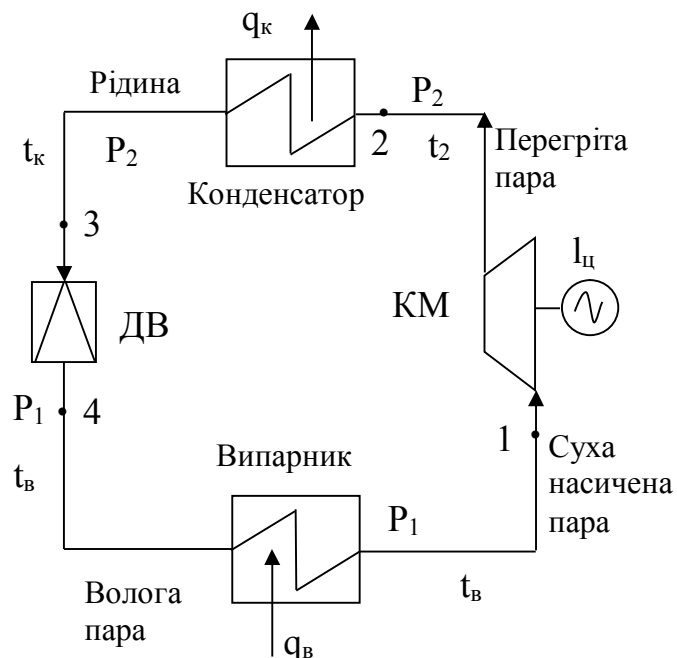


Методичні вказівки
до виконання контрольних робіт
з дисципліни «Холодильна техніка
та холодильна технологія»
для студентів напряму підготовки
«Теплоенергетика» заочної форми навчання



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки
до виконання контрольних робіт
з дисципліни «Холодильна техніка
та холодильна технологія»
для студентів напряму підготовки
«Теплоенергетика» заочної форми навчання**

Вінниця
ВНТУ
2016

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 8 від 23.04.2015 р.)

Рецензенти :

І. В. Коц, кандидат технічних наук, доцент

Д. В. Степанов, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни «Холодильна техніка та холодильна технологія» для студентів напряму підготовки «Теплоенергетика» заочної форми навчання / Уклад. О. П. Остапенко. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 53 с.

В методичних вказівках наведено програму вивчення дисципліни «Холодильна техніка та холодильна технологія» для студентів напряму підготовки «Теплоенергетика» (спеціальності «Теплоенергетика»). Подано приклади розрахунків термодинамічних циклів холодильних машин і теплових насосів, ексергетичного аналізу циклів парокомпресійних холодильних машин і теплонасосних установок. В методичних вказівках передбачені завдання для самостійної роботи студентів: тестові завдання для самоперевірки знань студентів за основними темами та варіанти практичних завдань для контрольної роботи з індивідуальними числовими даними для студентів заочної форми навчання.

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Перелік скорочень і абревіатур	5
1 ПРОГРАМА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ.....	7
1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни.....	7
1.2 Інформаційний обсяг навчальної дисципліни.....	8
2 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ	10
3 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ.....	26
4 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ.....	41
Рекомендована література.....	46
Додатки.....	47
Додаток А. Lg P-h діаграма холодоагенту R717.....	48
Додаток Б. Lg P-h діаграма холодоагенту R134a.....	49
Додаток В. Lg P-h діаграма холодоагенту R600.....	50
Додаток Г. Lg P-h діаграма холодоагенту R600a.....	51

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт студентами з дисципліни «Холодильна техніка та холодильна технологія» призначені для підготовки спеціалістів теплоенергетичного профілю заочної форми навчання за напрямом «Теплоенергетика».

Однією з головних задач напряму підготовки 6.050601 – «Теплоенергетика» є задача раціонального використання енергоресурсів в теплотехнологічних та теплоенергетичних установках, забезпечення високоефективних режимів роботи систем тепло- і холодопостачання. Це потребує застосування теоретичних знань, отриманих при вивченні дисципліни «Холодильна техніка та холодильна технологія», для вирішення конкретних інженерних задач в галузі теплотехнології, тепло- та холодопостачання за допомогою методів термодинамічного та ексергетичного аналізу. Студенту необхідно розуміти фізичну суть термодинамічних процесів в теплових насосах, володіти методами розрахунків процесів і циклів з використанням термодинамічної діаграми і таблиць стану, систематично працювати з рекомендованою літературою.

В «Методичних вказівках...» наведено програму вивчення дисципліни «Холодильна техніка та холодильна технологія» для студентів напряму підготовки «Теплоенергетика» (спеціальності «Теплоенергетика»). Відмітна особливість запропонованих методичних вказівок полягає в тому, що в них широко подано приклади розрахунків термодинамічних циклів холодильних машин і теплових насосів, ексергетичного аналізу циклів парокompресійних холодильних машин і теплонасосних установок.

«Методичні вказівки...» передбачають завдання для самостійної роботи студентів: тестові завдання для самоперевірки знань студентів за основними темами та варіанти практичних завдань до контрольної роботи в табличному вигляді з індивідуальними числовими даними. «Методичні вказівки...» містять необхідні додатки, що полегшує їх використання для вирішення практичних завдань. Це дозволить студентам працювати самостійно і творчо.

Автор вдячна рецензентам за слушні пропозиції та поради в процесі підготовки даних «Методичних вказівок...» до друку.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І АБРЕВІАТУР

- ВК – водогрійний котел;
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;
ТН – тепловий насос;
ТНУ – теплонасосна установка;
ТНС – теплонасосна станція;
ХА – холодоагент;
ХМ – холодильна машина;
 b – питома витрата палива, кг/ГДж; кг/(кВт·год);
 e – питома ексергія, МДж/м³; кДж/кг;
 h – питома ентальпія, кДж/кг;
 l – питома робота, кДж/кг;
 q – питома теплота, кДж/кг;
 t – температура, °С;
 V – витрата палива, кг/с; м³/с;
 C – питома теплоємність, кДж/(кг·°С);
 E – ексергетична потужність, МВт;
 G – масова витрата, кг/с;
 H – теплоперепад, кДж/кг;
 N – електрична потужність, МВт;
 Q – теплова потужність, МВт;
 Q_H^p – нижча теплота згорання робочого палива, МДж/м³;
 $Q_{ну}^p$ – нижча теплота згорання умовного палива, МДж/кг;
 T – температура, К
 T_{cp}^B – середньотермодинамічна температура теплоносія у випарнику, К;
 T_{cp}^K – середньотермодинамічна температура теплоносія в конденсаторі, К;
 β – частка теплової потужності ТНУ у складі ТНС;
 η – коефіцієнт корисної дії (ККД);
 η_k^H – ККД-нетто котельні;
 η_c^B – фактор Карно для підведеної теплоти у випарнику;

- η_c^k – фактор Карно для відведеної теплоти в конденсаторі;
 θ – величина недогріву, °С;
 φ – коефіцієнт перетворення (опалювальний коефіцієнт).

Індекси:

а – адіабатний; в – випаровування; вг – відхідні газы; від – відведена теплота; відп – відпущена теплота; вк – водогрійний котел; г – газы; д – двигун; е – ексергетичний; ед – електродвигун; ем – електромеханічний; ес – електрична станція; еф – ефективний; заг – загальна; змв – зворотна мережна вода; к – конденсація; км – компресор; кор – корисна; кот – котельна; мв – мережна вода; нс – навколишнє середовище; нт – низькотемпературне джерело теплоти; о – оборотний; оі – відносний внутрішній; ох – система охолодження; під – підведена; пмв – пряма мережна вода; р – робочий; см – суміш; ср – середній; тн – тепловий насос; тну – теплонасосна установка; тнс – теплонасосна станція; то,т – теплообмінник; тс – теплові споживачі; у – умовне паливо; ут – утилізатор; ха – холодоагент; ц – цикл.

1 ПРОГРАМА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Програма вивчення варіативної навчальної дисципліни складена з урахуванням вимог освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів на пряму підготовки 6.05060101 – «Теплоенергетика» за спеціальністю «Теплоенергетика».

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Холодильна техніка та технологія» є принцип дії, проектування, технологічні схеми, експлуатація холодильних та теплонасосних установок, методи розрахунку відповідного обладнання.

Міждисциплінарні зв'язки. Вивчення дисципліни «Холодильна техніка та технологія» базується на матеріалах таких дисциплін: «Математика», «Фізика», «Гідрогазодинаміка», «Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін». Дисципліна дозволяє поглибити вивчення таких дисциплін: «Джерела тепlopостачання промислових підприємств», «Проектування теплоенергетичних та теплотехнологічних систем», «Експлуатація, випробування та налагодження теплоенергетичного і теплотехнологічного обладнання».

Програма навчальної дисципліни складається із семи змістових модулів.

Змістовий модуль 1. Теоретичні основи процесів холодильної (*refrigeratory*) техніки.

Змістовий модуль 2. Холодильники. Холодильні установки (*refrigeratory installations*).

Змістовий модуль 3. Цикли холодильних машин. Обладнання.

Змістовий модуль 4. Технології виробництва льоду та системи кондиціонування.

Змістовий модуль 5. Теоретичні основи процесів в теплових насосах.

Змістовий модуль 6. Аналіз показників роботи теплових насосів (*heat pumps*).

Змістовий модуль 7. Схемні рішення теплонасосних установок.

1.1 Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета викладання дисципліни «Холодильна техніка та технологія» – надати студентам необхідні теоретичні та практичні знання про принцип дії, проектування, технологічні схеми, експлуатацію холодильних та теплонасосних установок, про методи розрахунку відповідного обладнання.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Холодильна техніка та технологія» є:

- формування у студентів навичок виконання розрахунків обладнання та схем холодильних та теплонасосних установок;
 - розуміння і засвоєння робочих процесів та принципів побудови холодильних та теплонасосних установок;
 - отримання навичок аналізу отриманих рішень і прийняття рішень за результатами розрахунків;
 - одержання теоретичних навичок для вивчення дисциплін, які викладатимуться в подальшому;
 - навчання користуватись науковою, довідковою та нормативною літературою, знаходити раціональні методи розв'язання практичних завдань.
- Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:
- **знати:** термодинамічні основи роботи холодильної техніки; особливості компресійних та абсорбційних холодильних машин; обладнання холодильних установок; особливості проектування теплообмінного обладнання, теплоізоляції, холодильних камер; технологічні схеми з тепловими насосами; режими роботи теплонасосних станцій;
 - **вміти:** виконувати інженерно-технічні розрахунки; аналізувати отримані результати та приймати рішення за результатами цих розрахунків; користуватись науковою, довідковою та нормативною літературою; знаходити раціональні методи розв'язання практичних завдань.

1.2 Інформаційний обсяг навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Теоретичні основи процесів холодильної техніки.

Тема 1. Теоретичні основи процесів холодильної техніки.

Вступ. Фізичні принципи отримання холоду. Визначення холодильних установок. Промислові технології, що використовують холод. Класифікація холодильних установок і станцій. Термодинамічні основи роботи холодильної техніки. Теплові діаграми.

Змістовий модуль 2. Холодильники. Холодильні установки.

Тема 2. Конструкції холодильників.

Класифікація холодильників. Характеристика камер. Норми завантаження. Планування холодильників. Багатопверхові холодильники. Теплоізоляція огорожувальних конструкцій. Конструкція стін, перекриттів, підлог холодильників. Конструкції підлог з обігріванням. Теплопритоки у камери. Зведена таблиця теплопротоків.

Тема 3. Системи охолодження. Схеми установок. Холодильні агенти (*refrigerants*) та холодоносії.

Способи охолодження. Системи охолодження. Схеми холодильних установок. Вибір розрахункового робочого режиму. Навантаження на комп-

ресор. Децентралізовані холодильні системи. Розсільні холодильні системи. Фреонові холодильні системи. Холодильні агенти та холодоносії. Екологічні показники робочих тіл.

Змістовий модуль 3. Цикли холодильних машин. Обладнання.

Тема 4. Цикли холодильних машин.

Газові холодильні машини (*gas refrigeratory machines*). Одно- та багатоступеневі парокомпресійні холодильні машини (*steam compression refrigeratory machines*). Абсорбційні (*absorption*) холодильні установки.

Тема 5. Обладнання холодильних установок.

Теплообмінні апарати холодильних установок. Підбір випарників (*evaporators*), конденсаторів (*condensers*), компресорів (*compressors*). Розсільні випарники.

Змістовий модуль 4. Технології виробництва льоду та системи кондиціонування.

Тема 6. Холодильні технології виробництва льоду та кондиціонування.

Холодильне обладнання систем кондиціонування повітря. Виробництво водяного льоду. Виробництво сухого льоду. Концентрування продуктів виморожуванням. Холодильний транспорт. Системи акумулювання та транспортування теплоти та холоду.

Змістовий модуль 5. Теоретичні основи процесів в теплових насосах.

Тема 7. Теоретичні основи процесів в теплових насосах.

Перетворення енергії в теплових насосах. Класифікація теплових насосів. Теплонасосне обладнання. Джерела низькотемпературної теплоти (*low temperature heat sources*). Абсорбційні теплові насоси.

Змістовий модуль 6. Аналіз показників роботи теплових насосів.

Тема 8. Аналіз показників роботи теплових насосів.

Термодинамічні основи ексергетичного аналізу теплонасосних установок. Техніко-економічні показники ТНУ. Інші методи аналізу теплонасосних установок.

Змістовий модуль 7. Схемні рішення теплонасосних установок та станцій.

