

**МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра теплотехніки та теплових двигунів**

**ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА  
ТРАНСФОРМАТОРИ ТЕПЛОТИ**

**РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки і завдання  
до виконання контрольних робіт**

**Харків - 2015**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки і теплових двигунів 11 червня 2014 р., протокол № 19.

У даних методичних вказівках викладено програму курсу “Холодильні установки та трансформатори теплоти” для студентів спеціальності “Теплоенергетика” денної і заочної форм навчання, сформульовано контрольні питання і розрахункові завдання за основними розділами курсу, а також подано необхідний довідковий матеріал.

Укладачі:

доц. Ю.А. Бабіченко,  
асистенти А.В. Онищенко,  
О.В. Гришина

Рецензент

доц. В.І. Рубльов

ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА  
ТРАНСФОРМАТОРИ ТЕПЛОТИ

РОБОЧА ПРОГРАМА,  
методичні вказівки і завдання  
до виконання контрольних робіт

Відповідальний за випуск Бабіченко Ю.А.

Редактор Буранова Н.В.

---

Підписано до друку 18.08.14 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 0,5. Тираж 100. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

## ЗМІСТ

1 Загальні методичні вказівки.....	4
2 Робоча програма курсу.....	5
3 Контрольна робота.....	6
3.1 Питання до контрольної роботи.....	6
3.2 Розрахунково-графічні завдання до контрольної роботи.....	8
3.3 Методичні вказівки до виконання завдання.....	11
Список літератури.....	16
Додаток А.....	17

## 1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Відповідно до чинного навчального плану студенти спеціальності “Теплоенергетика” як денної, так і заочної форм навчання вивчають курс «Холодильні установки та трансформатори теплоти» в одному семестрі і при цьому виконують одну контрольну роботу. Номер варіанта контрольних робіт відповідає номеру студента за списком у журналі групи.

Для виконання контрольних робіт студентів заочної форми навчання необхідно вивчити теоретичний матеріал, відповісти письмово на контрольні питання і розв’язати відповідні розрахунково-графічні завдання. При цьому слід дотримуватися таких правил:

- а) вписувати умови завдань повністю;
- б) обчислення супроводжувати найменуванням величин, що обчислюються (наприклад, “визначається питома ентальпія робочого тіла  $h$ ”);
- в) записувати розмірність величин у системі одиниць SI;
- г) зображувати робочі процеси в термодинамічних діаграмах і надавати схеми установок.

Роботи, виконані не за своїм варіантом, не приймаються до розгляду.

Дисципліна “Холодильні установки та трансформатори теплоти” вимагає систематичного і послідовного вивчення, тобто за визначеними темами і розділами, викладеними у робочій програмі.

Курс «Холодильні установки та трансформатори теплоти» вивчається студентами-заочниками шляхом самостійної роботи над підручниками і навчальними посібниками, перелік яких наведений наприкінці даних методичних вказівок. Оглядові лекції, що викладаються студентам-заочникам за основними розділами курсу, мають допоміжний характер і не замінюють самостійної роботи над навчальною літературою. Опрацьований технічний матеріал рекомендується законспектувати для закріплення отриманих знань. Це надасть змогу студентів успішно справитися з контрольними роботами та іспитами наприкінці кожного семестру.

Відповіді на питання мають бути короткими, але вичерпними, з графіками, схемами і рисунками, якщо це необхідно.

Пояснювальна записка має бути оформлена чітко й акуратно, розбірливим почерком, мати поля для зауважень і чисту сторінку для рецензії викладача наприкінці роботи.

Виправлення за зауваженнями рецензента мають бути записані окремо на чистих аркушах у тому самому зошиті після заголовка “Виправлення за зауваженнями”.

*Робота, у якій перелічені вище вимоги не виконуються, не перевіряється.*

## **2 РОБОЧА ПРОГРАМА КУРСУ**

### **Холодильні установки**

Призначення та галузь застосування, класифікація.

Парокомпресійні холодильні установки одноступінчасті та багатоступінчасті, їх схеми та цикли на T-s та (lg p-h) діаграмах. Розрахунок парокомпресійних установок. Холодоагенти та холодоносії.

Основні елементи парокомпресійних установок. Компресори, їх класифікація, коефіцієнт подачі.

