

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ № 13
"ВИВЧЕННЯ РОБОТИ КОМПРЕСІЙНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ
УСТАНОВКИ"

Затверджено на засіданні
кафедри процесів та апаратів
хімічної технології.
Протокол № 11 від 4.06.10.

Дніпропетровськ ДВНЗ УДХТУ 2010

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 13 "Вивчення роботи компресійної холодильної установки" /Укл. В.І. Зражевський. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2010. – 10 с.

Укладач В.І. Зражевський, канд. техн. наук

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Вивчення роботи компресійної холодильної установки" відповідають програмі курсу "Процеси та апарати хімічних виробництв" і призначені для студентів III-IV курсів механічних спеціальностей всіх форм навчання.

Відповідальний за випуск П.Г. Сорока, д-р техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи № 13
"Вивчення роботи компресійної холодильної установки"

Укладач ЗРАЖЕВСЬКИЙ Вячеслав Іванович

Редактор Л.М. Тонкошкур
Коректор Л.Я. Гоцуцова

Підписано до друку 05.10.10. Формат 60×84 ¹/₁₆. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Ум.-друк. арк. 0,32. Обл.-вид. арк. 0,38. Тираж 100 прим. Зам. № 45.
Свідоцтво ДК №303 від 27.12.2000.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна, 8.

Багато технологічних процесів відбуваються при температурах значно нижчих від температури замерзання води. Досягнення температур нижчих від тих, які можна одержувати за допомогою природних охолоджуючих агентів (води або повітря) називається штучним охолодженням. Одержання холоду пов'язане з передачею тепла від менш нагрітого тіла до більш нагрітого. Згідно з другим законом термодинаміки такий перехід сам по собі неможливий, тому що супроводжується зменшенням ентропії системи, в якій відбувається теплопередача. Для реалізації такого процесу необхідно витратити зовнішню енергію: механічну або теплову.

Техніка здійснення холодильного процесу залежить від температури, яку потрібно досягти. Умовно прийнято розрізняти помірне (до -100°C) та глибоке (до -210°C і нижче) охолодження.

Для відбирання тепла від тіл з низькою температурою застосовують, як правило, проміжні робочі тіла – холодильні агенти. У холодильній техніці використовують переважно рідкі холодильні агенти. Найбільш розповсюджений: аміак, двоокис вуглецю та фреони (хладони) різних марок. При їх використанні процес відняття тепла від речовини, яка охолоджується, відбувається шляхом випаровування холодильного агента, звичайно при постійній температурі його кипіння.

Всі холодильні машини помірного охолодження в залежності від способу їх дії підрозділяють на наступні групи:

- а) компресійні парові холодильні машини КХМ;
- б) компресійні газові (повітряні) холодильні машини ПХМ;
- в) абсорбційні холодильні машини (АХМ);
- г) пароводяні ежекторні холодильні машини.

Температури, яких можна досягти за допомогою компресійно-холодильних установок, належать до помірного охолодження. Принцип дії компресійно-холодильних установок заснований на використанні холодильних агентів, які мають властивість переходити у пароподібний стан при температурах значно нижчих від нуля, а потім, під дією стиснення і відведення тепла, знову перетворюватися в рідину.

Одержання низьких температур за допомогою холодильної машини засноване на здійсненні зворотного кругового процесу або так званого холодильного циклу. Для порівняння та оцінки холодильних циклів звичайно використовують ідеальний зворотний цикл Карно, який являє собою замкнутий круговий процес, що складається з послідовних ізотермічних і адіабатичних процесів. Робота дійсної КХМ відрізняється від роботи ідеальної, внаслідок ускладнення конструктивної реалізації окремих апаратів установки. Тому дійсні компресійні холодильні машини працюють за таких способів:

- вологий;
- сухий;
- вологий з переохолодженням;
- сухий з переохолодженням.

