

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра вагонів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

«ХОЛОДИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ВАГОНІВ»

Частина 1

Харків 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри вагонів 4 листопада 2013 р., протокол № 4.

Рекомендовано для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності «Вагони та вагонне господарство».

Укладачі:

проф. І.Е. Мартинов,
доц. А.В. Труфанова,
асистенти В.В. Репко,
В.О. Юдін

Рецензент

проф. А.П. Фалендиш

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

«ХОЛОДИЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ВАГОНІВ»

Частина 1

Відповідальний за випуск Труфанова А.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 19.12.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,0. Тираж 25. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

Лабораторна робота 1

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИЛАДІВ

Мета роботи: ознайомлення студентів з приладами, що призначені для визначення та реєстрації вологості повітря.

1.1 Короткі відомості з теорії

1.1.1 Загальні положення

Перевезення швидкопсувних вантажів в ізотермічних вагонах вимагає створення таких умов, при яких вантажі зберігають свої якості. Це залежить, з одного боку, від термічної та технологічної обробки вантажів, з іншого – від умов, які створюються в самому вагоні.

Основними параметрами, що визначають збереження вантажів, є температура, тиск, вологість, швидкість руху повітря у вагоні, вентилявання вантажного приміщення і циркуляція повітря. Коливання температури у вагонах не повинні перевищувати від установленної $1\div 2$ °С. Вологість повітря при перевезеннях підтримується на рівні $75\div 95\%$ у залежності від роду вантажу, з відхиленням від встановленої $\pm 5\%$. При такій порівняно високій вологості значно зменшується усушка продуктів, і вони краще зберігаються при перевезенні та зберіганні, внаслідок вимороження з продуктів більшої частини вологи, незважаючи на високу вологість повітря, розвиток на них мікроорганізмів не відбувається. Циркуляція повітря у вагонах необхідна для рівномірного розподілу теплого або охолодженого повітря по всьому вантажному приміщенню.

Швидкість руху повітря у вагонах повинна становити $0,15\div 0,20$ м/с.

Приміщення, де зберігаються швидкопсувні продукти, повинно мати вентиляцію для освіження повітря та регулювання його вологості.

Вимірювання та регулювання вологості повітря мають велике значення і при кондиціюванні повітря, так як вологість повітря справляє суттєвий вплив на самопочуття людей. Як низька, так і висока вологість повітря сприяє стомленості та викликає фізичне нездужання.

Вологість повітря характеризується утримуванням у ньому певної кількості водяної пари.

У процесі зволоження чи осушення повітря кількість сухого повітря, що міститься в ньому, залишається незмінним, а вміст водяної пари може коливатися в широких межах. *Вміст вологи* являє собою кількість водяної пари в грамах чи кілограмах, припадаючи на 1кг сухого повітря.

Вагова кількість водяної пари, яка міститься в 1м^3 вологого повітря, тобто питома вага водяної пари в повітрі, називається *абсолютною вологістю* повітря. Якщо в повітрі безперервно збільшувати вміст водяної пари, то може настати такий стан, коли воно повністю ним насититься. Тоді повітря буде насиченим. При подальшому збільшенні у повітрі кількості водяної пари настає стан пересичення. При цьому надлишок водяних парів почне конденсуватися, викликаючи явище туману.

Ступінь насиченості повітря водяною парою залежить не тільки від її кількості, але і від температури. При однаковому вмісті водяної пари ступінь насичення нею повітря зростає з пониженням температури та понижається з її підвищенням.

Ступінь насичення повітря водяною парою характеризується *відносною вологістю* повітря. Це взяте у відсотках відношення ваги водяної пари, що міститься в 1м^3 повітря при даних температурі та тиску, до вагової кількості водяної пари, яке насичало б цей об'єм повітря при тих же температурах та тиску. Відносна вологість позначається « φ » і змінюється від 0 (сухе повітря) до 100 % (насичене повітря).

Однією з основних характеристик вологості є точка роси, яка відповідає температурі насичення, при цьому стані в повітрі та на дотичних з ним поверхнях спостерігається конденсація водяних парів (випадає роса).

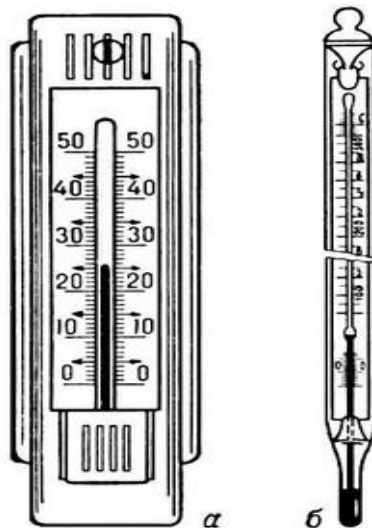
1.1.2 Температура повітря

Головний параметр, від якого залежить успішне здійснення перевезень швидкопсувних вантажів – температура повітря.

На залізничному транспорті для вимірювання температури повітря в основному використовується шкала Цельсія ($^{\circ}\text{C}$).

Для контролю температури холодильного середовища найбільшого поширення набули термометри: дилатометричні, контактні і манометричні.

Дилатометричні термометри (рисунок 1.1) засновані на властивості тіл змінювати обсяг у залежності від температури. У залежності від призначення дилатометричних термометрів їх колби заповнюють ртуттю (при вимірюванні температур від -30°C до $+75^{\circ}\text{C}$), спиртом (від -65°C до $+65^{\circ}\text{C}$), толуолом (від -90°C до 0°C).



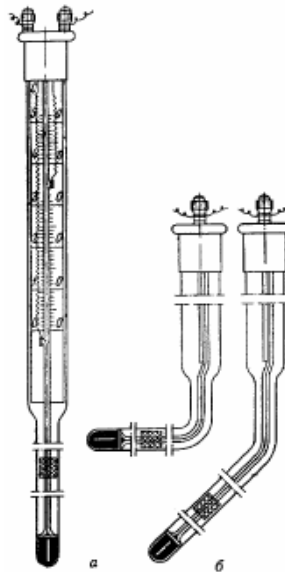
а) із зовнішньою шкалою; б) з вкладеною шкалою

Рисунок 1.1 – Дилатометричні термометри

Недоліками скляних термометрів є їхня крихкість і велика теплова інерція.

Контактні термометри (рисунок 1.2) аналогічні за конструкцією дилатометричним, але їх заповнюють тільки ртуттю. Контактні термометри застосовуються для сигналізації та регулювання температури. Упаяні в капіляр один, два або три

платинові контакти на відмітках шкали, відповідних температурним точкам сигналізації, відтворюють розрив електричних кіл (сигналізації або регулювання).



а) прями; б) кутові

Рисунок 1.2 – Контактні термометри

Недоліки: схеми ртутно-контактних термометрів громіздкі, а точність показань температур відносно мала.

Манометричні термометри засновані на вимірюванні тиску, мінливого в замкнутому просторі зі зміною температури. Манометричні термометри за принципом дії поділяються на газові, рідинні і парові.

Дія газових і рідинних термометрів заснована на вимірюванні залежного від температури тиску газу або рідини, що знаходяться в замкнутому просторі. Дія парових термометрів заснована на вимірюванні тиску насиченої пари над поверхнею рідини. Показання термометрів потрібно знімати не раніше, ніж через 5 хвилин після установалення їх в точці, яка заміряється. При записі показань термометра в таблиці необхідно враховувати поправки на точність, вказані в паспорті приладу. Такі ж показання знімають другий раз через 10 хвилин і третій – через 15 хвилин з початку спостереження.

1.1.3 Вологість повітря

Вологість повітря впливає на стан вантажу. Підвищена вологість сприяє розвитку мікроорганізмів, приводить до зволоження продуктів, а пониження вологості призводить до всихання продукту, втрати товарного вигляду, збільшення убутку. У повітрі завжди знаходиться деяка кількість води у вигляді пари. Кількість водяної пари, яка може міститися в повітрі, залежить від його температури. Чим вища температура повітря, тим більше водяної пари може в ньому міститися.

Для контролю вологості існує кілька методів: абсолютний, за точкою роси, психрометричний і гігрометричний. Абсолютний, чи хімічний, метод застосовують для визначення вмісту кількості водяної пари в 1 м³ повітря. Метод контролю вологості за точкою роси заснований на визначенні температури, при якій водяна пара, що знаходиться в повітрі, стає насиченою і конденсується. Найбільш розповсюдженим є психрометричний метод, заснований на різниці показників двох однакових ртутних термометрів, у одного з них резервуар змочується водою. Прилади, побудовані на цьому принципі, називаються психрометрами.

Обидва термометри – «сухий» та «мокрый» – встановлюються поруч. При цьому «сухий» термометр показує температуру повітря, що досліджується, а «мокрый», резервуар якого покритий вологою тканиною, – більш низьку температуру внаслідок охолодження його випаровуванням води з поверхні тканини. Різниця показань термометра називається психрометричною різницею.

Для визначення відносної вологості пристосовують кімнатні аспіраційні та технічні психрометри.

Найпростішим приладом є кімнатний (стаціонарний) психрометр Августа (рисунок 1.3). Він складається з укріплених на основі 4 двох ртутних чи толуолових термометрів: «сухого» 2 та «мокрого» 3. Резервуар «мокрого» термометра обгорнутий гігроскопічною тканиною, один кінець якого занурений у склянку 1 з дистильованою водою.

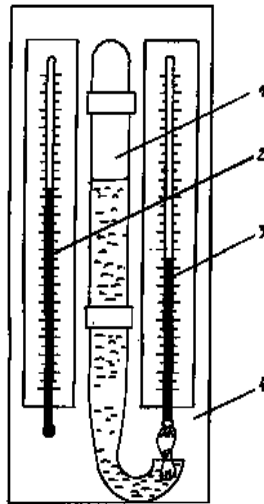


Рисунок 1.3 – Стаціонарний психрометр Августа

Вода просочує тканину, яка випаровується з різною швидкістю в залежності від вологості та швидкості руху повітря, віднімає тепло від термометра, тому показання «мокрого» термометра завжди менше, ніж «сухого».

Різниця показників термометрів залежить від відносної вологості повітря. Чим сухіше навколишнє повітря, тим інтенсивніше випарювання вологи з поверхні тканини, отож, більшою буде різниця показань «сухого» та «мокрого» термометрів та, навпаки, із збільшенням вологості повітря ця різниця зменшується. При відносній вологості повітря 100 % показники «сухого» та «мокрого» термометрів будуть однакові. На точність показань психрометра впливає швидкість обтікання термометра повітрям. У нерухомому повітрі та особливо при наявності перешкоди для циркуляції водяної пари в зоні випаровування, водяна пара збирається, застоюється навколо балончика. Це погіршує умови випарювання вологи з тканини та викривляє показання «мокрого» термометра, що є недоліком цього приладу. На точність показників психрометра також впливає тепло, що випромінюється навколишніми предметами. Поглинаючи це тепло, термометри дають збільшені показання.

При швидкості повітря до 0,8 м/хв розрахунок вологості повітря можна робити за номограмою (рисунок 1.4).

Порядок спостережень за стаціонарним психрометром такий:

- а) змочується тканина на резервуарі термометра;
- б) відлік за двома термометрами здійснюється при такому показанні «мокрого» термометра, при якому подальше зниження його температури припиняється (приблизно через 15 хв). Відліки за термометром беруться з точністю до 0,5°C;
- в) за номограмою (рисунок 1.4 або на психрометрі) визначається відносна вологість повітря в залежності від показань термометрів;
- г) подібні вимірювання повторюються три рази та за ними обчислюється середнє значення відносної вологості повітря у приміщенні.

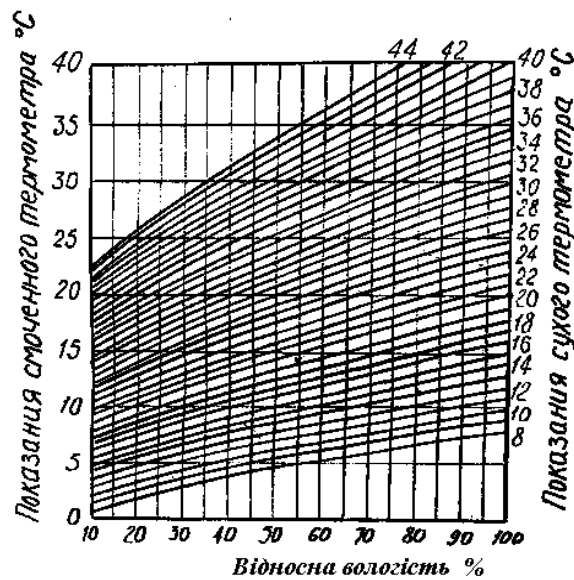


Рисунок 1.4 – Номограма для психрометра Августа

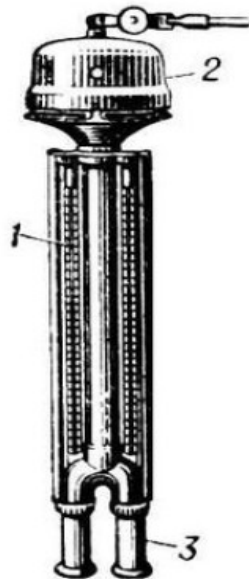
Зазначених вище недоліків не мають так звані аспіраційні психрометри.

Психрометр аспіраційний призначений для вимірювання вологості та температури повітря в стаціонарних та польових умовах. По відношенню до інших приладів, що визначають вологість повітря, він є еталонним.

В цьому приладі (рисунок 1.5) сухий термометр показує температуру повітря, в якому визначається вологість, а мокрий реєструє власну температуру, залежну від інтенсивності випаровування, що відбувається з поверхні його резервуару,

обгорненого змоченою матерією. Інтенсивність випаровування залежить від ступеня насичення водяними парами навколишнього повітря: чим більше дефіцит навколишнього повітря, тим інтенсивніше буде відбуватися випаровування з мокрого термометра і тим нижче будуть його показання.

Межі вимірювання психрометра знаходяться в межах 10-100 % відносної вологості при температурі повітря від 10°C до +40°C.



1 – термометри; 2 – аспіратор; 3 – трубки, які захищають резервуари термометрів

Рисунок 1.5 – Аспіраційний психрометр Асмана

Порядок спостережень за аспіраційним психрометром:

а) за 4 хв до моменту спостереження змочується батист на резервуарі правого термометра. Для цього беруть гумовий балон з піпеткою, заздалегідь заповненою водою, та легким натисненням доводять воду у піпетці до позначки та утримують її на цьому рівні за допомогою затискача. Після цього піпетку вводять до відмови в трубку та змочують батист на резервуарі термометра. Зачекавши деякий час, не дістаючи піпетки з трубки, розтискають затискач, вбираючи надлишок води у балон, після чого піпетку виймають;

б) обережно, щоб не зірвати пружину, заводять вентилятор майже до відмови;

в) після цього починають спостерігати за зміною показань «мокрого» термометра. Відлік за двома термометрами проводять при якому показанні «мокрого» термометра, при котрому подальше зниження його температури зупиниться, що настане приблизно через 4 хв. Відліки беруться з точністю до $0,1^{\circ}\text{C}$;

г) подібні вимірювання повторюються три рази;

д) за одержаними показаннями «мокрого» та «сухого» термометрів за допомогою номограми (рисунок 1.6) визначається відносна вологість повітря приміщення.

