

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

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ №13
«ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМПРЕСІЙНО-ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ»
З ДИСЦИПЛІНИ «ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ
ТА ОБЛАДНАННЯ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ»
ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ:
«151 – АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ»,
«152 – МЕТРОЛОГІЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА»

Затверджено на засіданні кафедри
процесів, апаратів та
загальної хімічної технології
Протокол № 9 від 21.05.19 р.

Дніпро ДВНЗ УДХТУ 2020

Методичні вказівки до лабораторної роботи №13 «Дослідження роботи компресійно-холодильної установки» з дисципліни «Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальностей: «151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»/ Укл. П.В. Рябік, Т.В. Гриднева, Ю.Є. Скар. – Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2020. – 12 с.

Укладачі: П.В. Рябік, канд. техн. наук
Т.В. Гриднева, канд. техн. наук
Ю.Є. Скар, д-р хім. наук

Відповідальний за випуск Барський В.Д., д-р техн. наук, проф.

Начальне видання

Методичні вказівки до лабораторної роботи №13 «Дослідження роботи компресійно-холодильної установки» з дисципліни «Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації» за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальностей: «151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», «152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

Укладачі: РЯБІК Павло Васильович
ГРИДНЄВА Тетяна Василівна
СКНАР Юрій Євгенович

Авторська редакція
Комп'ютерна верстка О.Г. Нефедова

Підписано до друку 29.04.20. Формат 60×84/16. Папір ксерокс. Друк різнограф.
Умов. друк. арк. 0,63. Обл.-вид. арк. 0,67. Тираж 100 прим. Зам. № 74.
Свідоцтво дк № 5026 від 16.12.2015.

ДВНЗ УДХТУ, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005

Редакційно-видавничий відділ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Багато технологічних процесів відбувається за температур 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 він 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 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) та *глибоке* (до $-210\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 розповсюджені: аміак, карбон(IV) оксид та фреони (хладони) різних марок. При їх використанні процес віддачі тепла від речовини, яка охолоджується, відбувається шляхом випаровування холодильного агента при постійній температурі його кипіння.

Всі холодильні машини помірного охолодження залежно 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, що мають властивість переходити у пароподібний стан за температур значно нижчих від нуля, а потім, під дією стиснення і відведення тепла, знову перетворюватися на 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.

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l} = \frac{Q_0}{L}$$

де ε – холодильний коефіцієнт; q_0 – питома холодопродуктивність, Дж/кг;
 l – питома робота, витрачена у компресорі, Дж/кг;
 Q_0 – холодопродуктивність, Вт;
 L – потужність компресора, Вт.

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

2. МЕТА РОБОТИ

Ознайомитись з будовою та принципом дії компресійно-холодильної установки, розрахувати параметри холодильного циклу за допомогою Р-і діаграми та порівняти холодильні коефіцієнти, визначені експериментально та за розрахунками.

3. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

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 боків приварені відрізки дроту для збільшення поверхні тепловіддачі. Трубка змійовика-конденсатора одним кінцем з'єднана з нагнітальним трубопроводом компресора, а другим – з фільтром 4. Поверхня конденсатора охолоджується навколишнім повітрям. Фільтр 4 являє собою циліндр, заповнений порошком силікагелю.

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

Випарник 6 являє собою коробку з системою трубок 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 знаходиться повітря.

Холодоагент – фреон 12 (дифтордихлорметан).

Установка має термометри, за допомогою яких контролюється температура холодоагента у нагнітальній та 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. Рідкий фреон надходить із конденсатора у фільтр 4, де звільняється від домішок води. Ця дія 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. За рахунок перепаду тиску між конденсатором і випарником рідкий фреон надходить у випарник по капіляру, пройшовши попередньо регенеративний теплообмінник. У регенеративному теплообміннику рідкий фреон віддає тепло пароподібному фреону, який виходить із випарника 6 по всмоктувальній трубці. Рідкий фреон переохолоджується, а пароподібний фреон у всмоктувальній трубці нагрівається і надходить до компресора при температурі, яка є більш високою ніж температура 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, і знижується його температура, а сам він переходить у стан вологої пари. Отже капіляр виконує роль дросельного пристрою. У каналах випарника фреон кипить і переходить в стан пари, забираючи для цього теплоту від стінок випарника.

Пара фреону надходить до компресора із випарника через регенеративний теплообмінник і цикл повторюється.

Схему лабораторної установки наведено на рис. 3.1.