Основним показником ефективності компресійно-холодильної установки є холодильний коефіцієнт, який показує скільки одиниць холоду утворюється при витраті одиниці механічної роботи і дорівнює відношенню холодопродуктивності до витраченої роботи.

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{Q_0}{L}, \quad (1.1)$$

де ε – холодильний коефіцієнт;

q_0 – питома холодопродуктивність, Дж/кг;

l – витрачена у компресорі питома робота, Дж/кг;

Q_0 – холодопродуктивність, Вт;

L – потужність компресора, Вт.

Для найбільш розповсюджених компресійних холодильних машин цей коефіцієнт дорівнює кількох одиниць.

1. МЕТА РОБОТИ

Ознайомитись з будовою і принципом дії компресійної холодильної установки, засвоїти методику розрахунку параметрів холодильного циклу за допомогою діаграми та порівняти холодильні коефіцієнти, визначені експериментально і розрахунком.

2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Схему лабораторної установки наведено на рис. 2.1.

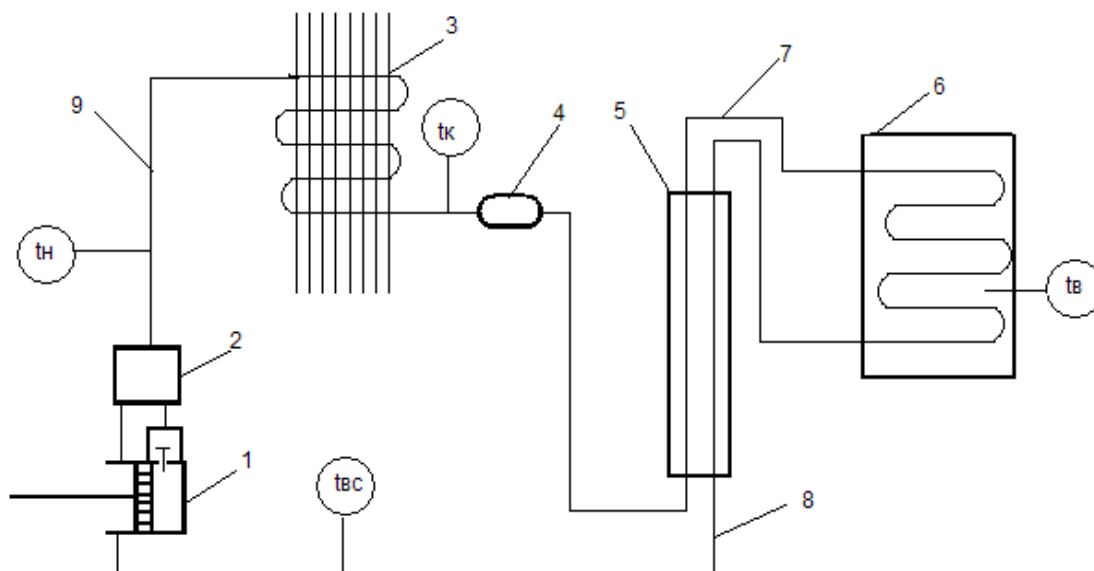


Рисунок 2.1 – Схема лабораторної компресійної холодильної установки:

1 – компресор; 2 – мастиловідділювач; 3 – конденсатор; 4 – фільтр;

5 – регенеративний теплообмінник; 6 – випарник; 7 – капіляр;

8 – всмоктувальний трубопровід; 9 – нагнітальний трубопровід

Компресор, електродвигун та мастиловідділювач розташовані у герметичному корпусі. Компресор і електродвигун мають спільний вал.

Конденсатор виконаний у формі змійовика, до поверхні трубки якого з обох сторін приварені відрізки дроту для збільшення поверхні тепловіддачі. Трубка змійовика конденсатора одним кінцем з'єднана з нагнітальним трубопроводом компресора, а другим – з фільтром 4. Охолоджується поверхня конденсатора навколишнім повітрям.

