни стану повітря в повітроохолоджувачі

т.1- стан повітря на вході в повітроохолоджувач при $t_1 = -5^\circ\text{C}$ і $\phi_1 = 90\%$.

т.2-стан повітря на виході з повітроохолоджувача при $t_2 = -10^\circ\text{C}$ і $\phi_2 = 98\%$.

т.3- стан насиченого повітря в пограничному шарі біля поверхні інею повітроохолоджувача при $t_w = i$ і $\phi = 1$.

Параметри повітря на вході в повітроохолоджувач:

$$t_1 = -5^\circ\text{C};$$

$$h_1 = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$$d_1 = 2,3 \times 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{кг}_{\text{с.п}}};$$

$$\varphi_1 = 90\%.$$

Параметри повітря на виході з повітроохолоджувача:

$$t_2 = -10^\circ\text{C};$$

$$h_2 = -6 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$d_2 = 1,7 \times 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{кг}_{\text{с.п}}};$$

$$\varphi_2 = 98\%.$$

Параметри холодної поверхні повітроохолоджувача:

$$t_w = -14^\circ\text{C};$$

$$h_w = -11,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$d_w = 1,1 \times 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{кг}_{\text{с.п}}}.$$

Коефіцієнт волого випадіння:

$$\xi = 1 + 2880 \times \frac{d_1 - d_2}{t_1 - t_2}, \quad (3.38)$$

$$\xi = 1 + 2880 \times \frac{(2,3 - 1,7) \times 10^{-3}}{-5 + 10} = 1,288$$

Умовний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n \times \xi} + \frac{\delta_{in}}{\lambda_{in}} + R_{\text{конт}}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}, \quad (3.39)$$

де

$$\alpha_n = 48,08 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} - \text{коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря};$$

$$\delta_{in} = 0,001 \text{ м} - \text{товщина інія};$$

$$\lambda_{in} = 0,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}} - \text{коефіцієнт теплопровідності інею};$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{\text{конт}} = 0,0045 \frac{\text{м}^2 \times \text{К}}{\text{Вт}} - \text{термічний опір ребра.}$$

$$\alpha' = \frac{1}{\frac{1}{48,02 \times 1,288} + \frac{0,001}{0,75} + 0,0045} = 45,45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Ступінь ефективності ребра:

$$E = \frac{th(m \times h)}{m \times h}, \quad (3.40)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times \alpha'}{\delta_p \times \lambda_p}}, \quad (3.41)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 45,45}{0,0003 \times 45,4}} = 81,69,$$

де $\lambda_p = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ – коефіцієнт теплопровідності для сталевих ребер.

$$E = \frac{th(81,69 \times 0,013)}{81,69 \times 0,013} = \frac{th(1,062)}{1,062} = 0,74$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря, віднесеного до внутрішньої поверхні труби:

$$\alpha_{n.np} = \alpha' \times \left(\frac{F_h}{F_0} \times E + \frac{F_{mp}}{F_0} \right) \times \frac{d_{зov}}{d_{вн}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad (3.42)$$

$$\alpha_{n.np} = 45,45 \times \left(\frac{0,455}{0,0314} \times 0,74 + \frac{0,03}{0,0314} \right) \times \frac{0,01}{0,008} = 663,45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Питомий тепловий потік зі сторони повітря:

$$q_{nF_{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{n.np}} + \frac{F_{вн}}{F_{вн} + F_h} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.43)$$

$$q_{nF_{вн}} = \frac{1}{\frac{1}{663,45} + \frac{0,0314}{0,0314 + 0,455} \times \frac{0,001}{385}} \times \Delta T = 663,38 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{nF_{вн}} = 663,38 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для знаходження питомого теплового потоку, віднесений до внутрішньої поверхні апарата, будуюмо графік залежності $q_{F_{6H}} = f(\theta)$.

З графіка (Рис.3.3) визначаємо $q_{F_{6H}} = 3391,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

Холодопродуктивність:

$$Q_0 = F_{6H} \times q_{F_{6H}}, \text{кВт} \quad (3.44)$$

$$Q_0 = 5,69 \times 3391,4 = 19,2 \text{ кВт.}$$

3.2.Розрахунок повітроохолоджувача при різних швидкостях руху повітря

Проводимо розрахунок по формулам (3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.20, 3.21, 3.26, 3.27, 3.28, 3.30, 3.31).

Результати розрахунків заносимо в таблицю.

Таблиця 3.2 - Щільність теплового потоку при різних швидкостях руху повітря.

Швид.руху $\omega, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Число Рейнольдса Re	Число Нусельта Nu_n	Коеф.тепл. з стор.повітря $\alpha_n, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	Коеф.тепл. внутр.труб $\alpha_{n.пр}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	Ефект. Ребра E	Тепл. Потік $q_{F_{6H}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\omega = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	997,59	6,1	26,27	424,87	0,83	2300,54
$\omega = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	1496,38	7,87	33,89	525,4	0,79	2777,1
$\omega = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	1995,17	9,32	40,14	601,94	0,76	3117,87
$\omega = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	2493,97	10,49	45,17	659,37	0,74	3372,52

Будуємо графіки залежності $q_{F_{6H}} = f(\theta)$ при різних швидкостях руху повітря.

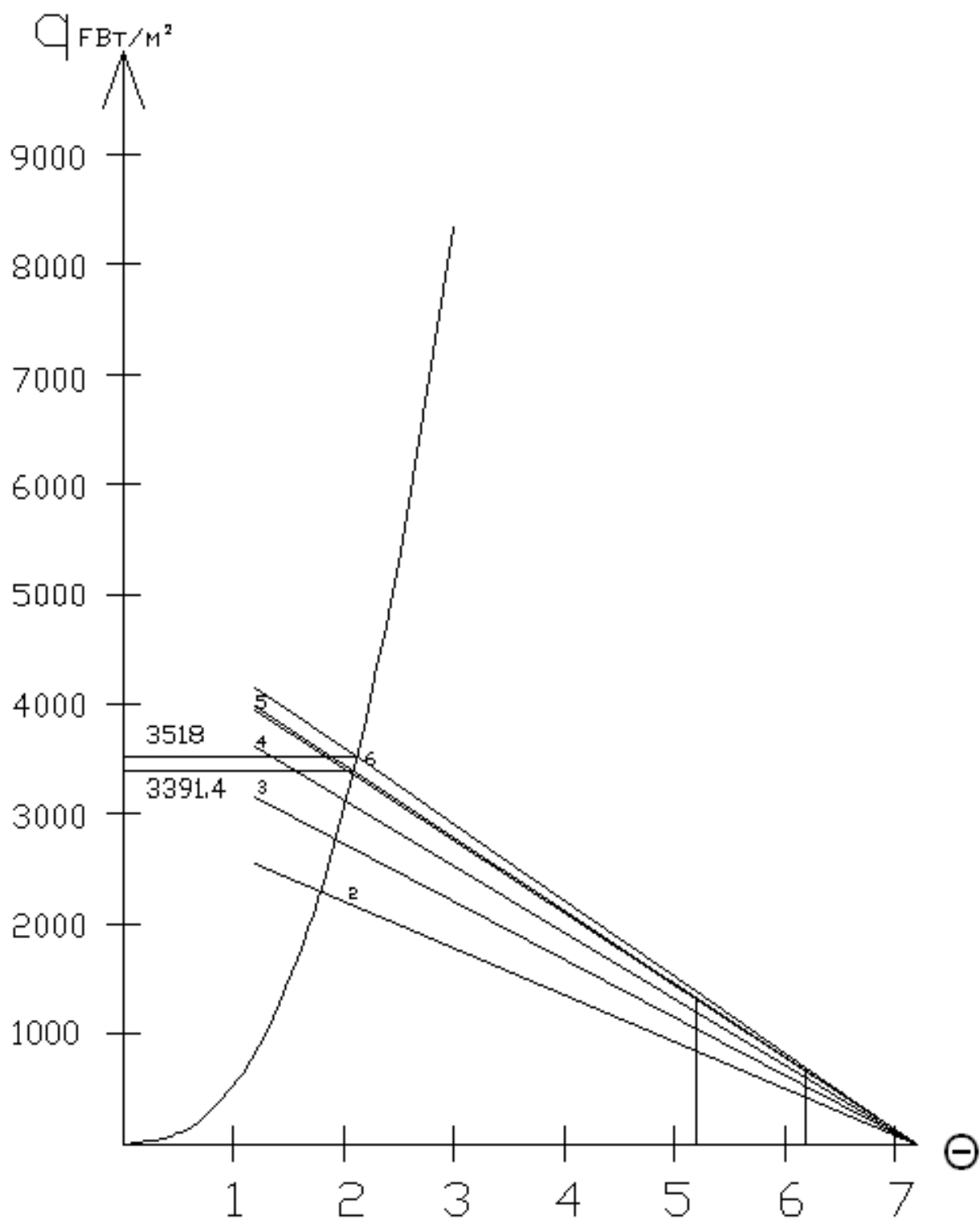


Рис.3.3 Графік залежності $q_{F_{\theta H}} = f(\theta)$ при різних швидкостях руху повітря

4. РОЗРАХУНОК КОНДЕНСАТОРА З ПОВІТРЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

4.1 Тепловий та конструктивний розрахунок

Вихідні дані:

Теплова навантаження на апарат: $Q_0 = 26,115$ кВт;

Температура кипіння: $t_0 = -15^\circ\text{C}$;

Температура конденсації: $t = 30^\circ\text{C}$;

Температура входу повітря в апарат: $t_{\text{вх}}^{\text{п}} = 35^\circ\text{C}$;

Температура виходу повітря з апарату: $t_{\text{вих}}^{\text{п}} = 40^\circ\text{C}$;

Внутрішній діаметр труби: $d_{\text{вн}} = 8$ мм;

Зовнішній діаметр труби: $d_{\text{зов}} = 10$ мм;

Крок труб: $S_1 = S_2 = 30$ мм;

Крок ребер: $u_p = 4$ мм;

Товщина ребра: $\delta_p = 0,3$ мм;

Матеріал труб: мідь;

Матеріал ребер: сталь;

Форма ребра: квадрат.

