

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

Лабораторна робота № 11

**ВИВЧЕННЯ РОБОТИ КОМПРЕСІЙНОЇ
ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ**

I. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Багато процесів сучасної промисловості можуть бути здійснені тільки при штучному охолодженні, тобто при значно нижчих температурах, ніж ті, що досягаються при охолодженні водою або повітрям при параметрах навколишнього середовища.

Для одержання штучного холоду теплоту від тіла з низькою температурою необхідно передати середовищу із значно вищою температурою, тобто треба здійснити процес, внаслідок якого зменшиться ентропія. Такий процес згідно з другим законом термодинаміки довільно проходити не може: для його реалізації необхідно здійснити допоміжний процес, який проходить із зростанням ентропії. Очевидно, що мінімальна робота, яку при цьому треба затратити, повинна компенсуватися зменшенням ентропії, викликаним процесом охолодження.

В парових компресійних установках, які широко застосовуються для отримання помірно низьких температур (до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$), перенесення теплоти забезпечується застосуванням робочої речовини (холодильного агента). При здійсненні кругового процесу (зворотного циклу Карно) теплота, відведена від охолоджуваного тіла, переходить до випаровуючої робочої речовини при низькій температурі, а далі передається охолоджуючому середовищу /воді/ від робочої речовини, яка конденсується при більш високій температурі /і більш високому тиску/. Для здійснення такого процесу передачі теплоти необхідно витратити роботу на стиснення пари робочої речовини. Ця робота перетворюється в теплоту, яка передається охолоджуваному середовищу.

Теоретичний холодильний на вищому температурному рівні цикл Карно (рис. 1) складається з двох ізентропійних процесів (1-2 - стиснення пари і 3-4 - розширення сконденсованої робочої речовини) і двох ізотермічних процесів (2-3 - конденсації пари і 4-1 - випаровування робочої речовини). На $T-S$ - діаграмі теплота, віднята від охолоджуваного тіла робочою речовиною, тобто холодопродуктивність Q_o , визначається площею а-1-4-б; теплота, яка передається робочою речовиною охолоджуючому середовищу (повітря), визначається площею а-2-3-б, а витрачена робота Q_L - площею 1-2-3-4. Таким чином, енергетичний баланс циклу Карно буде

$$Q_o + Q_L = Q_1 \quad (1)$$

де Q_L - робота, здійснена в реальному процесі. Цей баланс справедливий для будь-якої холодильної установки.

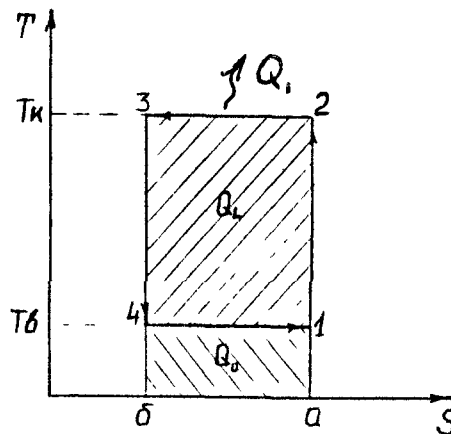


Рис. 1. Холодильний цикл Карно.

Зворотний круговий цикл, показаний на діаграмі (див. рис. 1), здійснюється при умові, що ентропія системи залишається постійною. Відповідно зменшення ентропії охолоджуваного тіла на Q_o/T_o і то проходить при випаровуванні робочої речовини, повинно дорівнювати збільшенню ентропії охолоджуючого середовища на $(Q_o + Q_L)/T_k$, яке проходить при конденсації стисненої пари робочої речовини. З цієї умови випливає, що робота, витрачена при здійсненні теоретичного холодильного циклу Карно,

$$Q_L = Q_o \frac{T_k - T_e}{T_e} \quad (2)$$

або теоретична робота, необхідна для забезпечення заданої холодопродуктивності, не залежить від природи робочої речовини і визначається тільки значеннями температур конденсації і випаровування.

Енергетичну економічність холодильних установок, діючих за зворотним циклом Карно, характеризують холодильним коефіцієнтом, тобто відношенням холодопродуктивності до затраченої роботи:

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{Q_L} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (3)$$

Принципова технологічна схема парової компресійної холодильної установки показана на рис. 2. Установка складається з випаровувача 1, компресора 2, конденсатора 3 і регулюючого вентиля (дроселя) 4 з'єднаних між собою трубопроводами.