Тема 9. Схеми теплонасосних установок (*heat pump station*).

Теплонасосні установки в індивідуальних будинках. Використання ТНУ в теплотехнології. Гаряче водопостачання з використанням ТНУ. Використання ТНУ в централізованому теплопостачанні.

Тема 10. Теплонасосні станції (*heat pump station*).

Поєднання ТНУ з котельними установками. Сучасний стан досліджень.

2 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 2.1

В парокompресійній теплонасосній установці з тепловою потужністю випарника $Q_B = 21$ МВт температура (*temperature*) випаровування холодоагенту становить $t_B = 13$ °С. Температура конденсації $t_K = 65$ °С. Холодоагентом є аміак. Величина недогріву води у конденсаторі складає $\theta = 5$ °С. Відносний внутрішній ККД компресора складає $\eta_{oi}^{KM} = 0,75$; а електромеханічний ККД $\eta_{em} = 0,95$; ККД теплообмінників $\eta_{TO} = 0,98$. Визначити температуру води на виході конденсатора t_{TH} , масову витрату холодоагенту, потужність компресора теплового насоса, теплову потужність конденсатора, коефіцієнт перетворення (*coefficient of transformation*) реального теплонасосного циклу та циклу Карно (*Carnot cycle*).

Розв'язання

Принципова схема парокompресійної ТНУ показана на рис. 2.1.

Побудова циклу парокompресійної ТНУ на $\lg P$ - h діаграмі показана на рис. 2.2.

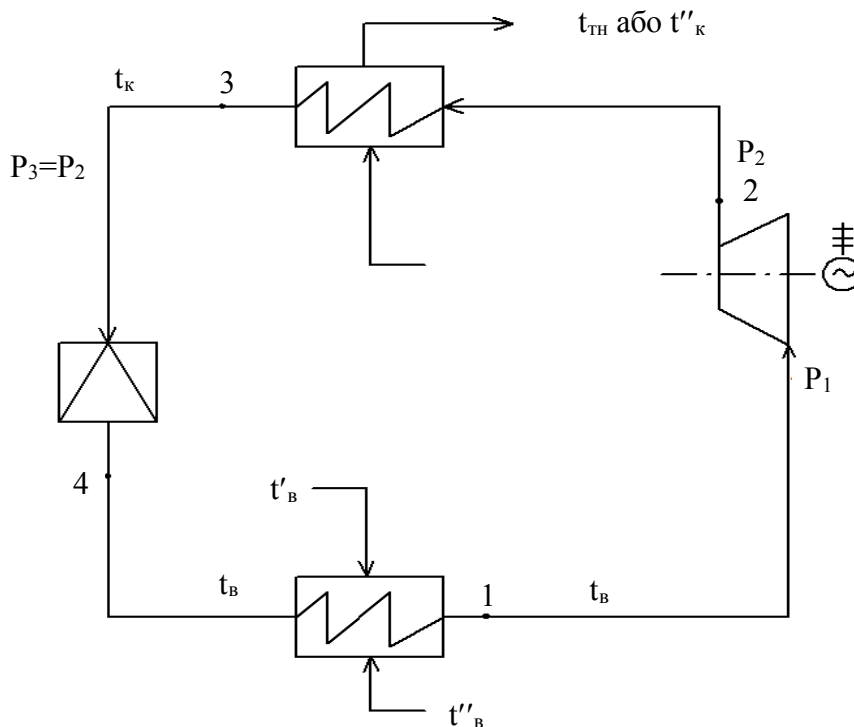


Рисунок 2.1 – Принципова схема парокompресійної ТНУ

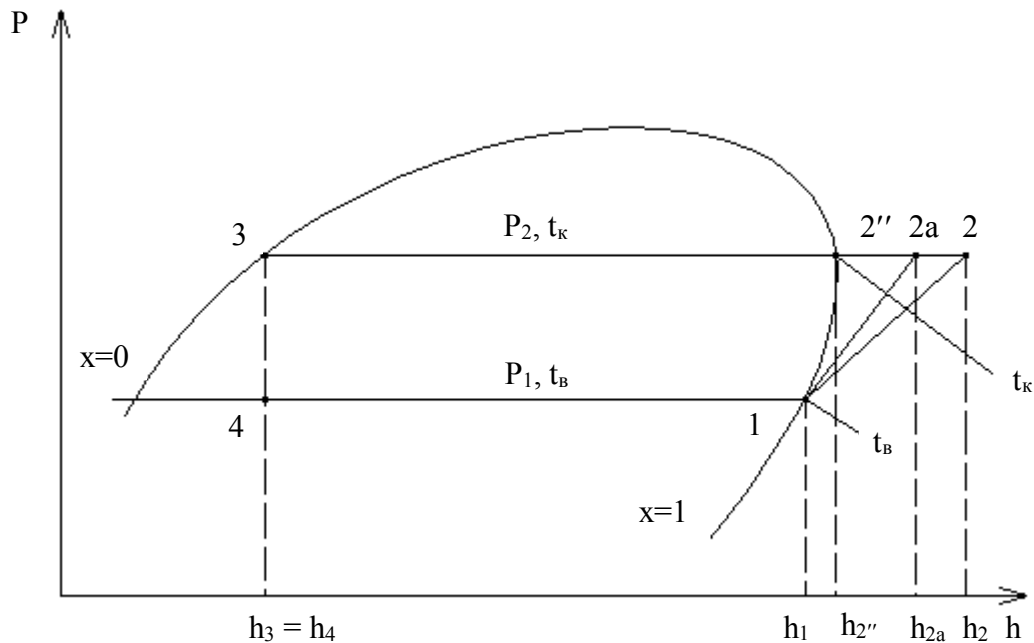


Рисунок 2.2 – Цикл парокompресійні ТНУ на lg P-h діаграмі

Будуємо цикл парокompресійної ТНУ на діаграмі та визначаємо ентальпію холодоагенту у відповідних точках циклу:

$$h_1 = 1675 \text{ кДж/кг}; h_3 = h_4 = 710 \text{ кДж/кг}; h_{2a} = 1897 \text{ кДж/кг}.$$

Визначаємо температуру води на виході з конденсатора теплового насоса

$$t_{\text{ТН}} = t_{\text{к}} - \theta = 65 - 5 = 60 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Питома теплота, підведена до випарника

$$q_{\text{в}} = h_1 - h_4 = 1675 - 710 = 965 \text{ кДж/кг}.$$

Адіабатний теплоперепад в компресорі

$$H_a = l_{\text{кмо}} = h_{2a} - h_1 = 1897 - 1675 = 222 \text{ кДж/кг}.$$

Дійсний робочий теплоперепад в компресорі

$$H_p = l_{\text{км}} = \frac{H_a}{\eta_{oi}^{\text{км}}} = \frac{222}{0,75} = 296 \text{ кДж/кг}.$$

Дійсна ентальпія холодоагенту на виході з компресора, в точці 2, (рис. 2.2)

$$h_2 = h_1 + H_p = 1675 + 296 = 1971 \text{ кДж/кг.}$$

Питома теплота, відведена з конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3 = 1971 - 710 = 1261 \text{ кДж/кг.}$$

Витрата холодоагенту

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 10^3}{q_{\text{в}}} = \frac{21 \cdot 10^3}{965} = 21,76 \text{ кг/с.}$$

Потужність, яка витрачається на компресор,

$$N_{\text{км}} = \frac{G_{\text{ха}} \cdot H_p}{\eta_{\text{ем}} \cdot 10^3} = \frac{21,76 \cdot 296}{0,95 \cdot 10^3} = 6,78 \text{ МВт.}$$

Теплова потужність конденсатора

$$Q_k = G_{\text{ха}} \cdot q_k \cdot \eta_{\text{то}} \cdot 10^3 = 21,76 \cdot 1261 \cdot 0,98 \cdot 10^{-3} = 26,89 \text{ МВт}$$

або з рівняння (*equation*) енергетичного балансу ТНУ

$$Q_k = N_{\text{км}} + Q_{\text{в}} = 6,78 + 21 = 27,78 \text{ МВт.}$$

Примітка. Рівняння енергетичного балансу ТНУ має похибку до 5%.

Коефіцієнт перетворення реального теплонасосного циклу

$$\varphi = \frac{Q_k}{N_{\text{км}}} = \frac{26,89}{6,78} = 3,976.$$

Коефіцієнт перетворення циклу Карно (теоретичний)

$$\varphi_T = \frac{T_k}{T_k - T_{\text{в}}} = \frac{338}{338 - 286} = 6,5.$$

Приклад 2.2

У випарник парокомпресійної теплонасосної установки надходить вода з температурою $t'_{\text{в}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, а виходить з температурою $t''_{\text{в}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Теплова потужність випарника складає $Q_{\text{в}} = 9 \text{ МВт}$. Температура навколишнього

середовища складає $T_{\text{нс}} = 293 \text{ К}$. Температури води на вході та виході з конденсатора складають відповідно $t'_k = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ і $t''_k = 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Холодоагентом є аміак. Відносний внутрішній ККД компресора складає $\eta_{oi}^{\text{KM}} = 0,75$, а електромеханічний ККД $\eta_{em} = 0,95$. ККД теплообмінників $\eta_{\text{то}} = 0,98$. Величина недогріву води у випарнику та конденсаторі складає $\theta = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Визначити масову витрату холодоагенту, потужність компресора, теплову потужність конденсатора, ексергетичну потужність підведеної та відведеної теплоти, ексергетичний ККД теплонасосної установки. Навести схему ТНУ та зображення циклу на $\lg P-h$ діаграмі.

Розв'язання

Принципова схема парокомпресійної ТНУ показана на рис. 2.1.

Побудова циклу парокомпресійної ТНУ на $\lg P-h$ діаграмі показана на рис. 2.2.

Для побудови циклу парокомпресійної ТНУ на діаграмі необхідно визначити температури випаровування та конденсації холодоагенту.

Температура конденсації холодоагенту

$$t_k = t''_k + \theta = 60 + 5 = 65 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура випаровування холодоагенту

$$t_b = t''_b - \theta = 18 - 5 = 13 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Будуємо цикл парокомпресійної ТНУ на $\lg P-h$ діаграмі аміаку.

Визначаємо ентальпію холодоагенту у відповідних точках циклу

$$h_1 = 1675 \text{ кДж/кг}; h_3 = h_4 = 710 \text{ кДж/кг}; h_{2a} = 1897 \text{ кДж/кг}.$$

Питома теплота, підведена до випарника

$$q_b = h_1 - h_4 = 1675 - 710 = 965 \text{ кДж/кг}.$$

Адіабатний теплоперепад в компресорі

$$H_a = l_{\text{кмо}} = h_{2a} - h_1 = 1897 - 1675 = 222 \text{ кДж/кг}.$$

Дійсний робочий теплоперепад в компресорі

$$H_p = l_{\text{км}} = \frac{H_a}{\eta_{\text{oi}}^{\text{км}}} = \frac{222}{0,75} = 296 \text{ кДж/кг.}$$

Дійсна ентальпія холодоагенту на виході з компресора

$$h_2 = h_1 + H_p = 1675 + 296 = 1971 \text{ кДж/кг.}$$

Питома теплота, відведена з конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3 = 1971 - 710 = 1261 \text{ кДж/кг.}$$

Витрата холодоагенту

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 10^3}{q_{\text{в}}} = \frac{9 \cdot 10^3}{965} = 9,33 \text{ кг/с.}$$

Потужність, яка витрачається на компресор

$$N_{\text{км}} = \frac{G_{\text{ха}} \cdot H_p}{\eta_{\text{ем}} \cdot 10^3} = \frac{9,33 \cdot 296}{0,95 \cdot 10^3} = 2,9 \text{ МВт.}$$

Теплова потужність конденсатора

$$Q_k = G_{\text{ха}} \cdot q_k \cdot \eta_{\text{то}} \cdot 10^{-3} = 9,33 \cdot 1261 \cdot 0,98 \cdot 10^{-3} = 11,53 \text{ МВт}$$

або з рівняння енергетичного балансу ТНУ

$$Q_k = N_{\text{км}} + Q_{\text{в}} = 2,9 + 9 = 11,9 \text{ МВт.}$$

Примітка. Рівняння енергетичного балансу ТНУ має похибку до 5%.

Середньотермодинамічна температура відведення теплоти в конденсаторі

$$T_k^{\text{ср}} = 273 + \frac{t'_k + t''_k}{2} = 273 + \frac{50 + 60}{2} = 328 \text{ К.}$$

Середньотермодинамічна температура підведення теплоти у випарнику

$$T_B^{cp} = 273 + \frac{t'_B + t''_B}{2} = 273 + \frac{25 + 18}{2} = 294,5 \text{ К.}$$

Ексергетична потужність відведеної з конденсатора теплоти

$$E_{Q_K} = Q_K \cdot \left(1 - \frac{T_{HC}}{T_H^{cp}}\right) = 11,53 \left(1 - \frac{293}{328}\right) = 1,23 \text{ МВт.}$$

Ексергетична потужність підведеної у випарник теплоти

$$E_{Q_B} = Q_B \cdot \left(1 - \frac{T_{HC}}{T_B^{cp}}\right) = 9 \left(1 - \frac{293}{294,5}\right) = 0,046 \text{ МВт.}$$

Ексергетичний ККД теплонасосної установки

$$\eta_c = \frac{E_{Q_K}}{E_{Q_B} + N_{KM}} = \frac{1,23}{0,046 + 2,9} = 0,418.$$

Приклад 2.3

Теплова потужність конденсатора теплонасосної установки становить $Q_K = 10$ МВт. Температура конденсації холодоагенту $t_K = 75$ °С. Холодоагентом є аміак. Величина недогріву води у випарнику та конденсаторі складає $\theta = 3$ °С. Відносний внутрішній ККД компресора складає $\eta_{oi}^{KM} = 0,75$, а електромеханічний ККД $\eta_{em} = 0,95$. ККД теплообмінників $\eta_{to} = 0,98$. Температура води на вході в конденсатор становить $t'_K = 50$ °С.