Холодильний агент: R-22.

Визначаємо живий перетин 1 ребристого елемента:

$$f_{\text{ж.п}} = (S - d_{\text{зов}}) \times (u_p - \delta_p), \text{ м}^2 \quad (4.1)$$

$$f_{\text{ж.п}} = (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003) = 0,74 \times 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Визначаємо кількість ребристих елементів на 1 метрі труби:

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{u_p}, \text{ шт} \quad (4.2)$$

$$n_{\text{р.е}} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ шт.}$$

Внутрішня поверхня теплообміну 1 ребристого елемента:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\text{BH}} = \pi \times d_{\text{BH}} \times u_{\text{p}}, \text{ м}^2 \quad (4.3)$$

$$F_{\text{BH}} = 3,14 \times 0,008 \times 0,004 = 0,0001 \text{ м}^2$$

Поверхня теплообміну зовнішньої поверхні 1 ребристого елементу:

$$F_{\text{ЗОВ}} = \pi \times d_{\text{ЗОВ}} \times u_{\text{p}}, \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

$$F_{\text{ЗОВ}} = 3,14 \times 0,01 \times 0,004 = 0,000126 \text{ м}^2$$

Міжреберна поверхня гладких труб:

$$F_{\text{м.т}} = (u_{\text{p}} - \delta_{\text{p}}) \times \pi \times d_{\text{ЗОВ}}, \text{ м} \quad (4.5)$$

$$F_{\text{м.т}} = (0,004 - 0,0003) \times 3,14 \times 0,01 = 0,00012 \text{ м}$$

Поверхня одного ребра:

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{ЗОВ}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (4.6)$$

$$F_{\text{од.р}} = 2 \times 0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4} = 0,00164 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{ЗОВ}} = F_{\text{м.т}} + F_{\text{од.р}}, \text{ м}^2 \quad (4.7)$$

$$F_{\text{ЗОВ}} = 0,00012 + 0,00164 = 0,00176 \text{ м}^2$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

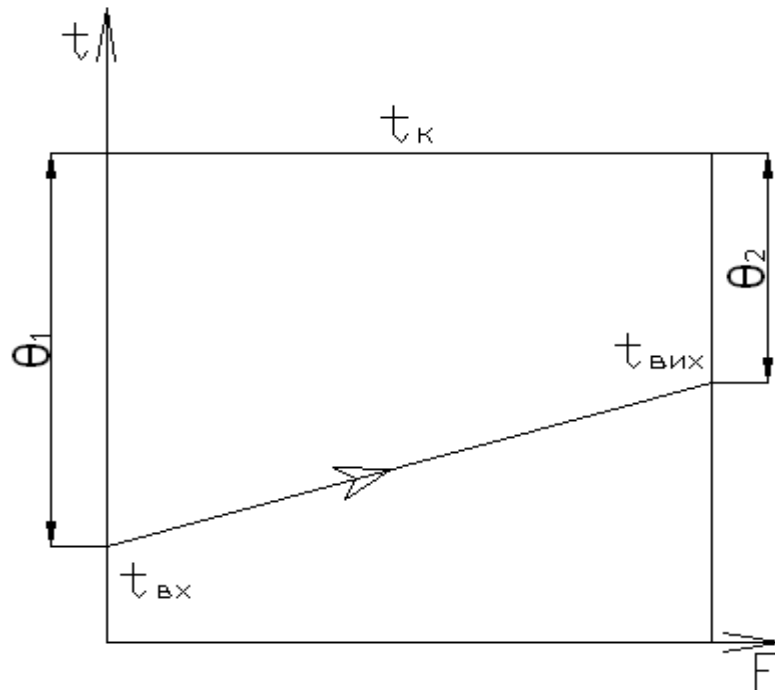


Рис 4.1. Зміна температур робочого середовища в повітряному конденсаторі

Середня логарифмічна різниця температур:

$$\theta = \frac{t_{\text{вих}}^{\text{п}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}}}{\ln \frac{(t_{\text{к}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}})}{(t_{\text{к}} - t_{\text{вих}}^{\text{п}})}}, ^\circ\text{C} \quad (4.8)$$

$$\theta = \frac{40 - 35}{\ln \frac{(30 - 35)}{(30 - 40)}} = 7,2^\circ\text{C}$$

Витрата повітря:

$$M_n = \frac{Q_{\text{к}}}{c_{\text{в}} \times (t_{\text{вих}}^{\text{п}} - t_{\text{вх}}^{\text{п}})}, \frac{\text{кг}}{\text{с}} \quad (4.9)$$

$$M_n = \frac{26,115}{1,005 \times (40 - 35)} = 5,2 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Об'ємна витрата повітря:

$$V_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}, \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (4.10)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_n = \frac{5,2}{1,165} = 4,46 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

де $c_v = 1,005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \times \text{К}}$ – теплоємність повітря при 30°C;

$\rho_{\text{п}} = 1,165 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина повітря при 30°C.

Площа живого перетину.

Задаємося швидкістю повітря – $\omega = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$$F_{\text{ж.п}} = \frac{V_{\text{п}}}{\omega}, \text{м}^2 \quad (4.11)$$

$$F_{\text{ж.п}} = \frac{4,46}{6} = 0,74 \text{ м}^2$$

Кількість ребристих елементів в фронтальному перерізі:

$$n_{\text{р.е}}^{\phi} = \frac{F_{\text{ж.п}}}{f_{\text{ж.п}}}, \quad (4.12)$$

$$n_{\text{р.е}}^{\phi} = \frac{0,74}{0,000074} = 10000$$

Довжина труб по фронту:

$$L = \frac{n_{\text{р.е}}^{\phi}}{n_{\text{р.е}}}, \text{м} \quad (4.13)$$

$$L = \frac{10000}{250} = 40 \text{ м}$$

Розрахунковий еквівалентний діаметр зі сторони повітря:

$$d_{\text{екв}} = \frac{2 \times (S - d_{\text{зов}}) \times (u_{\text{р}} - \delta_{\text{р}})}{(S - d_{\text{зов}}) + (u_{\text{р}} - \delta_{\text{р}})}, \text{м} \quad (4.14)$$

$$d_{\text{екв}} = \frac{2 \times (0,03 - 0,01) \times (0,004 - 0,0003)}{(0,03 - 0,01) + (0,004 - 0,0003)} = 0,0062 \text{ м}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{екв}}}{\nu}, \quad (4.15)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re = \frac{6 \times 0,0062}{16,72 \times 10^{-6}} = 2992,8,$$

де $\nu = 16,72 \times 10^{-6} \frac{m^2}{c}$ – коефіцієнт кінематичної в'язкості при 47,5°C.

Число Нусельта:

$$Nu_{\pi} = C \times Re^n \times \left(\frac{L}{d_{\text{екв}}} \right)^m, \quad (4.16)$$

Коефіцієнти:

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{L}{d_{\text{екв}}}, \quad (4.17)$$

$$n = 0,45 + 0,006 \times \frac{0,15}{0,0062} = 0,6$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{Re}{1000}, \quad (4.18)$$

$$m = -0,28 + 0,08 \times \frac{2224,9}{1000} = -0,102$$

$$C = A \times B, \quad (4.19)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{Re}{1000}, \quad (4.20)$$

$$B = 1,36 - 0,24 \times \frac{224,9}{1000} = 0,83$$

$$A = 0,163,$$

$$C = 0,163 \times 0,83 = 0,135$$

Число Нусельта:

$$Nu_n = 0,135 \times 2224,9^{0,6} \times \left(\frac{0,15}{0,0062} \right)^{-0,102} = 9,9$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря:

$$\alpha_{\pi} = \frac{Nu_n \times \lambda_n}{d_{\text{екв}}}, \quad (4.21)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_{\pi} = \frac{9,9 \times 2,67 \times 10^{-2}}{0,0062} = 42,63 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}},$$

де $\lambda_{\pi} = 2,67 \times 10^{-2}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря при 30°C.

Поверхня труби між ребрами:

$$F_{\text{тр}} = \pi \times d_{\text{зов}} \times \left(1 - \frac{\delta_p}{u_p}\right), \text{ м}^2 \quad (4.22)$$

$$F_{\text{тр}} = 3,14 \times 0,01 \times \left(1 - \frac{0,0003}{0,004}\right) = 0,03 \text{ м}^2$$

Поверхня ребер:

$$F_p = 2 \times \left(S^2 - \frac{\pi \times d_{\text{зов}}^2}{4}\right) \times \frac{1}{u_p}, \text{ м}^2 \quad (4.23)$$

$$F_p = 2 \times \left(0,03^2 - \frac{3,14 \times 0,01^2}{4}\right) \times \frac{1}{0,004} = 0,425 \text{ м}^2$$

Зовнішня поверхня оребреної труби:

$$F_{\text{зов}} = F_{\text{тр}} + F_p, \text{ м}^2 \quad (4.24)$$

$$F_{\text{зов}} = 0,03 + 0,425 = 0,455 \text{ м}^2$$

Основна поверхня труби:

$$F_0 = \pi \times d_{\text{зов}}, \text{ м}^2 \quad (4.25)$$

$$F_0 = 3,14 \times 0,01 = 0,0314 \text{ м}^2$$

Ступінь ефективності ребра:

$$E = \frac{th(m \times h)}{m \times h}, \quad (4.26)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times \alpha_B}{\delta_p \times \lambda_p}}, \quad (4.27)$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \times 42,63}{0,0003 \times 45,4}} = 79,12,$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\lambda_p = 45,4 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ – коефіцієнт теплопровідності для сталевих ребер.