Газові холодильні установки, схема, цикли на T-s діаграмі.

Абсорбційні установки. Принцип дії, схеми, холодоагенти та абсорбенти. H-ξ діаграма водоаміачного розчину та зображення процесів на ній. Тепловий розрахунок.

Пароежекторні холодильні установки. Принцип дії, схеми і цикли на T-s діаграмі. Тепловий розрахунок.

Віхрові холодильні установки, схеми, галузь застосування.

### **Трансформатори теплоти і теплові насоси**

Типи теплонасосних установок, їх принцип дії, схеми, основні елементи та вузли. Підвищення потенціалу відпрацьованої пари: механічна, ежекційна і термохімічна компресія пари, переваги та недоліки різних методів.

Використання теплових насосів у промисловості та залізничному транспорті.

### **3 КОНТРОЛЬНА РОБОТА**

Контрольна робота містить завдання 1, 2 для студентів денної та заочної форм навчання. Студенти заочної форми навчання повинні також відповісти на два теоретичні питання.

#### **3.1 Питання до контрольної роботи**

Варіанти контрольної роботи подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти до контрольної роботи

Варіант	Питання	Варіант	Питання	Варіант	Питання
1	1, 18	11	11, 28	21	4, 25
2	2, 19	12	12, 29	22	5, 26
3	3, 20	13	13, 30	23	6, 27
4	4, 21	14	14, 18	24	7, 28
5	5, 22	15	15, 19	25	8, 29
6	6, 23	16	16, 20	26	9, 30
7	7, 24	17	17, 21	27	10, 18
8	8, 25	18	1, 22	28	11, 19
9	9, 26	19	2, 23	29	12, 20
10	10, 27	20	3, 24	30	13, 21

#### **Питання до контрольної роботи**

- 1 На які групи поділяються холодильні установки?
- 2 Зворотний цикл Карно.
- 3 Як оцінюється ефективність роботи холодильної машини?
- 4 Перелічте найбільш відомі холодоагенти, дайте порівняльну характеристику їхніх термічних властивостей.
- 5 Газові холодильні машини.

6 Схема і цикл на T-s діаграмі для газової холодильної установки.

7 Розгляньте схему і цикл повітряної холодильної машини. У чому її недоліки?

8 Надайте найпростішу схему і цикл ідеальної парокомпресійної холодильної установки в T-s діаграмі.

9 Які переваги парокомпресійної холодильної установки над повітряною?

10 Для чого застосовується переохолоджувач і перегрівник у парокомпресійних холодильних установках?

11 Складіть рівняння теплового балансу ПКХУ і покажіть цикл у lg p-h діаграмі.

12 Накресліть схему абсорбційної холодильної установки і надайте опис принципу її роботи.

13 Принцип дії абсорбційної установки.

14 Холодоагенти та абсорбенти абсорбційних холодильних установок.

15 N-ξ діаграма водоаміачного розчину та зображення процесів на ній.

16 Тепловий розрахунок абсорбційних холодильних установок.

17 Покажіть схему і цикл роботи пароежекторної холодильної установки.

18 Опишіть принцип дії пароежекторної холодильної установки.

19 Чим відрізняється цикл теплового насоса від циклу холодильної машини?

20 Як оцінюється ефективність роботи теплонасосної установки?

21 Вихрові холодильні установки: схеми, галузь застосування.

22 Основні елементи парокомпресійних установок.

23 Компресори, їх класифікація, коефіцієнт подачі.

24 Одноступінчасті парокомпресійні холодильні установки.

25 Багатоступінчасті парокомпресійні холодильні установки.

26 Холодоагенти та холодоносії.

27 Типи теплонасосних установок.

28 Тепловий розрахунок пароежекторної холодильної установки.

29 Переваги та недоліки парокомпресійних холодильних установок.

30 Принципова відмінність абсорбційних та пароежекторних холодильних установок від парокомпресійних.