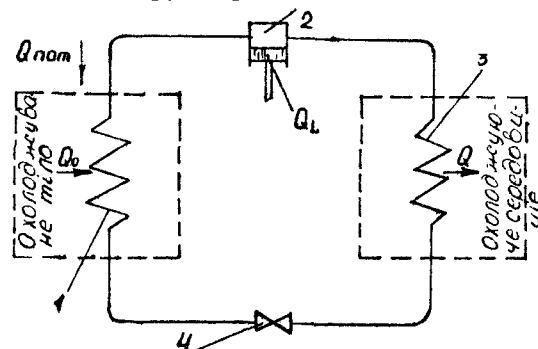


Рис. 2. Схема установки.

Випаровувач служить для випаровування рідкого холодильного агента при низькій температурі і відповідному тиску. При цьому від охолоджуваного тіла віднімається теплота Q_o .

Компресор призначений для стиснення пари холодильного агента, який відсмоктується від випаровувача.

Конденсатор служить для перетворення стисненої компресором пари холодильного агента в рідкий стан. Теплота, що виділяється при конденсації, переходить до охолоджуючого середовища. Чим вища температура охолоджуючого середовища, тим вища температура конденсації, а відповідно і тиск.

Регулюючий вентиль (дросель) призначений для регулювання подачі рідкого холодильного агента в випаровувач. При протіканні рідини через вузький переріз вентилля проходить дроселювання. В результаті цього процесу тиск рідкого холодильного агента падає від тиску конденсації до тиску випаровування, з відповідним зниженням температури (ефект Джоуля – Томсона).

Циркуляція холодильного агента в холодильній установці здійснюється компресором - найбільш важливою частиною компресійної установки. В компресійних холодильних установках як робочі речовини (холодильні агенти) найчастіше використовують аміак і різні фреони. Фреонами називають фторхлорзаміщені насичених вуглеводнів. Широке практичне застосування знайшли тільки похідні метану і етану, наприклад $\Phi-11(CFCl_3)$, $\Phi-12(CF_2Cl_2)$, $\Phi-22(CHF_2Cl)$, $\Phi-113(C_3F_3Cl_3)$, $\Phi-14(C_2F_2Cl_2)$ і деякі інші. Фреони є хімічно інертні, вибухонебезпечні, негорючі сполуки. Це малотоксичні рідини з дуже слабким запахом.

Процеси, які проходять а робочими речовинами в холодильних установках, відображають на ентальпійній $T-S$ - і ентальпійній $P-I$ - діаграмах цих речовин (рис. 3).

Цикл парової компресійної установки з одноступінчастим стисненням характеризується так званим сухим ходом компресора /перегрівом пари при стисненні/, переохолодженням рідкого холодильного агента після конденсації пари і перегрівом пари, яка засмоктується компресором. Згідно зі схемою одноступінчастої холодильної установки (див. рис. 2)

теоретичний цикл її роботи на діаграмах $T-S$ і $P-I$ (див. рис. 3) включав такі процеси:

1-2'' - адіабата стиснення в компресорі сухої перегрітої пари від тиску випаровування P_v до тиску конденсації P_k ;

2''-2' - ізобара - охолодження в конденсаторі стисненої і перегрітої пари до температури насичення ($x = 1$);

2'-3 - ізотерма - ізобара - конденсація пари в конденсаторі за рахунок відводу теплоти, охолоджуваної водою або повітрям;

3-3' - ізобара - переохолодження рідкого холодильного агента в конденсаторі або в окремому теплообміннику до температури переохолодження T_3' нижчій, ніж температура конденсації, але при тому ж тиску;

3'-4 - ізотерма - ізобара - дроселювання в регулюючому вентилі з падінням тиску і температури;

4-1' - ізотерма - ізобара - випаровування і нагрівання холодильного агента в випаровувачі за рахунок відводу теплоти від охолоджувального тіла;

1''-1 - ізобара - перегрів пари в теплообміннику за рахунок теплообміну з переохолодженням рідким холодильним агентом в спеціальному теплообміннику.