Умовна висота ребра:

$$h = \frac{d_{\text{зоб}}}{2} \times (\rho' - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg \rho'), \quad (4.28)$$

$$\rho' = 1,28 \times \frac{S}{d_{\text{зоб}}} \times \sqrt{\frac{S_1}{S_2} - 0,2}, \quad (4.29)$$

$$\rho' = 1,28 \times \frac{0,03}{0,01} \times \sqrt{1 - 0,2} = 3,43$$

$$h = \frac{0,01}{2} \times (3,43 - 1) \times (1 + 0,805 \times \lg 3,43) = 0,013$$

$$E = \frac{th(79,12 \times 0,013)}{79,12 \times 0,013} = \frac{th(1,03)}{1,03} = 0,75$$

Коефіцієнт тепловіддачі зі сторони повітря, віднесений до внутрішньої поверхні труби:

$$\alpha_{\text{п.пр}} = \alpha_{\text{п}} \times \left(\frac{F_{\text{н}}}{F_0} \times E + \frac{F_{\text{тр}}}{F_0} \right) \times \frac{d_{\text{зоб}}}{d_{\text{вн}}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}} \quad (4.30)$$

$$\alpha_{\text{п.пр}} = 42,63 \times \left(\frac{0,455}{0,0314} \times 0,75 + \frac{0,03}{0,0314} \right) \times \frac{0,01}{0,008} = 630,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$$

Питомий тепловий потік зі сторони повітря:

$$q_{\text{п}F_{\text{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{п.пр}}} + \frac{F_{\text{вн}}}{F_{\text{вн}} + F_{\text{н}}} + \sum \frac{\delta}{\lambda}} \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (4.31)$$

$$q_{\text{п}F_{\text{вн}}} = \frac{1}{\frac{1}{630,15} + \frac{0,0314}{0,0314 + 0,455} \times \frac{0,001}{385}} \times \Delta T = 630,12 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{п}F_{\text{вн}}} = 630,12 \times \Delta T, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Коефіцієнт тепловіддачі з сторони робочої речовини:

$$\alpha_{\text{а}} = 0,72 \times \sqrt[4]{\frac{r \times \rho^2 \times \lambda^3 \times g}{\mu \times d_{\text{вн}} \times \Delta T}}, \quad (4.32)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$r = 154,1 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ – теплота конденсації при 40°C;

$\rho = 1083 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина рідини;

$\lambda = 0,0722 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \times \text{К}}$ – коефіцієнт теплопровідності рідини;

$\mu = 2,1 \times 10^{-4} \text{Па} \times \text{с}$

$$\alpha_a = 0,72 \times \sqrt[4]{\frac{154,1 \times 10^3 \times 1083^2 \times 0,0722^3 \times 9,81}{2,1 \times 10^{-4} \times 0,008 \times \Delta T}} = 3214,6 \times \Delta T^{-\frac{1}{4}}$$

Питомий тепловий потік зі сторони робочого тіла:

$$q_{aF_{BH}} = 3214,6 \times \Delta T^{-\frac{3}{4}} \quad (4.33)$$

Для знаходження питомого теплового потоку, віднесеного до внутрішньої поверхні апарата, будуємо графік (рис. 4.2) залежності $q_{F_{BH}} = f(\theta)$. З графіка визначаємо $q_{F_{BH}} = 3764,19 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$,

Поверхня теплообміну однієї секції:

$$F'_{BH} = L \times \pi \times d_{BH}, \text{м}^2 \quad (4.34)$$

$$F'_{BH} = 40 \times 3,14 \times 0,008 = 1,0048 \text{м}^2$$

Поверхня теплообміну всього апарата:

$$F_{BH} = \frac{Q_K}{q_{F_{BH}}}, \text{м}^2 \quad (4.35)$$

$$F_{BH} = \frac{26,115}{3764,19} = 6,94 \text{м}^2$$

Число секцій:

$$n = \frac{F_{BH}}{F'_{BH}}, \quad (4.36)$$

$$n = \frac{6,94}{1,0048} = 6,9$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $n = 7$.

Приймаємо :

Висота апарата: $H = 1,1$ м.

Ширина апарата: $L = 1,1$ м.

Глибина апарата: $h = 0,21$ м.

4.2 Розрахунок конденсатора з повітряним охолодженням при різних швидкостях руху повітря

Проводимо розрахунок по формулам (4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.20, 4.21, 4.26, 4.27, 4.28, 4.30, 4.31, 4.33).

Результати розрахунків заносимо в таблицю.

Таблиця 4.1 - Щільність теплового потоку при різних швидкостях руху повітря.

Швид.руху $\omega, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Число Рейнольдса Re	Число Нусельта Nu_n	Коеф.тепл. з стор.повітря $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$ $\alpha_n, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	Коеф.тепл. внутр.труб $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$ $\alpha_{n.пр}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \times \text{К}}$	Ефект. Ребра E	Тепл. Потік $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ $q_{F_{вн}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$
$\omega = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	741,63	5,05	21,75	360,83	0,85	2348,72
$\omega = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	1112,44	5,61	28,04	449,83	0,82	2849,94
$\omega = 4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	1483,25	7,87	33,89	525,4	0,79	3249,36
$\omega = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	1854,07	9	38,76	586,86	0,77	3557,19

Будуємо графіки залежності $q_{F_{вн}} = f(\theta)$ при різних швидкостях руху повітря.

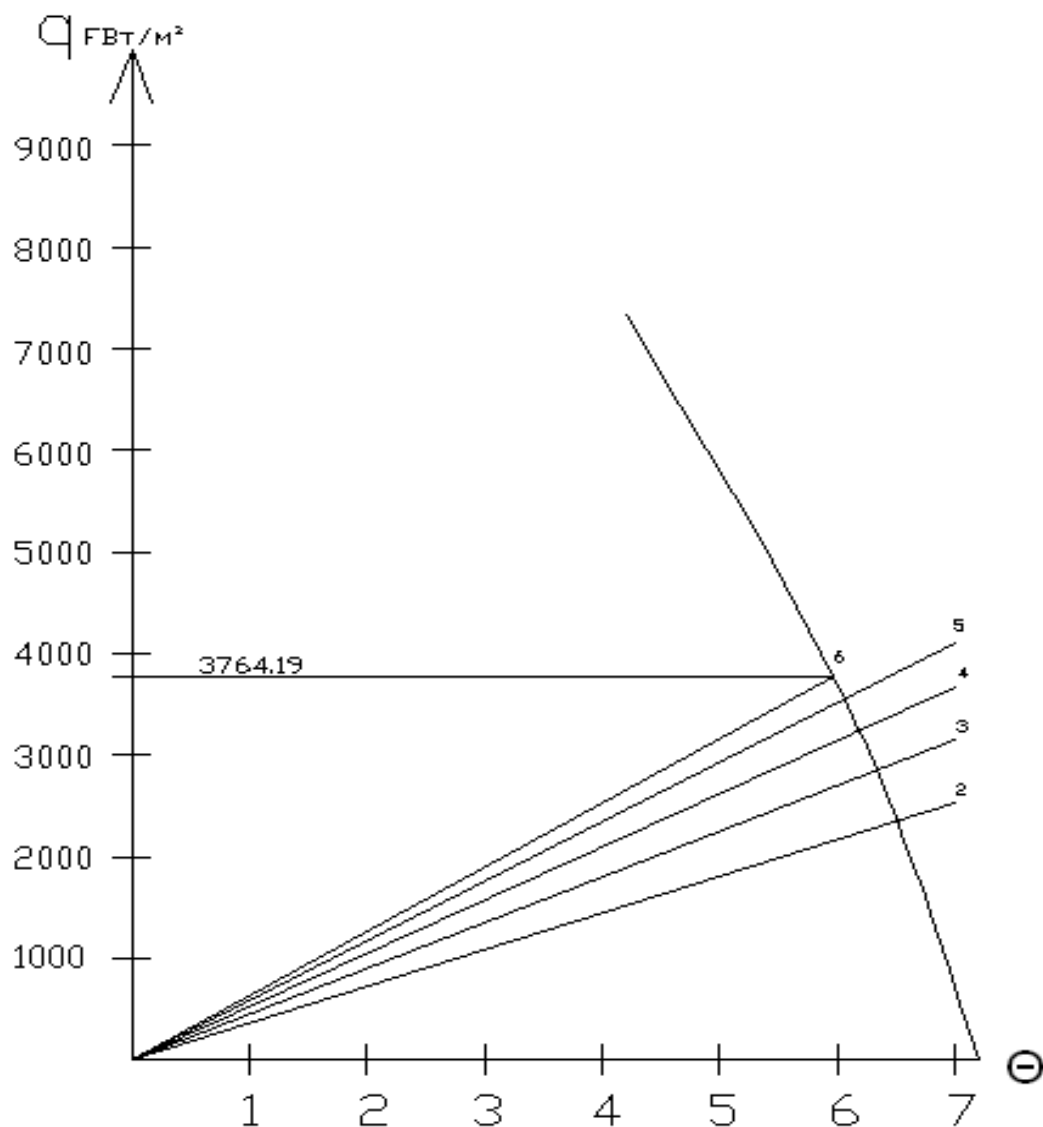


Рис. 4.2 Графік залежності $q_{FВН} = f(\theta)$ при різних швидкостях руху повітря

5. ДОПОМІЖНЕ ОБЛАДНАННЯ

5.1. Розрахунок швидкості руху холодильного агенту в трубопроводах

Всмоктувальний трубопровід:

$$\omega_{вс} = \frac{M_a \times \vartheta_{вс} \times 4}{\pi \times d_{вн}^2}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (5.1)$$

де:

M_a - масова витрата робочої речовини;

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\vartheta_{\text{вс}}$ - питомий об'єм всмоктування;

$d_{\text{вн}}$ - внутрішній діаметр всмоктувального трубопроводу.