Визначити температуру випаровування холодоагенту t_B , масову витрату холодоагенту, потужність компресора, теплову потужність випарника, коефіцієнт перетворення ТНУ та ексергетичний ККД. У випарник парокompресійної ТНУ надходить вода з температурою $t'_B = 25$ °С, а виходить з температурою $t''_B = 18$ °С. Температура навколишнього середовища $T_{HC} = 293$ К. Навести схему ТНУ та зображення циклу на lg P-h діаграмі.

Розв'язання

Принципова схема парокompресійної ТНУ показана на рис. 2.1.

Побудова циклу парокompресійної ТНУ на lg P-h діаграмі показана на рис. 2.2.

Для побудови циклу парокомпресійної ТНУ на діаграмі необхідно визначити температуру випаровування холодоагенту.

Температура випаровування холодоагенту

$$t_B = t_B'' - \theta = 18 - 3 = 15 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Будуємо цикл парокомпресійної ТНУ на lg P-h діаграмі аміаку.

Визначаємо ентальпію холодоагенту у відповідних точках циклу

$$h_1 = 1678 \text{ кДж/кг}; h_3 = h_4 = 770 \text{ кДж/кг}; h_{2a} = 1930 \text{ кДж/кг}.$$

Визначаємо температуру води на виході з конденсатора теплового насоса

$$t_K'' = t_K - \theta = 75 - 3 = 72 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Питома теплота, підведена до випарника

$$q_B = h_1 - h_4 = 1678 - 770 = 908 \text{ кДж/кг}.$$

Адіабатний теплоперепад в компресорі

$$H_a = l_{\text{кмо}} = h_{2a} - h_1 = 1930 - 1678 = 252 \text{ кДж/кг}.$$

Дійсний робочий теплоперепад в компресорі

$$H_p = l_{\text{км}} = \frac{H_a}{\eta_{oi}^{\text{км}}} = \frac{252}{0,75} = 336 \text{ кДж/кг}.$$

Дійсна ентальпія холодоагенту на виході з компресора

$$h_2 = h_1 + H_p = 1678 + 336 = 2014 \text{ кДж/кг}.$$

Питома теплота, відведена з конденсатора

$$q_K = h_2 - h_3 = 2014 - 770 = 1244 \text{ кДж/кг}.$$

Витрата холодоагенту

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_K \cdot 10^3}{q_K \cdot \eta_{\text{то}}} = \frac{10 \cdot 10^3}{1244 \cdot 0,98} = 8,2 \text{ кг/с}.$$

Потужність, яка витрачається на компресор

$$N_{\text{км}} = \frac{G_{\text{ха}} \cdot H_{\text{р}}}{\eta_{\text{ем}} \cdot 10^3} = \frac{8,2 \cdot 336}{0,95 \cdot 10^3} = 2,9 \text{ МВт.}$$

Теплова потужність випарника

$$Q_{\text{в}} = G_{\text{ха}} \cdot q_{\text{в}} \cdot 10^{-3} = 8,2 \cdot 908 \cdot 10^{-3} = 7,45 \text{ МВт}$$

або з рівняння енергетичного балансу ТНУ

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{к}} - N_{\text{км}} = 10 - 2,9 = 7,1 \text{ МВт.}$$

Примітка. Рівняння енергетичного балансу ТНУ має похибку до 5%.

Коефіцієнт перетворення реального теплонасосного циклу

$$\varphi = \frac{Q_{\text{к}}}{N_{\text{км}}} = \frac{10}{2,9} = 3,448.$$

Середньотермодинамічна температура відведення теплоти в конденсаторі

$$T_{\text{к}}^{\text{ср}} = 273 + \frac{t'_{\text{к}} + t''_{\text{к}}}{2} = 273 + \frac{50 + 72}{2} = 334 \text{ К.}$$

Середньотермодинамічна температура підведення теплоти у випарнику

$$T_{\text{в}}^{\text{ср}} = 273 + \frac{t'_{\text{в}} + t''_{\text{в}}}{2} = 273 + \frac{25 + 18}{2} = 294,5 \text{ К.}$$

Ексергетична потужність відведеної з конденсатора теплоти

$$E_{Q_{\text{к}}} = Q_{\text{к}} \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{НС}}}{T_{\text{к}}^{\text{ср}}}\right) = 10 \left(1 - \frac{293}{334}\right) = 1,23 \text{ МВт.}$$

Ексергетична потужність підведеної у випарник теплоти

$$E_{Q_{\text{в}}} = Q_{\text{в}} \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{НС}}}{T_{\text{в}}^{\text{ср}}}\right) = 7,45 \left(1 - \frac{293}{294,5}\right) = 0,038 \text{ МВт.}$$

Ексергетичний ККД теплонасосної установки

$$\eta_e = \frac{E_{Q_k}}{E_{Q_b} + N_{км}} = \frac{1,23}{0,038 + 2,9} = 0,419.$$

Приклад 2.4

Потужність конденсатора теплового насоса складає $Q_k = 10$ МВт. Температура випаровування холодоагенту становить $t_b = 13$ °С, температура конденсації $t_k = 80$ °С. Відносний внутрішній ККД компресора $\eta_{oi}^{км} = 0,75$; електромеханічний ККД $\eta_{ем} = 0,95$. ККД теплообмінників $\eta_{то} = 0,98$. Холодоагент – R401A. Величину перегріву пари холодоагенту в проміжному охолоднику конденсату прийняти рівною $\theta = 7$ °С. Визначити масову витрату холодоагенту, потужності випарника та компресора, коефіцієнт перетворення реального теплонасосного циклу та циклу Карно. Навести схему теплонасосної установки та зображення циклу на lg P-h діаграмі.

Розв'язання

Принципова схема парокомпресійної ТНУ з проміжним перегрівником пари показана на рис. 2.3. Побудова циклу парокомпресійної ТНУ з проміжним перегрівником пари на lg P-h діаграмі наведена на рис. 2.4.

Визначаємо температуру перегрітої пари холодоагенту на виході з перегрівника пари (охолодника конденсату) $t'_1 = t_b + \theta_{п} = 13 + 7 = 20$ °С.

З діаграми визначаємо ентальпії холодоагенту у відповідних точках циклу:

$$h'_1 = 420 \text{ кДж/кг}; h_3 = 313 \text{ кДж/кг}; h_1 = 415 \text{ кДж/кг}; h_{2a} = 415 \text{ кДж/кг}.$$

Питома теплота, яку сприймає пара холодоагенту в охолоднику

$$q_{по} = h'_1 - h_1 = 420 - 415 = 5 \text{ кДж/кг}.$$

Ентальпія рідкого холодоагенту на виході охолодника (ентальпія конденсату)

$$h'_3 = h_3 - q_{по} = 313 - 5 = 308 \text{ кДж/кг}.$$

Ентальпія холодоагенту після дроселя

$$h_4 = h'_3 = 308 \text{ кДж/кг}.$$

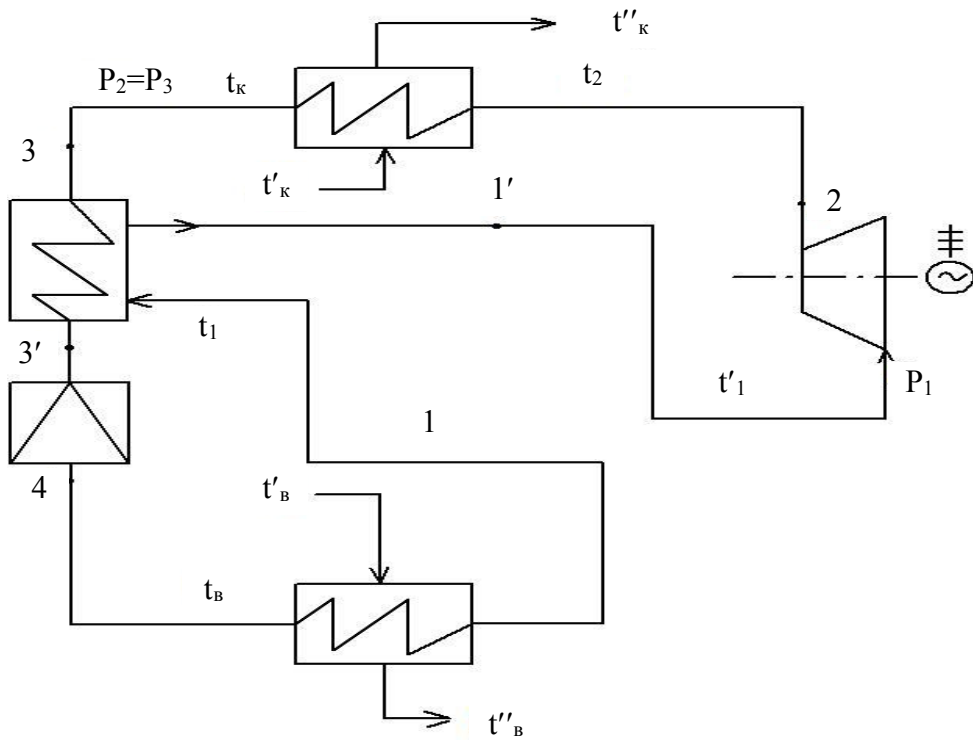


Рисунок 2.3 – Принципова схема парокompресійної ТНУ з проміжним перегрівником пари

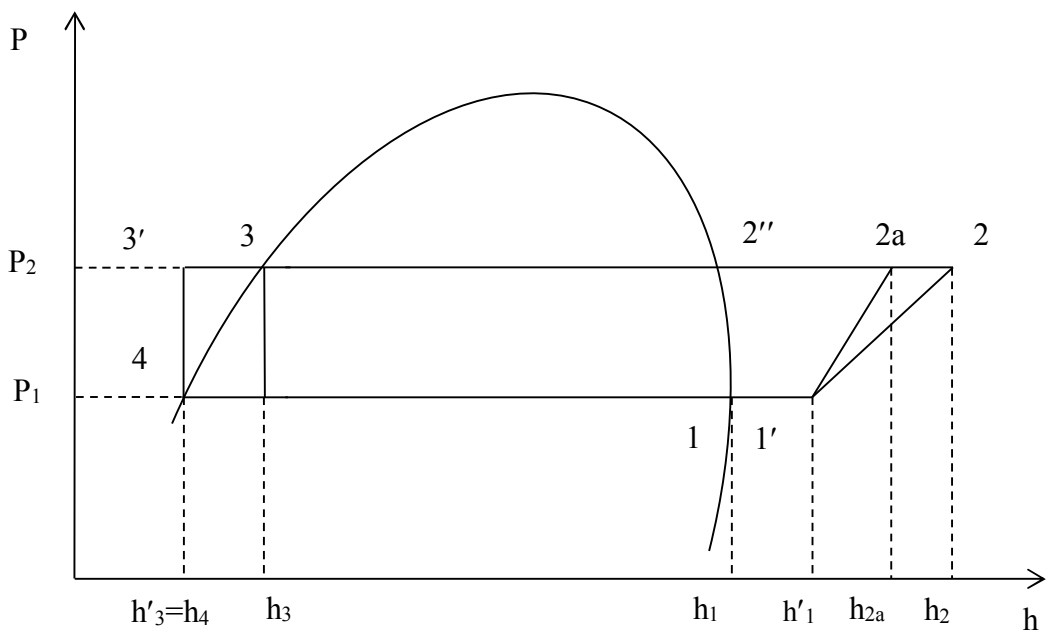


Рисунок 2.4 – Цикл парокompресійної ТНУ з проміжним перегрівником пари на $\lg P-h$ діаграмі

Питома теплота, підведена до випарника

$$q_v = h_1 - h_4 = 415 - 308 = 107 \text{ кДж/кг.}$$

Адіабатний теплоперепад в компресорі

$$H_a = l_{\text{кмо}} = h_{2a} - h'_1 = 460 - 420 = 40 \text{ кДж/кг.}$$

Дійсний робочий теплоперепад в компресорі

$$H_p = l_{\text{км}} = \frac{H_a}{\eta_{oi}^{\text{км}}} = \frac{40}{0,75} = 53,3 \text{ кДж/кг.}$$

Дійсна ентальпія холодоагенту за компресором

$$h_2 = h'_1 + H_p = 420 + 53,3 = 473,3 \text{ кДж/кг.}$$

Питома теплота, відведена з конденсатора

$$q_k = h_2 - h_3 = 473,3 - 313 = 160,3 \text{ кДж/кг.}$$

Витрата холодоагенту

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_k \cdot 10^3}{q_k \cdot \eta_{\text{то}}} = \frac{10 \cdot 10^3}{160,3 \cdot 0,98} = 63,6 \text{ кг/с.}$$

Потужність компресора

$$N_{\text{км}} = \frac{G_{\text{ха}} \cdot H_p}{\eta_{\text{ем}} \cdot 10^3} = \frac{63,6 \cdot 53,3}{0,95 \cdot 10^3} = 3,5 \text{ МВт.}$$

Потужність випарника

$$Q_v = G_{\text{ха}} \cdot q_v \cdot 10^{-3} = 62,4 \cdot 107 \cdot 10^{-3} = 62,4 \cdot 107 \cdot 10^{-3} = 6,68 \text{ МВт.}$$

Коефіцієнт перетворення реального теплонасосного циклу

$$\varphi = \frac{Q_k}{N_{\text{км}}} = \frac{10}{3,5} = 2,86.$$

Коефіцієнт перетворення циклу Карно (теоретичний)

$$\varphi_T = \frac{T_K}{T_K - T_B} = \frac{353}{353 - 286} = 6,27.$$

Приклад 2.5

Визначити холодильний і ексергетичний ККД, потужності компресора і детандера повітряної холодильної машини (рис. 2.5), якщо відомо: витрата повітря $V = 7200 \text{ м}^3/\text{год}$; параметри навколишнього середовища $B = 755 \text{ мм рт. ст.}$; $v_{\text{nc}} = 0,833 \text{ м}^3/\text{кг}$; температура повітря в холодильній камері ($t_0 = -13 \text{ }^\circ\text{C}$); величина недогріву в холодильній камері та газоохолоднику $\theta = 5 \text{ }^\circ\text{C}$; холодовидатність $Q_0 = 120 \text{ кВт}$; ККД компресора і детандера 0,84 і 0,86, відповідно.