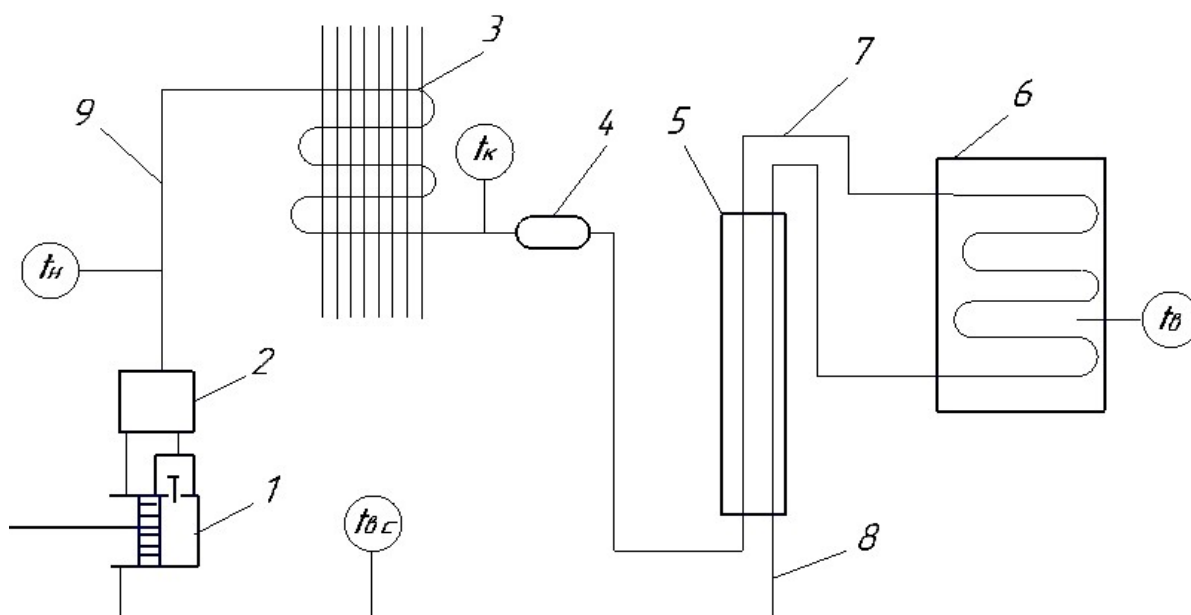


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної компресійно-холодильної установки:
 1 – компресор; 2 – мастиловідділювач; 3 – конденсатор; 4 – фільтр; 5 – регенеративний теплообмінник; 6 – випарник; 7 – капіляр; 8 – всмоктувальний трубопровід; 9 – нагнітальний трубопровід

4. 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 30 – 40 хвилин до встановлення у випарнику постійної температури.
3. Зважити посудину, в якій буде охолоджуватись вода.
4. У зважену скляну посудину налити 10 – 20 мл води з відомою температурою.
5. Поставити посудину у випарник і закрити камеру випарника. Записати початкові показники лічильника електроенергії і ввімкнути секундомір.
6. Через прозору стінку холодильної камери спостерігати за станом води у посудині та записати показники термометрів $t_{вс}$, t_n , t_k , t_v .
7. Визначити час замерзання води за секундоміром і записати кінцеві показники лічильника електроенергії.
8. Результати дослідів 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	$t_{\text{п}}$	°C	
Температура води початкова	$t_{\text{вп}}$	°C	
Температура холодоагенту – після компресора – після конденсатора – у випарнику – у всмоктувальній лінії	$t_{\text{н}}$ $t_{\text{к}}$ $t_{\text{в}}$ $t_{\text{вс}}$	°C °C °C °C	
Маса посудини	$m_{\text{п}}$	кг	
Маса води	$m_{\text{в}}$	кг	
Показники лічильника на початку досліджу	N	Поділки	
Показники лічильника після закінчення досліджу	N	Поділки	
Час досліджу	τ	с	

5. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДУ

5.1 Розрахувати холодопродуктивність установки за формулою

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

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

$m_{\text{в}}$ – маса води, що охолоджується, кг; $c_{\text{в}}$ – теплоємність води при її середній температурі, Дж/(кг·К);

$$t_{\text{сеп}} = \frac{t_{\text{вп}} + t_{\text{вк}}}{2}$$

$t_{\text{вп}}$ – початкова температура води, °C; $t_{\text{вк}}$ – температура замерзання води (в досліді прийняти $t_{\text{вк}} = 0^\circ\text{C}$);