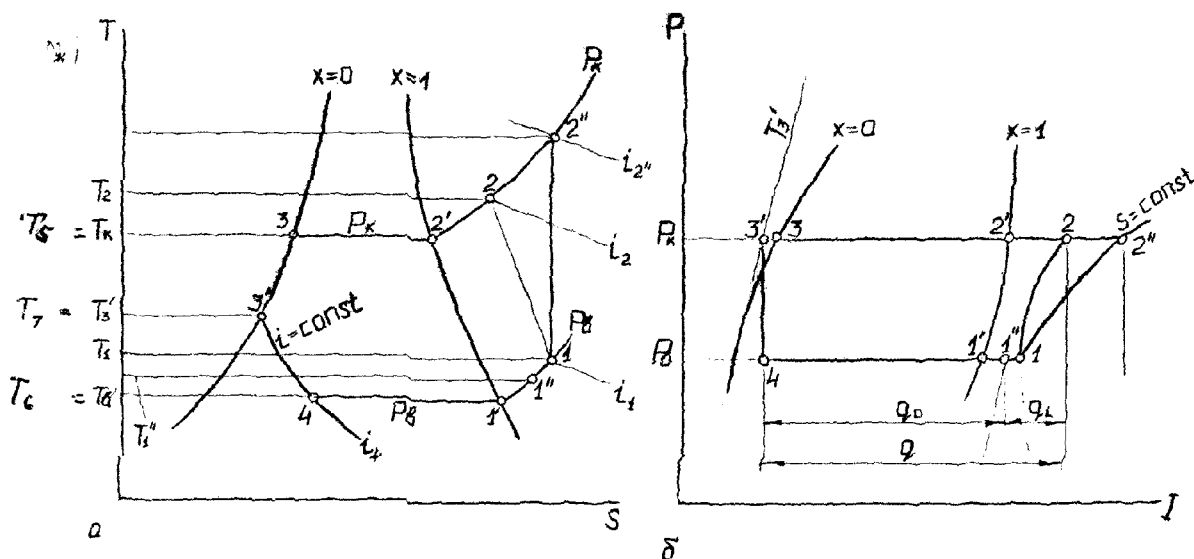


Рис. 3. Зображення циклу компресійної холодильної установки:
а - $T-S$ - діаграма; б - $P-I$ - діаграма.

Переохолодження холодильного агента (лінія 3-3') приводить до збільшення холодопродуктивності установки. Деякий перегрів пари перед всмоктуванням. (лінія 1'-1) забезпечує стійкий сухий хід компресора, оскільки пари холодоагента в перегрітому стані. В реальних умовах лінія стиснення 1-2 практично не співпадає з адіабатою 1-2'', оскільки процес стиснення проходить з віддачею теплоти оточуючому середовищу (повітря), тобто по політропі 1-2.

II. МЕТА РОБОТИ

Мета роботи - практично ознайомитися з роботою холодильної установки, а також експериментально визначити холодопродуктивність, отриману при заданих умовах, і холодильний коефіцієнт.

III. ОПИС УСТАНОВКИ (рис. 4)

Холодильна установка АКФВ-4М складається з випаровувача 1; одноступінчастого двоциліндрового компресора 2, який стискає пари фреону до тиску конденсації P_k ; конденсатора

3; терморегулюючих вентилів (дроселів) 4, які регулюють подачу фреону і понижують температуру до нижнього температурного рівня в випаровувач (установка має два дроселі і два ребристі випаровувачі, які працюють паралельно); протиструмного теплообмінника 5, де рідкий фреон охолоджується до температури переохолодження T_3' , обмінюючись теплотою з парами фреону, що ідуть на всмоктування і перегріваються до температури перегріву T_1 фільтру 6, який служить для вловлювання забруднень; осушувача 7, заповненого силікагелем і призначеного для уловлення вологи; лічильника, 8; крана для регулювання подачі води 9; манометрів на лінії нагнітання 10 і всмоктування 11.

Робочою речовиною холодильної установки АКФВ-4М служить фреон-12 (дифтордихлорметан) - один з найпоширеніших агентів. При нормальних умовах фреон-12 - це важкий без кольору газ (температура кипіння $-29,8$ °С, тиск конденсації $0,65$ МПа при 25 °С) з дуже слабким специфічним запахом, відчутним лише при вмісті його в повітрі більше 20%. Сухий Ф-12 не кородує метал, за винятком магнієвих сплавів. Фреон-12 найменш шкідливий, але в рідкому стані може викликати обмороження шкіри і пошкодження очей.

В змієвик конденсатора 3 холодильної установки подають водопровідну воду через лічильник 8, по якому визначають витрати води. Температуру в різних точках визначають електронним мостом за допомогою багатоточкового перемикача.

Датчиками температури є термометри опору. Надлишковий тиск в зонах конденсації і випаровування вимірюють манометрами КСМ2-019. При переохолодженні визначають температуру переохолодження фреону T_7 . Якщо температура T_5 дорівнює температурі T_7 , переохолодження відсутнє.