### 3.2 Розрахунково-графічні завдання до контрольної роботи

#### Завдання 1. Розрахунок циклу парокомпресійної холодильної установки

Визначити питоме холодовиробництво, теплове навантаження на конденсатор, роботу компресора, холодильний коефіцієнт для циклу парокомпресійної холодильної установки, яка працює на холодоагенті R-22, якщо температура у випаровувачі  $t_v$ , температура конденсації  $t_k$ , перегрів пари після випаровувача  $\Delta t_v = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , переохолодження пари після конденсатора  $\Delta t_k = 4 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Визначити загальну теоретичну потужність компресора, якщо холодовиробництво складає  $Q_0$ .

Навести принципову схему парокомпресійної холодильної установки та її цикл у діаграмі lg p-h.

Вихідні дані до завдання 1 подано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані до завдання 1

Варіант	$t_v, \text{ } ^\circ\text{C}$	$t_k, \text{ } ^\circ\text{C}$	$Q_0, \text{ кВт}$
1	2	3	4
01	-40	+20	10
02	-35	+20	15
03	-30	+20	20
04	-25	+20	25
05	-20	+20	30
06	-15	+20	35
07	-10	+20	40



### Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4
08	-5	+20	45
09	0	+20	50
10	+5	+20	55
11	-40	+30	60
12	-35	+30	65
13	-30	+30	70
14	-25	+30	75
15	-20	+30	80
16	-15	+30	85
17	-10	+30	90
18	-5	+30	95
19	0	+30	100
20	+5	+30	10
21	-15	+40	15
22	-10	+40	20
23	-5	+40	25
24	0	+40	30
25	+5	+40	35
26	-30	+5	10
27	-30	+10	15
28	-30	+15	20
29	-30	+20	25
30	-30	+25	30

### Завдання 2. Розрахунок циклу повітряної холодильної установки

До компресора повітряної холодильної установки надходить повітря з холодильної камери тиском  $p_1$  і температурою  $t_1$ . Повітря адіабатно стискається в компресорі до  $p_2$  і спрямовується в охолоджувач, де при  $p=\text{const}$  температура складатиме  $t_3$ . Звідси повітря надходить до розширювального циліндра, де розширюється за адіабатою до початкового тиску, після чого повертається до холодильної камери. Повітря віднімає теплоту

від тіл, що охолоджуються, і нагрівається до  $t_1$ , потім знову надходить до компресора.

Визначити температуру повітря, що надходить до холодильної камери, теоретичну роботу, холодовидатність повітря і холодильний коефіцієнт для цієї установки і для установки, що працює за циклом Карно для такого ж інтервалу температур. Навести принципову схему повітряної установки. Побудувати діаграми в масштабі.

Вихідні дані до завдання 2 подано у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані до завдання 2

Варіант	$p_1$ , бар	$t_1$ , °C	$p_2$ , бар	$t_3$ , °C
1	2	3	4	5
01	1	-10	5	+10
02	0,95	-10	4	+11
03	0,98	-7	4,5	+13
04	1,02	-15	4,2	+6
05	1,05	-6	4,1	+8
06	1,03	-8	5,05	+9
07	1,01	-12	5,1	+12
08	0,96	-11	5	+7
09	1,04	-10	4,8	+15
10	0,97	-14	5,5	+5
11	1	-6,5	4,92	+10
12	0,95	-12,5	5,12	+11
13	0,98	-14	4,3	+13
14	1,02	-17	4,39	+6
15	1,05	-18	5	+8
16	1,03	-15,2	4	+9
17	1,01	-13	4,5	+12
18	0,96	-8	4,2	+7
19	1,04	-7,5	4,1	+15
20	0,97	-12,3	5,05	+5
21	1	-16	5,1	+10
22	0,95	-18,3	5	+11

### Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
23	0,98	-9	4,8	+13
24	1,02	-9,6	5,5	+6
25	1,05	-4	6	+8
26	1,03	-8,3	5,25	+9
27	1,01	-12	5,17	+12
28	0,96	-19	4,11	+7
29	1,04	-8,7	5,8	+15
30	0,97	-17	4,13	+5

### 3.3 Методичні вказівки до виконання завдання

#### Розрахунок циклу парокомпресійної холодильної установки

При виконанні завдання 1 необхідно користуватися  $\lg p-h$  діаграмою холодоагенту  $R12$ , що подано в додатку А.