$Q_2 = m_{\text{л}} (335,2 \cdot 10^3 - c_{\text{л}} \cdot t_{\text{л}})$ – тепло, витрачене на утворення та охолодження льоду, Дж; $t_{\text{л}}$ – кінцева температура льоду, °C (прийняти рівною температурі у випарнику $t_{\text{в}}$); $335,2 \cdot 10^3$ Дж/кг – питома теплота утворення льоду; $c_{\text{л}} = 2140$ – теплоємність льоду, Дж/кг·К;

$Q_3 = m_{\text{п}} \cdot c_{\text{п}} (t_{\text{н}} - t_{\text{в}})$ – тепло витрачене на охолодження посудини, Дж; $m_{\text{п}}$ – маса посудини, кг; $c_{\text{п}} = 640$ Дж/(кг·К) – теплоємність матеріалу посудини; $Q_4 = K \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau$ – тепло, втрачене у навколишнє середовище, Дж; $K = 10$ Вт/(м²·К) – коефіцієнт теплопередачі між холодильною камерою і навколишнім середовищем; $F = 0,66$ м² – поверхня теплопередачі; $\Delta t = (t_{\text{н}} - t_{\text{в}})$ – різниця температур між навколишнім середовищем та холодильною камерою, °C; τ – час проведення досліді, с.

5.2. Визначити роботу стискання за показниками лічильника

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

де ΔN – різниця показників лічильника; τ – час проведення дослідів, с;
2272,68 – постійна лічильника.

5.3. Визначити холодильний коефіцієнт за результатом дослідів:

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{AL}$$

5.4. Нанести цикл роботи холодильної установки на Р-і-діаграму.

Приклад графічного подання робочого циклу наведено на рис. 5.1.