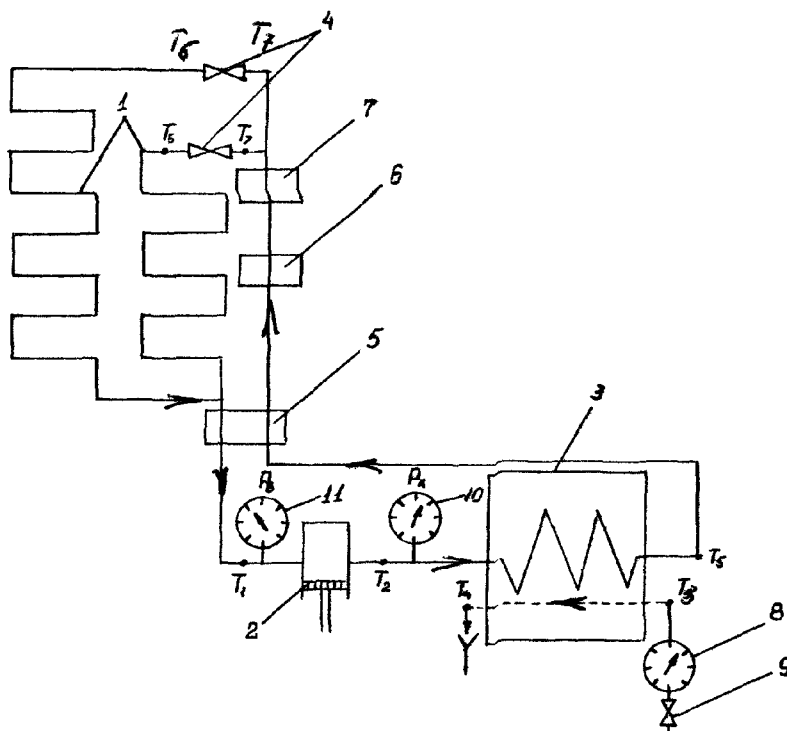


Рис. 4. Схема лабораторної компресійної установки АКФВ-4М.

IV. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

При включенні установки спочатку вентилям 9 (див. рис. 4) встановлюють по лічильнику 8 задану витрату води. Вмикають компресор 2. Через 10 хв. після пуску установки приступають до зняття показань приладів. Манометрами фіксують тиск на лінії всмоктування і нагнітання. Вимірюють температуру охолоджуючої води (точки T_3 , T_4), температуру фреону до і після компресора (точки T_1 , T_2), температуру фреону до і після дроселювання (точки T_5 , T_6 , T_7). Виміри проводять кожні 5 хв. Отримані дані записують в звітну таблицю.

Рекомендовані умови проведення експерименту: витрати води в конденсаторі від 0,3 до 0,5 л/с (від 20 до 30 л/хв.).

Після досягнення заданого режиму роботи установки, про що буде свідчити незмінність температури фреону у всіх точках вимірів у часі, виконують контрольні виміри всіх величин і припиняють дослід. Установку зупиняють в наступному порядку: вимикають компресор, відключають воду.

Звітна таблиця

№ п/п	Покази витратоміру 8	Витрати води, м ³ /с	Температура води, К		Температура фреону, К				Тиск фреону, кгс/см ²	
			Початкова T_3	Кінцева T_4	При всмоктуванні T_1	На лінії нагнітання T_2	Після дроселювання T_5, T_4	Після переохолодження T_7	В конденсаторі P_2	В випаровувачі P_1

V. ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

Обробку дослідних даних починають з побудови циклу роботи холодильної установки в координатах $T-S$, далі знаходять значення параметрів процесу в усіх вузлових точках. Вузлові точки циклу компресійної холодильної установки знаходять за отриманими результатами досліджень при використанні $T-S$ - діаграми для фреону. Для цього будують в $T-S$ - координатах спрощену схему холодильного циклу, показану на рис. 5. Знаючи температуру фреону і тиск на лінії всмоктування, температуру T_2 і тиск в кінці процесу стиснення на ізобарі ($P=P_k$), знаходять точку 2 і зображують політропний процес стиснення 1-2.