Питома холодопродуктивність парокомпресійної холодильної установки визначається як кількість теплоти, яка підводиться до 1 кг робочого тіла у випарнику:

$$q_0 = h_6 - h_5, \quad (3.1)$$

де  $h_5$  – ентальпія вологої пари, що надходить у випарник (рисунок 3.1);

$h_6$  – ентальпія сухої насиченої пари, що надходить у пароперегрівник.

Підведення тепла в пароперегрівнику дорівнює

$$q_{np} = h_1 - h_6, \quad (3.2)$$

де  $h_1$  – ентальпія перегрітої пари на вході в компресор.

Робота циклу парокомпресійної холодильної машини дорівнює роботі компресора.

Теоретична потужність компресора

$$N_m = G \cdot l_y, \quad (3.3)$$

де  $G = \frac{Q_0}{q_0}$  – масова витрата пари через компресор, кг/с.

При  $G = 1 \text{ кг/с}$

$$N_m = l_y = h_2 - h_1, \quad (3.4)$$

де  $h_2$  - ентальпія пари холодоагенту на виході з компресора.

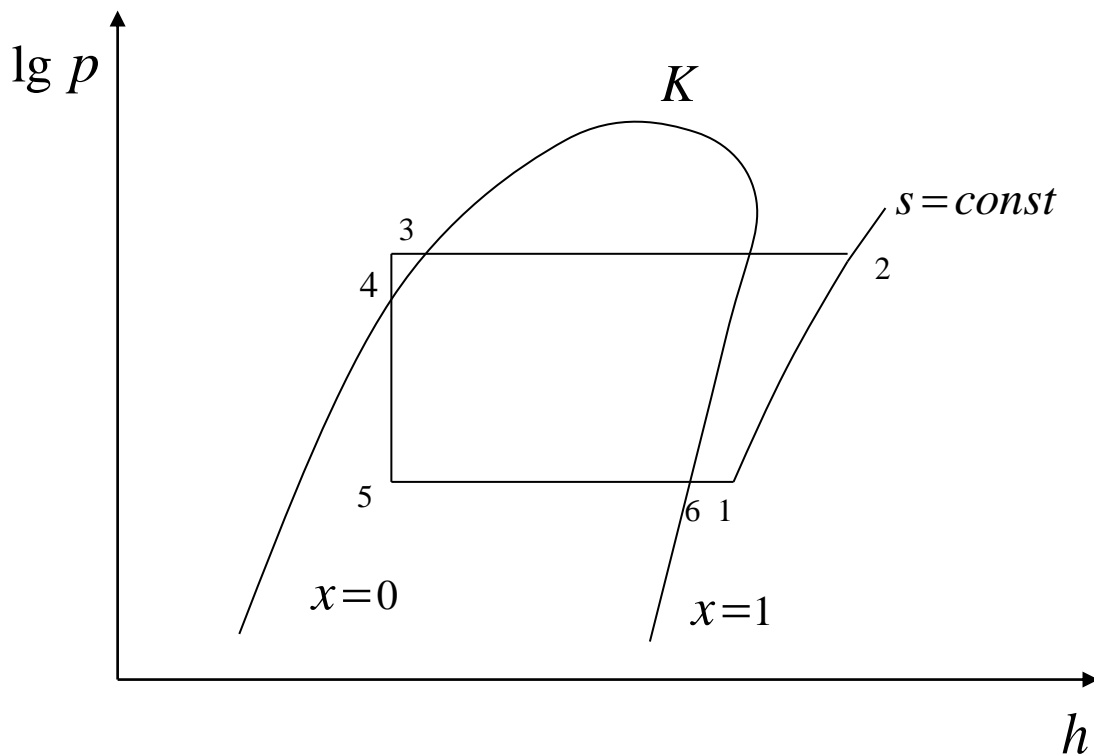


Рисунок 3.1 – Цикл холодильної установки

Теплове навантаження на конденсатор обчислюється як різниця ентальпій перегрітої пари на вході  $h_2$  і рідини на виході  $h_3$  з конденсатора

$$q_{кн} = h_2 - h_3. \quad (3.5)$$

Кількість теплоти, що відводиться в переохолоджувачі, дорівнює

$$q_{но} = h_3 - h_4, \quad (3.6)$$

де  $h_4$  – ентальпія рідини на вході в регулювальний дросельний вентиль.