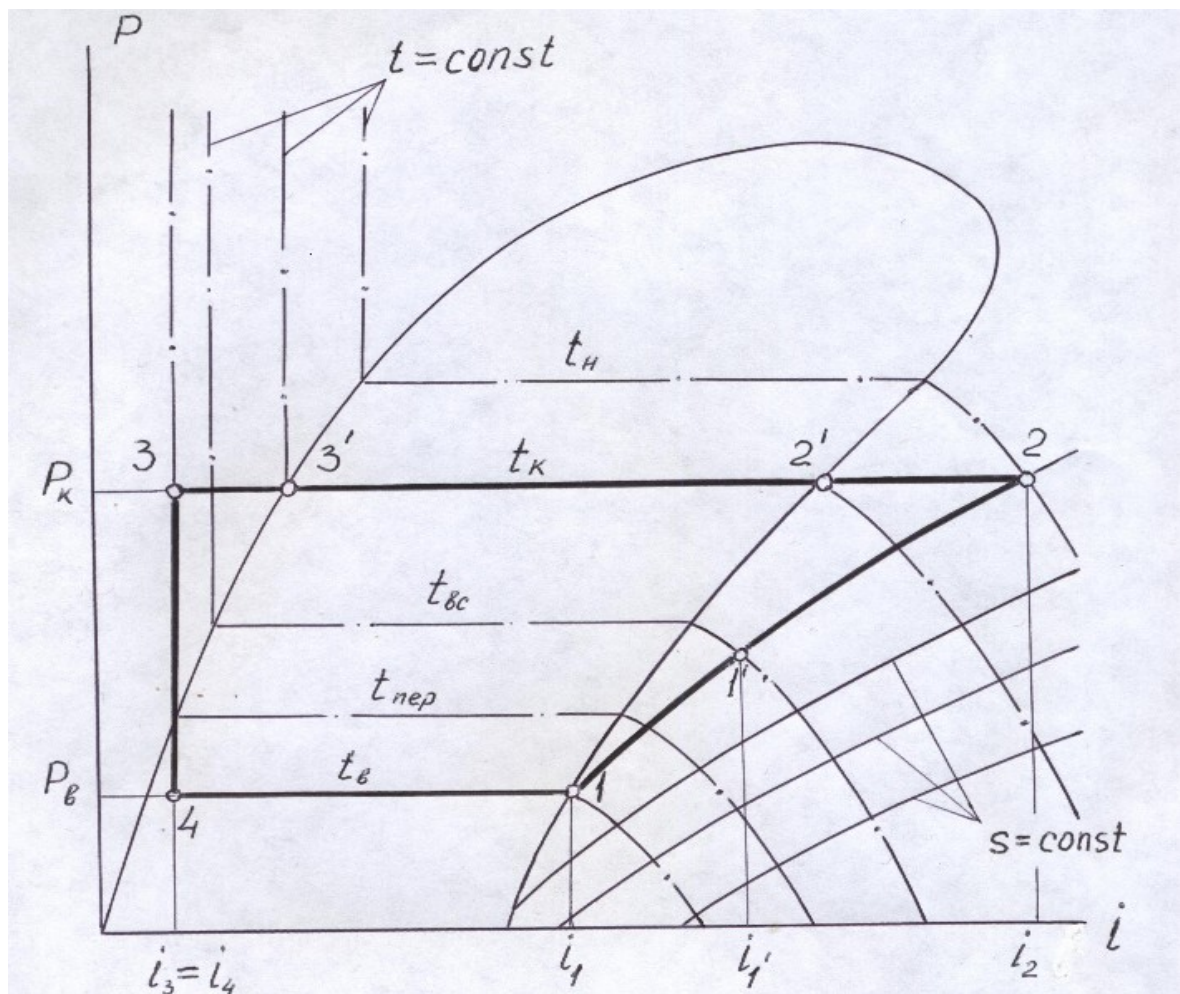


Рисунок 5.1. – Робочий цикл компресійної установки на Р-і-діаграмі

Нанесення робочого циклу на Р-і-діаграму починають з точки 1, яка знаходиться на перетині ізотерми випарювання t_v з правою гілкою межевої кривої АВС. Точка 1 характеризує стан холодоагенту, який виходить з

випарника – суха насичена пара. За допомогою діаграми визначаємо ентальпію пари фреону i_1 , із випарника пара фреону надходить в регенеративний теплообмінник, де підігрівається до температури всмоктування – $t_{вс}$. Стан пари фреону перед всмоктуванням (суха перегріта пара) 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 адіабатно стискається до температури нагнітання t_n – точка 2. За допомогою діаграми знаходимо ентальпію стиснутої пари фреону i_2 . Після стиснення у компресорі пара фреону надходить до конденсатора, де починає охолоджуватись і конденсуватись. Процес охолодження зображується лінією 2-2', а процес конденсації 2'-3', яка є ізотермою t_k . За допомогою діаграми визначаємо ентальпію рідинного 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. 5.2.

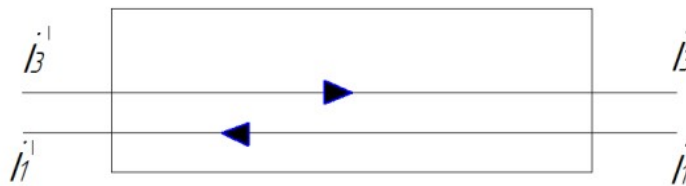


Рисунок 5.2 – Схема руху теплоносіїв у регенеративному теплообміннику.

$$i_1 + i_3' = i_3 + i_1'$$

Звідки $i_3 = i_1 + i_3' - i_1'$ – отже точка перетину ентальпії i_3 з лівою гілкою межевої кривої ABC.

5.5. Визначити питому холодопродуктивність

$$g_0 = i_1 - i_4,$$

де $i_4 = i_3$

5.6 Питома робота компресора

$$l = i_2 + i_1'$$

5.7 Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = \frac{q_0}{e} = \frac{i_1 - i_4}{i_2 - i_1'}$$

6. ЗМІСТ ЗВІТУ

Назва лабораторної роботи.

Мета роботи.

Схема установки та її опис.

Таблиця дослідних даних.

Розрахунки.

Висновки.

7. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Чому при штучному охолодженні необхідно витратити зовнішню роботу?
2. У чому полягає сутність зворотного теоретичного циклу Карно?
3. Які процеси складають реальний холодильний цикл у компресійно-холодильній установці? Чим він відрізняється від циклу Карно?
4. У 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 дроселюють рідкий холодильний агент перед тим, як подати його у випарник? 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. 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. узд. перероб. и дополн. — Л.: Химия. 1987. — 560 с.

3. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. — М.: Энергия, 1979. — 315 с.

4. Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г. Холодильные машины и аппараты. — М.: Госторгиздат, 1960 — 652 с.

5. Бадилькис И.С., Данилов Р.Л. Абсорбционные холодильные машины. — М.: Пищевая промышленность, 1966. — 355 с.