$$\omega_{\text{вс}} = \frac{0,11 \times 0,08 \times 4}{3,14 \times 0,034^2} = 10,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Нагнітальний трубопровід:

$$\omega_{\text{наг}} = \frac{M_a \times \vartheta_{\text{наг}} \times 4}{\pi \times d_{\text{вн}}^2}, \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (5.2)$$

де:

M_a - масовий витрата робочої речовини;

$\vartheta_{\text{наг}}$ - питомий об'єм нагнітання;

$d_{\text{вн}}$ - внутрішній діаметр нагнітального трубопроводу.

$$\omega_{\text{наг}} = \frac{0,11 \times 0,02 \times 4}{3,14 \times 0,022^2} = 5,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Діаметр рідинного трубопроводу:

$$d_p = \sqrt{\frac{F_p \times 4}{\pi}}, \text{м} \quad (5.3)$$

$$F_p = \frac{\vartheta_p}{\omega}, \text{м}^2 \quad (5.4)$$

$$\vartheta_p = \frac{M_a}{\rho_p}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad (5.5)$$

$$\rho_p = 1172,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \text{густина рідини при } 30^\circ\text{C}.$$

$$\vartheta_p = \frac{0,11}{1172,5} = 0,94 \times 10^{-4} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$F_p = \frac{0,94 \times 10^{-4}}{1} = 0,94 \times 10^{-4} \text{м}^2$$

$$d_p = \sqrt{\frac{0,94 \times 10^{-4} \times 4}{3,14}} = 0,01 \text{м}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Розрахунок повітряного трубопроводу для повітроохолоджувача

Площа перетину:

$$F = \frac{L}{v}, \text{ м}^2 \quad (5.6)$$

де:

L - витрата повітря на даній ділянці ;

v - розрахункове значення швидкості.

Приймаємо $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

$$F = \frac{3,19}{10} = 0,319 \text{ м}^2$$

Діаметр повітряного трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{3,14}}, \text{ м} \quad (5.7)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,319}{3,14}} = 0,63 \text{ м}$$

5.3. Підбір вентилятора повітроохолоджувача

Напір, що розвивається вентилятором:

$$H_v = \sum h + \Delta p, \text{ Па} \quad (5.8)$$

Опір вентилятора:

$$h = h_{\text{тр}} + h_{\text{м}}, \text{ Па} \quad (5.9)$$

Опір тиску, викликаний тертям в трубах:

$$h_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \times \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} \times \frac{\rho \times \omega_{\text{вих}}^2}{2}, \text{ Па} \quad (5.10)$$

де:

$\lambda_{\text{тр}}$ – коефіцієнт опору труби;

$l_{\text{тр}}$ – довжина прямолінійної ділянки труби;

ρ – густина рідини;

ω – швидкість руху рідини;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби.

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{вн}} \times \rho}{\mu}, \quad (5.11)$$

μ – динамічна в'язкість рідини; $\mu = 16,45 \times 10^{-6} \text{ Па} \times \text{с}$.

$$\rho = 1,369 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, [1, \text{с. 113}].$$

$$Re = \frac{10 \times 0,63 \times 1,369}{16,45 \times 10^{-6}} = 524297,9$$

Коефіцієнт опору труби:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}, \quad (5.12)$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,0032 + \frac{0,221}{524297,9^{0,237}} = 0,013$$

Опір тиску, викликаний тертям в трубах:

$$h_{\text{тр}} = 0,013 \times \frac{20}{0,63} \times \frac{1,369 \times 10^2}{2} = 28,25 \text{ Па}$$

Місцевий опір:

$$h_{\text{м}} = 3 \times \frac{\rho \times \omega_{\text{вих}}^2}{2}, \text{ Па} \quad (5.13)$$

$$h_{\text{м}} = 3 \times \frac{1,369 \times 10^2}{2} = 205,35 \text{ Па}$$

Опір вентилятора:

$$h = 28,25 + 205,35 = 233,6 \text{ Па}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аеродинамічний опір трубного пучка потоку повітря:

$$\Delta p = A \times \frac{L}{d_{\text{екв}}} \times (\omega \times \rho)^{1,7}, \text{ Па} \quad (5.14)$$

$A = 0,007$ – для ретельно виготовлених поверхонь.

$$\Delta p = 0,007 \times 24,19 \times (10 \times 1,396)^{1,7} = 141,8 \text{ Па}$$

Напір, що розвиває вентилятор:

$$H_{\text{в}} = 233,6 + 141,8 = 375,4 \text{ Па}$$

5.4 Розрахунок повітряного трубопроводу для конденсатора з повітряним охолодженням

Площа перетину:

$$F = \frac{L}{\vartheta}, \text{ м}^2 \quad (5.15)$$

де:

L - витрата повітря на даній ділянці ;

ϑ - розрахункове значення швидкості.

Приймаємо $\vartheta = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

$$F = \frac{4,46}{10} = 0,446 \text{ м}^2$$

Діаметр повітряного трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{3,14}}, \text{ м} \quad (5.16)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times 0,446}{3,14}} = 0,75 \text{ м}$$

5.5 Підбір вентилятора конденсатора з повітряним охолодженням

Напір, що розвиває вентилятор:

$$H_{\text{в}} = \sum h + \Delta p, \text{ Па} \quad (5.17)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опір вентилятора:

$$h = h_{\text{тр}} + h_{\text{м}}, \text{ Па} \quad (5.18)$$

Опір тиску, викликаний тертям в трубах:

$$h_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \times \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{вн}}} \times \frac{\rho \times \omega_{\text{вих}}^2}{2}, \text{ Па} \quad (5.19)$$

де:

$\lambda_{\text{тр}}$ – коефіцієнт опору труби;

$l_{\text{тр}}$ – довжина прямолінійної ділянки труби;

ρ – густина рідини;

ω – швидкість руху рідини;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби.

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega \times d_{\text{вн}} \times \rho}{\mu}, \quad (5.20)$$

де μ – динамічна в'язкість рідини; $\mu = 18,6 \times 10^{-6} \text{ Па} \times \text{с}$.

$$\rho = 1,165 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

$$Re = \frac{10 \times 0,75 \times 1,165}{18,6 \times 10^{-6}} = 469758$$

Коефіцієнт опору труби:

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}, \quad (5.21)$$

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,0032 + \frac{0,221}{469758^{0,237}} = 0,013$$

Опір тиску, викликаний тертям в трубах:

$$h_{\text{тр}} = 0,013 \times \frac{20}{0,75} \times \frac{1,165 \times 10^2}{2} = 20,19 \text{ Па}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Місцевий опір:

$$h_m = \xi \times \frac{\rho \times \omega_{\text{вих}}^2}{2}, \text{ Па} \quad (5.22)$$

$$h_m = 3 \times \frac{1,165 \times 10^2}{2} = 174,75 \text{ Па}$$

Опір вентилятора:

$$h = 20,19 + 174,75 = 194,94 \text{ Па}$$

Аеродинамічний опір трубного пучка потоку повітря:

$$\Delta p = A \times \frac{L}{d_{\text{екв}}} \times (\omega \times \rho)^{1,7}, \text{ Па} \quad (5.23)$$

$A = 0,007$ – для ретельно виготовлених поверхонь.

$$\Delta p = 0,007 \times 24,19 \times (10 \times 1,165)^{1,7} = 107,8 \text{ Па}$$

Напір, що розвиває вентилятор:

$$H_b = 194,94 + 107,8 = 302,74 \text{ Па}$$

5.6 Розрахунок лінійного ресивера

Об'єм ресивера:

$$V_p = n_{\text{тр}} \times L_{\text{тр}} \times \frac{\pi \times d_{\text{вн}}^2}{4} \times 0,3, \text{ м}^3 \quad (5.24)$$

де:

$n_{\text{тр}}$ – кількість труб повітроохолоджувача;

$L_{\text{тр}}$ – довжина труби;

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр труби повітроохолоджувача;

0,3 – коефіцієнт, який враховує заповнення ресивера.

$$V_p = 250 \times 0,9 \times \frac{3,14 \times 0,008^2}{4} \times 0,3 = 0,0034 \text{ м}^3$$

Масова місткість ресивера:

$$M_p = V_p \times \rho, \text{ кг} \quad (5.25)$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ρ – густина рідини при 30°C ; $\rho = 1172,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

$$M_p = 0,0034 \times 1172,5 = 3,98 \text{ кг}$$

Геометричні розміри ресивера приймаємо згідно з загальною компоновкою всієї машини.

Зовнішній діаметр ресивера – $D = 150 \text{ мм}$.

Висота ресивера – $H = 250 \text{ мм}$.

5.7 Масловіддільник

Масловіддільник приймається в залежності від діаметра нагнітального трубопроводу як $D_{\text{м.в}} = 5 \dots 10 \times d_{\text{наг}}$.

Геометричні розміри:

Зовнішній діаметр – 220 мм .

6. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ МАШИНИ

6.1 Регулювання і автоматизація холодильної машини

Системи автоматизації вирішують комплекс завдань по управлінню холодительною машиною. Автоматичне регулювання забезпечує точність підтримки заданих параметрів в об'єкті, знижує експлуатаційні витрати, збільшує термін служби устаткування, попереджує аварійні режими.

Температура охолоджуваного об'єкту залежить від температури кипіння робочої речовини, яка само встановлюється залежно від продуктивності компресора і конденсатора.

Кожен елемент машини має свої характеристики, вони отримані розрахунковим шляхом і представлені в тепловому і конструктивному розрахунках.

При об'єднанні в холодильну машину усі характеристики перестають бути незалежними і змінюються, як змінюються аргументи, залежно від яких вони побудовані.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продуктивності компресора і випарника мають бути однакові, конденсатора - строго їм відповідати.

При постійній температурі в охолоджуваному об'єкті режим роботи холодильної машини змінюється від температури зовнішнього повітря. При цьому порушується відповідність між продуктивностями компресора, конденсатора і випарника.