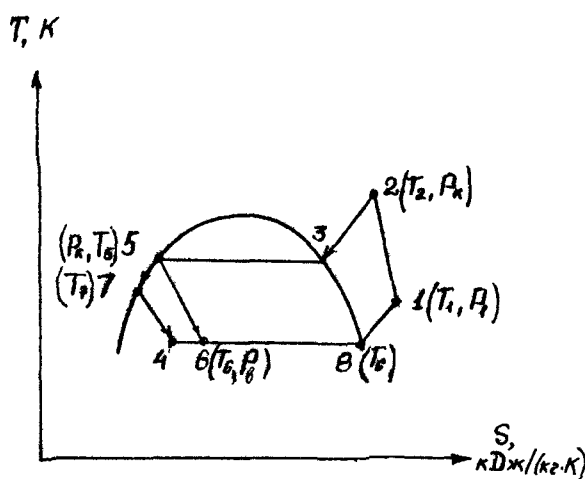


Рис. 5. Зображення спрощеного циклу роботи лабораторної холодильної компресійної установки в $T-S$ діаграмі.

Процес охолодження парів фреону відбувається при постійному тиску P_k і зображається на діаграмі ділянкою 2-3. В точці 3 пари фреону досягають насиченого стану. Процес конденсації фреону зображують лінією 3-5 при $T=\text{const}$ ($T=T_k$ і $P=P_k$). При відсутності переохолодження після конденсації рідкий фреон надходить на дроселювання, що на $T-S$ діаграмі зображується лінією 5-6 - ізоентальпійний процес ($i = \text{const}$), при якому зменшуються

температура і тиск фреону (ефект Джоуля – Томсона). Знаючи температуру T_6 зображують процес кипіння фреону при постійній температурі в випаровувачі (лінія 6-8), $T_6 = T_8 = T_9$. Процес перегріву газоподібного фреону при русі по комунікації зображують по ізобарі ($P P_8 P_1$) - лінія 8-1. У випадку переохолодження визначають температуру переохолодження T_7 і після дроселювання ($i = const$) параметри в точці 4. Таким чином, при визначенні температури в точках 1, 2, 5, 6, 7, знаючи P_e і P_k , за допомогою $T-S$ -діаграми знаходять всі необхідні величини для основних показників циклу. Слід відмітити, що температуру T_5 (температуру конденсації) можна визначити по $T-S$ -діаграмі, маючи параметри точки 2, продовживши ізобару охолодження і конденсації до точки 5.

V.1. Варіант з переохолодженням фреону

1. Кількість теплоти, яку віддає фреон воді в конденсаторі за одиницю часу, Вт,

$$Q = G_{\text{води}} c_{\text{води}} (T_3 - T_4) \quad (3)$$

2. Масова витрата фреону, циркулюючого в установці, кг/с,

$$G_{\phi} = \frac{Q}{i_2 - i_5} \quad (4)$$

3. Потужність, Вт, витрачена компресором на стиснення парів фреону до тиску P

$$N = Q_L = G(i_2 - i_1) \quad (5)$$

4. Повна холодопродуктивність установки, Вт,

$$Q_o = Q - Q_L \quad (6)$$

5. Теоретичний холодильний коефіцієнт циклу Карно

$$\varepsilon_{\text{теор}} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (7)$$

6. Повний холодильний коефіцієнт установки, що враховує кількість холоду, витраченого на охолодження повітря і компенсацію витрат з поверхні холодильної камери,

$$\varepsilon_{\text{повн}} = \frac{Q_o}{Q_L} \quad (8)$$

або

$$\varepsilon_{\text{повн}} = \frac{i_8 - i_4}{i_2 - i_1} = \frac{i_8 - i_7}{i_2 - i_1} \quad (9)$$

де i_1, i_2, i_3, i_5, i_7 ентальпії у відповідних точках циклу (визначаються по $T-S$ -діаграмі), кДж/кг; $i_8 - i_4 = q_o$ - питома холодопродуктивність установки, Дж/кг.

У випадку виходу точки i_2 за межі діаграми слід застосовувати лінійну екстраполяцію. При реалізації холодильного циклу без переохолодження залежність (9) буде мати наступний вигляд:

$$\varepsilon_{\text{повн}} = \frac{i_8 - i_6}{i_2 - i_1} = \frac{i_8 - i_5}{i_2 - i_1} \quad (10)$$

Де $i_8 - i_6 = i_8 - i_5 = q_o$

Примітка. Для визначення повного холодильного коефіцієнта необхідно знати дійсну роботу Q_{in}^L здійснену в реальному процесі стиснення. Тоді індикаторний холодильний коефіцієнт $Q'/Q_{Lind} = \varepsilon_{ind}$

У звіт про виконану роботу необхідно включити:

схему установки;

зображення циклу роботи машини в $T-S$ -діаграмі;

виконані необхідні розрахунки.