Розв'язання

Атмосферний тиск, кПа

$$P_{\text{nc}} = (B/750) 100 = (755/750) 100 = 101.$$

Температура навколишнього повітря, К

$$T_{\text{nc}} = P_{\text{nc}} v_{\text{nc}}/R = 101 \cdot 0,833/0,287 = 290.$$

Масова витрата повітря, кг/с

$$G = V/(v_{\text{nc}} \cdot 3600) = 7200 / (0,833 \cdot 3600) = 2,4.$$

Питома холодовидатність, кДж/кг

$$q_0 = Q/G = 120/2,4 = 50.$$

Температури повітря на виході з газоохолодника і холодильної камери, відповідно, К

$$T_3 = T_{\text{nc}} + \theta = 290 + 5 = 295,$$

$$T_1 = T_0 - \theta = 260 - 5 = 255.$$

Температура повітря на виході з детандера, К

$$T_4 = T_1 - q_0/C_p = 255 - 50/1 = 205.$$

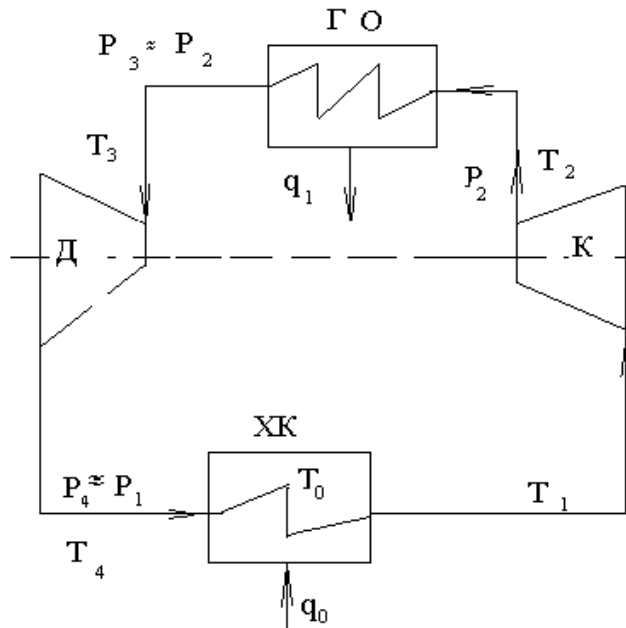


Рисунок 2.5 – Схема повітряної холодильної машини:
 ХК – холодильна камера; К – компресор; ГО – газоохолодник;
 Д – детандер

Питома робота в детандері, кДж/кг

$$l_d = C_p(T_3 - T_4) = 1 (295 - 205) = 90.$$

Міра зменшення тиску в детандері

$$\lambda = (T_3/T_4)^{k/(k-1)} = (295/205)^{1,4/(1,4-1)} = 3,57.$$

Температура повітря за компресором, К

$$T_2 = T_1[1 + (\lambda^{(k-1)/k} - 1)/\eta_k] = 255 [1 + (3,57^{(1,4-1)/1,4} - 1) / 0,84] = 388.$$

Питома робота компресора, кДж/кг

$$l_k = C_p (T_2 - T_1) = 1 (388 - 255) = 133.$$

Потужність детандера і компресора, кВт

$$N_d = G l_d = 2,4 \cdot 90 = 216$$

$$N_k = G l_k = 2,4 \cdot 133 = 319.$$

Питома робота циклу, кДж/кг

$$l_{\text{ц}} = l_k - l_d = 133 - 90 = 43.$$

Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = q_o/l_{ц} = 50/43 = 1,163.$$

Питома теплота, яка відведена в газоохолоднику, кДж/кг

$$q_1 = q_o + l_{ц} = 50 + 43 = 93.$$

Питома ексергія підведеної теплоти, кДж/кг

$$e_{xqo} = q_o (T_{nc} / T_o - 1) = 50 (290 / 260 - 1) = 5,77.$$

Ексергетичний ККД холодильної машини

$$\eta_e = e_{xqo}/l_{ц} = 5,77/43 = 0,134.$$

Приклад 2.6

Визначити потужність компресора, холодильний коефіцієнт, ексергетичний ККД парокомпресійної холодильної машини, робочим тілом якої є аміак, якщо теплопродуктивність $Q_1 = 3000$ кВт, температура в холодильній камері $t_o = -15$ °С; температура навколишнього середовища $t_{nc} = 25$ °С; величина недогріву в конденсаторі та випарнику $\theta = 5$ °С, ефективний ККД компресора $\eta_{oi}^{KM} = 0,84$.

Розв'язання

Принципова схема парокомпресійної ХМ показана на рис. 2.6. Побудова циклу парокомпресійної ХМ на $\lg P-h$ діаграмі показана на рис. 2.7.

Для побудови циклу парокомпресійної ХМ на діаграмі необхідно визначити температури випаровування та конденсації холодоагенту.

Температура конденсації холодоагенту

$$t_k = t_{nc} + \theta = 25 + 5 = 30 \text{ °С.}$$

Температура випаровування холодоагенту

$$t_b = t_o - \theta = -15 - 5 = -20 \text{ °С.}$$

Будуємо цикл парокомпресійної ХМ на $\lg P-h$ діаграмі. Визначаємо ентальпію холодоагенту у відповідних точках циклу (рис. 2.7):

$$h_1 = 1640 \text{ кДж/кг; } h_3 = h_4 = 550 \text{ кДж/кг; } h_{2a} = 1920 \text{ кДж/кг.}$$

Питома холодопродуктивність

$$q_o = h_1 - h_4 = 1640 - 550 = 1090 \text{ кДж/кг.}$$

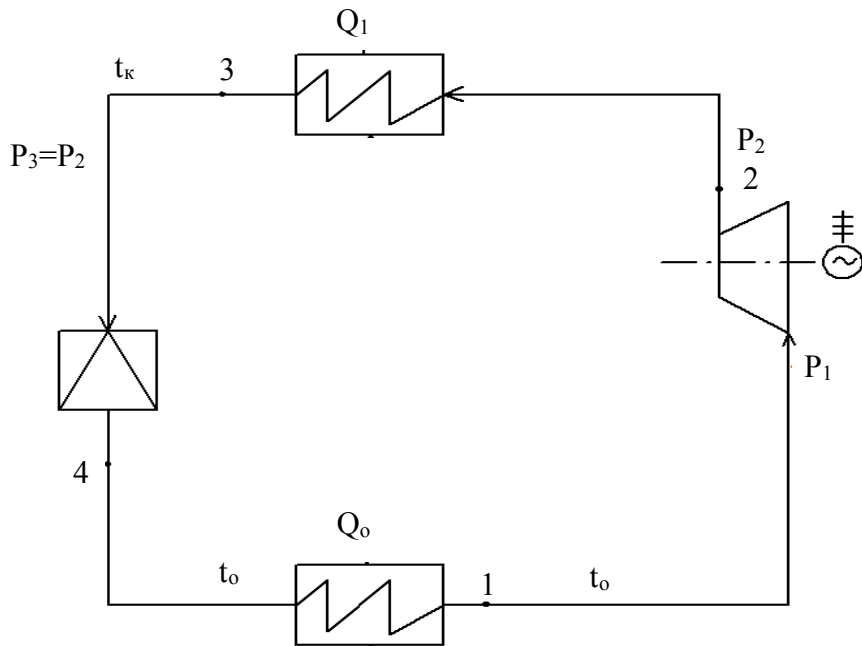


Рисунок 2.6 – Принципова схема парокompресійної ХМ

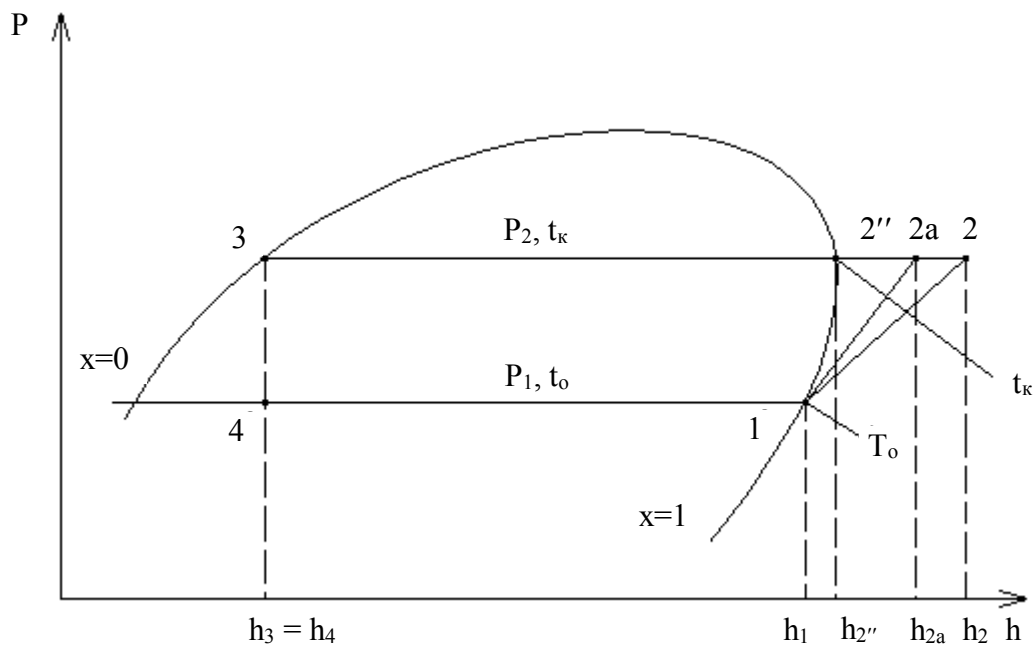


Рисунок 2.7 – Цикл парокompресійної ХМ на lg P-h діаграмі

Адіабатний теплоперепад в компресорі

$$H_a = l_{\text{кмо}} = h_{2a} - h_1 = 1920 - 1640 = 280 \text{ кДж/кг.}$$

Дійсний робочий теплоперепад в компресорі

$$H_p = l_{\text{км}} = \frac{H_a}{\eta_{oi}^{\text{км}}} = \frac{280}{0,84} = 333 \text{ кДж/кг.}$$

Дійсна ентальпія холодоагенту на виході з компресора, в точці 2, (рис. 2.7)

$$h_2 = h_1 + H_p = 1640 + 333 = 1973 \text{ кДж/кг.}$$

Питома теплота, відведена з конденсатора (питома теплопродуктивність)

$$q_1 = h_2 - h_3 = 1973 - 550 = 1423 \text{ кДж/кг.}$$

Витрата холодоагенту

$$G_{\text{ха}} = \frac{Q_1 \cdot 10^3}{q_1} = \frac{3 \cdot 10^3}{1423} = 2,11 \text{ кг/с.}$$

Потужність, яка витрачається на компресор,

$$N_{\text{км}} = \frac{G_{\text{ха}} \cdot H_p}{10^3} = \frac{2,11 \cdot 333}{10^3} = 0,702 \text{ МВт.}$$

Холодильна потужність

$$Q_o = G_{\text{ха}} \cdot q_o \cdot 10^3 = 2,11 \cdot 1090 \cdot 10^{-3} = 2,298 \text{ МВт.}$$

Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = \frac{Q_o}{N_{\text{км}}} = \frac{2,298}{0,702} = 3,27.$$

Ексергетичний ККД циклу парокомпресійної ХМ

$$\eta_e = \left(\frac{T_{\text{НС}}}{T_{\text{В}}} - 1 \right) \cdot \varepsilon = \left(\frac{298}{253} - 1 \right) \cdot 3,27 = 0,58.$$

3 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

Тест 1. Холодильні машини

1. Який із законів термодинаміки покладений у принцип роботи холодильних машин?

- 1) перший закон термодинаміки;
- 2) другий закон термодинаміки;
- 3) узагальнені рівняння термодинаміки.

2. Як здійснюється перенесення теплоти в холодильній машині?

- 1) з нижчого температурного рівня на вищий;
- 2) з вищого температурного рівня на нижчий;
- 3) за законом Фур'є.

3. Як визначається дієний робочий теплоперепад в компресорі ХМ?