Завдання регулювання - повернути машину в стан рівноваги. Її виконує комп'ютерна техніка, яка має спеціальне програмне забезпечення.

У цьому розділі розглядається принцип створення математичної моделі машини і в графічній формі видається алгоритм рішення задачі регулювання.

Характеристика компресора описується відомою формулою:

$$Q_0^{km} = V_h \times \lambda \times q_v$$

Характеристика випарника :

$$Q_0^{sun} = k^e \times F^e \times \theta_m^e$$

Рівновага досягається за умови:

$$V_h \times \lambda \times q_v = k \times F^e \times \theta_m^e$$

Критерій рівноваги рівний:

$$P_k = \frac{k^e \times F^e \times \theta_m^e}{V_h \times \lambda \times q_v}$$

Представляємо характеристику компресора Q_0^{km} і випарника Q_0^{sun} в одній системі координат, і тоді точки перетину кривих є робочими точками, що характеризують рівновагу в роботі елементів (Рис. 6.1).

Характеристика випарника, коефіцієнт теплопередачі змінюється в залежності від швидкості зовнішнього повітря, що проходить через апарат.

Тангенс кута нахилу характеристики випарника :

$$tg_{\alpha} = \frac{Q_0^{sun}}{(t_{n.c} - t_0)} = k \times F^e$$

і для заданої швидкості постійний.

Одне і те ж теплове навантаження на повітроохолоджувач може бути реалізоване при постійній температурі повітря. При цьому змінюється режим

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи компресора (температура кипіння) і швидкість руху повітря через повітроохолоджувач.

Для оцінки режиму роботи конденсатора представляємо в одній системі координат характеристику компресора Q_0^{km} і конденсатора Q_0^{kd} по аналогії з повітроохолоджувачем (Рис. 6.1). Теплове навантаження Q_k , температура охолоджуваного середовища t_{cp} і температура конденсації t_k , - являються вісями координат.

Теплове навантаження на конденсатор Q_k може бути виражене через холодопродуктивність Q_0 таким чином:

$$Q_k = Q_0 + Ne$$

Тоді, використовуючи величину COP для холодильної машини в заданому температурному режимі, отримуємо:

$$Q_k = Q_0 \cdot \frac{COP_{mn}}{COP_{xm}} = V_h \cdot q_v \cdot \lambda \cdot \frac{COP_{mn}}{COP_{xm}}$$

З урахуванням теплопередачі, теплове навантаження на конденсатор складає:

$$Q_k = \kappa^k \cdot F^k \cdot \theta_m^k$$

Умова рівноваги:

$$V_h \cdot q_v \cdot \lambda \cdot \frac{COP_{mn}}{COP_{xm}} = \kappa^k \cdot F^k \cdot \theta_i^k$$

Таким чином, точки перетину Q_k^{km} і Q_k^{kd} є точками робочих режимів конденсатора.

Характеристика конденсатора Q_k^{kd} змінюється залежно від швидкості руху повітря, тому вона має вигляд в графічній формі сукупності променів, що виходять з однієї точки, при заданій середній температурі повітря.

Для демонстрації роботи автоматики розглянемо конкретний приклад. Споживачеві необхідно відводити тепло від охолоджуваного об'єкту в кількості $Q_0 = 30$ кВт. Температура зовнішнього повітря - температура повітря, що входить, в повітроохолоджувач і конденсатор, являється

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незалежним вхідним параметром. Вона рівна $t_{cp} = 25^{\circ}\text{C}$. Температура в охолоджуваному об'ємі - $+10^{\circ}\text{C}$. Точка перетину характеристик компресора і випарника Q_0^{km} і Q_0^{gum} дає режим роботи системи компресор-випарник (рис 6.1).

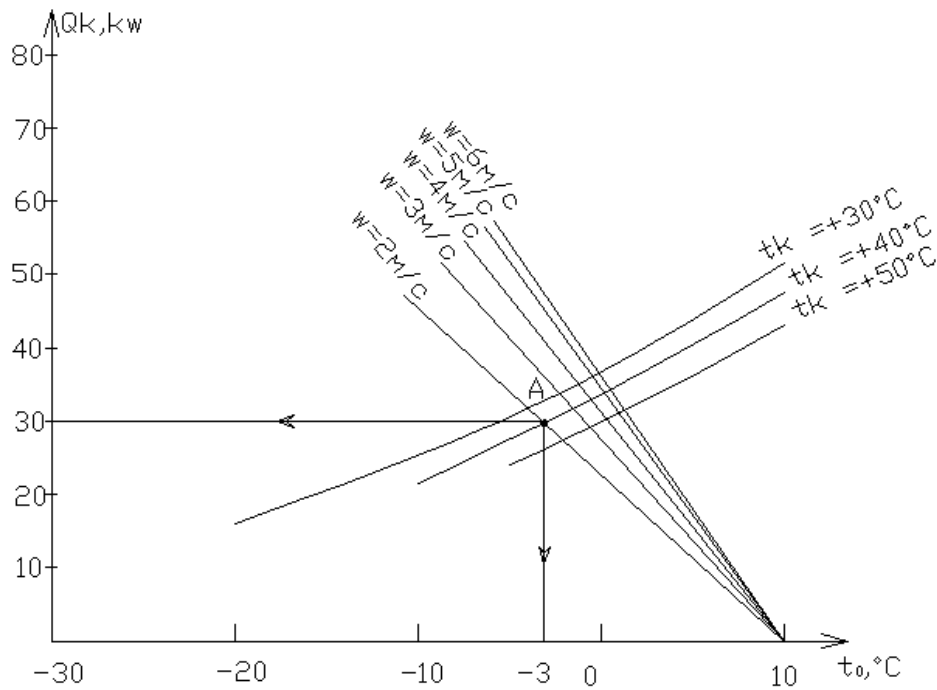


Рис. 6.1 Характеристики холодильної машини

Необхідна швидкість руху повітря через повітроохолоджувач - $\omega = 2$ м/с.

Простежимо, як при цьому повинен працювати конденсатор. На графіку появляється точка В (рис. 6.2), на перетині $t_k = 40^{\circ}\text{C}$ і $t_0 = -3^{\circ}\text{C}$. Це робоча точка для конденсатора. Точку В сполучаємо променем з віссю температур в точці $+25^{\circ}\text{C}$. ВС - характеристика конденсатора з точки зору теплопередачі, Переносимо промінь ВС паралельно самому собі до пучка променів. З аналізу видно, що в цьому режимі кут нахилу променю менший, ніж променю, відповідній швидкості 2 м/с. У розглянутому режимі температурний напір в конденсаторі складає 15°C . Виконані графічні побудови ілюструють роботу бортового комп'ютера по регулюванню роботи холодильної машини.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

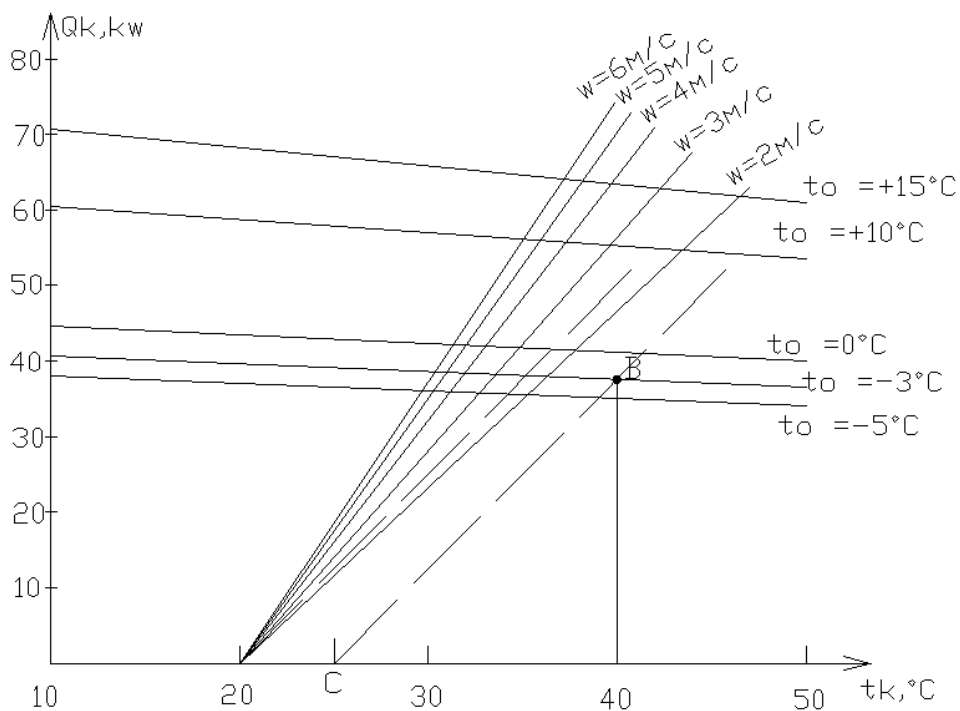


Рис. 6.2 Характеристика режимів роботи машини $Q_k^{KM}=38$ кВт, $t_k = 40$ °C і $t_0 = -3$ °C

Програма здійснює аналітичний розрахунок і дає команду приладам автоматики, регулюючим роботу потоків тепло - і холодоносіїв.

6.2. Основні принципи автоматизації елементів холодильної машини.

Система захисту холодильних установок (САЗ)

У процесі холодильних машин і установок з-за відмов окремих вузлів або агрегатів, а також з-за порушень в системах енерго- і повітропостачання можуть виникати небезпечні режими: підвищення тиску і температури, рівня рідини в окремих апаратах або вузлах машин, припинення змащення тертьових пар і т.д. Якщо не будуть прийняті своєчасні заходи, можуть бути пошкоджені або зруйновані компресори, теплообмінні апарати та інші елементи установки. При цьому виникає серйозна небезпека для життя і здоров'я обслуговуючого персоналу.