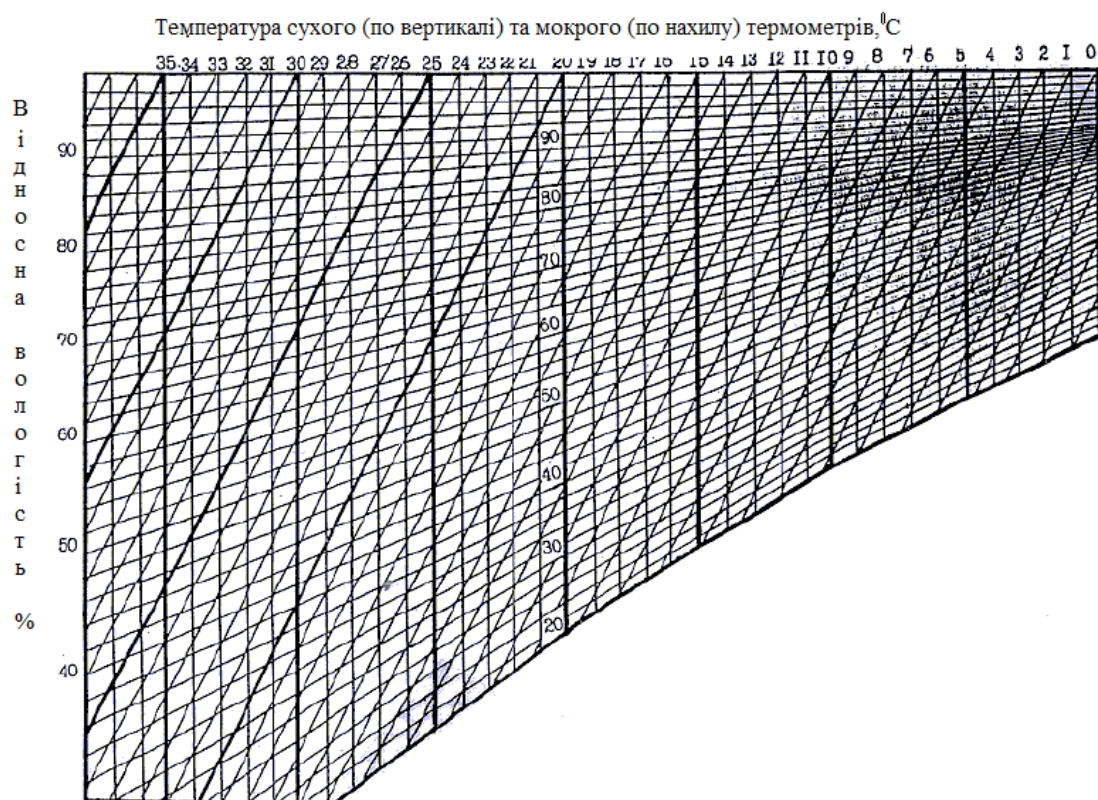


Рисунок 1.6 – Номограма для психрометра Асмана

Крім зазначених вище приладів, для вимірювання відносної вологості використовують гігрометри. Принцип їх дії заснований на властивості знежиреного людського волосся змінювати свою довжину в залежності від вологості повітря.

Гігрометр (рисунок 1.7) складається з таких основних частин: обробленого людського волосся 1; рами 2; стрілки 3 та шкали 4.

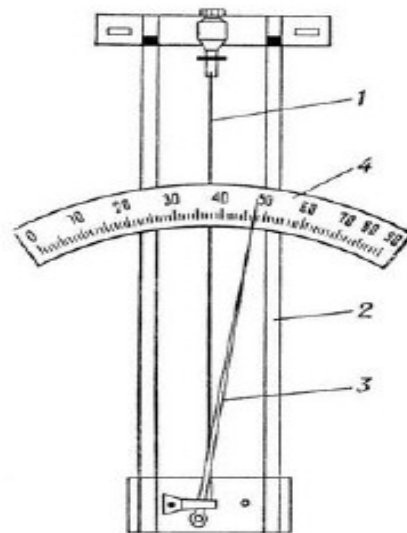


Рисунок 1.7 – Гігрометр волосяний МВ-1

Волосина одним своїм кінцем закріплена у гвинті настановного пристрою, другий його кінець закріплений у дужці, жорстко зв'язаній з віссю стрілки. Вантаж тримає волосину завжди в стрункому стані. Стрілку гігрометра у випадку необхідності можна пересувати відносно шкали, опускаючи контргайку та пересуваючи настановний гвинт обертом гайки.

Зміна довжини волосини, що залежить від зміни вологості повітря, передається стрілці гігрометра, яка на шкалі вказує відносну вологість у відсотках.

Межі вимірювання відносної вологості повітря від 30 до 100 %. Похибка вимірювання відносної вологості повітря не повинна перевищувати +10 та -5% у порівнянні з даними, які отримані за допомогою аспіраційного психрометра.

Переваги гігрометра:

- відлік відносної вологості виконується безпосередньо без додаткових розрахунків;
- можна визначити вологість повітря при від'ємних температурах.

Недоліками цього приладу є необхідність регулярної перевірки та мала точність показань.

Діапазон вимірювання відносної вологості повітря знаходиться в межах від 30 до 100 %. Прилад призначений для роботи при температурах від -80 до +45°C. Регулювання приладу виконується за допомогою оберту викрутки, регулюючого

гвинта, що розташований в середині кожуха у верхній його частині.

Похибка вимірювання відносної вологості повітря не повинна перебільшувати +10 % та -5 % у порівнянні з даними, що одержані за допомогою аспіраційного психрометра.

У цей час для визначення вологості використовуються електронні прилади вимірювання, зокрема термогігрометр.

Термогігрометр Testo 610 – прилад для вимірювання відносної вологості, температури та точки роси повітря (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Гігрометр Testo 610 (загальний вигляд)

Термогігрометр Testo 610 має базове функціональне оснащення – він може відображати максимальне і мінімальне значення за весь час вимірів, а також миттєве значення температури та вологості повітря. Додатково прилад може розраховувати точку роси та психрометричну температуру.

Гігрометри Testo 610 мають дуже простий алгоритм роботи.

- а) зняти захисну кришку дисплея, увімкнути прилад;
- б) вибрати необхідний параметр із переліку: % – відносна вологість, **td** – температура точки роси, **wb** – температура мокрого термометра;
- в) вибрати режими відображення: поточні значення, **Hold** – фіксація обмірюваних значень, **Max** – відображення

максимальних обмірюваних значень, **Min** – відображення мінімальних обмірюваних значень;

г) виконати вимірювання, скинути збережені Макс/Мін значення та відключити прилад.

Вимірювані параметри: відносна вологість і температура.

Параметри, що розраховуються: точка роси й температура вологого термометра.

1.1.4 Прилади для вимірювання руху повітря та тиску

Крім контролю температури та вологості повітря, істотне значення має контроль швидкості руху повітря та тиску в камерах холодильної обробки вантажних вагонів та пасажирських приміщеннях вагонів.

Контроль швидкості руху повітря може здійснюватися за допомогою анемометрів.

Анемометр складається з крил, які обертаються на осі, виконаних з порожніх металевих або пластмасових півкуль – чашечок, насаджених хрестоподібно на вісь. Техніка виміру швидкості зводиться до такого: анемометр встановлюють в струмі повітря так, щоб чашечки сприймали його внутрішньою поверхнею. Увімкнення і вимкнення механізму виконується аретиром.



Рисунок 1.9 – Ручний та електронний анемометри

Анемометр ручний (рисунок 1.9) має три шкали: тисячі, сотні, десятки і одиниці поділок. Перед вимірюванням швидкості вітру записують показання за трьома шкалами. У вимірюваному повітряному потоці анемометр встановлюють вертикально і через $10 \div 15$ с одночасно вмикають аретиром механізм анемометра і секундомір. Після закінчення $1 \div 2$ хвилин механізм і секундомір вмикають і записують показання за шкалами і час у секундах. Різницю між кінцевим і початковим відліком ділять на час і визначають число поділок шкали, що припадають на одну секунду. Відзначивши це число на спеціальній номограмі, знаходять швидкість руху в повітрі.

Основним недоліком анемометра слід вважати непридатність його для вимірювання малих швидкостей.

Анемометр електронний (рисунок 1.9) призначений для вимірювання швидкості та температури повітря в стаціонарних та польових умовах.

Показання тиску на нагнітальному боці компресора вимірює манометри, на боці всмоктування – мановакууметри.

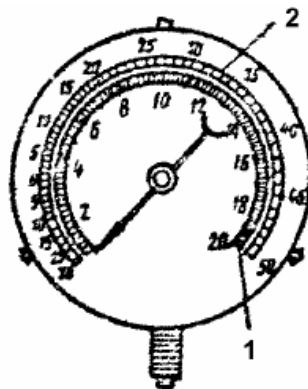


Рисунок 1.10 – Ам'ячний манометр

Манометри і мановакууметри мають зазвичай подвійну шкалу, на внутрішньому боці градування 1 відзначаються тиски, а на зовнішньому 2 – температури, відповідні цим тискам (рисунок 1.10).

Недоліком манометра слід вважати похибку вимірювання.

1.2 Порядок виконання роботи

1.2.1 Вивчити конструкцію та принципи дії приладів, що призначені для визначення та реєстрації параметрів вологого повітря.

1.2.2 Описати призначення та конструкцію приладів, що призначені для визначення та реєстрації параметрів вологого повітря.

1.2.3 Визначити відносну вологість повітря в лабораторії за допомогою психрометрів (аспіраційного та стаціонарного) та гігрометра.

1.2.4 Повторити вимірювання відносної вологості 3-4 рази через 10-15 хв, записуючи отримані результати після кожного визначення в таблиці 1.1. Відносна вологість повітря визначається з точністю до 0,5 %.

Таблиця 1.1 – Результати лабораторних замірів

Параметр повітря	№ заміру	Стаціонарний психрометр Августа	Аспіраційний психрометр Асмана	Гігрометр Testo 610
1	2	3	4	5
Температура, °C	1			
	2			
	3			
Відносна вологість, %	1			
	2			
	3			
Середня відносна вологість, %				

1.3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на п. 1.2.1 – 1.2.4 і контрольні питання.

Контрольні питання

1 Які існують параметри повітря навколишнього середовища? Навести основні поняття абсолютної вологості, відносної вологості та вологовмісту.

2 Для чого необхідна циркуляція повітря у вантажному та пасажирському приміщенні вагона?

3 Як класифікуються манометричні термометри за принципом дії?

4 Які основні переваги та недоліки приладів, що призначені для визначення та реєстрації параметрів вологого повітря?

5 Які основні параметри повітря навколишнього середовища визначають збереження вантажів у вантажному приміщенні вагона?

6 У чому полягає метод контролю вологості повітря за точкою роси?

Лабораторна робота 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ $I-d$ ДІАГРАМИ

Мета роботи: ознайомлення студентів з побудовою $I-d$ діаграми, що призначена для визначення параметрів вологого повітря.

2.1 Короткі відомості з теорії

2.1.1 Загальні положення

Повітря являє собою суміш декількох газів та водяної пари. На відміну від складу сухої частини повітря вміст водяної пари може значно змінюватися. Максимальний вміст водяної пари в повітрі залежить від температури та тиску, що обмежено кривою насичення. У процесах, які відбуваються в установках кондиціонування повітря, тиск практично не відрізняється від атмосферного. Оскільки зміна атмосферного тиску у навколосемному шарі повітря відносно мала, то межа насичення залежить головним чином від температури. Чим вище температура, тим більше може міститися у повітрі водяної пари, тобто вища межа насичення.

Якщо кількість пари у повітрі не досягає межі насичення, то повітря називається ненасиченим. При досягненні межі насичення повітря називається насиченим, а відповідна температура – температурою точки роси. Стан насиченої вологої пари нестійкий. Зі збільшенням температури насичений пар стає перегрітим, а повітря ненасиченим. І навпаки – зі зниженням температури в насиченому повітрі відбувається конденсація водяних парів, випадання крапель вологи (роси), утворюється туман. Таке повітря, що містить вологий пар, називається перенасиченим.

При обробці вологого повітря в установках кондиціонування об'єм його змінюється в залежності від температури. Тому як розрахункову одиницю приймають не об'єм, а масу сухого

повітря (1кг), яка залишається незмінною. При змішуванні потоку в повітрі з різноманітними параметрами стану, охолодження його чи нагріву відбуваються процеси, для розрахунків яких, окрім температури, об'єму та тиску, необхідно знати інші показники: вміст вологи, відносну вологість, ентальпію (вміст тепла).

Вміст вологи у повітрі являє собою відношення маси пари до маси сухого повітря в суміші. Якщо масу пари m_n виразити у грамах, то вологоутримування має вимірність 1 г/кг і позначається буквою d . Вміст вологи насиченого повітря, що відповідає значній температурі та тиску, позначаємо $d_{нас}$. Інколи ця величина називається вологоємністю.

Маса водяної пари, що міститься у 1м^3 повітря, називається абсолютною вологістю. Відношення абсолютної вологості ненасиченого повітря до абсолютної вологості насиченого повітря при однакових значеннях температури та тиску називається відносною вологістю та виражається у відсотках (%)

$$\varphi = \frac{\rho_i}{\rho_{i,нас}} \cdot 100\% . \quad (2.1)$$

Ентальпія (вміст тепла) вологого повітря (кілоджоуль на кілограм Кельвіна), $(\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}})$ звичайно відноситься до одиниці маси сухої частини повітря.

Парціальний тиск – це тиск певного газу, що входить до складу газової суміші, якщо б даний газ впливав на стінки ємності, в якій він знаходиться, якби він один займав весь об'єм суміші при температурі суміші.

2.1.2 Вивчення та побудова $I-d$ діаграми вологого повітря

У розрахунках в процесі кондиціювання повітря використовують $I-d$ діаграму (рисунок 2.1). Ця діаграма являє собою графічну інтерпретацію рівняння ентальпії вологого повітря. Вона виражає у графічному вигляді зв'язок основних параметрів вологого повітря (t, φ, P_n, I, d).