- 1) $h_p = h_2 - h_1$;
- 2) $h_p = h_{2a} - h_1$;
- 3) $h_p = h_{2a} - h_3$;
- 4) $h_p = h_3 - h_{2a}$;
- 5) $h_p = h_1 - h_{2a}$.

4. Як визначається питома холодопродуктивність ХМ?

- 1) $q_o = h_1 - h_4$;
- 2) $q_o = h_2 - h_4$;
- 3) $q_o = h_3 - h_4$;
- 4) $q_o = h_{2a} - h_1$;
- 5) $q_o = h_2 - h_3$.

5. Як визначається питома теплопродуктивність ХМ?

- 1) $q_1 = h_1 - h_4$;
- 2) $q_1 = h_2 - h_4$;
- 3) $q_1 = h_2 - h_3$;
- 4) $q_1 = h_{2a} - h_3$;
- 5) $q_1 = h_{2a} - h_1$.

6. Які значення може приймати холодильний коефіцієнт ХМ?

- 1) 1;
- 2) <1 ;
- 3) 0;
- 4) >1 .

7. Який показник визначає термодинамічну досконалість холодильної машини?

- 1) коефіцієнт перетворення;
- 2) холодильний коефіцієнт;
- 3) термічний ККД;
- 4) ексергетичний ККД;
- 5) відносний внутрішній ККД;

6) фактор Карно.

8. Як визначається адіабатний теплоперепад в компресорі?

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1) $h_{2a} - h_1$; | 4) $h_2 - h_3$; |
| 2) $h_2 - h_1$; | 5) $h_1 - h_{2a}$; |
| 3) $h_{2a} - h_3$; | 6) $h_1 - h_2$. |

9. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється у випарнику ХМ?

- 1) ізобарне підведення теплоти;
- 2) адіабатне підведення теплоти;
- 3) ізобарне відведення теплоти;
- 4) адіабатне відведення теплоти;
- 5) адіабатне стиснення;
- 6) адіабатне розширення.

10. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється в конденсаторі ХМ?

- 1) адіабатне стиснення;
- 2) адіабатне розширення;
- 3) адіабатне підведення теплоти;
- 4) адіабатне відведення теплоти;
- 5) ізобарне підведення теплоти;
- 6) ізобарне відведення теплоти.

11. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється у дроселі?

- 1) адіабатне розширення;
- 2) адіабатне стиснення;
- 3) ізобарне розширення;
- 4) ізобарне стиснення;
- 5) ізобарне підведення теплоти;
- 6) адіабатне підведення теплоти;
- 7) ізобарне відведення теплоти;
- 8) адіабатне відведення теплоти.

12. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється в компресорі?

- 1) адіабатне стиснення;
- 2) політропне стиснення;
- 3) адіабатне розширення;
- 4) політропне розширення;

- 5) адіабатне підведення теплоти;
- 6) політропне підведення теплоти;
- 7) ізобарне підведення теплоти;
- 8) ізобарне відведення теплоти;
- 9) політропне відведення теплоти.

13. Як визначається холодильна потужність ХМ?

- 1) $Q_1 - N_{\text{км}}$;
- 2) $N_{\text{км}} - Q_1$;
- 3) $N_{\text{км}} + Q_1$;
- 4) $1 - N_{\text{км}}$;
- 5) $1 - Q_1$.

14. Як визначається теплова потужність конденсатора ХМ?

- 1) $N_{\text{км}} + Q_0$;
- 2) $N_{\text{км}} - Q_0$;
- 3) $Q_0 - N_{\text{км}}$;
- 4) $1 + Q_0 + N_{\text{км}}$;
- 5) $Q_0 + N_{\text{км}} - 1$.

15. Як визначається потужність компресора?

- 1) $Q_0 - Q_1$;
- 2) $Q_1 + Q_0$;
- 3) $Q_0 + 1$;
- 4) $Q_1 - Q_0$;
- 5) $Q_1 + 1$.

16. Як визначається витрата холодоагенту в ХМ?

- 1) Q_1/q_1 ;
- 2) Q_1/q_0 ;
- 3) $N_{\text{км}}/l_{\text{км}}$;
- 4) Q_0/q_0 ;
- 5) $Q_1/l_{\text{км}}$;
- 6) $N_{\text{км}}/q_1$.

17. Як співвідносяться між собою значення холодильного коефіцієнта та коефіцієнта перетворення?

- 1) вони приймають однакові значення;
- 2) холодильний коефіцієнт більший за коефіцієнт перетворення;
- 3) холодильний коефіцієнт менший за коефіцієнт перетворення.

18. Як визначається холодильний коефіцієнт перетворення пароконпресійної ХМ?

- 1) $Q_1/N_{\text{км}}$;
- 2) $N_{\text{км}}/Q_1$;
- 3) $Q_0/N_{\text{км}}$;
- 4) $N_{\text{км}}/Q_0$;
- 5) Q_1/Q_0 ;
- 6) $Q_1 - Q_0 + 1$.

19. Що характеризує холодильний коефіцієнт холодильної машини?

- 1) кількість відведеної теплоти на одиницю витраченої енергії;
- 2) кількість витраченої енергії на одиницю відведеної теплоти;
- 3) кількість витраченої енергії на одиницю підведеної теплоти;
- 4) кількість підведеної теплоти на одиницю витраченої енергії.

20. Як визначається фактор Карно у випарнику ХМ?

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1) $T_{\text{HC}}/T_0 - 1$; | 4) $1 - T_{\text{HC}}/T_0$; |
| 2) $1 - T_{\text{HC}}/T_0$; | 5) не визначається. |
| 3) $T_{\text{HC}}/T_1 - 1$; | |

Тест 2. Класифікація теплових насосів

1. Які холодоагенти використовуються в парокомпресійних теплових насосах?

- | | |
|-----------|-----------|
| 1) R134a; | 6) R600a; |
| 2) R142b; | 7) R407C; |
| 3) R11; | 8) R717; |
| 4) R12; | 9) R290. |
| 5) R22; | |

2. Які установки називаються тепловими насосами?

- 1) які переносять теплоту від менш нагрітого тіла до більш нагрітого;
- 2) які переносять теплоту від більш нагрітого тіла до менш нагрітого;
- 3) насоси, що перекачують гарячі рідини;
- 4) насоси, що перекачують теплі рідини.

3. Як теплонасосні установки поділяють за принципом дії?

- 1) струминні;
- 2) сорбційні;
- 3) компресійні;
- 4) термоелектричні;
- 5) з тепловим приводом;
- 6) з електричним приводом;
- 7) з механічним приводом.

4. Які теплонасосні установки називають компресійними?

1) ТН, в яких для стиснення холодоагенту використовується механічний компресор;

2) ТН, в яких використовується ефект Пельтьє;

3) ТН, в яких стиснення холодоагенту відбувається за допомогою розчинника;

4) ТН, в яких є струминний компресор.

5. Які теплонасосні установки називають сорбційними?

1) з використанням теплоти термохімічних реакцій;

2) зі струминним компресором;

3) де робочим тілом є водяна пара.

6. Які теплонасосні установки називають абсорбційними?
- 1) де процес сорбції здійснюється в усьому об'ємі абсорбенту;
 - 2) де процес сорбції відбувається на поверхні адсорбенту, який перебуває в твердій фазі;
 - 3) з використанням теплоти термохімічних реакцій.
7. Які теплонасосні установки називають адсорбційними?
- 1) де процес сорбції відбувається на поверхні адсорбенту, який перебуває в твердій фазі;
 - 2) де процес сорбції здійснюється в усьому об'ємі абсорбенту;
 - 3) з використанням термохімічних реакцій.
8. Які теплонасосні установки називають термоелектричними?
- 1) з електричним приводом компресора;
 - 2) де є електронагрівник;
 - 3) які працюють за ефектом Пельтьє.
9. Які теплонасосні установки називають струминними?
- 1) де є потік теплоносія;
 - 2) де відбуваються хімічні реакції;
 - 3) зі струминним компресором;
 - 4) з ефектом термопар.
10. Як теплові насоси поділяють за типом привода?
- 1) парокомпресійні;
 - 2) газоконпресійні;
 - 3) струминні;
 - 4) термоелектричні;
 - 5) з механічним приводом;
 - 6) з тепловим приводом;
 - 7) з електроприводом.
11. Які природні джерела низькотемпературної теплоти можуть бути використані в теплонасосних установках?
- 1) поверхневі води;
 - 2) ґрунтові води;
 - 3) повітря;
 - 4) ґрунт;
 - 5) сонячна радіація;
 - 6) трава;
 - 7) дрова;
 - 8) вітер.

12. Які вторинні енергоресурси можуть бути використані як джерела низькотемпературної теплоти для теплонасосних установок?

- 1) вода з охолодження конденсаторів парових турбін;
- 2) відпрацьована пара;
- 3) гаряче повітря;
- 4) горючий газ;
- 5) каналізаційні стоки;
- 6) біогаз;
- 7) тирса;
- 8) лушпиння.

13. Які теплові насоси називають бівалентними?

- 1) установка з двох теплових насосів;
- 2) з додатковим джерелом теплоти;
- 3) установка з трьох теплових насосів;
- 4) з можливістю використання двох джерел низькотемпературної теплоти.

14. Які недоліки абсорбційних теплонасосних установок?

- 1) використання високотемпературних теплоносіїв;
- 2) низький коефіцієнт перетворення;
- 3) використання холодних теплоносіїв;
- 4) ефект термохімічних реакцій.

15. Від яких чинників залежить значення коефіцієнта перетворення парокompresійної ТНУ?

- 1) від температур високотемпературного та низькотемпературного джерела теплоти;
- 2) від термодинамічних властивостей робочого тіла;
- 3) від особливостей термодинамічного циклу ТН;
- 4) від технічної досконалості конструкції теплового насоса.

16. Який вираз має рівняння теплового балансу парокompresійної теплонасосної установки?

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| 1) $Q_k = N_{km} + Q_b$; | 4) $Q_b = Q_k + N_{km}$; |
| 2) $Q_k = N_{km} - Q_b$; | 5) $Q_{ab} + Q_k = Q_\Gamma + Q_H$; |
| 3) $N_{km} = Q_k + Q_b$; | 6) $Q_{ab} - Q_k = Q_\Gamma + Q_H$. |

17. Як визначається коефіцієнт перетворення (трансформації) теплоти в парокompresійній теплонасосній установці?

- | | |
|--------------------------------|---------------------|
| 1) $(Q_{ab} + Q_k)/Q_\Gamma$; | 3) Q_k/N_{km} ; |
| 2) $(Q_{ab} - Q_k)/Q_\Gamma$; | 4) $Q_k - N_{km}$. |

18. Як залежить значення коефіцієнта перетворення теплонасосної установки від температур випаровування та конденсації?

- 1) не залежить;
- 2) його значення прямо пропорційне різниці цих температур;
- 3) його значення тим більше, чим менша різниця цих температур.

19. Які переваги абсорбційних теплонасосних установок порівняно з парокompресійними?

- 1) використання теплової енергії для привода;
- 2) використання електричної енергії для привода;
- 3) вищий коефіцієнт перетворення.

20. Як визначається коефіцієнт перетворення (трансформації) теплоти в абсорбційних теплонасосних установках?

- 1) $(Q_{аб} + Q_{к})/Q_{Г}$;
- 2) $(Q_{аб} - Q_{к})/Q_{Г}$;
- 3) $Q_{к}/N_{км}$.

Тест 3. Показники роботи парокompресійної ТНУ

1. Як визначається дієний робочий теплоперепад в компресорі?

- 1) $h_p = h_2 - h_1$;
- 2) $h_p = h_{2a} - h_1$;
- 3) $h_p = h_{2a} - h_3$;
- 4) $h_p = h_3 - h_{2a}$;
- 5) $h_p = h_1 - h_{2a}$.

2. Як визначається питома теплота, підведена у випарник?

- 1) $q_v = h_1 - h_4$;
- 2) $q_v = h_2 - h_4$;
- 3) $q_v = h_3 - h_4$;
- 4) $q_v = h_{2a} - h_1$;
- 5) $q_v = h_2 - h_3$.

3. Як визначається питома теплота, відведена з конденсатора?

- 1) $q_k = h_1 - h_4$;
- 2) $q_k = h_2 - h_4$;
- 3) $q_k = h_2 - h_3$;
- 4) $q_k = h_{2a} - h_3$;
- 5) $q_k = h_{2a} - h_1$.

4. Які значення може приймати коефіцієнт перетворення теплового насоса?

- 1) 1;
- 2) <1 ;
- 3) 0;
- 4) >1 .

5. Який із законів термодинаміки покладений у принцип роботи теплового насоса?