Захист холодильних машин і установок включає в себе цілий комплекс технічного обслуговуючих та організаційних заходів, що забезпечують безпечну їх експлуатацію.

Основною вимогою до САЗ є висока надійність, яка досягається застосуванням високонадійних реле захисту та елементів електричних схем, резервування реле та інших елементів захисту в особливо відповідальних випадках, зменшенням числа елементів, послідовно включаються в САЗ, використанням найбільш безпечних варіантів електричних схем, організацією профілактичних перевірок і ремонт в процесі експлуатації.

Система автоматичного управління (САУ). САУ виконує найбільшу кількість функцій в процесах автоматичного управління холодильною установкою. Це – «серце» всього автоматичного контура. У САУ поступають сигнали від САЗ, а також від інших датчиків, використовуваних в технологічній схемі. САУ по сигналу від САЗ вмикає компресор, змінює холодопродуктивність компресора тим або іншим способом. Також САУ блокує пуск установки у випадку якщо необхідні умови для пуску не виконані: відсутній рух охолодженої води на КМ (якщо аміачний), а також на конденсатор, напруга електричного струму вийшла за допустимі межі і т.д.

САУ сприймає різні сигнали від приладів, оброблює їх і якщо необхідно –перетворює в інші, а потім формує вихідний сигнал для відповідних виконавчих механізмів.

6.3. Склад схеми автоматизації

Схема автоматизації включає: систему автоматичного захисту і систему автоматичного керування.

Система автоматичного захисту призначена для запобігання виходу холодильної установки за межі заданого режиму.

У систему автоматичного захисту входять наступні прилади:

- Реле тиску PSA, поз 1в, контролює тиск всмоктування і відключає компресор. Спрацьовує при $P_{вс} < 1$.
- Реле тиску PSA2б призначене для запобігання запуску компресора з закритим нагнітальним вентилем.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Реле температури TSA3б контролює температуру нагнітання холодильного агенту від підвищення, щоб запобігти небезпечнім режимам роботи компресора.

- Реле тиску PSA 6б у системі автоматизації служить для підтримки тиску конденсації в повітряному конденсаторі на необхідному рівні.

6.4. Контури системи автоматизації

Захист від вакууму у випарнику:

PT1a → 1 → PSA1в → HL1 → CA3 → HL5 → CAУ → 8 → ПМ2 → ДКМ

Захист по тиску на боці нагнітання:

PT2a → 2 → PSA2б → HL2 → CA3 → HL5 → CAУ → 8 → ПМ2 → ДКМП

Захист по температурі нагнітання:

TE3a → 3 → TSA3б → HL3 → CA3 → HL5 → CAУ → 8 → ПМ2 → ДКМ

Захист від перегріву електродвигуна:

TL4a → 4 → TSA4б → HL4 → CA3 → HL5 → CAУ → 8 → ПМ2 → ДКМ

6.5. Пуск і зупинка холодильної установки за допомогою систем автоматизації

Пуск:

Ключем управління КУ1 відбувається зняття блокування системи автоматичного захисту, про це буде свідчити потухша освітлювальна лампа. Машиніст ключем управління КУ2 включає двигуни вентиляторів повітроохолоджувачів, повітряного конденсатора і відкриває терморегулюючий вентиль. Після цього машиніст натиском кнопки на пульті включає компресор.

Зупинка:

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зупинка здійснює після припинення подавання холодильного агенту. В разі чого припиняється подача холодильного агента в повітроохолоджувачі і по досягненню тиску кипіння 1 атм спрацьовує САЗ і відключається компресор. Після зупинки компресора машиніст натисканням кнопок HS1 і HS2 зупиняє роботу двигунів вентиляторів.

6.6. Вибір приладів і пристроїв автоматики.

Позиція	Найменування приладу	Призначення приладу	Тип приладу
1в	Реле тиску	Захист компресора від пониженого тиску всмоктування	РД22
2б	Реле тиску	Захист компресора від підвищеного тиску нагнітання	РД22
2а	Терморегулюючий вентиль	Регулювання заповнення рідким агентом секції ВО	ТРВ
3б,4б,	Реле температури	Захист компресора від підвищеної температури нагнітання, підвищеної температури обмоток двигуна	ТР-ОМ5-09
9б	Реле температури	Підтримка постійної температури в об'єкті охолодження	ТР-2А-06ТМ
6б	Реле тиску конденсації	Контроль тиску конденсації	РД-2-02
НА	Електричний дзвінок	Сигналізація аварійних	З-220

		режимів машини	
КС	Кнопкова станція	Перемикач режимів роботи машини («ручний», «автоматичний»)	
ПМ1-ПМ9	Пускач магнітний	Пуск, зупинка двигуна компресора, вентиляторі	ПМЕ-211 МКУ-48
КУ2	Кнопка управління	Вмикання і вимикання холодильної машини	К-03
СА3	Система автоматичного захисту	Автоматичний захист холодильної машини від аварійних режимів праці	
САУ	Система автоматичного управління	Автоматичне управління холодильною машиною	

7. 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):

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$O = K^{\Phi}_{\text{НТЕ}} / K^{\Pi}_{\text{НТЕ}} \quad (7.1)$$

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. 7.1).

Таблиця 7.1

Шкала експертних оцінок для виміру рівня
науково-технічної ефективності проектів

№	Групи показників	Характеристика показників	Інтервал рейтингового числа	Коефіцієнт значущості показників
1	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	

2	Перспективність	Першочергова значущість	8 – 10	0,35
		Значущий	5 – 7	
		Корисний	1 – 4	
3	Потенційний масштаб практичного використання	Світовий ринок	10	0,20
		Галузі національної економіки	7 – 9	
		Галузь (регіон)	3 – 6	
		Окремі підприємства (об'єднання)	1 – 2	
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	Великий	10	0,10
		Середній	5 – 9	
		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:

– розробляють 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.7.1.

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 продукції.

З метою спрощення визначення $K^{\Phi}_{НТЕ}$ у табл. 7.2 не введено показника витрат на одиницю продукції.

Таблиця 7.2

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,	17,5	6,17

людино-годин/ тонну		
---------------------	--	--

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

$$\text{НТЕ} = \sum B_i \times K_i^3 \quad (7.2)$$

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. 7.3).

Таблиця 7.3

Експертна оцінка і розрахунок величини інтегрального показника НТЕ

№	Групи показників	Рейтинг експертів			Середня за експертними оцінками	НТЕ
		1	2	3		
1	Науково-технічний рівень	8	8	9	8,33	2,91 (8,33 x 0,35)
2	Перспективність	6	7	6	6,33	2,21 (6,33 x 0,35)
3	Потенційний масштаб практичного використання	4	5	5	4,67	0,93 (4,67 x 0,20)
4	Ступінь вірогідності досягнення позитивних результатів	7	8	7	7,33	0,73 (7,33 x 0,10)

В С Ь О Г О	6,78
-------------	------

$$HTE = 7 \cdot 0,35 + 6 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,1 = 2,45 + 2,1 + 1 + 0,6 = 6,15$$

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 HTE може бути зроблена за допомогою інтегрального коефіцієнта оцінки HTE (K_{HTE}):

$$K_{HTE} = \frac{HTE}{10} \cdot 100 \%$$

На основі даних табл. 7.3 можна дійти до висновку, що K_{HTE} відповідає 61,5 %, тобто:

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

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

- цілком достатній 5,0 – 6,0;
- достатній 6,1 – 8,0;
- достатньо високий 8,1 – 9,0;
- високий 9,1 – 10.

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

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

8. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально - економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці. Повністю безпечних і нешкідливих виробництв не існує. Завдання охорони праці - звести до мінімуму ймовірність поразки або захворювання працюючі з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпечних і шкідливих факторів.

8.1 Техніка безпеки при експлуатації устаткування

Робота компресорного устаткування пов'язана з виникненням небезпечних і шкідливих факторів, обумовлених наявністю в компресора частин, що рухаються, і високого тиску. Для безпечної експлуатації компресорів необхідно, головним чином, забезпечити їхню герметичність, раціональне змащення й достатнє охолодження. Кожний компресор повинен бути обладнаний запобіжним клапаном, установленим на лінії нагнітання. Запобіжні клапани (а так само запобіжні розривні пристрої) використовують для захисту установок від підвищення в них тиску вище межі, установленими правилами техніки безпеки. У посудинах і трубопроводах, призначених для різних рідин і газоподібних агресивних і неагресивних середовищ із температурами 223 - 873 К и тиском до 32 МПа застосовують запобіжні клапани прямої дії (пружинні й важільно-вантажні).

Виконаємо розрахунок запобіжного клапана. Клапан підбирається по величині площі перерізу клапана, що дорівнює найменшій площі перетину в проточній частині - Р и за значенням коефіцієнт витрати газу для даної конструкції клапана, що визначається виготовлювачем:

$$G \times \alpha = \frac{B \times \sqrt{2 \times \rho \times (p_1 - p_2)}}{1000}, \quad (8.1)$$

де G - масова витрата газу через запобіжний клапан - $G = 0,6...1$ кг/с, приймаємо рівним 0,7 кг/с;

μ - коефіцієнт витрати приймаємо 0,75;

p_1 і p_2 - максимальний абсолютний тиск перед клапаном і за ним, Па.

p_1 приймається на 15 % більше розрахункового, отже для проектованої установки $p_1 = (1,3 + 0,195) \times 10^6$ Па = $1,495 \times 10^6$ Па; p_2 приймаємо рівним атмосферному ($0,1 \times 10^6$ Па), тому що газ при виході із клапана буде попадати безпосередньо в атмосферу;

ρ - щільність середовища при тиску p_1 і температурі перед клапаном ($t = 68^\circ\text{C}$), $\rho = 139,38$ кг/м³;

Коефіцієнт розширення стікаючого струменя, приймаємо рівним $B = 0,476$.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F = \frac{0,6}{0,75 \times 0,476 \times \sqrt{2 \times 139,98 \times (1,495 \times 10^6 - 0,1 \times 10^6)}} = 8,5 \times 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 8,5 \times 10^{-5}}{3,14}} = 10,4 \text{ мм}$$

Приймаємо $d_y = 15 \text{ мм}$

8.2. Електробезпечність устаткування

Електробезпечність - це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля й статичної електрики. Основними мірами захисту від поразки електричним струмом є: забезпечення неприступності струмоведучих частин, що перебувають під напругою, для випадкового дотику; електричний поділ мережі; усунення небезпеки поразки з появою напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електроустаткування, що досягається застосуванням малих напруг, використанням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, відключенням і ін.; застосування спеціальних електрозахисних засобів - переносних приладів і пристосувань; організація безпечної експлуатації електроустановок.