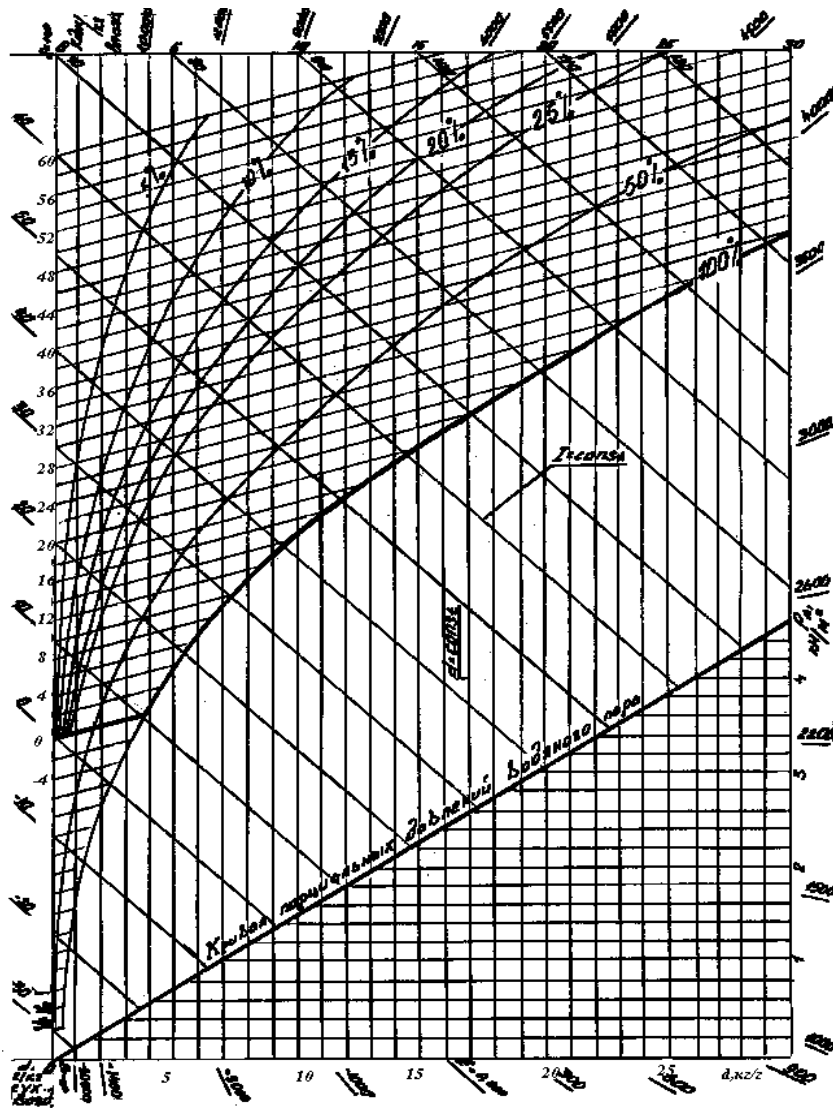


Рисунок 2.1 – Діаграма $I-d$ вологого повітря

Діаграма побудована для тиску зовнішнього повітря 750 мм ртутного стовпа.

$I-d$ діаграма побудована у косокутній системі координат. Вертикальна вісь ординат, на якій відкладені значення ентальпій, проходять під кутом 135° до осі абсцис зі значеннями вмісту вологи. Для зручності відліку вісь абсцис на діаграму не наносять, а замість неї через початок координат відкладаються значення вмісту вологи. Вертикалі, проведені через отримані точки, являють собою лінії вмісту вологи $d=const$. На осі ординат вверх та вниз від точки 0 , відповідної $I=0$ та $d=0$, відкладені значення ентальпії і проведені лінії $I=const$ паралельно осі ординат, тобто під кутом 135° до вертикалі. На побудованій сітці наносяться прямі лінії ізотерм ($t=const$) та криві лінії постійної

відносної вологості ($\varphi = const$). Нижня крива $\varphi = 100\%$ характеризує стан насиченого повітря.

Точка на $I-d$ діаграмі позначає цілком визначений стан повітря, положення точки визначає його параметри: температуру, відносну вологість, ентальпію, вміст вологи, парціальний тиск. Пряма лінія, що з'єднує дві точки, відповідає деякому термодинамічному параметру переходу з одного стану в інший. Якщо параметри початкового та кінцевого стану повітря відповідно d_0 та I_0 , d та I , то відношення

$$\varepsilon = \frac{I - I_0}{d - d_0} \quad (2.2)$$

називається кутовим коефіцієнтом променя тепловологого процесу.

Кутовий коефіцієнт має розмірність $1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ вологи. Він показує, яку кількість тепла отримує чи віддає повітря на кожний 1 кг сприйнятої чи відданої вологи.

2.1.3 Визначення параметрів вологого повітря за допомогою $I-d$ діаграми

Розглянемо деякі характерні точки на $I-d$ діаграмі. Якщо з довільної точки A провести промінь AB по вертикалі ($d = const$), то процес буде характеризувати нагрівання повітря без зміни його вологоутримування. Якщо продовжити промінь AB до перетину з кривою насичення, то цей промінь буде являти процес охолодження, а точка B – точку роси (відповідна їй температура t_p – температура точки роси, рисунок 2.2).

Якщо повітря у стані, що визначається точкою A , зволожувати без підводу чи відводу тепла, то процес характеризується лінією AG . При цьому ентальпія ($I = const$) залишатиметься постійною. Точка G , яка лежить на перетині цієї лінії з кривою насичення, називається точкою мокрого термометра, а відповідна їй температура t_m – температурою мокрого термометра (температура вологого повітря у процесі

адіабатичного зволоження за умови повного насичення). Якщо відома температура сухого та мокрого термометра, можна визначити відносну вологість повітря. Для визначення усіх параметрів вологого повітря за $I-d$ діаграмою достатньо знати тільки два параметри.

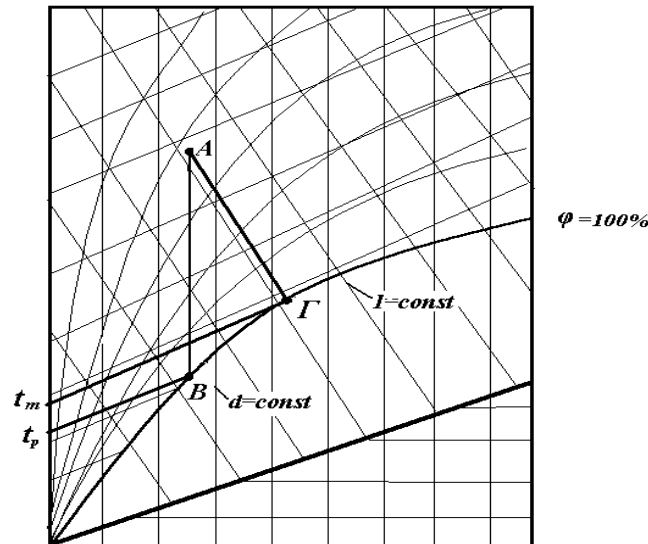


Рисунок 2.2 – Приклад визначення параметрів вологого повітря

Припустимо, що нам відомі температура сухого та мокрого термометра. Шукана точка на діаграмі, яка характеризує вологе повітря, знаходиться таким чином. Знаходимо точку перетину D ізотерми, відповідну температурі мокрого термометра t_m , з кривої насичення ($\varphi=100\%$). Точка A , яка характеризує стан вологого повітря, знаходиться на перетині ізоентальпи, що проходить через точку D , з ізотермою t_c , яка відповідає температурі сухого термометра (рисунок 2.3).

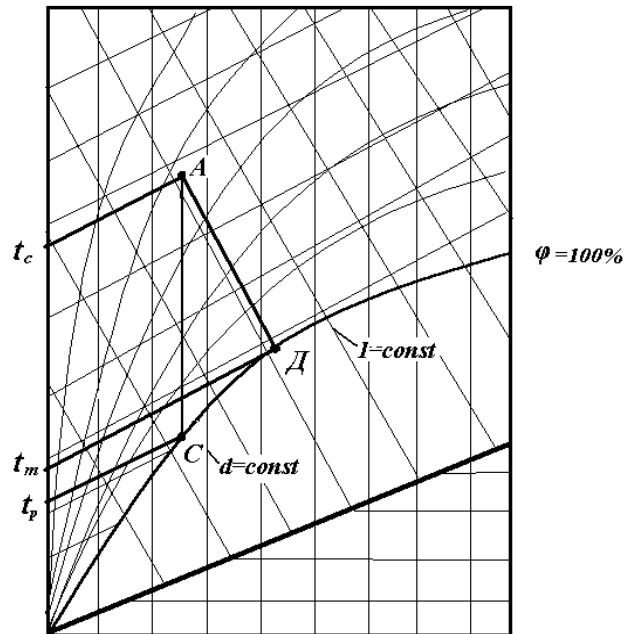


Рисунок 2.3 – Приклад визначення параметрів вологого повітря

Якщо відомі інші параметри: вміст вологи, відносна вологість, ентальпія, то процес знаходження точки, яка характеризує вологе повітря, ще спрощується, оскільки вона буде лежати безпосередньо на перетині відповідних ліній на $I-d$ діаграмі.

Будь-який процес зміни параметрів вологого повітря на $I-d$ діаграмі зображується прямою лінією. В різних випадках вимірювання стану повітря кутовий коефіцієнт може змінюватись від $-\infty$ до $+\infty$.

Якщо вологе повітря віддає тепло та вологу ($I < I_0$, $d < d_0$), то це відповідає процесу охолодження та одночасно усушці повітря. У цьому випадку кутовий коефіцієнт буде більш 0.

У випадку віддачі тепла при незмінному вмісті вологи процес характеризується променем, паралельним лінії ($d = const$), а кутовий коефіцієнт $\varepsilon = -\infty$.

Якщо вологе повітря отримує вологу при незмінній ентальпії (адіабатичний процес), промінь процесу направлений по лінії $I = const$, та, відповідно, кутовий коефіцієнт $\varepsilon = 0$.

У процесі нагріву вологого повітря при незмінному вологоутримуванні процес буде характеризуватися променем паралельним лінії та спрямованим угору, а кутовий коефіцієнт

$\varepsilon = +\infty$.

При кондиціюванні повітря у пасажирських вагонах здійснюється змішування двох потоків вологого повітря, зовнішнього та рециркуляційного (з приміщення вагона), з послідуочим охолодженням суміші. Її параметри також можуть бути визначені за допомогою $I-d$ діаграми (рисунок 2.4).

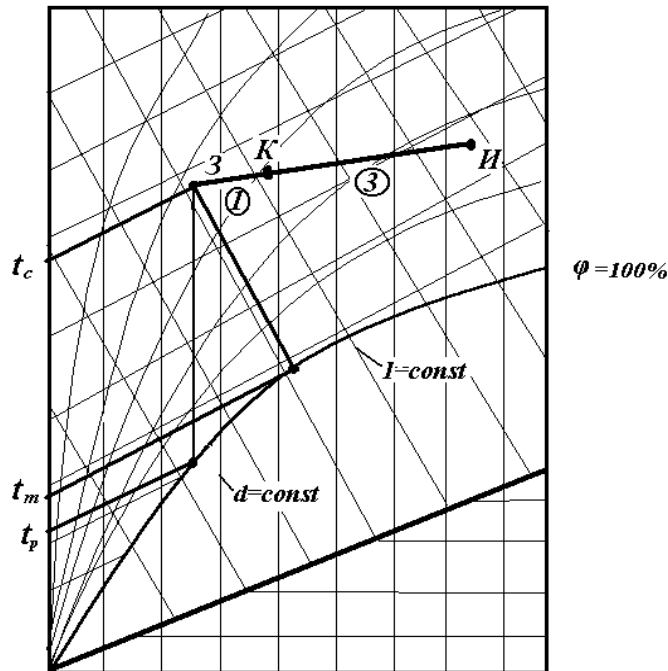


Рисунок 2.4 - Приклад визначення параметрів вологого повітря

Якщо змішується маса повітря m_1 з параметрами, які визначаються точкою $З$, та маса повітря m_2 , з параметрами, які визначаються точкою $И$, то параметр суміші подається точкою $К$, розташованою на відрізку прямої $ЗИ$, при цьому повинно виконуватися відношення

$$\frac{ЗК}{КИ} = \frac{m_2}{m_1}, \quad (2.3)$$

тобто точка $К$ ділить відрізок $ЗИ$ на відрізки, обернено пропорційні масам складових частин.

Визначення усіх параметрів суміші ведеться аналогічно описаному вище.

2.2 Порядок виконання роботи

2.2.1 Вивчити побудову *I-d* діаграми та параметри вологого повітря.

2.2.2 За вихідними даними визначити параметри вологого повітря за допомогою *I-d* діаграми.

2.2.3 За вихідними даними визначити кутовий коефіцієнт променю тепловологого процесу та параметри суміші повітря за допомогою *I-d* діаграми.

2.3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на пп. 2.2.1 – 2.2.3 і контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Які існують основні параметри вологого повітря?
- 2 Що являє собою вміст вологи у повітрі?
- 3 Що являє собою парціальний тиск?
- 4 У чому полягає зв'язок визначених основних параметрів вологого повітря, що таке межа насичення повітря вологою парою?

Лабораторна робота 3

РОЗРАХУНОК ТЕОРЕТИЧНОГО РОБОЧОГО ЦИКЛУ ПАРОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ КОМПРЕСІЙНОЇ МАШИНИ ЗА ДОПОМОГОЮ ДІАГРАМИ $lg P-i$

Мета роботи: набуття студентами навичок побудови теоретичного циклу парової холодильної компресійної машини (ПКХМ)

3.1 Короткі відомості з теорії

3.1.1 Загальні положення

Для розрахунку теоретичного робочого циклу парової холодильної компресійної машини необхідно знати:

- температуру кипіння холодоагенту у випарнику t_0 ;
- температуру конденсації t_k ;
- температуру переохолодження рідини перед регулюючим вентилем t_n .

Ці температури встановлюють в залежності від температури приміщення, що охолоджується, та температури зовнішнього середовища.

Температура кипіння холодоагенту у випаровувачі t_0 при безпосередньому охолодженні холодильним агентом повинна бути на $8\div 10^\circ\text{C}$ нижче температури повітря приміщення, що охолоджується. Температура конденсації t_k повинна бути на $10\div 15^\circ\text{C}$ вище температури повітря, яке охолоджує конденсатор.

Визначивши основні температури, можна побудувати теоретичний цикл ПКХМ та розрахувати його, тобто визначити теоретичну холодопродуктивність 1 кг холодоагенту, витрати роботи в компресорі та інші величини.

Холодильні цикли зручніше всього будувати графічно за допомогою термодинамічних діаграм. Найчастіше користуються діаграмами: ентropія – температура ($S-T$) та ентальпія – тиск ($P-i$).