Фільтр 4 являє собою циліндр, який заповнено порошком силікагелю.

Регенеративний теплообмінник 5 виконано у вигляді спаяних між собою капілярної та всмоктувальної мідних трубок.

Випарник являє собою коробку з системою каналів для проходження та випарювання холодильного агента. Коробка випарника розміщена у камері, що ізолює його від навколишнього середовища. Камера має подвійні стінки із органічного скла, між якими є прошарок повітря.

Холодоагент – фреон 12 (дифтордихлорметан).

Установка оснащена термометрами, за допомогою яких контролюється температура холодоагента у нагнітальній і всмоктувальній лініях, а також температури конденсації і випарювання.

Установка працює за сухим способом з переохолодженням наступним чином.

Суха перегріта пара фреону – 12 із всмоктувального трубопроводу 8 надходить у циліндр поршневого компресора 1, де адіабатно стискається до певного тиску і нагнітається в конденсатор 3. За рахунок теплообміну з навколишнім середовищем пара холодоагенту у конденсаторі охолоджується і ізотермічно конденсується. Із конденсатора рідкий фреон надходить у фільтр 4, де звільняється від домішок води. Ця міра необхідна для попередження утворення кристалів льоду у каналах випарника. Волога до фреону може надходити з мастилом, яке додається в систему для забезпечення нормальної роботи компресора. Із фільтра рідкий фреон по капіляру за рахунок перепаду тиску між конденсатором і випарником надходить в останній, пройшовши попередньо регенеративний теплообмінник. У регенеративному теплообміннику рідкий фреон після конденсатора віддає тепло пароподібному, який виходить із випарника по всмоктувальній трубці, і переохолоджується, а пароподібний фреон у всмоктувальній трубці нагрівається і надходить до компресора при більш високій температурі ніж у випарнику. За рахунок цього поліпшуються умови роботи компресора.

Переохолоджений у капілярі рідкий фреон надходить до каналів випарника, які мають значний об'єм. За рахунок цього тиск фреону різко знижується, а також знижується його температура, а сам він переходить у стан вологої пари. Отже капіляр виконує роль дросельного пристрою. У каналах випарника фреон кипить і рідка складова його переходить в стан пари, забираючи для цього теплоту від стінок випарника.

Із випарника пара фреону через регенеративний теплообмінник надходить до компресора і цикл повторюється.

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Перед проведенням дослідів необхідно привести лабораторну установку в робочий стан.

Для цього необхідно:

1. Витерти зовнішню та внутрішню поверхні випарника м'якою сухою ганчіркою.

2. Ввімкнути холодильний агрегат і витримати деякий час (30-40 хв) поки у випарнику встановиться постійна температура.
3. Зважити посудину, в якій буде охолоджуватись вода.
4. Певну кількість води (10-20 мл) з відомою температурою налити у зважену скляну посудину.
5. Поставити посудину у випарник, закрити камеру випарника, зазначити початкові покази лічильника електроенергії і ввімкнути секундомір.
6. Через прозору стінку холодильної камери спостерігати за станом води у посудині та записати покази термометрів $t_{вс}$, t_n , t_k , t_v .
7. Коли вода у посудині перетвориться на лід, визначити час її замерзання за секундоміром і записати кінцеві покази лічильника електроенергії (за круглою шкалою).
8. Результати досліду занести в таблицю.
9. Вимкнути холодильний агрегат, вийняти посудину із випарника і витерти його поверхню сухою чистою ганчіркою.