- 1) перший закон термодинаміки;
- 2) другий закон термодинаміки;

- 3) узагальнені рівняння термодинаміки.
6. Як здійснюється перенесення теплоти у тепловому насосі?
- 1) з нижчого температурного рівня на вищий;
 - 2) з вищого температурного рівня на нижчий;
 - 3) за законом Фур'є.
7. Який показник визначає термодинамічну досконалість теплового насоса?
- 1) коефіцієнт перетворення;
 - 2) холодильний коефіцієнт;
 - 3) термічний ККД;
 - 4) ексергетичний ККД;
 - 5) відносний внутрішній ККД;
 - 6) фактор Карно.
8. Як визначається адіабатний теплоперепад в компресорі?
- 1) $h_{2a} - h_1$;
 - 2) $h_2 - h_1$;
 - 3) $h_{2a} - h_3$;
 - 4) $h_2 - h_3$;
 - 5) $h_1 - h_{2a}$;
 - 6) $h_1 - h_2$.
9. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється у випарнику?
- 1) ізобарне підведення теплоти;
 - 2) адіабатне підведення теплоти;
 - 3) ізобарне відведення теплоти;
 - 4) адіабатне відведення теплоти;
 - 5) адіабатне стиснення;
 - 6) адіабатне розширення.
10. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється в конденсаторі?
- 1) адіабатне стиснення;
 - 2) адіабатне розширення;
 - 3) адіабатне підведення теплоти;
 - 4) адіабатне відведення теплоти;
 - 5) ізобарне підведення теплоти;
 - 6) ізобарне відведення теплоти.
11. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється у дроселі?
- 1) адіабатне розширення;
 - 2) адіабатне стиснення;
 - 3) ізобарне розширення;

- 4) ізобарне стиснення;
- 5) ізобарне підведення теплоти;
- 6) адіабатне підведення теплоти;
- 7) ізобарне відведення теплоти;
- 8) адіабатне відведення теплоти.

12. Зазначте, який з термодинамічних процесів здійснюється в компресорі?

- 1) адіабатне стиснення;
- 2) політропне стиснення;
- 3) адіабатне розширення;
- 4) політропне розширення;
- 5) адіабатне підведення теплоти;
- 6) політропне підведення теплоти;
- 7) ізобарне підведення теплоти;
- 8) ізобарне відведення теплоти;
- 9) політропне відведення теплоти.

13. Як визначається теплова потужність випарника?

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1) $Q_k - N_{km}$; | 4) $1 - N_{km}$; |
| 2) $N_{km} - Q_k$; | 5) $1 - Q_k$. |
| 3) $N_{km} + Q_k$; | |

14. Як визначається теплова потужність конденсатора?

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1) $N_{km} + Q_b$; | 4) $1 + Q_b + N_{km}$; |
| 2) $N_{km} - Q_b$; | 5) $Q_b + N_{km} - 1$. |
| 3) $Q_b - N_{km}$; | |

15. Як визначається потужність компресора?

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) $Q_b - Q_k$; | 4) $Q_k - Q_b$; |
| 2) $Q_k + Q_b$; | 5) $Q_k + 1$. |
| 3) $Q_b + 1$; | |

16. Як визначається витрата холодоагенту?

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1) Q_k/q_k ; | 4) Q_b/q_b ; |
| 2) Q_k/q_b ; | 5) Q_k/l_{km} ; |
| 3) N_{km}/l_{km} ; | 6) N_{km}/q_k . |

17. Як співвідносяться між собою значення холодильного коефіцієнта та коефіцієнта перетворення?

- 1) вони приймають однакові значення;
- 2) холодильний коефіцієнт більший за коефіцієнт перетворення;
- 3) холодильний коефіцієнт менший за коефіцієнт перетворення.

18. Як визначається коефіцієнт перетворення циклу Карно в ТНУ?

- 1) $T_K/(T_K - T_B)$;
- 2) $T_K/(T_K + T_B)$;
- 3) $T_B/(T_B - T_K)$;
- 4) $T_B/(T_K + T_B)$;
- 5) $(T_K/T_B) - 1$.

19. Як визначається коефіцієнт перетворення парокompресійної ТНУ?

- 1) Q_K/N_{KM} ;
- 2) N_{KM}/Q_K ;
- 3) Q_B/N_{KM} ;
- 4) N_{KM}/Q_B ;
- 5) Q_K/Q_B ;
- 6) $Q_K - Q_B + 1$.

20. Що характеризує коефіцієнт перетворення теплового насоса?

- 1) кількість відведеної теплоти на одиницю витраченої енергії;
- 2) кількість витраченої енергії на одиницю відведеної теплоти;
- 3) кількість витраченої енергії на одиницю підведеної теплоти;
- 4) кількість підведеної теплоти на одиницю витраченої енергії.

Тест 4. Ексергетичний аналіз ТНУ

1. Як визначається фактор Карно у випарнику?

- 1) $T_{HC}/T_B - 1$;
- 2) $1 - T_{HC}/T_B$;
- 3) $T_{HC}/T_K - 1$;
- 4) $1 - T_{HC}/T_B$;
- 5) не визначається.

2. Як визначається фактор Карно в конденсаторі?

- 1) $1 - T_{HC}/T_K$;
- 2) $1 - T_{HC}/T_B$;
- 3) $T_{HC}/T_K - 1$;
- 4) $T_{HC}/T_B - 1$;
- 5) не визначається.

3. Як визначається фактор Карно в компресорі?

- 1) $T_{HC}/T_K - 1$;
- 2) не визначається;
- 3) $1 - T_{HC}/T_K$;
- 4) $T_{HC}/T_K + 1$.

4. Який вираз має рівняння енергетичного балансу теплового насоса?

- 1) $q_K = q_B + l_{KM}$;
- 2) $q_B = q_K = l_{KM}$;
- 3) $l_{KM} = q_B + q_K$;
- 4) $q_B = q_K + l_{KM}$.

5. Який вираз має рівняння ексергетичного балансу теплового насоса?

- 1) $e_{під} = e_{від} - \Delta e_{вт}$;
- 2) $e_{під} = e_{від} + \Delta e_{вт}$;
- 3) $e_{від} = e_{під} + \Delta e_{вт}$;
- 4) $e_{від} = e_{під} - \Delta e_{вт}$.

6. За яким із запропонованих співвідношень можна визначити коефіцієнт перетворення ТНУ?

- 1) Q_K/N_{KM} ;
- 2) Q_B/N_{KM} ;
- 3) N_{KM}/Q_K ;
- 4) N_{KM}/Q_B ;
- 5) Q_K/Q_B ;
- 6) Q_B/Q_K .

2) кількість роботи, яку можна отримати від системи при її оборотному приведенні у рівновагу з навколишнім середовищем;

3) міру втрати роботоспроможності системи.

16. Як визначається ексергія теплового потоку?

1) $e = a - 1$;

3) $a = q + e$;

2) $e = q - a$;

4) $q = a + e$.

17. Як визначається анергія теплоти?

1) $a = q$;

3) $a = q - 1$;

2) $a = e$;

4) $a = q - e$.

18. Як співвідносяться між собою значення теплового потоку, ексергії та анергії теплоти?

1) $q = a + e$;

3) $a = e + q$;

2) $e = a + q$;

4) $q = a - e$.

19. Який показник визначає термодинамічну досконалість теплового насоса?

1) коефіцієнт перетворення;

2) холодильний коефіцієнт;

3) термічний ККД;

4) ексергетичний ККД;

5) відносний внутрішній ККД;

6) фактор Карно.

20. Як визначається коефіцієнт перетворення теоретичного циклу ТНУ?

1) $T_K / (T_K - T_B)$;

4) $T_B / (T_K + T_B)$;

2) $T_K / (T_K + T_B)$;

5) $(T_K / T_B) - 1$.

3) $T_B / (T_B - T_K)$;

Тест 5. Теплонасосні станції

1. Що називають теплонасосною станцією?

1) комплексне енергетичне підприємство, призначене для централізованого теплопостачання;

2) насосну станцію, що перекачує гарячу воду;

3) насосну станцію, що перекачує теплу воду.

2. Як визначити витрату умовного палива на компресор ТНУ?

1) $Q_K / (Q_{HY}^p \cdot \eta_{ec} \cdot \eta_{em})$; 2) $N_{KM} / (Q_{HY}^p \cdot \eta_{ec} \cdot \eta_{em})$; 3) $Q_B / (Q_{HY}^p \cdot \eta_{ec} \cdot \eta_{em})$.

3. Підігрівання якої води здійснюється в тепловому насосі у складі ТНС?

- 1) сирій;
- 2) живильної;
- 3) мережної;
- 4) котлової;
- 5) підживлювальної.

4. Яке обладнання може входити до складу теплонасосної станції?

- 1) водогрійний котел;
- 2) газова турбіна;
- 3) двигун внутрішнього згорання;
- 4) конденсатний насос.

5. Вкажіть діапазон температур оптимального підігрівання теплоносія в ТНУ у складі ТНС?

- 1) 70 – 80 °С;
- 2) 50 – 60 °С;
- 3) 60 – 70 °С;
- 4) 65 – 75 °С;
- 5) 75 – 85 °С;
- 6) 55 – 65 °С.

6. Вкажіть температуру підігрівання води в водогрійному котлі ТНС?

- 1) T_{BK} ;
- 2) T_{TH} ;
- 3) T_K ;
- 4) T_B ;
- 5) $T_{ЗМВ}$;
- 6) $T_{ПМВ}$.

7. Як визначається навантаження водогрійного котла у складі ТНС?

- 1) пропорційно $(T_{ПМВ} - T_{ЗМВ})$;
- 2) пропорційно $(T_{ПМВ} - T_{TH})$;
- 3) пропорційно $(T_{ЗМВ} - T_{TH})$;
- 4) пропорційно $(T_{TH} - T_{ЗМВ})$;
- 5) пропорційно $(T_K - T_{ЗМВ})$;
- 6) пропорційно $(T_B - T_{ЗМВ})$.

8. Як працює теплонасосна станція в літній період?

- 1) тільки тепловий насос;
- 2) тільки водогрійний котел;
- 3) працюють тепловий насос та водогрійний котел;
- 4) не працює.

9. Як працює теплонасосна станція в опалювальний період?

- 1) тільки тепловий насос;
- 2) тільки водогрійний котел;
- 3) працюють тепловий насос та водогрійний котел;
- 4) не працює.

10. Як визначається навантаження теплового насоса у складі ТНС?

- 1) пропорційно $(T_{ПМВ} - T_{ЗМВ})$;
- 2) пропорційно $(T_{ПМВ} - T_{TH})$;
- 3) пропорційно $(T_{TH} - T_{ЗМВ})$;
- 4) пропорційно $(T_K - T_{ЗМВ})$;
- 5) пропорційно $(T_{TH} - T_{ПМВ})$.

11. Як визначається витрата умовного палива на ТНС з електроприводом?

- | | |
|--|--|
| 1) $V_{\text{ТНУ}}$; | 4) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ВК}}$; |
| 2) $V_{\text{ВК}}$; | 5) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ДВЗ}}$; |
| 3) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ГТУ}}$; | 6) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ДВЗ}}$. |

12. Як визначається витрата умовного палива на ТНС з приводом від газової турбіни?

- | | |
|--|-----------------------|
| 1) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ВК}}$; | 4) $V_{\text{ГТУ}}$; |
| 2) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ГТУ}}$; | 5) $V_{\text{ТНУ}}$; |
| 3) $V_{\text{ГТУ}} + V_{\text{ВК}}$; | 6) $V_{\text{ВК}}$. |

13. Як визначається витрата умовного палива на ТНС з приводом від двигуна внутрішнього згорання?

- | | |
|--|--|
| 1) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ВК}}$; | 5) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ДВЗ}}$; |
| 2) $V_{\text{ТНУ}}$; | 6) $V_{\text{ДВЗ}} + V_{\text{ВК}}$; |
| 3) $V_{\text{ВК}}$; | 7) $V_{\text{ДВЗ}}$. |
| 4) $V_{\text{ТНУ}} + V_{\text{ГТУ}}$; | |

14. Як визначається загальна теплова потужність ТНУ з приводом від ДВЗ?

- | | |
|--|--|
| 1) $Q_{\text{ТНУ}} + \Sigma Q_{\text{ох}}$; | 3) $N_{\text{ДВЗ}} + \Sigma Q_{\text{ох}}$; |
| 2) $Q_{\text{ТНУ}} + N_{\text{ДВЗ}}$; | 4) $N_{\text{ДВЗ}} + \Sigma Q_{\text{ох}}$. |

15. Що може бути джерелом низькотемпературної теплоти для ТНС?

- 1) викиди промислових підприємств з температурою 120 – 140 °С;
- 2) зовнішнє повітря з температурою 5 – 25 °С;
- 3) сонячна енергія;
- 4) викиди промислових підприємств з температурою 20 – 40 °С;
- 5) теплота ґрунту;
- 6) викиди промислових підприємств з температурою 45 – 65 °С.

16. Як включений конденсатор теплового насоса в схемі ТНС?

- 1) включений перед водогрійним котлом;
- 2) включений після водогрійного котла;
- 3) паралельно з котлом.

17. Вкажіть температуру теплоносія на вході в конденсатор ТНУ у складі ТНС?

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1) $T_{\text{ТН}}$; | 5) $T_{\text{ПМВ}}$; |
| 2) $T_{\text{ВК}}$; | 6) $T_{\text{К}}$; |
| 3) $T_{\text{ТНС}}$; | 7) $T_{\text{В}}$. |
| 4) $T_{\text{ЗМВ}}$; | |

18. Вкажіть температуру теплоносія на виході з конденсатора ТНУ у складі ТНС?

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1) $T_{\text{ПМВ}}$; | 4) $T_{\text{к}}$; |
| 2) $T_{\text{ЗМВ}}$; | 5) $T_{\text{в}}$; |
| 3) $T_{\text{ТН}}$; | 6) $T_{\text{ВК}}$. |

19. Вкажіть температуру теплоносія на вході у водогрійний котел ТНС?

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1) $T_{\text{ПМВ}}$; | 4) $T_{\text{в}}$; |
| 2) $T_{\text{к}}$; | 5) $T_{\text{ТН}}$; |
| 3) $T_{\text{ЗМВ}}$; | 6) $T_{\text{ВК}}$. |

20. Вкажіть температуру теплоносія на виході з водогрійного котла ТНС?