Найбільш зручною для розрахунків є $lg P-i$ діаграма

(рисунок 3.1). На цій діаграмі по осі абсцис відкладені ентальпії i , а по осі ординат – абсолютний тиск P . Для шкали тиску застосовують логарифмічний масштаб. Сітка діаграми утворена ізобарами ($P=const$) – горизонтальні лінії та ізоентальпами ($i=const$) – вертикальні лінії. На діаграмі нанесені прикордонні криві (ліва та права), поміж якими розташована область вологої пари. В цій області знаходяться лінії постійного вмісту пари ($X=const$), тобто лінії з постійною кількістю пару в суміші пари та рідини.

Ліва прикордонна крива (лінія насиченої рідини) відділяє область вогкої пари від області переохолодженої рідини. На цій лінії вміст пари дорівнює нулю ($x=0$).

Права прикордонна крива (лінія сухого насиченого пару) відділяє область вогкої пари від області перегрітої пари. На цій лінії паротримання дорівнює одиниці ($x=1$).

Права та ліва прикордонні криві сходяться у критичній точці K .

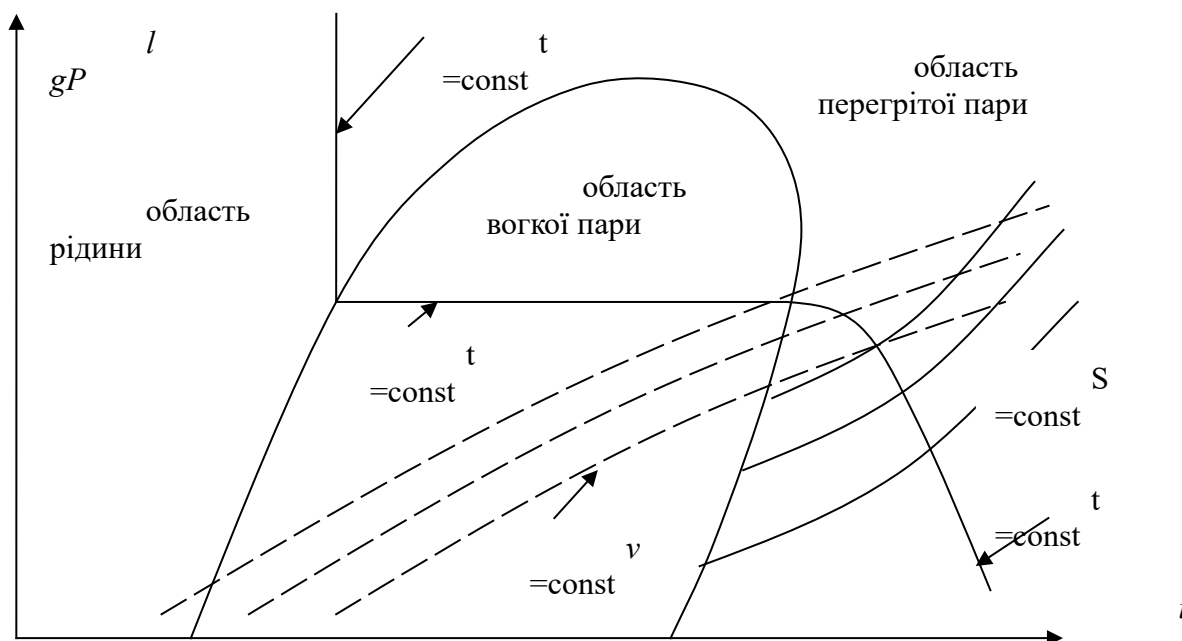


Рисунок 3.1 – Структура теплової діаграми $lg P-i$

Поміж прикордонними кривими нанесені ізотерми ($T=const$), ізохори ($V=const$) та адіабати ($S=const$). В області вологої пари ізотерми ($t=const$) збігаються з ізобарами ($P=const$). В області перегрітої пари ізотерми зображуються кривими, а в

області рідини - вертикальними лініями. Адіабати ($S=const$) та ізохори ($V=const$) розташовані під кутом до горизонталі.

Головною перевагою діаграми $P-i$ є те, що підведене тепло в цій діаграмі зображається відрізками по осі абсцис, від чого спрощуються обчислення. Єдиним недоліком діаграми $P-i$ є те, що адіабати протікають недостатньо характерно. Вони зображені кривими нахиленими лініями, що дещо ускладнює побудову на діаграмі лінії теоретичного стиснення в компресорі.

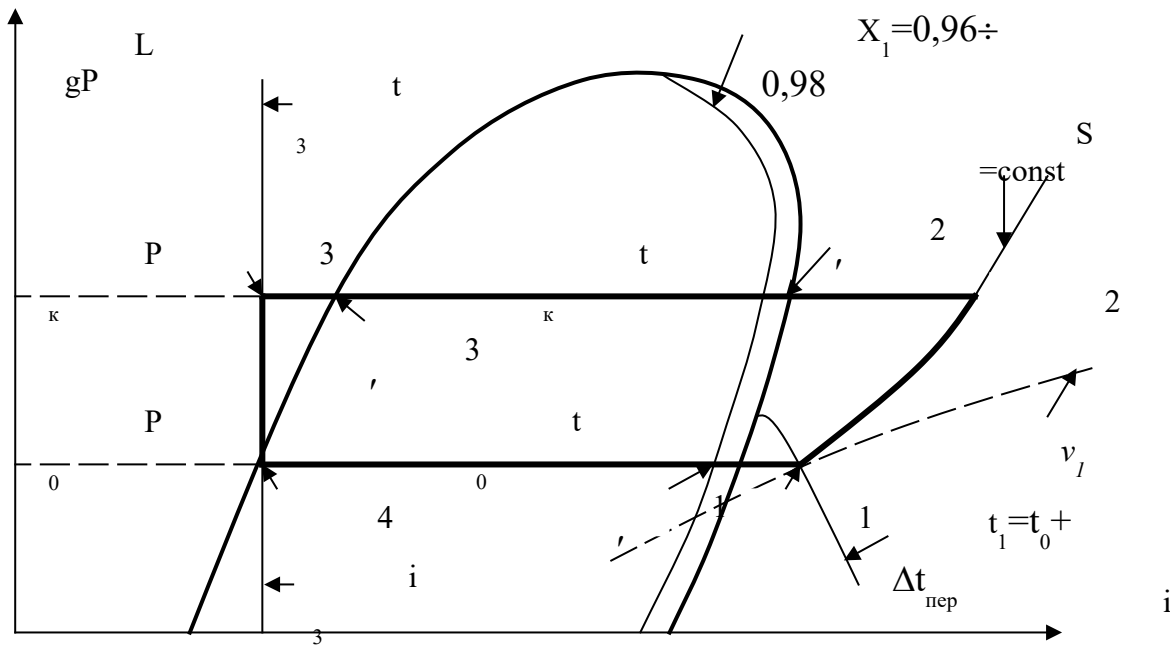


Рисунок 3.2 – Теоретичний цикл холодильної машини у координатах $lg P-i$

Теоретичний робочий цикл холодильної машини на $P-i$ діаграмі (рисунок 3.2) будується наступним чином. На підставі відомої температури у випаровувачі t_0 знаходимо тиск у останньому P_0 , аналогічно за відомою температурою конденсації t_k знаходимо тиск конденсації P_k . Проводимо на діаграмі ізобари $P_0=const$ та $P_k=const$. Оскільки у випаровувачі холодоагент кипить, то на виході з нього пара буде вогкою (тобто міститиме у собі частки не випарованого холодоагенту). Тому точка $1'$, яка відповідає параметрам пари на виході з випаровувача, знаходиться на перетині ізобари $P_0=const$ та лінії міри сухості $X_1=const$ (X_1 – ступінь сухості парів холодоагенту на виході з випаровувача, звичайно він дорівнює $X_1=0,96 \div 0,98$).

На шляху від випаровувача до компресора пара холодоагенту нагрівається та стає сухою перегрітою. Величина перегрівання $\Delta t_{\text{пер}}$ залежить від місця розташування випаровувача і складає $3 \div 5^\circ\text{C}$. Тоді точка 1, яка характеризує параметри холодоагенту на вході у компресор, знаходиться на перетині ізобари $P_0 = \text{const}$ та ізотерми $t_1 = t_0 + \Delta t_{\text{пер}}$.

Потім на діаграмі необхідно нанести лінію, яка відповідає процесу стиснення парів холодоагенту у компресорі. Теоретично цей процес протікає по адіабаті, отже, він пройде по лінії ($S = \text{const}$). Стискається пар у компресорі з тиску кипіння P_0 до тиску конденсації P_k , тому початкова точка лінії стиснення знаходиться на ізобарі кипіння, а кінцева – на ізобарі конденсації. З точки 1 проводимо адіабату в області перегрітої пари (крива) до перетину з ізобарою P_k , що відповідає заданій температурі конденсації. Знайдена точка 2 визначить стан холодоагенту при виході з компресора. Для цієї точки знаходять тепловміст та питомий об'єм пари холодоагенту.

За процесом стиснення на діаграму треба нанести процес у конденсаторі. Процес у конденсаторі відбувається при постійному тиску та на діаграмі розташовується на горизонтальній прямій 2–3. Початковою точкою є кінцева точка процесу стиснення, а кінцевою, у випадку роботи без переохолодження, – точка 3' перетину ізобари конденсації P_k з лівою прикордонною кривою $X=0$. Якщо має місце переохолодження холодоагенту – точку 3 знаходимо на перетині ізобари P_k з ізотермою, яка відповідає температурі перед регулюючим вентилям t_n . На ділянці 2–2' відбувається охолодження перегрітої пари до температури конденсації t_k , потім холодоагент конденсується (лінія 2'–3') та далі переохолоджується по відношенню до температури конденсації (лінія 3'–3). Точка 3 характеризує стан холодоагенту перед регулюючим вентилям.

Потім наноситься лінія процесу у регулюючому вентилям, яка проходить по ізентальпі, тобто процес дроселювання, який протікає без здійснення зовнішньої роботи та теплообміну з зовнішнім середовищем, тобто ентальпія робочого тіла не змінюється. На діаграмі процес дроселювання зображуються вертикальною прямою 3–4 при $i = \text{const}$ ($i_3 = i_4$).

Початкова точка цієї лінії в залежності від того, працює машина з переохолодженням чи без нього, є відповідно точка 3 чи 3'. Кінцева точка 4 лінії процесу в регулюючому вентилі відповідає перетину її з ізобарою кипіння P_0 . В стані, що характеризується цією точкою, холодоагент надходить до випаровувача.

У межах між кінцевою точкою 4 ізоентальпи дроселювання та початковою точкою 1 адиабати стиснення по ізобарі кипіння протікає процес кипіння у випаровувачі. Цей процес продовжується до тих пір, поки уся рідина не перетвориться на пару (тобто $X=1$) та закінчується у точці 1.

При вологому процесі ($X<1$) точка 1 буде знаходитися лівіше правої прикордонної кривої. При всмоктуванні компресором перегрітої пари точка 1 буде лежати на перетині ізобари з ізотермою, яка відповідає температурі всмоктування, але правіше правої прикордонної кривої. Конкретне положення початкової точки на ізобарі кипіння визначається вмістом пари, що надходить у компресор (волога, насичена чи перегріта).

Таким чином, всі процеси теоретичного робочого циклу, за виключенням процесу стиснення у компресорі, на $P-i$ діаграмі зображуються прямими лініями.

3.1.2 Розрахунок теоретичного циклу ПКХМ

Вихідні дані:

- температура кипіння холодоагенту t_0 _____ °C;
- температура конденсації холодоагенту t_k _____ °C;
- холодопродуктивність холодильної машини Q_0 _____ кДж/год.

Холодопродуктивність 1 кг агента дорівнює різниці ентальпій у точках 1 та 4:

$$q_0 = i_1 - i_4, \text{ кДж/кг.} \quad (3.1)$$

На ентальпійній діаграмі холодопродуктивність зображується відрізком ізобари 4-1.

Теоретична робота, витрачена при адиабатному стисненні 1 кг холодоагенту в компресорі, визначається різницею ентальпій в точці 2 та 1:

$$L=i_1-i_2, \text{ кДж/кг.} \quad (3.2)$$

Графічно на $P-i$ діаграмі роботі L відповідає проекція адіабати 1-2 на вісь абсцис.

Тепло, що віддає 1 кг холодильного агенту охолоджуючому повітрю у конденсаторі (ізобара 2–3), за законом зберігання енергії дорівнює сумі

$$q_k=q_0+L, \text{ кДж/кг,} \quad (3.3)$$

але воно може бути визначено також різницею ентальпій холодильного агенту у точках 2 та 3:

$$q_k=i_2-i_3, \text{ кДж/кг.} \quad (3.4)$$

На $P-i$ діаграмі це тепло відмежується відрізком 2-3.

Далі знаходимо:

а) холодильний коефіцієнт циклу

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l}; \quad (3.5)$$

б) кількість циркулюючого в годину холодоагенту при заданій холодопродуктивності Q_0 , кДж/год, холодильної машини

$$G = \frac{Q_0}{q_0}, \text{ кг/год;} \quad (3.6)$$

в) об'єм пари, всмоктоаної компресором за 1 годину

$$V = G \cdot v_1 = \frac{Q_0}{q_0} \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{год,} \quad (3.7)$$

де v_1 – питомий об'єм ($\text{м}^3/\text{кг}$) пари, що всмоктується

компресором.

Величину v_1 знаходять за діаграмою (ізохора, яка проходить через точку 1). В залежності від V встановлюють розміри компресора.

Між ваговою та об'ємною холодопродуктивністю існує зв'язок

$$q_0 = q_v \times v_1, \text{ кДж/кг} \quad (3.8)$$

чи

$$q_v = \frac{q_0}{v_1}, \text{ кДж/м}^3, \quad (3.9)$$

де q_v – об'ємна холодопродуктивність, кДж/м³.

Теоретична робота компресора, необхідна для здійснення холодильного циклу, дорівнює

$$AL = G \cdot L, \text{ кДж/год.} \quad (3.10)$$

Потрібна теоретична потужність компресора складає

$$N_{теор} = \frac{AL}{3600}, \text{ кВт.} \quad (3.11)$$

Теплове навантаження на конденсатор (годинна кількість тепла, що відводиться від холодоагенту в конденсаторі)

$$Q_k = G \cdot (i_2 - i_3) = G \cdot q_k, \text{ кДж/год.} \quad (3.12)$$

Теплове навантаження на переохолоджувач

$$Q_n = G \cdot (i_3 - i_{3'}) = G \cdot q_n, \text{ кДж/год.} \quad (3.13)$$

3.2 Порядок виконання роботи

3.2.1 Вивчити побудову $lg P-i$ діаграми та теоретичний робочий цикл холодильної машини на $P-i$ діаграмі.

3.2.2 Вивчити принцип побудови теоретичного робочого циклу холодильної машини на $lg P-i$ діаграмі.

3.2.3 За вихідними даними виконати розрахунок теоретичного циклу ПКХМ.