8.3. Класифікація приміщень по ступені поразки електричним струмом

Всі приміщення діляться по ступені поразки людей електричним струмом на три класи:

- без підвищеної небезпеки;
- з підвищеною небезпекою;
- особливо небезпечні

Приміщення без підвищеної небезпеки - це сухі, не запилені приміщення з нормальною температурою повітря й з ізолюючими (наприклад, дерев'яними) підлогами, тобто в яких відсутні умови, властиві приміщенням з підвищеною небезпекою й особливо небезпечним.

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

- вологості, коли відносна вологість повітря довгостроково перевищує 75 %; такі приміщення називають сирими;
- високої температури, коли температура повітря довгостроково (понад добу) перевищує $+35^{\circ}\text{C}$; такі приміщення називають жаркими;
- струмопровідного пилу, коли за умовами виробництва в приміщеннях виділяється провідний технологічний пил (наприклад, вугільна, металева, і т. ін.) у такій кількості, що вона осідає на проводах, проникає у середину машин, апаратів і т. ін.; такі приміщення називають курними зі струмопровідним пилом; струмопровідних підлого металевих, земляних, залізобетонних, цегельних і т.п.;
- можливості одночасного дотику людини з устаткуванням що з'єднане із землею металоконструкціям будинків, технологічним апаратам,

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механізмам і т.п., з одного боку, і до металевих корпусів електроустаткування – з іншої.

Приміщення особливо небезпечні характеризуються наявністю одного з наступних трьох умов, що створюють особливу небезпеку:

- особливої вологості, коли відносна вологість повітря близька до 100 % (стіни, підлога й предмети, що перебувають у приміщенні, покриті вологою); такі приміщення називають особливо сирими;

- хімічно активного або органічного середовища, тобто приміщення, у яких постійно або протягом тривалого часу втримуються агресивні пари, гази, рідини, що утворюють відкладення або цвіль, що діють руйнуючі на ізоляцію й струмоведучі частини електроустаткування; такі приміщення називають приміщеннями з хімічно активним або органічним середовищем;

- одночасної наявності двох або більше умов, властивих приміщенням з підвищеною небезпекою.

8.4. Класифікація встаткування по ПУЕ

ПУЕ регламентує пристрій електроустаткування у виробничих приміщеннях і для зовнішніх технологічних установок. Вибір і установку електроустаткування роблять відповідно до цих правил на основі класифікації вибухонебезпечних зон і сумішей.

Зона класу В-1. До неї відносять приміщення, у яких можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші пар і газів з повітрям при нормальних умовах роботи.

Зона класу В-1а. У цю зону входять приміщення, у яких вибухонебезпечні суміші не утворюються при нормальних умовах експлуатації встаткування, але можуть утворитися при аваріях або несправностях.

Зона класу В-1б. До цього класу відносять:

- а) приміщення, у яких можуть утримуватися горючі пари й гази з високою нижньою межею запалення (15% і більше), що володіють різким запахом.

- б) приміщення, у яких можливе утворення лише локальних вибухонебезпечних сумішей в обсязі менш 5% приміщення.

Зона класу В-1м. У цю зону входять зовнішні установки, у яких перебувають вибухонебезпечні гази, пари й ЛВЖ.

Зона класу В-П. До неї відносять приміщення, у яких виробляється обробка горючих пилов і волокон, здатних утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям при нормальних режимах роботи.

Зона класу В-Па. У цю зону входять приміщення, у яких вибухонебезпечні пилоповітряні суміші можуть утворюватися в результаті аварій і несправностей.

Приміщення й установки, у яких утримуються ГЖ і горючі пили, нижня концентраційна межа яких вище 63г/м^3 , відносять до пожежонебезпечних і класифікують у такий спосіб.

Зона класу П-1. До неї відносять приміщення, у яких утримуються ГЖ.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зона класу П-П. У цю зону входять приміщення, у яких утримуються горючі пили з нижньою концентраційною межею вище 65г/м^3 .

Зона класу П-Па. До неї відносять приміщення, у яких утримуються тверді горючі речовини, не здатні переходити у зважений стан.

Установки класу П-Ш. До них відносять зовнішні установки, у яких утримуються ГЖ (з температурою спалаху вище 61°C) або тверді горючі речовини.

Причіп відноситься до зони класу В-16 (б).

8.5. Електробезпечність устаткування

Електробезпечність - це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги й електромагнітного поля.

Причіп по ступеню небезпеки поразки електричним струмом відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою.

Найчастіше використовують захисне заземлення. Захисним заземленням називають навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих безпровідних частин, які можуть виявитися під напругою. Воно призначено для усунення поразки електричним струмом у випадку дотику до металевих частин електроустановки, що знаходяться під напругою.

Гранично допустимий опір заземлення в електроустановках з напругою до 1000 В не повинен перевищувати 4 Ом у будь-який час року ($R_4 \leq 4\text{ Ом}$). При цьому струм, що проходить через тіло людини $< 0,05\text{ А}$.

Розрахуємо заземлення.

Вибираємо тип і геометричні розміри заземлень: контурне - $l = 2\text{ м}$; $d = 40\text{ мм}$. Відстань між вертикальними заземленнями вибираємо рівною $L = 1\text{ м}$.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту:

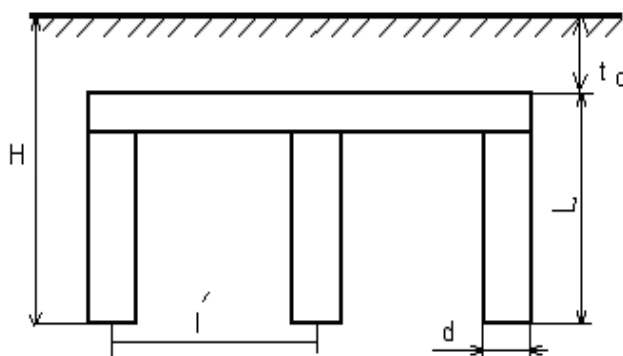
$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{физ.}} \times \psi (8.2)$$

де $\rho_{\text{физ.}} = 80\text{ Ом}$ – питомий опір ґрунту;

$\psi = 2$ - кліматичний коефіцієнт.

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{физ.}} \times \psi = 2 \times 80 = 160\text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$R_{\text{стр.}}$ - опір одного вертикального заземлювача з урахуванням опору ґрунту.



					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

$$R_{стр.} = \frac{\rho_{расч.}}{2 \times \pi \times l} \left(\ln \frac{2 \times l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times H + l}{4 \times H - l} \right) (8.3) \quad \text{Ом}$$

$$d = 40 \text{ мм}, \quad l = 2 \text{ м}, \quad t_0 = 1,$$

$$R_{стр.} = \frac{160}{2 \times 3,14 \times 1} \left(\ln \frac{\frac{L}{2} + t_0}{0,04} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times 1,5 + 1}{4 \times 1,5 - 1} \right) = 63 \quad \text{Ом}$$

Визначимо кількість вертикальних заземлювачів:

$$n_{расч.} = \frac{R_{стр.}}{R_{расч.}} (8.4)$$

$$n_{расч.} = \frac{63}{4} = 16 = 20, \quad \text{шт.}$$

Визначаємо опір системи вертикальних заземлювачів:

$$R_{св} = \frac{R_{стр.}}{\eta \times n} = \frac{63}{20 \times 0,6} = 5,25 \quad \text{Ом}$$

η - коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів .

Довжина сполучної смуги при розміщенні по контурі.

Опір смуги з урахуванням опору ґрунту:

$$R_{пол.} = \frac{R_{расч.}}{\eta \times 2 \pi \times l_{пол.}} \ln \frac{100}{d \times t_0} = \frac{160}{0,55 \times 2 \times 3,14 \times 88} \ln \frac{88 \times 2}{0,02 \times 0,05} = 5,14 \quad \text{Ом}$$

Загальний опір всієї системи

$$R_{общ.} = \frac{R_{общ.ст.} \times R_{пол.}}{R_{общ.ст.} + R_{пол.}} = \frac{5,14 \times 5,25}{5,14 + 5,25} = 2,6 \quad \text{Ом}$$

$$R_{общ.} < R_{дон}$$

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Цивільна оборона

Нині в Одесі і області застосовується і виготовляється великий асортимент хімічних речовин, токсичних і шкідливих для здоров'я людей, тваринних і небезпечних для довкілля. Ці речовини називають сильнодіючими отруйними речовинами (СДОР). Певні види СДОР знаходяться у великих кількостях на підприємствах, які їх виготовляють або застосовують, на складах, сільськогосподарських об'єктах і підприємствах промисловості, що переробляється, велика кількість їх перевозять транспортом.

У військовий час об'єкти зберігання СДОР можуть бути знищені, в мирний час при виробничих аваріях або стихійних лихах СДОР можуть потрапити в довкілля і стати причиною поразки людей, тварин, рослин і зараження довкілля.

Найбільш поширеними в галузях господарства і небезпечними являються хлор, аміак, сірководень, бензол, азотна, сірчана кислота, фосген, синильна кислота.