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| 1) $T_{\text{ТН}}$; | 4) $T_{\text{ЗМВ}}$; |
| 2) $T_{\text{ВК}}$; | 5) $T_{\text{к}}$; |
| 3) $T_{\text{ПМВ}}$; | 6) $T_{\text{в}}$. |

4 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Номер варіанта в задачах 1 – 6 визначається за шифром, який задає викладач.

Задача 1

В парокомпресійній теплонасосній установці з тепловою потужністю випарника Q_B температура випаровування холодоагенту становить t_B . Температура конденсації t_K . Холодоагентом є аміак. Величина недогріву води у конденсаторі складає $\theta = 5$ °С. Відносний внутрішній ККД компресора складає $\eta_{oi}^{KM} = 0,75$; а електромеханічний ККД $\eta_{em} = 0,95$; ККД теплообмінників $\eta_{то} = 0,98$.

Визначити температуру води на виході конденсатора t_{TH} , масову витрату холодоагенту, потужність компресора теплового насоса, теплову потужність конденсатора, коефіцієнт перетворення реального теплонасосного циклу та циклу Карно. Навести схему ТН та зображення циклу на lg P-h діаграмі.

Дані, необхідні для розрахунку, вибрати з таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань до задачі 1

Остання цифра шифру	t_B , °С	t_K , °С	Передостання цифра шифру	Q_B , МВт
0	13	80	0	21
1	18	75	1	17
2	13	70	2	14
3	13	65	3	15
4	18	80	4	16
5	23	75	5	18
6	13	70	6	19
7	13	65	7	20
8	18	85	8	17
9	13	80	9	14

Задача 2

У випарник парокомпресійної теплонасосної установки надходить вода з температурою $t'_{\text{в}}$, а виходить з температурою $t''_{\text{в}}$. Теплова потужність випарника складає $Q_{\text{в}}$. Температура навколишнього середовища складає $T_{\text{нс}}$. Температури води на вході та виході з конденсатора складають, відповідно, $t'_{\text{к}}$ і $t''_{\text{к}}$. Холодоагентом є аміак. Відносний внутрішній ККД компресора складає $\eta_{\text{oi}}^{\text{KM}} = 0,75$, а електромеханічний ККД $\eta_{\text{ем}} = 0,95$. ККД теплообмінників $\eta_{\text{то}} = 0,98$. Величина недогріву води у випарнику та конденсаторі складає $\theta = 5$ °С.

Визначити масову витрату холодоагенту, потужність компресора, теплову потужність конденсатора, ексергетичну потужність підведеної та відведеної теплоти, ексергетичний ККД теплонасосної установки. Навести схему ТНУ та зображення циклу на lg P-h діаграмі.

Дані, необхідні для розрахунку, вибрати з таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Варіанти завдань до задачі 2

Остання цифра шифру	$t''_{\text{в}}$, °С	$t'_{\text{в}}$, °С	$T_{\text{нс}}$, К	Передостання цифра шифру	$Q_{\text{в}}$, МВт	$t'_{\text{к}}$, °С	$t''_{\text{к}}$, °С
0	18	25	273	0	9	50	60
1	23	30	283	1	13	50	65
2	28	35	293	2	17	50	70
3	18	25	293	3	20	50	75
4	23	30	273	4	11	60	80
5	28	35	273	5	7	70	85
6	28	35	283	6	5	70	80
7	23	30	293	7	9	60	75
8	18	25	283	8	12	55	70
9	23	30	288	9	10	65	80

Задача 3

Теплова потужність конденсатора теплонасосної установки становить $Q_{\text{к}}$. Температура конденсації холодоагенту $t_{\text{к}} = 75$ °С. Холодоагентом є аміак. Величина недогріву води у випарнику та конденсаторі складає $\theta = 3$ °С. Відносний внутрішній ККД компресора складає $\eta_{\text{oi}}^{\text{KM}} = 0,75$, а електромеханічний ККД $\eta_{\text{ем}} = 0,95$. ККД теплообмінників $\eta_{\text{то}} = 0,98$. Температура води на вході в конденсатор становить $t'_{\text{к}} = 50$ °С.

Визначити температуру випаровування холодоагенту t_b , масову витрату холодоагенту, потужність компресора, теплову потужність випарника, коефіцієнт перетворення ТНУ та ексергетичний ККД при різних значеннях температур води на вході та виході з випарника. У випарник пароконденсійної ТНУ надходить вода з температурою t'_b , а виходить з температурою t''_b . Температура навколишнього середовища $T_{nc} = 293$ К. Навести схему ТНУ та зображення циклу на $\lg P-h$ діаграмі. За результатами проведених розрахунків побудувати залежності коефіцієнта перетворення та ексергетичного ККД від різниці температур конденсації та випаровування.

Дані, необхідні для розрахунку, вибрати з таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Варіанти завдань до задачі 3

Остання цифра шифру	1		2		3		Передостання цифра шифру	Q_k , МВт
	t'_b , °C	t''_b , °C	t'_b , °C	t''_b , °C	t'_b , °C	t''_b , °C		
0	10	5	15	8	30	23	0	10
1	25	18	30	23	35	28	1	11
2	30	23	25	18	10	5	2	12
3	10	5	15	8	25	18	3	13
4	15	8	10	5	35	28	4	14
5	25	18	35	28	10	5	5	15
6	35	28	10	5	30	23	6	16
7	25	18	35	28	15	8	7	17
8	10	5	25	18	35	28	8	18
9	35	28	10	5	30	23	9	19

Задача 4

Потужність конденсатора теплового насоса складає Q_k . Температура випаровування холодоагенту становить t_b , температура конденсації t_k . Відносний внутрішній ККД компресора $\eta_{oi}^{KM} = 0,75$; електромеханічний ККД $\eta_{ем} = 0,95$. ККД теплообмінників $\eta_{то} = 0,98$. Величину перегріву пари холодоагенту в проміжному охолоднику конденсату прийняти рівною $\theta = 7$ °C.

Визначити масову витрату холодоагенту, потужності випарника та компресора, коефіцієнт перетворення реального теплонасосного циклу та циклу Карно. Навести схему теплонасосної установки та зображення циклу на $\lg P-h$ діаграмі.

Дані, необхідні для розрахунку, вибрати з таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Варіанти завдань до задачі 4

Остання цифра шифру	t_B , °C	t_K , °C	Передостання цифра шифру	Холодо-агент	Q_K , МВт
0	13	65	0	R134a	10
1	18	70	1	R600	11
2	23	75	2	R600a	12
3	13	80	3	R134a	13
4	18	65	4	R600	14
5	23	70	5	R600a	15
6	13	75	6	R134a	10
7	18	80	7	R600	11
8	23	65	8	R600a	12
9	13	70	9	R134a	13

Задача 5

Визначити холодильний коефіцієнт, потужності компресора і детандера повітряної холодильної машини, якщо відомо: витрата повітря V , м³/год; параметри навколишнього середовища: барометричний тиск B , мм рт. ст., питомий об'єм v_{nc} , м³/кг; температура повітря в холодильній камері t_o , °C; величина недогріву в холодильній камері та газоохолоднику θ , °C; холодовидатність Q_o , кВт; ККД компресора $\eta_{км} = 0,84$, ККД детандера $\eta_d = 0,86$. Дані, необхідні для розрахунку, вибрати з таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Варіанти завдань до задачі 5

Остання цифра шифру	V , м ³ /год	B , мм рт. ст.	v_{nc} , м ³ /кг	Передостання цифра шифру	t_o , °C	θ , °C	Q_o , кВт
0	7200	755	0,833	0	-13	5	120
1	7300	735	0,8	1	-12	3	200
2	7100	740	0,85	2	-11	4	160
3	7150	745	0,84	3	-14	6	180
4	7250	742	0,825	4	-15	6	100
5	7350	752	0,81	5	-16	5	220
6	7120	735	0,84	6	-10	4	205
7	7220	747	0,815	7	-12	3	170
8	7320	753	0,835	8	-12	5	150
9	7270	750	0,845	9	-13	4	130

Задача 6

Визначити потужність компресора, холодильний коефіцієнт, ексергетичний ККД холодильної машини, робочим тілом якої є холодоагент, якщо холодовидатність Q_0 ; температура в холодильній камері t_0 , °С; температура навколишнього середовища t_{nc} , °С; величина недогріву в конденсаторі та випарнику θ , ефективний ККД компресора $\eta_{км}$.

Дані, необхідні для розрахунку, вибрати з таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Варіанти завдань до задачі 6

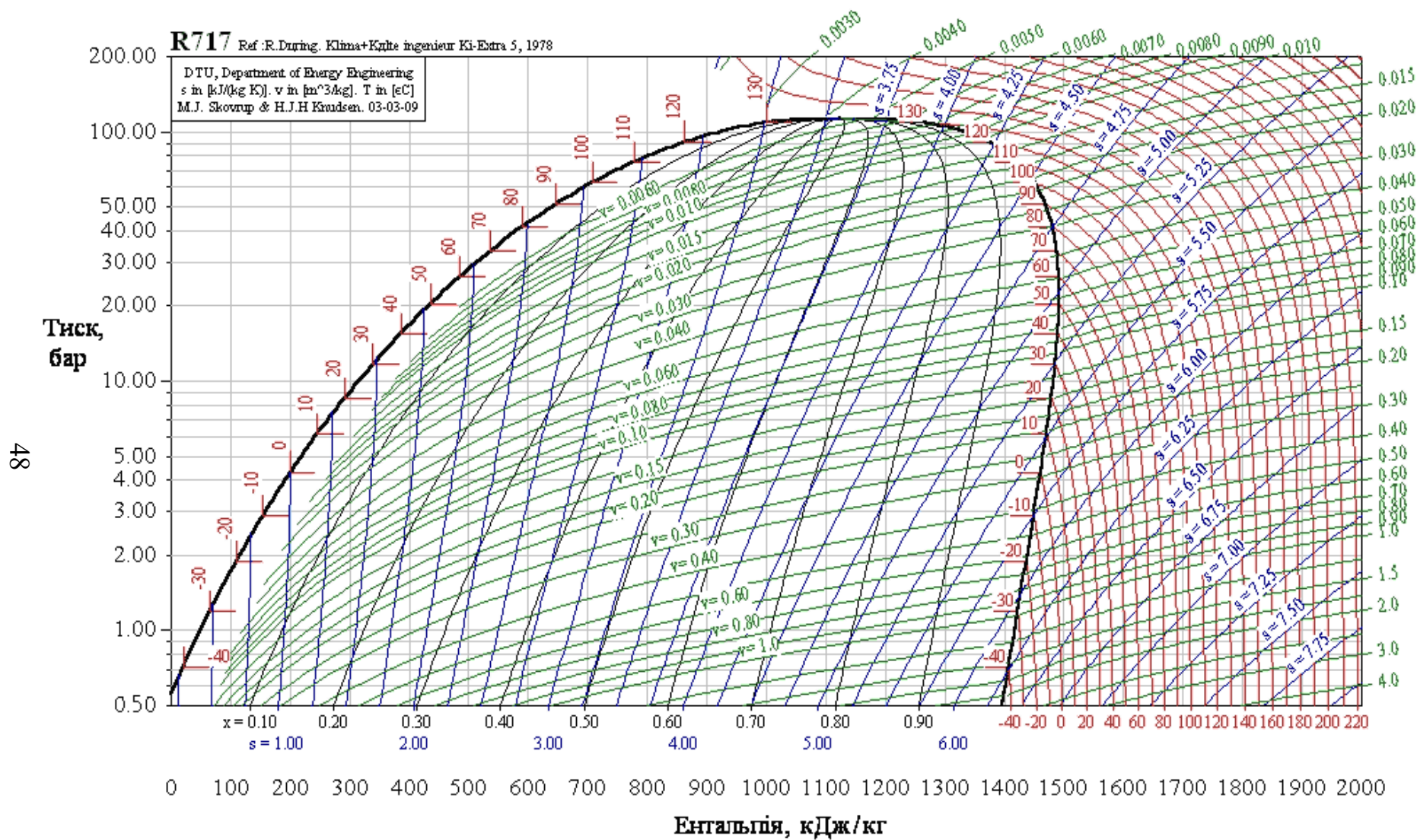
Остання цифра шифру	Q_0 , кВт	Холодо-агент	t_0 , °С	Передостання цифра шифру	t_{nc} , °С	θ , °С	$\eta_{км}$
0	120	R134a	-13	0	13	5	0,83
1	200	R600	-12	1	12	3	0,8
2	160	R600a	-11	2	25	4	0,85
3	180	R134a	-14	3	14	6	0,73
4	100	R600	-15	4	15	6	0,7
5	220	R600a	-16	5	16	5	0,75
6	205	R134a	-10	6	21	4	0,77
7	170	R600	-12	7	12	3	0,76
8	150	R600a	-12	8	20	5	0,78
9	130	R134a	-13	9	13	4	0,81