3.3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на пп. 3.2.1 – 3.2.3 і контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Що таке холодильний цикл?
- 2 Що означає термін «холодопродуктивність машини»?
- 3 У чому полягають основні вимоги, які повинні задовольняти холодильні установки і їх вузли?
- 4 Назвіть переваги та недоліки $lg P-i$ діаграми.

Лабораторна робота 4

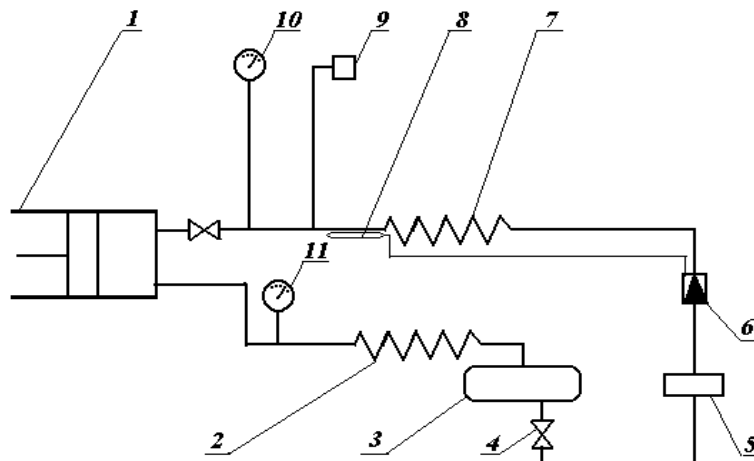
ПРИНЦИП ДІЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ МАВ-II ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА ТА ЇЇ ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ

Мета роботи: практичне ознайомлення студентів з будовою та роботою холодильної установки та її несправностями.

4.1 Короткі відомості з теорії

4.1.1 Будова та принцип дії холодильної установки

Принципова схема холодильної установки МАВ-II пасажирського вагона показана на рисунку 4.1. Вона складається з таких основних агрегатів: компресора, регулюючого вентиля з термобалоном і теплообмінних пристроїв – конденсатора та випаровувача (повітроохолоджувача). Перелічені апарати та пристрої з'єднані між собою послідовно трубопроводами в герметично щільну систему.



- ___ – компресор; ___ – випаровувач; ___ – конденсатор;
___ – резервуар для збирання холодоагенту (ресивер); ___ – фільтр-осушувач;
___ – терморегулятор; ___ – пресостат; ___ – манометр; ___ – вакууметр;
___ – термобалон; ___ – запірний вентиль

Рисунок 4.1 – Принципова схема холодильної установк

Компресор холодильної установки призначений для відсмоктування з випаровувача (повітроохолоджувача) пароподібного холодоагенту, стиску та нагнітання його в конденсатор. У процесі стиску температура пари піднімається вище температури навколишнього повітря.

У даній установці МАВ-ІІ компресор – поршневий, вертикальний, двоциліндровий. Діаметр циліндрів компресора дорівнює 38 мм, хід поршня 45 мм. Колінчатий вал приводиться у обертання електродвигуном через пасову передачу. Швидкість обертання колінчатого вала – 520 об/хв. Електродвигун – постійного струму, розвиває потужність 0,8 кВт при напрузі у мережі 60 В.

Конденсатор служить для перетворення пару хладона-12, нагрітого при стиску в компресорі, у рідкий стан. Для цього конденсатор зроблений у вигляді оребреного змійовика, має один або кілька осьових вентиляторів з електродвигунами, які продувають крізь апарат більш холодне атмосферне повітря.

Випаровувач необхідний для зворотного перетворення зрідженого в конденсаторі холодоагенту в пар. Рідкий хладон-12 у випаровувачі кипить за рахунок поглинання тепла із циркулюючого по вагону повітря. Іншими словами, випаровувач необхідний для охолодження повітря, тому в техніці кондиціювання повітря його називають повітроохолоджувачем. Як і конденсатор, повітроохолоджувач зроблений у вигляді змійовика із труб з ребрами, продувка повітря здійснюється вентиляторами системи вентиляції.

Різноманітна інтенсивність теплового навантаження на випаровувач викликає коливання кількості холодоагенту, що перетворюється у пар за однаковий відрізок часу.

Рідина, що заповнює випаровувач, надходить у всмоктувальну лінію компресора. Недолік рідкого холодоагенту у випаровувачі зменшує його холодопродуктивність та знижує економічність роботи холодильної машини. Нормальне заповнення випаровувача рідким холодильним агентом регулюється за допомогою терморегулюючого вентиля.

Регулюючий вентиль дозує подачу зрідженого в конденсаторі холодоагенту в повітроохолоджувач із таким розрахунком, щоб кількість пари, що відсмоктується

компресором, компенсувалася надходженням рідкого хладона-12. Якщо цей баланс буде порушений, то може настати момент, коли в повітроохолоджувачі весь хладон википить і настане глибокий вакуум або, навпаки, апарат буде переповнений рідиною. В останньому випадку зріджений агент може потрапити в компресор, через що відбудеться гідравлічний удар і агрегат вийде з ладу.

Цей прилад створює гідравлічний затвор, який розділяє лінії високого та низького тиску, а при зупинці машини перекриває ці лінії, перешкоджаючи тим самим перетіканню рідини з конденсатора у випаровувач. Працює регулюючий вентиль автоматично.

Між конденсатором і регулюючим вентилем у найнижчій нижній точці холодильної установки передбачений резервуар – ресивер, у якому накопичується зріджений хладон-12.

Ресивер виконаний у вигляді резервуару циліндричної форми зі сферичними днищами. Ресивер має два запірних вентиля на вході та виході.

Для очищення холодоагенту від механічних домішок та видалення вологи із хладагента встановлений спеціальний фільтр-осушувач (рисунок 4.2).

Фільтр-осушувач являє собою відрізок металевої трубки (цеолітовий патрон) довжиною 90-170 мм і діаметром 16-30 мм, загорнений з обох кінців. У середині патрона, між двома сітками, знаходиться адсорбент (наприклад, синтетичний цеоліт NaA) у вигляді гранул діаметром 1,5-3 мм. Сітка на вході у фільтр (з боку конденсатора), що має досить великі отвори, призначена для запобігання попаданню гранул цеоліту в конденсатор. Сітка на виході, навпаки, має дуже дрібні отвори та служить безпосередньо для очищення рідкого холодоагенту від твердих часток.



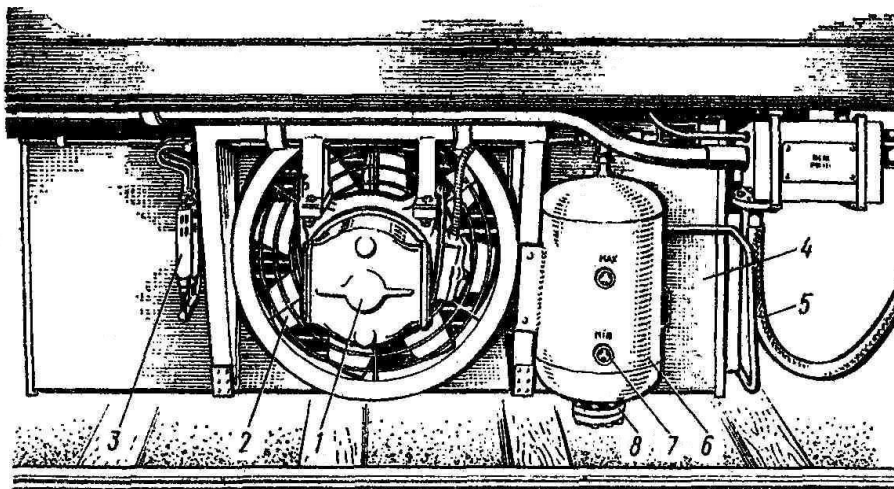
1 – загальний вигляд

2 – розрізаний фільтр-осушувач

Рисунок 4.2 – Фільтр-осушувач

Для контролю над тиском конденсації на боці нагнітання компресора установлені манометр зі шкалою від 0 до 3 МПа, а за тиском випаровування на боці всмоктування - мановакуумметр зі шкалою від -1,0 до +0,5 МПа.

Компресор, електродвигун, конденсатор та ресивер змонтовані на загальній рамі, виготовленій з П-подібного прокату (рисунок 4.3).



- ___ – конденсатор; ___ – ресивер; ___ – мірне скло;
 ___ – запобіжний клапан; ___ – осьовий вентилятор;
 ___ – електродвигун осьового вентилятора; ___ – фільтри-осушувачі;
 ___ – гнучкий гумовий шланг

Рисунок 4.3 – Конденсаторний агрегат холодильної установки

4.1.2 Несправності холодильної машини під час роботи

Під час роботи холодильної машини можуть виникнути такі несправності в її роботі:

- недостатнє змащення рухомих частин компресора та підшипників електродвигуна;
- проскакування пасу передачі;
- засмічення циркуляційної системи;
- наявність вологи у системі;
- ТРВ не забезпечує регулювання подачі рідкого холодоагенту у випаровувач;
- наявність повітря у системі;
- недостатня кількість холодоагенту у системі;
- надлишки холодоагенту у системі;
- заростання випаровувача товстим шаром інею;
- нещільність у клапанах компресора.

Відсутність чи недостатність мастила викликає збільшення температури деталей, що пересуваються одна відносно одної, появу шумів високого тону, задирки та заклинювання поєднаних деталей. Це відбувається унаслідок недостатності мастила у компресорі, засмічення мастила провідних каналів та несправності системи подавання мастила.

Великий перепад тиску холодоагенту у всмоктувальних та нагнітальних лініях системи, погане змащення деталей компресора, послаблення пасу є причиною його проскакування, яке зменшує кутову швидкість обертання колінчатого вала компресора та знижує його продуктивність.

Тверді домішки, потрапивши у систему, засмічують як фільтри, так і інші елементи машини. Це приводить до зменшення площі прохідних перерізів та збільшення тиску у нагнітальній лінії при зниженні його величини у всмоктувальній лінії.

У місці засмічення відбувається додаткове дроселювання холодоагенту, що супроводжується зниженням температури, а інколи утворенням конденсата та інею на зовнішніх поверхнях елементів системи.

Волога, потрапивши у циркуляційну систему, буде кондиціюватись та приморожуватись до стінок випаровувача та

ТРВ, створюючи крижані пробки, порушуючи при цьому режим роботи ТРВ та циркуляцію холодоагенту в системі. Порушення нормальної роботи ТРВ може бути викликано також його засміченням, механічними поломками та розладнанням регулювання. Якщо ТРВ вприскує недостатню кількість холодоагенту у випаровувач, то в ньому перегрівається холодильний агент та збільшується його температура перед всмоктуванням у компресор. У цьому випадку вся рідина переходить у пар з початку випаровування. При надмірному відкритті регулюючого отвору ТРВ у випаровувачі збільшується тиск та у компресор всмоктуються частки рідини. Під час ходу стиснення, потрапивши у компресор, рідкий холодоагент випаровується та знижує свою температуру при нагнітанні.

Недостатнє вакуумування апаратів машини після їх відкривання та наявність нещільностей сприяє появі повітря у циркуляційній системі. Мастила, змащуючи деталі компресора, при високій температурі розкладаються з виділенням газів, які попадають у систему. Значення температур конденсації цих газів та повітря значно нижчі температурних режимів холодильної машини, тобто по відношенню до охолоджуючого ефекту ці речовини є інертними. Їх наявність зменшує коефіцієнт теплопереходу від холодоагенту до стінок конденсатора, внаслідок цього збільшується температура та тиск холодоагенту у нагнітальній лінії.

Наявність повітря у системі викликає значне коливання стрілки манометра високого тиску.

Недостатня кількість холодоагенту у машині з'являється внаслідок його втрати через нещільності системи чи недостатнє заповнення при заправці машини. У цьому випадку знижується тиск та температура на боці нагнітання при зростанні різниць температур конденсації та випаровування, випаровувач покривається інеєм частково та в ТРВ прослуховується шум, так як частина холодоагенту проходить через нього у пароподібному стані.

При заправці машини холодоагентом може мати місце переповнення системи. Надлишок холодоагенту збільшує тиск у конденсаторі та випаровувачі. Збільшення тиску у випаровувачі сприяє появі вологого ходу компресора.

Порушення герметичності клапанів відбувається унаслідок злому чи просаджування пружини, ушкодження сідла, короблення чи злому пластин, засмічування перевалочних поверхонь. При наявності дефектів клапанів знижується різниця тисків та температур холодоагенту у нагнітальній та всмоктувальній лініях системи.

4.2 Порядок виконання роботи

4.2.1 Вивчити конструкцію та принцип дії холодильної машини.

4.2.2 Описати призначення та конструкцію всіх апаратів холодильної машини.

4.2.3 Заповнити позначення на рисунках 4.1 і 4.3.

4.3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на пп. 4.2.1 – 4.2.3 і контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Що таке конденсація, кипіння речовини?
- 2 До чого призводить наявність повітря у системі?
- 3 Яке призначення основних елементів холодильної машини?
- 4 Які функції виконують фільтр-осушувач та ресивер в холодильній установці?

Лабораторна робота 5

ПОБУДОВА ЦИКЛУ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета роботи: визначення основних параметрів холодильної установки.

5.1 Короткі відомості з теорії

5.1.1 Цикл ПКХМ у діаграмі $lg P-i$

Передача тепла від тіл з низькою температурою до тіл з вищою температурою здійснюється в холодильних машинах з обов'язковою витратою механічної роботи або тепла.

Сукупність процесів, які при цьому здійснює холодоагент, називають холодильним циклом. Розрахунок холодильного циклу дозволяє визначити потужність компресора і теплове навантаження на конденсатор.

Розрахунок теоретичного робочого циклу холодильної машини полягає у визначенні відведеного і підведеного тепла за умови постійного тиску, а також тепла, одержуваного в результаті стиснення пари холодоагенту в компресорі.