Таблиця дослідних даних

Параметр	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Температура повітря	$t_{п}$	$^{\circ}C$	
Температура води початкова	$t_{вп}$	$^{\circ}C$	
Температура холодоагенту – після компресора – після конденсатора – у випарнику – у всмоктувальній – лінії	t_n t_k t_v $t_{вс}$	$^{\circ}C$ $^{\circ}C$ $^{\circ}C$	
Маса посудини	$m_{п}$	кг	
Маса води	m_v	кг	
Покази лічильника на початку досліду	N	Поділки	
Покази лічильника після закінчення досліду	N	Поділки	
Час досліду	τ	с	

4. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДУ

4.1 Розрахувати холодопродуктивність установки за формулою:

$$Q_0 = \frac{\sum Q_i}{\tau} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{\tau},$$

де $Q_1 = m_v \cdot c_v (t_{вп} - t_{вк})$ – кількість тепла, що відводиться від води, при її охолодженні до стану льодоутворення, Дж;

m_v – маса води, яка охолоджується, кг;

c_v – теплоємність води при її середній температурі, Дж/(кг·К);

$$t_{сер} = \frac{t_{ен} + t_{вк}}{2},$$

$t_{ен}$ – початкова температура води, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{вк}$ – температура замерзання води (в дослідах прийняти $t_{вк} = 0^{\circ}\text{C}$);

$Q_2 = m_6(335,2 \cdot 10^3 - c_l \cdot t_l)$ – тепло, витрачене на утворення та охолодження льоду, Дж;

c_l – 2140 Дж/кг·К теплоємність льоду;

t_l – кінцева температура льоду, $^{\circ}\text{C}$ (прийняти рівною температурі у випарнику t_8);

$335,2 \cdot 10^3$ – Дж/кг питома теплота утворення льоду;

$Q_3 = m_n \cdot c_n (t_{2н} - t_{2к})$ – тепло витрачене на охолодження посудини, Дж;

m_n – маса посудини, кг;

$c_n = 640$ Дж/кг·К – теплоємність матеріалу посудини;

$t_{2н}, t_{2к}$ – початкова та кінцева температури охолодження посудини $^{\circ}\text{C}$, ($t_{2к}$ прийняти рівною t_6 , а $t_{2н} = t_n$);

$Q_4 = K \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau$ – тепло, втрачене у навколишнє середовище, Дж;

$K = 10$ Вт/(м²К) – коефіцієнт теплопередачі між холодильною камерою і навколишнім середовищем;

$F = 0,66 \text{ м}^2$ – поверхня теплопередачі;

Δt – різниця температур між навколишнім середовищем та холодильною камерою, $(t_n - t_6)^{\circ}\text{C}$.

τ – час проведення досліду, с.

4.2. Визначити роботу стискання за показниками лічильника:

$$AL = 2272,68 \cdot \frac{\Delta N}{\tau}, \text{ Вт},$$

де ΔN – різниця показів лічильника за круглою шкалою;

τ – час проведення досліду, с;

2272,68 – постійна лічильника.

4.3. Визначити холодильний коефіцієнт за результатами досліду:

$$\varepsilon_e = \frac{Q_0}{AL}.$$

4.4. Нанести цикл роботи холодильної установки на діаграму p-i.

Діаграма p-i наведена в роботі [2, стор. 574].

Приклад зображення робочого циклу наведено на рис. 4.1.