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

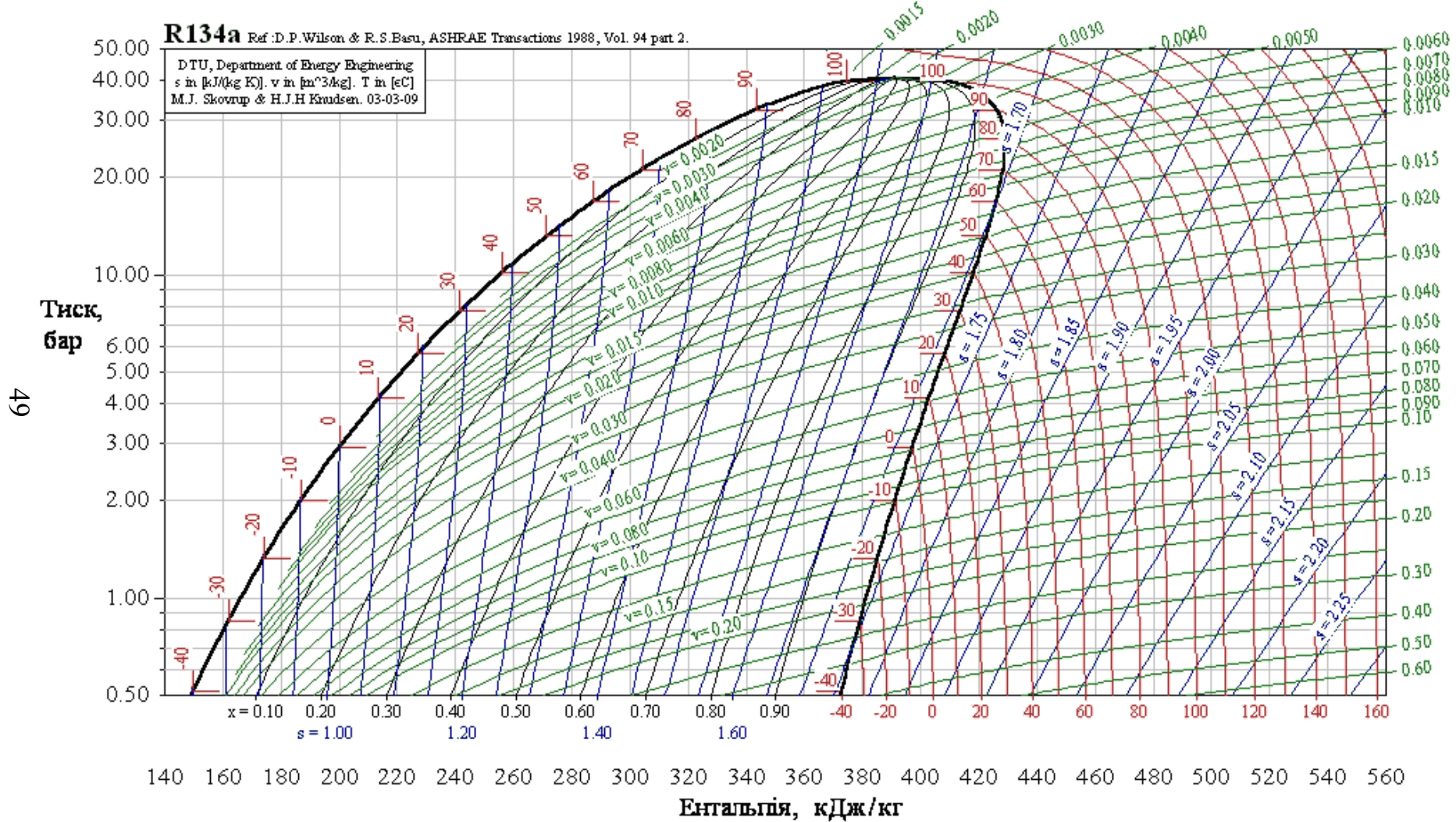
1. Ткаченко С. Й. Парокомпресійні теплонасосні установки в системах тепlopостачання. Монографія / С. Й. Ткаченко, О. П. Остапенко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 176 с.
2. Остапенко О. П. Холодильна техніка та технологія. Теплові насоси : навчальний посібник / Остапенко О. П. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 123 с.
3. Степанов Д. В. Холодильна техніка та технологія : навчальний посібник / Д. В. Степанов, Н. Д. Степанова. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 95 с.
4. Янтовский Е. И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е. И. Янтовский, Ю. В. Пустовалов. – М. : Энергоиздат, 1982. – 144 с.
5. Термодинамические диаграммы i -lgP для хладагентов. М. : АВИСАНКО, 2003. – 50 с.

ДОДАТКИ

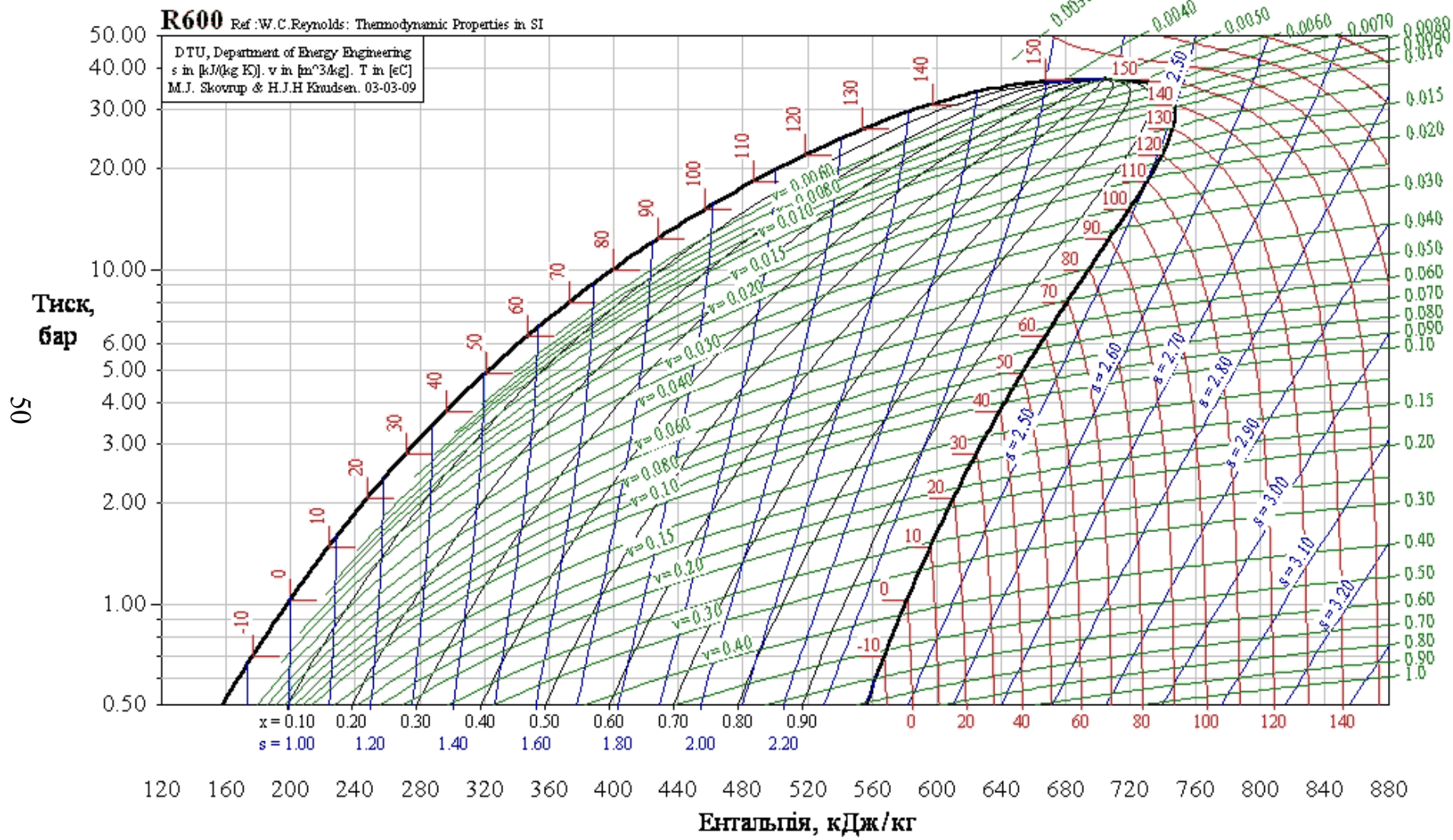
Додаток А – Lg P-h діаграма холодоагенту R717



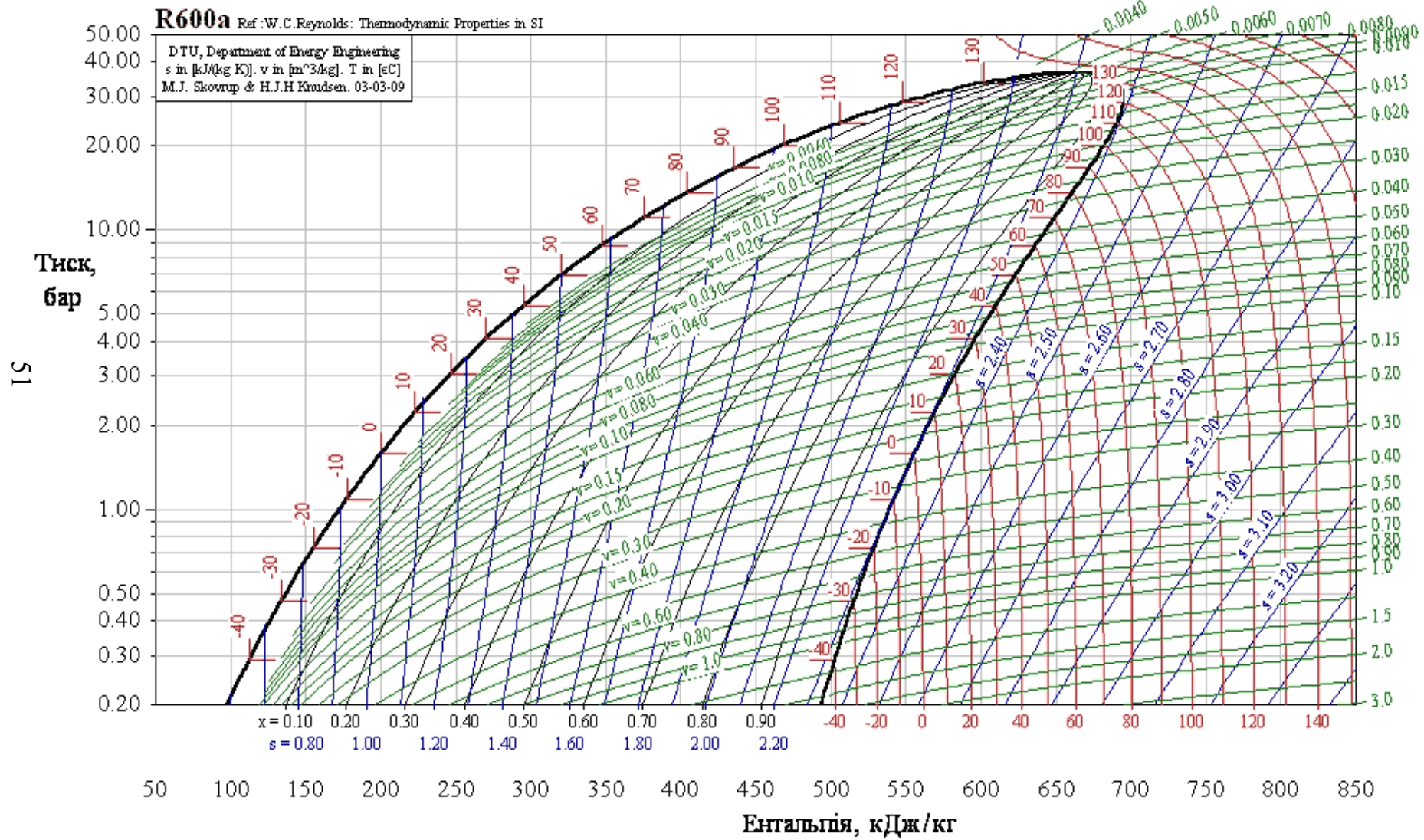
Додаток Б – Lg P-h діаграма холодоагенту R134a



Додаток В – Lg P-h діаграма холодоагенту R600



Додаток Г – Lg P-h діаграма холодоагенту R600a



Словник найбільш вживаних термінів

Абсолютний	absolute
Абсорбційний	absorptive
Адіабатний	adiabatic
Випарник	evaporator
Газ	gas
Газокомпресійний	gas compression
Джерела низькотемпературної теплоти	low temperature heat sources
Ексергія	exergy
Ексергетичний ККД	exergetic efficiency
Енергія	energy
Ентальпія	enthalpy
ККД	efficiency
Коефіцієнт	coefficient
Коефіцієнт перетворення	coefficient of transformation
Компресійний	compression
Компресор	compressor
Конденсатор	condenser
Конденсація	condensation
Пара	steam
Парокомпресійний	steam compression
Питомий	specific
Рівняння	equation
Робота	work
Система	system
Температура	temperature
Тепловий насос	heat pump
Теплоємність	thermal capacity
Теплонасосна станція	heat pump station
Теплонасосна установка	heat pump installation
Теплота	heat
Установка	installation
Холодоагент	refrigerant
Холодильний	refrigeratory
Холодильний коефіцієнт	refrigeratory coefficient
Холодильна машина	refrigeratory machine
Цикл	cycle
Цикл Карно	Carnot cycle

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання контрольних робіт
з дисципліни «Холодильна техніка
та холодильна технологія»
для студентів напряму підготовки
«Теплоенергетика» заочної форми навчання

Редактор В. Дружиніна
Коректор З. Поліщук

Укладач Остапенко Ольга Павлівна

Оригінал-макет підготовлено О. Остапенко

Підписано до друку
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. .
Наклад пр. Зам. № .

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к.114.
Тел. (0432) 59-87-38.
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.