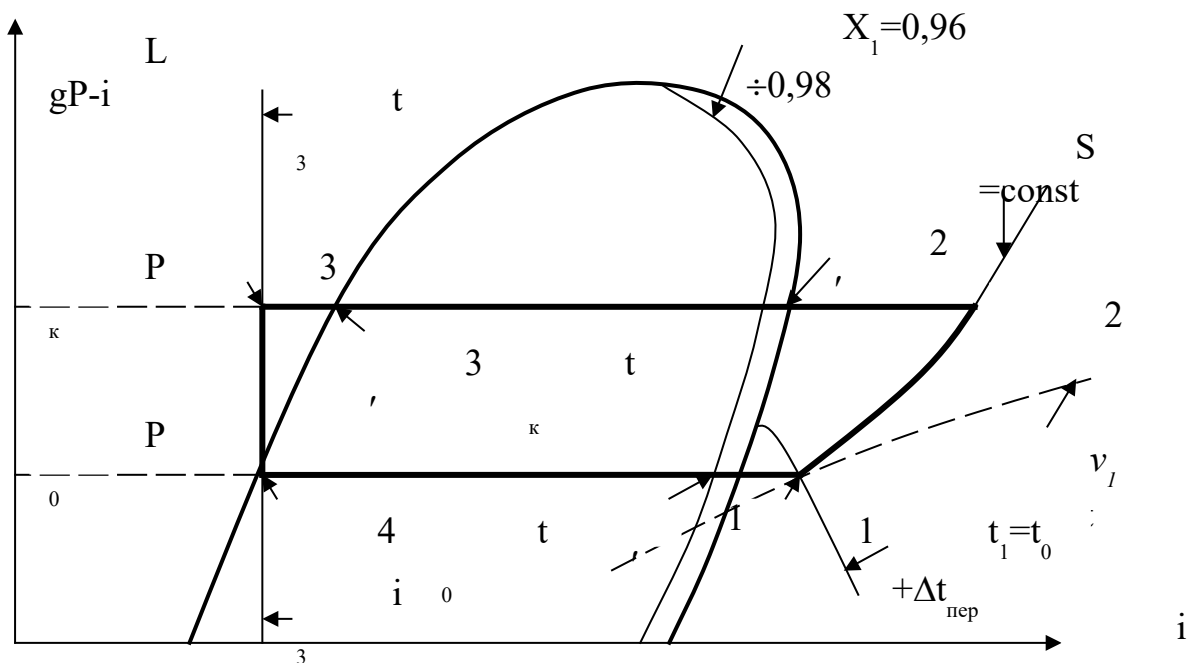


Рисунок 5.1 – Теоретичний цикл парової компресійної холодильної машини у діаграмі $lg P-i$

Теоретичний цикл парової компресійної холодильної машини у діаграмі $lg P-i$ показано на рисунку 5.1. Компресор стискає адіабатично (процес 1–2) сухий чи трохи перегрітий пар до тиску P_k , відповідного температурі конденсації t_k холодоагенту, та нагнітає його у конденсатор. У конденсаторі холодоагент, віддаючи тепло зовнішньому повітрю, спочатку охолоджується до стану сухої насиченої пари (процес 2–2'), потім конденсується (процес 2'–3') та переохолоджується (процес 3'–3). Рідкий холодоагент потім надходить до ТРВ, де він дроселюється (процес 3–4) з пониженням тиску з P_k до P_0 та у вигляді вологої пари надходить у випаровувач. Тут холодоагент повністю переходить в пароподібний стан (процес 4–1), отримавши необхідне тепло від охолодженого середовища (повітря). З випаровувача пари холодоагенту засмоктуються у компресор.

Для побудови циклу холодильної машини необхідно знати температуру вузлових точок 1; 2; 3; 4 та величини тисків випаровування та конденсації робочого тепла.

Тиск конденсації визначається за манометром, а випарювання – за мановакуумметром.

Вимірювання температур холодоагенту в місцях, відповідних вузловим точкам циклу, виконується за допомогою манометричних термометрів.

5.1.2 Визначення характеристик холодильної машини

Показники роботи холодильної машини визначають за значенням параметрів холодоагенту, відповідних вузловим точкам циклу.

Теоретична холодопродуктивність 1 кг холодоагенту, що циркулює в машині, визначиться, як

$$q_0 = i_1 - i_4, \text{ кДж/кг.} \quad (5.1)$$

Літерою « i » позначена ентальпія холодоагенту в точці циклу, відповідній індексам цієї букви. Відповідні значення ентальпій у точках 1 та 4 необхідно знайти на діаграмі $lg P-i$.

Теоретична холодопродуктивність 1 м^3 пари холодоагенту, яка всмоктана компресором,

$$q_v = q_0 / v_l, \text{ кДж/м}^3 \quad (5.2)$$

де v_l - питомий об'єм всмоктаної пари (метр кубічний на кілограм, $\text{м}^3/\text{кг}$), який знаходять за діаграмою (ізохору, що проходить через точку l) чи з таблиць для насиченої пари.

Кількість тепла, що відводить машина від середовища, що охолоджується, за 1 годину (холодопродуктивність установки)

$$Q_0 = V_\delta \cdot q_v, \text{ кДж / год} . \quad (5.3)$$

Дійсний об'єм V_δ можна виразити через об'єм, описуваний поршнем V_h ,

$$V_\delta = V_h \cdot \lambda , \quad (5.4)$$

де λ – коефіцієнт подачі компресора.

Теоретичний об'єм, описуваний поршнем, визначається за розмірами циліндра

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot z \cdot 60, \text{ м}^3/\text{Год} , \quad (5.5)$$

де D – діаметр циліндра, м;

S – хід поршня, м;

n – число обертів вала компресора за хвилину, об/год;

Z – число циліндрів.

Дані для підстановки в останню формулу беруться з паспорту установки чи шляхом замірів чи з варіанта завдання.

Коефіцієнт подачі λ характеризує зменшення продуктивності компресора в реальному процесі у порівнянні з теоретичною продуктивністю. Коефіцієнт подачі залежить від величини шкідливого простору, опору при всмоктуванні та нагнітанні, теплообміну між холодоагентом та стінками циліндра компресора, нещільностей у клапанах та поршневих кільцях. Точне значення цього коефіцієнта визначають на основі даних випробувань при різноманітних режимах роботи компресора.

Коефіцієнт подачі можна оцінити за формулою

$$\lambda = \lambda_c \times \lambda_n \times \lambda_{щ} \times \lambda_{др}, \quad (5.6)$$

де λ_c – об’ємний коефіцієнт, який враховує вплив шкідливого простору на об’ємну продуктивність компресора;

λ_n – коефіцієнт підігріву, який враховує зниження об’ємної продуктивності через теплообмін між робочим агентом та стінками циліндра, а також через опір всмоктаного клапана компресора;

$\lambda_{щ}$ – коефіцієнт щільності, який враховує зниження продуктивності через протікання робочого агента із простору з більш високим тиском в простір з меншим тиском;

$\lambda_{др}$ – коефіцієнт дроселювання, який ураховує зменшення кількості усмоктуваного пару в результаті опору його потоку, надаваного усмоктувальним і нагнітальним клапанами.

Об’ємний коефіцієнт компресора обчислюють за формулою

$$\lambda_c = 1 - C \left[\left(\frac{P_k}{P_0} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right], \quad (5.7)$$

де C – коефіцієнт шкідливого простору ($C=0,03 \div 0,05$);

m – показник політропи розширення середовища, замкненої у шкідливому просторі компресора ($m=0,9 \div 1,1$);

P_k – тиск конденсації, МПа;

P_0 – тиск випарювання, МПа.

Коефіцієнт підігріву у першому наближенні визначають за формулою

$$\lambda_n = T_0 / T_k, \quad (5.8)$$

де T_0 та T_k – відповідно абсолютні температури кипіння та конденсації.

Коефіцієнт щільності можна приймати рівним $0,95 \div 0,98$.

Коефіцієнт дроселювання приймається $0,93 \div 0,97$ при температурі випарювання t_0 до -30°C .

Кількість холодоагенту, який циркулює в системі за одну годину,

$$G = Q_0 / q_0, \text{ кг/год.} \quad (5.9)$$

Об'єм пари холодоагенту, що всмоктується компресором за годину,

$$V=G \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{год} . \quad (5.10)$$

Теоретична робота компресора, яка витрачається на здійснення холодильного циклу,

$$AL=G \cdot (i_2 - i_1), \text{ кДж/год} . \quad (5.11)$$

Теоретична потужність, витрачена у компресорі,

$$N_T=AL/3600, \text{ кВт} . \quad (5.12)$$

Індикаторна потужність компресора, тобто потужність, витрачена у циліндрі компресора,

$$N_i=N_T/\eta_i, \text{ кВт} , \quad (5.13)$$

де η_i – індикаторний ККД компресора.

Індикаторний ККД можна приблизно визначити за формулою

$$\eta_i=\lambda_n+0,0025t_0 , \quad (5.14)$$

де λ_n – коефіцієнт перегріву;

t_0 – температура випаровування у $^{\circ}\text{C}$.

У останню формулу величину t_0 необхідно підставляти з відповідним знаком.

Повна чи ефективна потужність компресора, тобто потужність на валу компресора,

$$N_e=N_i / \eta_m, \text{ кВт} , \quad (5.15)$$

де η_m – механічний ККД, який знаходиться у межах $0,85 \div 0,95$.

Потужність електродвигуна

$$N_{елд} = \frac{N_e}{\eta_n \cdot \eta_{елд}} \quad \text{кВт}, \quad (5.16)$$

де η_n – ККД передачі (0,96 ÷ 0,99);

$\eta_{елд}$ – ККД електродвигуна, в залежності від типу коливається у межах 0,8 ÷ 0,9.

Ефективність роботи холодильної машини прийнято оцінювати холодильним коефіцієнтом, під яким розуміють відношення кількості тепла, віднятого від охолодженого середовища, до витраченої на це роботи, вираженої у теплових одиницях

$$\varepsilon = Q_0 / AL. \quad (5.17)$$

Для порівняння холодильних машин необхідно їх холодопродуктивність визначати при однакових умовах роботи. Як порівняльні умови прийняті так звані «стандартні» умови. «Стандартні» умови характеризуються такими температурами: кипіння $t_0 = -15^\circ\text{C}$, конденсації $t_k = 30^\circ\text{C}$, переохолодження $t_n = 25^\circ\text{C}$, всмоктування $t_{вс} = 15^\circ\text{C}$ (пар, перегрітий на 30°C).

Перерахунок холодопродуктивності дійсного циклу до умов «стандартного» виконують за формулою

$$Q_{ст} = Q_0 \frac{\lambda_{ст} \cdot q_v^{ст}}{\lambda \cdot q_v}, \quad \text{кДж/год}, \quad (5.18)$$

де $\lambda_{ст}$ – коефіцієнт подачі компресора за умов «стандартного» циклу;

$q_v^{ст}$ – питома об'ємна холодопродуктивність холодоагенту при умовах «стандартного» циклу.

Величини $\lambda_{ст}$ та $q_v^{ст}$ визначають за формулами (5.2), (5.6 – 5.8) для параметрів холодоагенту, відповідних «стандартному» циклу.

5.2 Порядок виконання роботи

5.2.1 Повторити знання про принцип побудови теоретичного робочого холодильного циклу.

5.2.2 За заданими температурами $t_{зов}$, t_0 та t_k побудувати теоретичний робочий цикл холодильної машини на діаграмі $lg P-i$.

5.2.3 Виконати розрахунки основних параметрів холодильної машини за даними побудованого циклу.

5.3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на п. 5.2.1 – 5.2.3 і контрольні питання.

Контрольні питання

- 1 Чому для побудови циклу ПКХМ найчастіше застосовують Р-І діаграму?
- 2 Що характеризує цикл холодильної машини?
- 3 Для чого вводиться поняття «стандартна холодопродуктивність»?
- 4 Що характеризує коефіцієнт подачі компресора?

Лабораторна робота 6

ВИВЧЕННЯ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК. РОЗРАХУНОК КОНДЕНСАТОРА ПАРОВОЇ КОМПРЕСІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета роботи: ознайомитися з характеристиками теплообмінників холодильних установок. Набути навичок розрахунку теплообмінників.

6.1 Короткі відомості з теорії

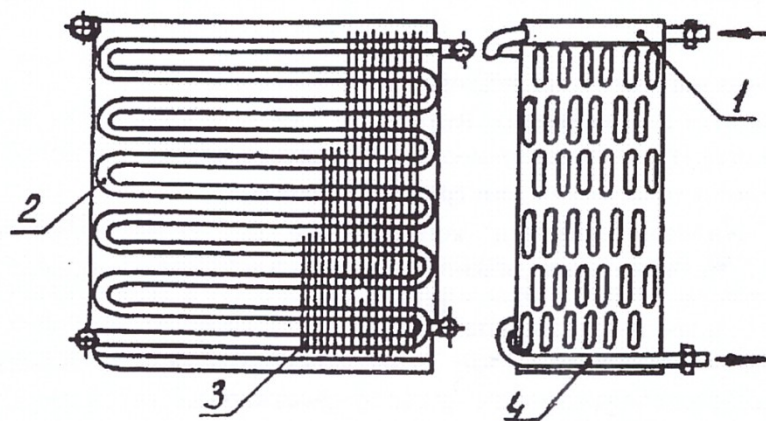
6.1.1 Теплообмінні апарати холодильних установок рефрижераторних вагонів

До теплообмінних апаратів холодильних установок відносяться конденсатори, випарники, повітроохолоджувачі, переохолоджувачі.

Конденсатори холодильних машин забезпечують охолодження перегрітих парів холодоагенту, а потім їх конденсацію при тиску, відповідному ступеню підвищення тиску в циклі холодильної машини.

Конденсатори холодильних машин випускають з проточним, зрошувальним або випаровувальним водяним охолодженням, або з повітряним охолодженням.

Конструкція конденсатора (рисунок 6.1) являє собою змійовикову систему з ребрами. Оребрення зовнішньої поверхні теплообмінника, яка омивається повітрям, збільшує теплопередачу, що дозволяє зменшити витрату труб, масу і габарити апарату. Ступінь оребрення, тобто відношення площ поверхонь ребер і труб, зазвичай знаходиться в діапазоні від 10 до 20.



1 – вхідний колектор; 2 – змійовикова трубка;
3 – пластинчасті ребра; 4 – вихідний колектор

Рисунок 6.1 – Конденсатор холодильної установки

Конденсатор холодильної установки ФАЛ-056/1 у вагонах ZB-5 і APB виконаний з алюмінієвих труб діаметром 15 мм з алюмінієвими ребрами. Конденсатор холодильної установки ВР-1М 5-вагонної секції БМЗ виконаний з мідних труб з латунними ребрами, а конденсатори холодильних установок 12-вагонної та 5-вагонної секцій ZA-5 – із сталевих труб зі сталевими ребрами.

Випаровувач є основним елементом холодильної машини, в ньому рідкий холодоагент, отримуючи теплоту від охолоджуваного об'єкта, кипить і у вигляді пари відсмоктується компресором.