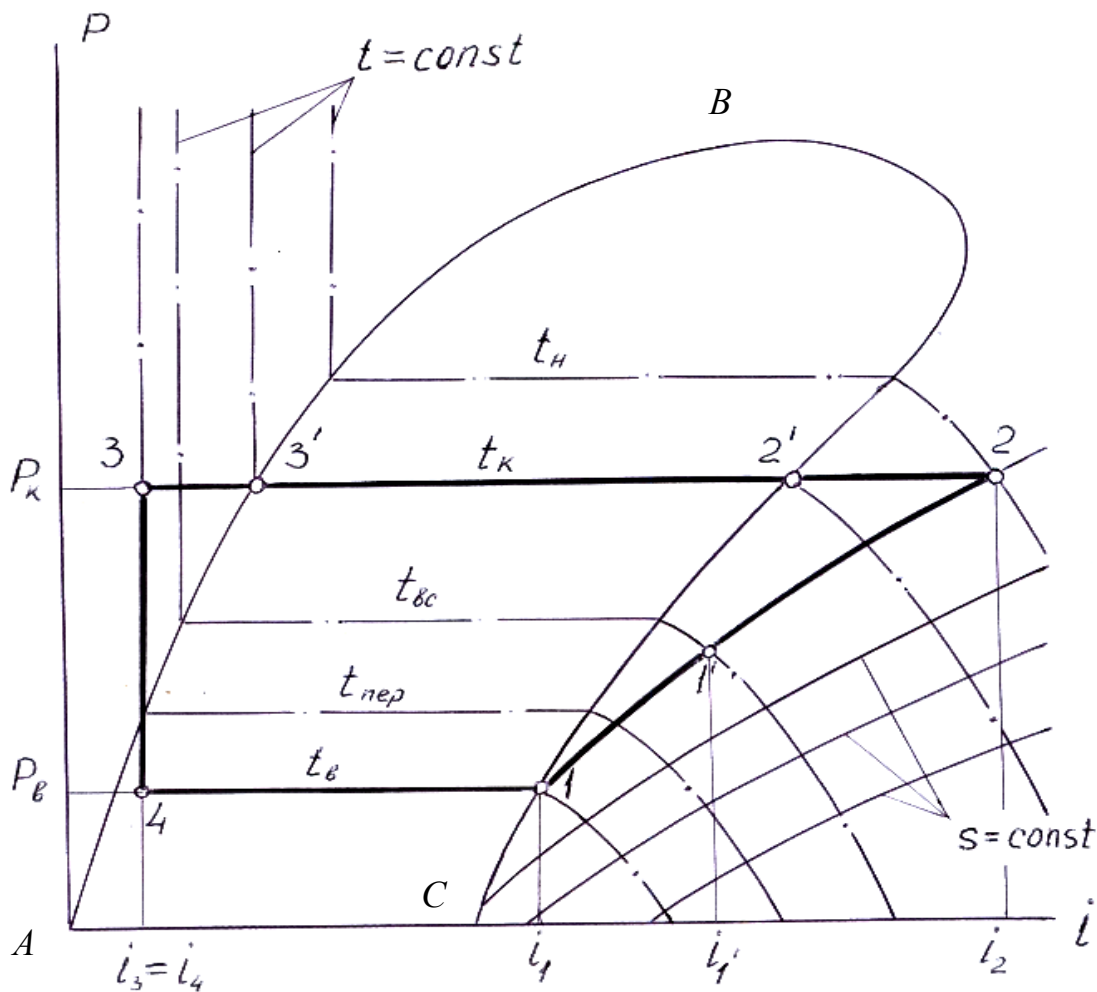


Рисунок 4.1 – Робочий цикл компресійно-холодильної установки на діаграмі $p-i$

Нанесення робочого циклу на діаграму $p-i$ починають з точки 1. Ця точка знаходиться на перетині ізотерми випарювання t_e з правою гілкою межевої кривої ABC . Точка 1 характеризує стан холодоагента, який виходить із випарника – суха насичена пара. За допомогою діаграми визначаємо ентальпію пари фреону i_1 . Із випарника пара фреону надходить у регенеративний теплообмінник, де підігрівається до температури всмоктування $t_{вс}$. Стан пари фреону перед всмоктуванням – суха перегріта – характеризується точкою 1', яка утворена перетином ізотерми $t_{вс}$ і адіабати (похила лінія у правій області діаграми), що виходить із точки 1. За допомогою діаграми визначаємо ентальпію пари фреону перед всмоктуванням i_1' . Після всмоктування пара фреону адіабатично стискається до температури нагнітання t_n , точка 2. За допомогою діаграми знаходимо ентальпію стисненої пари фреону i_2 . Після стискання у компресорі пара фреону надходить до конденсатора, де починає охолоджуватись і конденсуватись. Процес охолодження зображається лінією 2-2', а процес конденсації 2'-3', яка є ізотермою конденсації t_k .