Холодильний коефіцієнт установки

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_{ц}}. \quad (3.7)$$

Побудова циклу холодильної машини слід починати з точки 6, що задається перетином прикордонної кривої  $x=1$  з ізотермою  $t_6$ . Потім потрібно визначити положення точки 1. Для цього необхідно обчислити температуру робочого тіла, що надходить у компресор:  $t_1 = t_6 + \Delta t_6$ , і знайти на діаграмі ізобару  $p_6$ , скориставшись тим, що в області вологої пари ізотерми збігаються з ізобарами. Перетинання ліній  $p_6 = const$  і  $t_1 = const$  дасть точку 1. Вважаючи стиск перегрітої пари в компресорі адіабатним, проводять лінію 1-2 по ізентропі  $S = const$  до перетинання з ізобарою  $p_k$ , положення якої також визначають за заданою ізотермою  $t_k$  (точка 2). Точка 3 лежить на перетині прикордонної кривої рідини  $x=0$  й ізотерми  $t_k$ . Точку 4 слід визначати на перетині ізотерми  $(t_k - \Delta t_k)$  з прикордонною кривою  $x=0$ . Оскільки в процесі дроселювання ентальпія робочого тіла не змінюється, то положення точки 5 визначиться перетином ізоентальпи  $h_5 = h_4$  з ізотермою  $t_6$ .

Якщо цикл побудований правильно, то має виконуватися умова теплового балансу холодильної установки:

- для 1 кг/с холодоагенту

$$q_0 + l_{\text{ц}} + q_{\text{пр}} = q_{\text{кн}} + q_{\text{по}}; \quad (3.8)$$

- для  $G$  кг/с холодоагенту

$$Gq_0 + N_m l_{\text{ц}} + Gq_{\text{пр}} = Gq_{\text{кн}} + Gq_{\text{по}} \quad (3.9)$$

### Розрахунок циклу повітряної холодильної установки

Цикл повітряної холодильної установки наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Цикл повітряної холодильної установки у  $p$ - $v$ - та  $T$ - $s$  діаграмах

Температура  $T_4$  повітря, що надходить до холодильної камери, визначають зі співвідношення параметрів адіабатного процесу 3 – 4:

$$T_4 = T_3 \left( \frac{p_4}{p_3} \right)^{\frac{k-1}{k}} = T_3 \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (3.10)$$

Температура повітря  $T_2$ , що виходить з компресора, визначають зі співвідношення параметрів процесу 1 – 2:

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (3.11)$$

Робота, що витрачається за цикл, дорівнює різниці робіт, яка витрачається в компресорі і отримується в розширювальному циліндрі.

Робота, що витрачена в компресорі:

$$l_K = c_{pm}(T_2 - T_1), \quad (3.12)$$

де  $c_{pm}$  – ізобарна теплоємність повітря,  $c_{pm} = 1000$  Дж/(кг К).

Робота, отримана в розширювальному циліндрі:

$$l_{p.ч.} = c_{pm}(T_3 - T_4). \quad (3.13)$$

Робота циклу:

$$l_0 = l_K - l_{p.ч.} \quad (3.14)$$

Питома холодовидатність:

$$q_0 = c_{pm}(T_1 - T_4). \quad (3.15)$$

Холодильний коефіцієнт установки

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_0}. \quad (3.16)$$

Холодильний коефіцієнт установки, що працює за циклом Карно для того ж інтервалу температур

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_3 - T_1} \quad (3.17)$$

## Список літератури

- 1 Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин // Под ред. Н.Н. Кошкина. – Л.: Машиностроение, 1976. – 464 с.
- 2 Бадылькес И.С. Абсорбционные холодильные машины / И.С. Бадылькес, Р.Л. Данилов. – М.: Пищепромиздат, 1966. – 356 с.
- 3 Розенфельд Л.М. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов / Л.М. Розенфельд, А.Г. Ткачев, Е.С. Гуревич. – М.: Госторгиздат, 1960. – 238 с.



# ДОДАТОК А

## R22, CHClF<sub>2</sub>, Chlorodifluoromethane

T critical = 96.00 °C, p critical = 49.77400 Bar, v critical = 0.00191 m<sup>3</sup>/kg