Випаровувачі бувають двох типів: для охолодження розсолу (12-вагонна секція) і повітря (ZB-5, 5-вагонні секції) (рисунок 6.2)

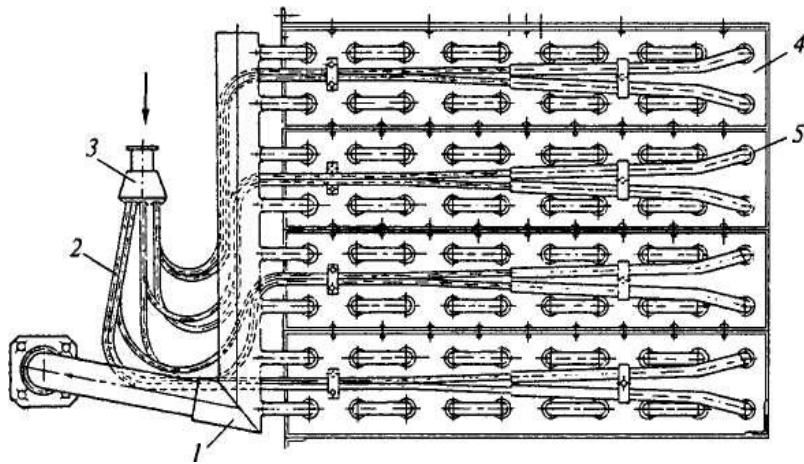


Рисунок 6.2 – Випаровувач секцій ZB-5

Випаровувачі першого типу виконують у вигляді кожухотрубних теплообмінників. У них рідкий холодоагент надходить знизу в простір між кожухом і трубами. Тут він кипить, охолоджуючи розсіл, що проходить по трубах. Утворені пари відсмоктуються компресором у верхній частині кожуха.

Випаровувачі другого типу (повітроохолоджувачі) за своєю конструкцією аналогічні конденсаторам (рисунок 6.2).

У кожній секції розташовані два ряди поребрих мідних труб 5 по 10 шт. в ряду, сполучених по торцях калачами. Діаметр труб 15 мм, товщина стінок 1 мм. Хладонова суміш рідини та пари від терморегулюючого вентиля надходить у змішувачи кожного ряду випаровувача через розподільник 3 («павук») по восьми трубах 2, що підводять, діаметром 6 мм. Одержана при випаровуванні пара холодоагенту прямує в газовий колектор 1, звідки відсмоктується компресором. На трубопроводі, що виходить, встановлюється датчик термостата відтавання випаровувача. В процесі відтавання гаряча пара хладона R12 подається у випаровувач з колектора, який об'єднує калачі першого вертикального ряду на торцевому боці, протилежному основним трубам, що підводять холодильний агент.

Повітроохолоджувачі 5-вагонних секцій та АРВ розміщені безпосередньо у вантажних приміщеннях вагонів і є випаровувачами для безпосереднього охолодження повітря з примусовою циркуляцією його від вентиляторів-циркуляторів. Рідкий холодоагент кипить всередині оребрених труб, що утворюють змішувачеву конструкцію. Однак відстань між

ребрами значно більше (ступінь оребрення – менше), ніж у конденсаторів, так як на трубах і ребрах утворюється іній («шуба») з вологи повітря.

Переохолоджувачі служать для переохолодження рідкого холодоагенту перед регулюючим вентиляем за рахунок перегріву холодних парів, всмоктуваних компресором. Застосовується переохолоджувач на фреонових холодильних машинах і являє собою двотрубний апарат, що складається з труби великого діаметра, всередині якої проходить змієвик з труби меншого діаметра. По змієвику йде зріджений в конденсаторі хладон-12, а через міжтрубний простір проходять пари холодоагенту після випарника. В результаті теплообміну пари перегріваються, а рідкий хладон переохолоджується – це підвищує холодопродуктивність установки і покращує роботу компресора.

6.1.2 Методика розрахунку конденсатора холодильної установки

Розрахунок конденсатора при проектуванні холодильної установки полягає у визначенні площі теплопередаючої поверхні і витрати охолоджуючого повітря.

Площу поверхні конденсатора можна визначити з рівняння теплопередачі

$$q_k = K_T \cdot F_k \cdot \theta_{cp}, \quad (6.1)$$

де q^k – теплове навантаження конденсатора, Вт;

K_T – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

F_k – площа внутрішньої поверхні конденсатора, м²;

θ_{cp} – середньологарифмічний температурний напір, К.

Величина теплового навантаження конденсатора q_k складається з потрібної холодопродуктивності холодильної установки і потужності компресора

$$q_k = Q_0 + N_i, \quad (6.2)$$

де Q_0 – холодопродуктивність установки, що враховує теплоприпливи всередину вагона і тепловиділення вантажу або пасажирів (з розрахунку у лабораторній роботі 5), Вт;

N_i – індикаторна потужність компресора (з розрахунку у лабораторній роботі 5), Вт.

Коефіцієнт теплопередачі K_T розраховується за формулою

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_{\text{еф}}}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}} \cdot K_{\text{реб}}}}, \quad (6.3)$$

де $\alpha_{\text{вн}}=1000-3000$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з боку холодоагенту при його конденсації;

$\delta_{\text{еф}}$ – ефективна товщина стінки конденсатора, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м·К); для: алюмінія – 143 Вт/(м·К), латуні – 93 Вт/(м·К), міді – 384 Вт/(м·К), сталі – 58 Вт/(м·К);

$\alpha_{\text{зов}}=20-40$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря;

$K_{\text{реб}}=10-20$ – ступінь ребрення (відношення площі зовнішньої поверхні конденсатора до площі його внутрішньої поверхні).

Ефективна товщина стінки конденсатора $\delta_{\text{еф}}$ відрізняється від власне товщини стінки трубки конденсатора δ через вплив ребер, а також через відмінності матеріалів трубок і ребер. Якщо матеріал трубок і ребер однаковий, то

$$\delta_{\text{еф}} = (2 \div 4) \cdot \delta, \quad (6.4)$$

якщо різняться, то

$$\delta_{ef} = \delta \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{реб}}\right). \quad (6.5)$$

Товщина стінки трубки конденсатора холодильної установки у вагонах ZB-5 і APB – 1,5 мм, 12-вагонній секції та 5-вагонній секції ZA-5 – 1,0 мм.

Середньологарифмічний температурний напір, наявний у формулі (6.1), підраховується таким чином:

$$\theta_{cp} = \frac{t_{вих}^6 - t_{вх}^6}{\ln \frac{t_k - t_{вх}^6}{t_k - t_{вих}^6}}, \quad (6.6)$$

де $(t_{вих}^6 - t_{вх}^6)$ – величини температури вихідного і вхідного в конденсатор повітря, °С;

t_k – температура конденсації холодоагенту (з розрахунку у лабораторній роботі 5), °С.

Нагрівання повітря в конденсаторі $(t_{вих}^6 - t_{вх}^6)$ задається в діапазоні 8-12°С. Температура вхідного повітря $t_{вх}^6$ дорівнює температурі навколишнього середовища (з розрахунку у лабораторній роботі 5).

Потрібна витрата охолоджуючого повітря (продуктивність вентилятора) визначається за формулою

$$W_6 = \frac{q_k}{\rho_6 \cdot C_6 \cdot (t_{вих}^6 - t_{вх}^6)}, \quad (6.7)$$

де $\rho_6 = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря;

$C_p = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ – теплоємність повітря.

6.2 Порядок виконання роботи

6.2.1 Ознайомтесь з пристроєм конденсатора, випаровувача, повітроохолоджувача.

6.2.2 За холодопродуктивністю установки і потужністю компресора (дані взяти з розрахунку у лабораторній роботі 5) розрахувати площу поверхні конденсатора запропонованого типу рефрижераторного вагона.

6.2.3 Визначте продуктивність вентилятора.

3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на п. 6.2.1 – 6.2.3 та контрольні питання.

Контрольні питання

1 Яке призначення конденсатора, випарника, повітроохолоджувача і переохолоджувача?

2 Як можна підвищити ефективність конденсатора?

3 Які види випарників вам відомі?

4 Де застосовується переохолоджувач і що собою являє?

Лабораторна робота 7

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНИХ ТА ОПАЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Мета роботи: ознайомитися з конструкцією та принципом дії приладів автоматики.

7.1 Короткі відомості з теорії

7.1.1 Призначення та класифікація приладів автоматики

Основною умовою для створення комфортних умов у пасажирських вагонах та оптимальних режимів при перевезенні швидкопсувних вантажів є підтримання температури на визначеному заданому рівні.

Для виконання цих вимог холодильні та опалювальні установки повинні змінювати режим роботи, збільшувати чи зменшувати свою продуктивність. Крім того, повинна забезпечуватись безпека установок у випадку порушення режиму.

Ці завдання виконують автоматичні прилади, які в залежності від виконуваних функцій умовно можна поділити на такі групи:

- *прилади регулювання*, що підтримують задане значення регулюючої величини чи змінюють її у певних межах;
- *прилади захисту*, що призначені для припинення роботи установки при надмірному відхиленні параметрів режиму роботи установки;
- *прилади контролю*, які дозволяють спостерігати та фіксувати режим температури і вологості у вагонах, температуру та тиск у системі охолодження та опалювання, величину струму та напруги у мережі, витрату електроенергії;
- *прилади сигналізації*, при виході з ладу деякого апарату чи приладу, а також при порушенні нормального режиму роботи установки на щиті керування загоряється відповідна сигнальна лампочка та водночас вмикається звуковий сигнал.

На транспортних холодильних та опалювальних установках розповсюджені електричні прилади, як найбільш надійні та зручні в обслуговуванні.

7.1.2 Регулятори температури

Для регулювання температури у системах автоматики можуть бути використані:

- електроконтактні термометри (ЕКТ);
- термометри опору;
- термістори;
- літєві термометри;
- манометричні термометри;
- біметалеві термометри;
- термодатчики.

Перелічені прилади відрізняються між собою за ступенем точності, стабільністю спрацювання, чутливістю до зміни температури.

Принцип дії ртутних контактних термометрів чи літєвих термометрів засновано на властивості рідинних металів змінювати об'єм пропорційно зміні їх температури та на їх хорошій електропровідності.

Ртутні електроконтактні термометри (рисунок 7.1) мають недостатню міцність, тому для запобігання надривам та зламам у місцях впайки контактних проводів у капіляр термометри, необхідно амортизувати.

В залежності від призначення РЕТ виготовляються з одним, двома та більше контактами, кожен з яких спрацьовує (тобто замикає чи розмикає контакт) при необхідній температурі.

Контактні ртутні термометри використовуються майже на усіх установках кондиціонування повітря пасажирських вагонів через простоту виготовлення та вмикання в електричну схему.

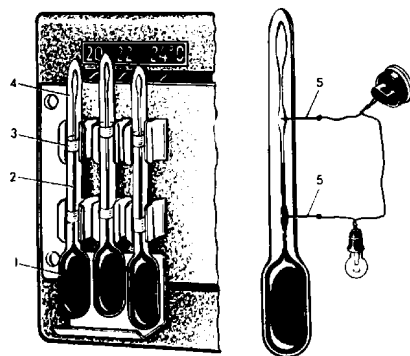


Рисунок 7.1 – Схема ртутного контактного термометра

Скляна колба __ термометра в нижній частині має балончик __ з викачаним повітрям, заповнений ртуттю, від якого починається капілярна трубка __, що запаяна на кінці. По мірі зростання температури навколишнього середовища ртуть розширюється та, виходячи в трубку, піднімається по ній. Коли температура повітря, піднімається до заданої величини та ртутний стовпчик дійде до контакту __, струм по проводах та через ртутний стовпчик надійде у виконавчий механізм та викличе замикання чи розмикання в контакті та, навпаки, при зменшенні температури контакти повернуться у початкове положення.

7.1.3 Електромагнітний вентиль

Електромагнітні вентиля являють собою пристрої, які під дією електричного струму відкривають або закривають прохідний переріз трубопроводу, на якому вони змонтовані. Причому, коли котушка вентиля знеструмлена, він закритий, і навпаки, коли котушка перебуває під напругою, вентиль відкритий.

Електромагнітний вентиль (рисунок 7.2) призначений для припинення подачі рідкого холодоагенту до ТРВ при зупинці холодильної машини. Вентиль нормально закритий, з електромагнітною котушкою на напрузі 220 В при частоті струму 50 Гц розрахований на відкриття при різниці тиску не більш 0,16 МПа.

Монтують вентиль в трубопроводі після фільтра-осушувача

в вертикальному положенні з відхиленням до 30°.

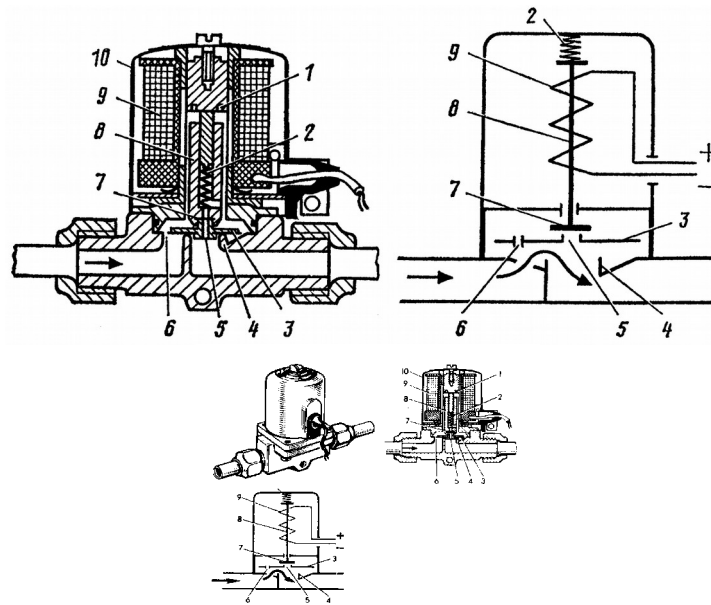


Рисунок 7.2 – Електромагнітний вентиль

Вентиль нормально закритий, з електромагнітною котушкою на напрузі 220 В при частоті струму 50 Гц і розрахований на відкриття при різниці тиску не більш 0,16 МПа. Складається вентиль із двох умовних частин: електричного магніту і корпуса. Корпус абсолютно герметичний, а котушка магніту захищена від впливу вологи ковпаком. При відсутності в котушці напруги мембрана притиснута до сідла. Цьому сприяє тиск холодильного агенту, що через зрівняльний отвір заповнює надмембранну порожнину. Розвантажувальний же отвір за рахунок зусилля пружини закритий клапаном, тому перетікання холодоагенту під мембрану не відбувається, а різниця тисків над і під мембраною підсилює її запірну дію.