За допомогою діаграми визначаємо ентальпію рідкого фреону, стан якого характеризується точкою 3', що утворена перетином ізотерми конденсації t_k і лівою гілкою межевої кривої ABC . Щоб знайти положення точки 3, яка характеризує стан переохолодженого фреону, складаємо тепловий баланс

регенеративного теплообмінника. Схема роботи регенеративного теплообмінника наведена на рис. 4.2.

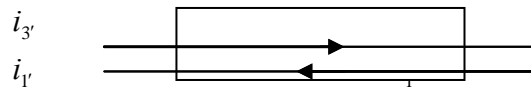


Рисунок 4.2 – Схема руху теплоносіїв у регенеративному теплообміннику

$$i_{3'} + i_1 = i_3 + i_{1'}$$

звідси $i_3 = i_1 + i_{3'} - i_{1'}$, отже точка перетину ізоентальпи i_3 з ізобарою конденсації і є шукана точка 3. Точка перетину ізоентальпи i_3 з ізотермою випарювання t_g є точка 4, яка визначає стан фреону, що надходить у випарник – волога пара. За допомогою діаграми p - i визначаємо температуру переохолодження фреону $t_{пер}$ і величину його ентальпії i_4 .

4.5. Визначити питому холодопродуктивність за формулою:

$$q_0 = i_1 - i_4.$$

4.6. Визначити питому роботу компресора:

$$l = i_2 - i_{1'}.$$

4.7. Визначити холодильний коефіцієнт:

$$\varepsilon_p = \frac{q_0}{l} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_{1'}}.$$

4.8. Порівняти експериментальний та розрахунковий холодильні коефіцієнти:

$$\Delta = \frac{\varepsilon_p - \varepsilon_e}{\varepsilon_e} \cdot 100\%$$

де ε_p і ε_e – розрахунковий і експериментальний холодильні коефіцієнти.

5. ЗМІСТ ЗВІТУ

Назва лабораторної роботи.

Мета роботи.

Схема установки та її опис.

Таблиця дослідних даних.

Розрахунки.

6. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому при штучному охолодженні необхідно затрачати зовнішню роботу?
2. В чому полягає сутність зворотного теоретичного циклу Карно?
3. Які процеси складають реальний холодильний цикл у компресійно-холодильній установці? Чим відрізняється від циклу Карно?
4. В чому полягає фізичний зміст холодильного коефіцієнта? Його визначення і величина.
5. Назвіть способи, за якими можуть працювати компресійно-холодильні установки, їх порівняння та аналіз.
6. Для чого застосовують переохолодження сконденсованого холодильного агента, та в якому пристрої лабораторної установки відбувається цей процес?
7. Що таке дроселювання?
8. Для чого рідкий холодильний агент перед тим, як подати його у випарник, дроселюють? Де цей процес реалізують у лабораторній установці?
9. За рахунок якого фізичного процесу утворюється холод у компресійно-холодильній установці?
10. Який процес відбувається у конденсаторі компресійно-холодильної установки?
11. Який процес відбувається у випарнику компресійно-холодильної установки?
12. Який процес відбувається у компресорі компресійно-холодильної установки?
13. Типи машин для одержання помірного холоду та їх аналіз.
14. Чому бажано, щоб компресор працював в області сухої пари?
15. Вимоги до промислових холодоагентів.
16. Визначення холодильного коефіцієнта: розрахунковий та теоретичний.
17. Термодинамічний ККД холодильної установки.
18. Розв'язати задачу запропоновану викладачем.
19. З яких апаратів складається компресійно-холодильна установка? Їх призначення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии, 9-е изд. перераб. и дополн. — М.: Химия, 1973. — 754 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, 10-е. изд. перераб. и дополн. — Л.: Химия, 1987. — 560 с.