Виробничі аварії небезпечні несподіваністю. Проте їх руйнівних наслідків можна уникнути або значно зменшити їх, якщо вчасно провести відповідні запобіжні заходи. Це комплекс організаційних і інженерно-технічних заходів, спрямованих на ліквідацію причин аварій і катастроф, максимальне зменшення можливих руйнувань і втрат на випадок, що ці причини повністю неможливо усунути, а також на створення сприятливих умов проведення рятувальних робіт.

На випадок виробничої аварії на об'єкті повинен бути розроблений план заходів підготовки об'єкту до захисту від СДОР: складена характеристика складних приміщень і СДОР; зроблена оцінка (за прогнозом) можливої обстановки на об'єкті на випадок аварії або руйнування місцевості з СДОР; розроблені схеми сповіщення керівного складу рятувальних формувань і населення; розраховані сили і заходи по ліквідації осередків зараження, складений план дій для ліквідації осередків зараження.

Організаційні заходи передбачають організацію і підтримання в постійній готовності системи зв'язку і сповіщення керівного складу, особового складу рятувальних формувань і населення, навчання особового складу формувань роботам по ліквідації осередків зараження СДОР, нагромадження, збереження і підтримка в готовності 313, порядок інформації і надання донесень про утворення осередків зараження, визначення і збереження засобів для дегазації СДОР, підготовка техніки для проведення дегазації.

Інженерно-технічні заходи полягають в розосередженні СДОР, будівництві для них поглиблених або напів поглиблених сховищ, будівництві під сховищами з деякими речовинами підземних резервуарів з водою для розчинення їх при аварії, побудові ловецьких ям або канав, можливому посиленні конструкцій резервуарів і комунікацій з СДОР або

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

устаткуванні під ними обгороджувань для захисту від поразок осколками будівельних конструкцій при аварії, устаткуванні резервуарів автоматичними і ручними пристроями для відвертання витіканню СДОР у разі аварії.

При ліквідації наслідків аварії з СДОР відповідальний з керівного складу об'єкту повинен оповістити керівний склад об'єкту, командирів формувань про негайний збір. Командири формувань оповіщають особовий склад про негайний збір, негайно проводять розвідку осередку ураження і означають його межі, оточують осередок ураження, ведуть безперервно метеорологічне спостереження, інформують керівництво про напрям руху хмари СДОР, укривають в захисних спорудах або виводять за межі осередку ураження населення, приступають до рятувальних робіт і надання медичної допомоги потерпівши, виконують невідкладні роботи для ліквідації або локалізації аварії, проводять дегазацію СДОР на шлях їх поширення, територія, споруда, устаткування, техніка, урожай, корм, сировина і вода, санітарний обробка людина.

Витікання газоподібних речовин на території населеного пункту або біля нього може привести до великих жертв серед населення і завдати істотної шкоди довкіллю.

Тому потрібна тісна взаємодія виробництва, його організацій (пожежної команди, рятувальних загонів) з місцевими органами цивільного захисту. Важливо, щоб були встановлені єдині сигнали сповіщення об небезпеки і необхідні заходи (які мають бути проведені) знайшли відображення у відповідних планах цивільного захисту об'єктів і населених пунктів.

При витіканні СДОР роботи спрямовані на припинення витікання небезпечної речовини і пониження впливу отруйної речовини на людей, тварин, рослин і лесових насаджень, розробляючи ці заходи, слід врахувати: токсичність сильнодіючих отруйних речовин, яка може проявиться на великому віддаленні від місця аварії або витікання, напрям вітру, за яким рухається газова хмара, його швидкість. Евакуація населення може бути ускладнена токсичністю газів, їх високою концентрацією, атмосферними і іншими умовами.

При попаданні СДОР в атмосферу або на місцевість негайно оповіщають об небезпеці працівників, службовців і населення, яке мешкає в навколишній зоні. Почувши повідомлення про аварію, слід швидко надіти засоби індивідуального захисту шкіри (плащі, накидки), по можливості вийти з району аварії убік, перпендикулярну напрямку вітру.

У квартирі, будинку закрити вікна, провести герметизацію, житла, вимкнути нагрівальні прилади, газ, погасити вогонь в печах, вимкнути електроосвітлення.

При нормальній герметизації вікон і дверей в приміщенні для укриття людей концентрація газів через 0,5 години може бути 10 % зовнішньої концентрації. Оскільки ступінь ураження людини визначається концентрацією і часом перебування в хмарі газу, герметизація приміщень зменшує небезпеку для людей.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для захисту працюючих на об'єкті і населення рекомендується використати загерметизовані приміщення і в першу чергу приміщення верхніх поверхів, де концентрація газів буде менше, ніж на нижніх поверхах будівлі.

Працівники і службовці об'єкту, на якому виникла аварія, повинні негайно одягнути протигази. До підходу хмари сильнодіючих отруйних речовин необхідно евакуювати населення з небезпечної зони.

При ліквідації розлиття СДОР і знезараженні отруєних і агресивних речовин до місця аварії необхідно підходити тільки з повітряного боку в ізолюючих протигазах і захисному одязі.

Небезпечна зона має бути оточена спеціальними групами з працівників і службовців об'єкту, які закривають доступ в район аварії усім, хто не бере безпосередньо участі в ліквідації її наслідків. Обов'язково помічають місця і межі зараження.

Перед початком рятувальних і невідкладних робіт необхідно провести інструктаж на вимогу безпеки з урахуванням конкретного СДОР і обстановки, яка склалася під час аварії.

Під час проведення робіт в осередку ураження усім учасникам необхідно строго дотримуватися вимог безпеки, застосовувати індивідуальні засоби захисту, протихімічні пакети і індивідуальні аптечки.

Щоб обмежити знаходження отруйних речовин в атмосфері, розтікання по землі, попадання у воду і припинити їх викид або витікання, відключають пошкоджену ділянку, перекривають крани і інші замкові пристрої, на розриви в трубопроводах і місткостях накладають пластири, муфти, забивають пробки, перекачують речовини з пошкоджених місткостей в справні. В деяких випадках, щоб не допустити подальшого поширення СДОР, викопують котлован або земляний вал.

Для прогнозування обстановки і визначення напрямку поширення зараження необхідно організувати метеорологічне спостереження. Виходити із зони аварії слід найкоротшими маршрутами, перпендикулярно напрямку вітру, бажано на піднесені і добре провітрюване місце.

Після локалізації осередку ураження необхідно провести дегазацію зараженої місцевості, споруд, устаткування, кормів, урожаю техніки.

Після закінчення робіт в районі збору необхідно організувати спеціальну обробку людей і техніку.

У разі загрози радіоактивного зараження або спочатку випадання радіоактивних речовин необхідно провести медичну профілактику населення - видати протирадіаційні йодні препарати. Робочі зміни повинні сховатися в сховищах, а населення в захисних спорудах або евакуюватися.

Евакуюваним слід застосовувати індивідуальні засоби захисту, узяти з собою запас продуктів харчування, води, документи, в холодний період - теплий одяг. В першу чергу евакуювали дітей дошкільного і молодшого шкільного віку. У разі термінової евакуації, збірні евакуаційні пункти не створюють.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хмельнюк М. Г.

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.

2. Хмельнюк М. Г.

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.

3. Подмазко О. С.

Холодильні установки. Системи відводу теплоти конденсації : метод. вказівки [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. А. Піщанська ; — Одеса : ОНТУ, 2023. — 21 с.

4. Подмазко О. С.

Монтаж і ремонт холодильних установок. Несправності в роботі холодильної установки : метод. вказівки [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. А. Піщанська ; — Одеса : ОНТУ, 2023. — 35 с

5. Подмазко О. С.

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.

6. Подмазко О. С.

Холодильні установки спеціального призначення : конспект лекцій [Електронний ресурс] / О. С. Подмазко, Н. О. Піщанська ; — Одеса : ОНТУ, 2023. — 99 с.

7. Подмазко О. С.

Процеси та елементна база систем нетрадиційної енергетики [Електронний

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресурс] : метод. вказівки: "Розрахунок магістральних трубопроводів" / —
Одеса : 2019. — 4 с.

8. Сажко, В. А. Електрообладнання автомобілів і тракторів : підручник / В. А. Сажко ; рец.: В. В. Рудзінський, С. К. Полянський, А. З. Філіпов. — К. : Каравела, 2008. — 400 с.

8. Лудченко, О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління : підручник / О. А. Лудченко. — К. : Знання-Прес, 2004. — 478 с.

9. Бабіч, Б. С., Лущик В. В. Технічне обслуговування й ремонт металевих кузовів автомобілів : підручник / Б. С. Бабіч, В. В. Лущик. — К. : Либідь, 2001. — 460 с.

10. Технологічне проектування автотранспортних підприємств : навч. посібник / С. І. Андрусенко, В. О. Білецький, П. І. Бортницький та ін. ; рец.: О. М. Коробочка, В. В. Рудзінський, В. В. Березняцький. — К. : Каравела, 2009. — 368 с.

11. Автомобілі. Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність : навч. посібник / В. П. Сахно, Г. Б. Безбородова, М. М. Маяк, С. М. Шарай. — К. : КВІЦ, 2004. — 174 с.

12. Мельничук, С. В. Гідравлічні системи автомобіля : навч. посібник. — Житомир : ЖДТУ, 2004. — 294 с.

13. Підручник водія / О. Я. Фоменко, В. П. Сахно, Г. О. Ковальчук та ін. ; за заг. ред. О. Я. Фоменка. — К. : Літера ЛТД, 2013. — 240 с.

14. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навч. посібник / Є.Ю. Форнальчик, М. С. Оліскевич, О. Л. Мاستикаш, Р. А. Пельо. — Львів : Афіша, 2004. — 492 с.

15. Кисликов, В. Ф., Лущик, В. В. Будова й експлуатація автомобілів : підручник. — 5-те вид. — К. : Либідь, 2005. — 400 с.

					КРБ.ХУКП.1.499-03.1.8	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		