Дія вентилля заснована на використанні електромагнітного ефекту. При проходженні струму через котушку сердечник, переборюючи опір пружини, втягується, а клапан відкриває розвантажувальний отвір, через який холодоагент під тиском спрямовується до виходу вентилля. Завдяки цьому тиск над мембраною майже зрівняється з тиском у другій половині вентилля. У той же час за рахунок різниці площ отворів і на мембрану знизу буде діяти підпір рідини, що перетікає, і вона

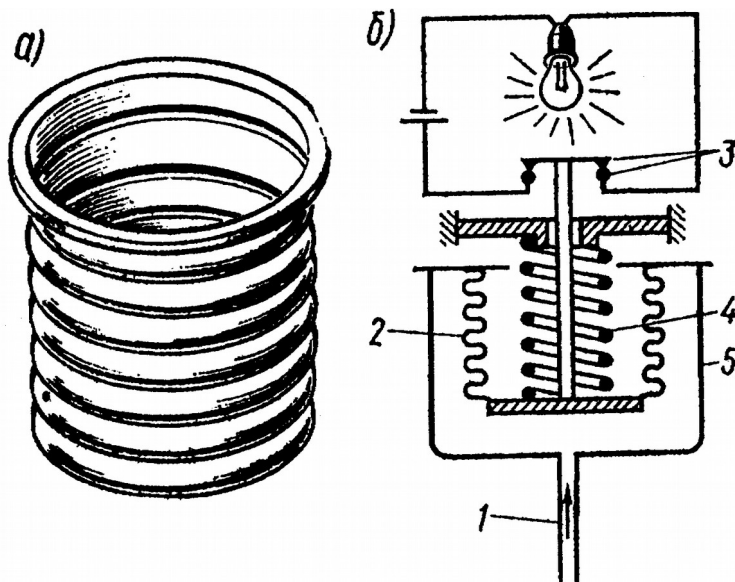
підніметься над сідлом __. Для відриву мембрани від сідла потрібна різниця тисків всього 0,005 МПа. З цього моменту вентиль буде у відкритому положенні.

Після відключення струму сердечник __ під натиском поворотної пружини __ опуститься і клапаном __ закриє отвір __. Тому що тиск в цей момент по обох боках мембрани однаковий, то під тиском ваги сердечника і зусилля пружини мембрана опуститься на сідло __. Холодоагент, протікаючи під високим тиском через отвір __, заповнює простір над мембраною і додатково притискує її до сідла. Упор __ обмежує підйом сердечника __.

7.1.4 Реле максимального тиску (пресостат) РТ5

Реле максимального тиску служить для зупинки електродвигуна компресора, коли тиск хладону на боці нагнітання піднімається вище 0,18 МПа, та пуску знов, коли він знизиться до 0,15 МПа; тобто пресостат реагує на різність тиску. Реле тиску використовуються у всіх холодильних установках вагонних кондиціонерів.

Основною частиною реле є сильфон (рисунок 7.3) – гофрований стаканчик з тонколистової пружної латуні або нержавіючої сталі. Якщо сильфон стиснути, то він складається по гофрах, а якщо відпустити – розтиснеться та набуде початкової висоти. Властивість сильфона стискуватися і розтискатися використовується в різних реле. Щоб стиснення сильфона відбувалося під різними зусиллями і швидке відновлення початкової висоти було без залишкової деформації, усередину сильфона __ поміщають зворотну пружину __. Сам сильфон герметично впаюють у сталевий корпус __ із трубкою __, що підводиться до нього. Трубка може мати довжину кілька метрів, що дозволяє віддалити прилад від об'єкта, що захищається, на значну відстань. Крізь нерухому опору та пружину проходить шток з контактами __ на кінці.



а) загальний вигляд; б) електрична схема

Рисунок 7.3 – Сильфон

Якщо в порожнині між сильфоном і корпусом створюється тиск вище атмосферного, то сильфон стискується, шток за рахунок цього піднімається нагору і контакти розривають електричне коло. У цьому випадку лампа, зображена на рисунку, повинна згаснути. Якщо замість лампи в електричне коло буде увімкнений магнітний пускач електродвигуна компресора, то останній зупиниться. Достатньо знизити тиск в апараті, до якого під'єднана трубка __, як сильфон __ за допомогою пружини __ розпрямиться і електроконтакти __ замкнуть тільки-но розірване коло.

Розглянутий принцип закладений в основу роботи реле максимального тиску RT-5. Використовується він для зупинки електродвигуна компресора, коли тиск на боці нагнітання досягне 0,18 МПа і вище. Це ж реле може знову увімкнути електродвигун, коли тиск нагнітання знизиться до 0,15 МПа. Диференціал (різниця тисків зупинки і пуску) в 0,3 МПа створює умови для своєрідного розгону, при яким повторний пуск компресора буде відбуватися без перевантаження надмірним протитиском, а значить, на порівняно низькому пусковому струмі в обмотках електродвигуна.

При відсутності диференціала навіть незначне коливання тиску нагнітання вище або нижче 0,18 МПа могло б викликати повторювані вмикання та вимикання електродвигуна і відмову агрегату.

Розглянемо роботу реле максимального тиску. Газоподібний хладон, маючи постійний доступ з боку нагнітання по трубці __ (рисунок 7.4, а) у корпус __, при тиску 0,18 МПа стискає сильфон __. Тоді рухомий шток __, долаючи опір пружини __, переміщається нагору. До штока прикріплена муфта __, яку у свою чергу можна переміщати нагору та униз по різьбленню. На твірній поверхні муфти нанесена шкала величин диференціала, а на верхньому торці вільно лежить лівий кінець контактної пластини __, яка шарнірно хитається навколо опори, закріпленої на корпусі приладу. Разом зі штоком і муфтою нагору рухається і лівий (по рисунку) кінець контактної пластини, а контакт на правому її кінці розмикає електричне коло.

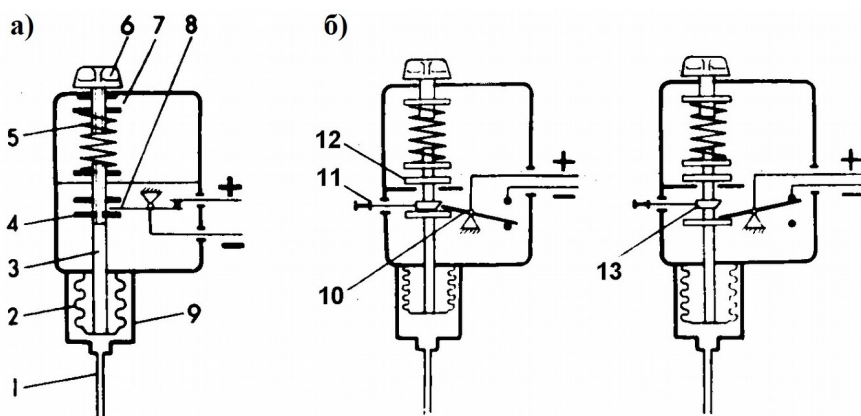


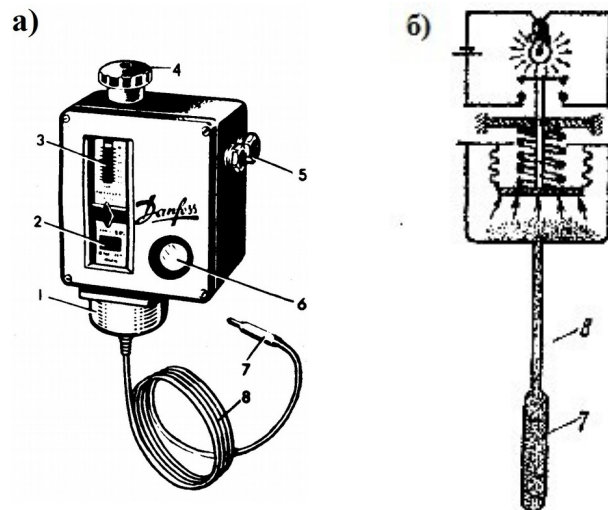
Рисунок 7.4 – Реле максимального тиску (пресостат)

Зміна натягу пружини __ здійснюється гвинтом настроювання __, на різьбленні якого по вертикалі переміщається опорна шайба __. Обертаючи гвинт __ при настроюванні приладу, необхідно стрілку у віконці встановити проти цифри __, що відповідає величині тиску, при якому вмикається електродвигун компресора. Диференціал в 0,3 МПа встановлюється обертанням муфти __. Таким чином, тиск відключення двигуна визначається сумою тисків увімкнення і диференціала ($0,15+0,3=0,18$ МПа). На цьому настроювання реле тиску закінчується.

На деяких пасажирських вагонах застосовується реле тиску тієї ж марки, але дещо зміненої конструкції. На рисунку 7.4, б він показаний у положенні «вимкнено» (ліворуч) і «увімкнено» (праворуч). Налаштований він не на 0,18, а на 0,17 МПа. Повторний пуск електродвигуна проводиться вручну натисканням спеціальної кнопки ___ на бічній стінці приладу. Ця особливість досягнута за рахунок зменшення висоти муфти ___ настільки, що вона при тиску не дістає до лівого плеча контактної пластини __. Диференціал тут такий же і встановлюється, як і в попередньому випадку. Поки тиск у контрольованій частині холодильної машини не впаде нижче передбаченого диференціалом, повторний пуск неможливий навіть вручну. Перемикання контактної пластини в реле здійснює палець __, яким закінчується стрижень зворотної кнопки ___.

7.1.5 Термостат

Термостат (рисунок 7.5) за зовнішнім виглядом схожий на реле максимального тиску. Служить для захисту компресора від низької температури. Обидва ці прилади мають не тільки зовнішню, але і внутрішню схожість.



а) загальний вигляд; б) схема підключення термобалона до термостата

Рисунок 7.5 – Термостат

До пластмасового корпусу знизу прикріплений корпус __ сільфона. Однак, якщо до сільфона реле максимального тиску підведена звичайна трубка, то в термостаті вона має отвір капіляра. Знизу трубка __ закінчується термобалонем __ – металевою гільзою діаметром 10-12 мм, заповненою легкопарким хладоном, ефіром або хлорметилом. Зверху корпусу є маховик __ для настроювання приладу, а на лицьовій кришці – два віконця: одне для шкали температур __, а інше для шкали диференціала __. Роботу контактної системи можна контролювати крізь віконце __. Введення електричних проводів усередину приладу здійснено через штуцери __. Схематично термостат працює в такий спосіб.

Якщо термобалон __ (рисунок 7.5, б) підігріти, то рідина, що його заповнює, почне кипіти і парувати. Оскільки кипіння відбувається в замкненій системі, то тиск у капілярній трубці __ зростає. Як тільки він перевищить зусилля пружини, сільфон стиснеться і контакти електричного кола розімкнуться. Зниження температури контрольованого середовища викличе конденсацію пари, що утворилася в термобалоні, сільфон під дією пружини розтягнеться і контакти знову замкнуться.

Термостат даного типу здатний виконувати таку ж функцію, що і ртутно-контактний термометр, хоча він менш чутливий до зміни температури середовища, яке контролює.

Прилади цього типу вимагають обережного ставлення. Варто у будь-якому місці зім'яти чи перегнути трубку, як система реле виявиться розімкнутою, а прилад – негідним.

7.1.6 Терморегулюючий вентиль

Подавання оптимальної кількості холодоагенту у випаровувач здійснюється за допомогою терморегулюючого вентиля. Його дія залежить від температури пари, що виходить з повітря охолоджувача. Терморегулюючий вентиль (рисунок 7.6) призначений для автоматичної подачі необхідної кількості холодоагенту у випаровувач та підтримування у ньому заданої температури кипіння в залежності від перегріву парів холодоагенту, що виходять з випаровувача.

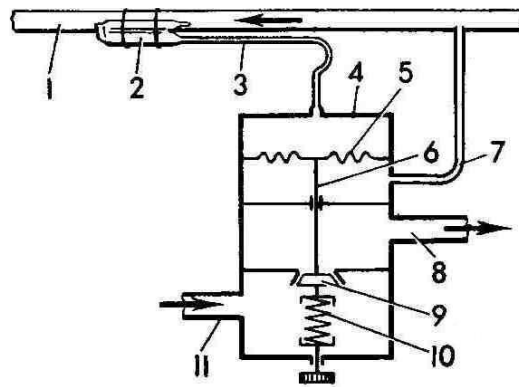


Рисунок 7.6 – Схема терморегулюючого вентиля

Процес регулювання супроводжується дроселюванням холодоагенту від тиску P_k до тиску P_0 . До TRV рідкий холодоагент надходить з тиском P_k , а виходить з нього з тиском P_0 , тобто між тиском на вході та виході існує перепад. Під час проходження через клапан рідкий холодоагент дроселюється, при цьому частина його випаровується, охолоджується та у вигляді п суміші пари і рідини надходить у випаровувач, де вона перетворюється у пар, який у випаровувачі перегрівається. Тому температура хладону на виході вище, ніж на вході.

Корпус вентиля — вилитий із бронзи. Верхня силова частина герметична. Вона закінчується капілярною трубою — з термобалоном —, що для кращого теплообміну щільно прикріплений виштампуваною улоговинкою до всмоктувального трубопроводу —, який з'єднує випаровувач з компресором. Термобалон, капіляр і простір над сильфоном — при виготовленні вентиля заповнюються певною кількістю холодоагенту.

Від денця сильфона вниз йде шток — із запірним клапаном —, що постійно притискається до седла пружиною — з регулювальним гвинтом. Порожнина обмежена зверху сильфоном —, а знизу — перегородкою корпуса вентиля, заповнена парами холодоагенту, тиск яких за рахунок наявності трубопроводу — увесь час зрівнюється з тиском у випаровувачі. Складаючись із зусиллям пружини, цей тиск теж протидіє прогину сильфона вниз. Патрубок — з'єднує корпус TRV із ресивером, а патрубок — припаюється до труби, що веде у випаровувач.

При зменшенні у випаровувачі кількості холодоагенту пари, що проходить по трубопроводу __, будуть мати більш високу температуру, ніж при інших умовах роботи. За рахунок тепла холодоагенту, що відсмоктується, холодоагент у термобалоні __ закипить, і його насичені пари створять у верхній силовій частині ТРВ підвищений тиск. Якщо цей тиск буде більше суми тиску в підсильфонній порожнині і сили натискання пружини __, то сильфон прогнеться вниз і відтисне від сідла клапан __.

Тепер рідкий холодоагент із патрубку __ через отвір, що відкрився, сідла клапана і патрубків __ ринеться у випаровувач. В міру заповнення апарата температура вихідних з нього парів буде знижуватися. Відповідно знизиться і підігрів термобалона ТРВ. Коли інтенсивність кипіння холодоагенту в термобалоні спаде, понизиться і тиск у силовій частині ТРВ. Сильфон вентиля під дією пружини __ розпрямиться і клапан __ сяде на сідло. Шлях холодоагенту буде закритий зовсім або подача холодоагенту у випаровувач зменшиться на деяку величину.

7.2 Порядок виконання роботи

7.2.1 Вивчити конструкцію та принцип дії приладів автоматики.

7.2.2 Описати призначення та будову всіх приладів автоматики.

7.2.3 Заповнити позначення до рисунків 7.1 – 7.6.

7.3 Зміст звіту

Тема занять; дата проведення роботи; мета роботи; відповіді на пп. 7.2.1 – 7.2.3 і контрольні питання.

Контрольні питання

1 Яку функцію виконує терморегулюючий клапан у холодильній машині?

2 Яку функцію виконує термостат?

3 До якої групи апаратури відносяться ртутно-контактні термометри?

4 Що є основним конструктивним елементом багатьох приладів автоматики?