

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теплотехніки та теплових двигунів

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до лабораторних робіт та практичних занять
з дисципліни**

***«ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ
ТА ТРАНСФОРМАТОРИ ТЕПЛОТИ»***

Харків - 2014

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки та теплових двигунів 25 лютого 2013 р., протокол № 3.

У методичних вказівках наведені методика та рекомендації до вивчення відповідних тем розділів дисципліни, контрольні питання, методичні вказівки до виконання лабораторних та практичних робіт.

Рекомендуються студентам напряму “Теплоенергетика” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

проф. С.А. Єроценков,
доцент Н.А. Шаройко,
асистенти О.В. Василенко,
О.В. Гришина

Рецензент

доц. В.А. Корогодський

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт
та практичних занять з дисципліни

*«ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ
ТА ТРАНСФОРМАТОРИ ТЕПЛОТИ»*

Відповідальний за випуск Шаройко Н.А..
Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 25.05.13 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 2,00. Тираж 25. 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.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Кафедра “Теплотехніка і теплові двигуни”

**Методичні вказівки до лабораторних робіт
та практичних занять з дисципліни
«ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА ТРАНСФОРМАТОРИ ТЕПЛОТИ»
для студентів спеціальності
“Теплоенергетика”
денної та заочної форми навчання**

Декан механічного факультету
к.т.н., доц.

О.В. Устенко

Голова методкомісії механічного факультету
к.т.н., доц.

Н.А. Аксьонова

Завідувач кафедри теплотехніки та
теплових двигунів
д.т.н., проф.

С.А. Єроценков

Відповідальний за методичну роботу кафедри
к.т.н., доц.

Ю.А. Бабіченко

Автори:
Д.т.н., проф., зав. кафедри теплотехніки та
теплових двигунів

С.А. Єроценков

Доцент

Н.А. Шаройко

Асистент

О.В. Василенко

Асистент

О.В. Гришина

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри теплотехніки і теплових двигунів 25 лютого 2013 р., протокол № 3.

У методичних вказівках наведені методика та рекомендації до вивчення відповідних тем розділів дисципліни, контрольні питання, методичні вказівки до виконання лабораторних та практичних робіт.

Рекомендуються студентам напряму “Теплоенергетика” денної та заочної форм навчання.

Укладачі:

проф. С.А.Єрощенко,
доцент Н.А.Шаройко,
асистенти О.В. Василенко,
О.В. Гришина

Рецензент

доц. В.А. Корогодський

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Загальні методичні вказівки.....	5
2 Методичні вказівки до вивчення тем дисципліни	6
2.1 Холодильні установки	6
2.1.1 Методичні вказівки.....	6
2.1.2 Питання для самоперевірки.....	7
2.2 Трансформатори теплоти та теплові насоси.....	9
2.2.1 Методичні вказівки.....	9
2.2.2 Питання для самоперевірки.....	9
3 Лабораторні роботи.....	11
3.1 Випробування парокомпресійної холодильної установки	11
3.1.1 Мета роботи.....	11
3.1.2 Методика випробувань холодильної установки.....	11
3.1.3 Порядок виконання роботи.....	12
3.1.4 Обробка результатів експерименту	13
3.1.5 Контрольні питання до лабораторної роботи.....	14
3.2 Випробування двоступінчастої парокомпресійної холодильної установки.....	14
3.2.1 Мета роботи.....	14
3.2.2 Опис конструкції холодильної установки.....	14
3.2.3 Порядок виконання роботи.....	17
3.2.4 Обробка результатів експерименту.....	18
3.2.5 Контрольні питання до лабораторної роботи.....	19
4 Практичні заняття.....	20
4.1 Парокомпресійні і абсорбційні холодильні установки	20
4.1.1 Розрахунок парокомпресійної холодильної установки.....	20
4.1.2 Розрахунок абсорбційної холодильної установки (АХУ)	27
4.2 Трансформатори теплоти.....	35
Список літератури.....	42

ВСТУП

Дисципліна «Холодильні установки та трансформатори теплоти» вивчає теплотехнологічні процеси, апарати, установки та системи, які використовуються в енергогосподарстві промислових та комунальних підприємств, а також на залізничному транспорті. Мета вивчення дисципліни – набуття практичних навичок та умінь у розробленні, розрахунку, проектуванні, оптимізації та експлуатації холодильних установок та трансформаторів теплоти.

Для реалізації даної мети необхідно:

- вивчити фізику процесів, що протікають в установках;
- вивчити конструкції, методи розрахунку, проектування та оптимізації елементів та апаратів;
- закріпити теоретичний матеріал дисципліни шляхом розв'язання завдань на практичних заняттях, виконання лабораторних робіт.

Дисципліна базується на матеріалах курсів: “Хімія”, “Фізика”, “Вища математика”, “Технічна термодинаміка”, “Тепломасообмін”, “Гідрогазодинаміка”, “Гідрогазодинаміка теплоенергетичних установок”, “Паливо та основи теорії горіння”, “Прикладна механіка”, і у той же час є базовою для дисциплін: “Котельні установки промислових підприємств”, “Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки”, “Нагнітачі та турбіни”, “Системи виробництва та розподілу енергоносіїв”, “Системи виробництва та розподілу стисненого повітря на залізничному транспорті”, а також використовується у дипломному проектуванні.

1 ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

Дисципліна "Холодильні установки та трансформатори теплоти" вимагає систематичного і послідовного вивчення матеріалу, тобто дотримання черговості тем відповідно до програми. Основною формою вивчення є самостійна робота студентів з навчальною літературою.

При самостійній роботі необхідно ознайомитися зі змістом програми, уважно прочитати методичні вказівки до тем, що вивчаються, підібрати літературу, посилання на яку подано в кінці методичних вказівок, скласти конспект основних положень тем і перевірити ступень засвоєння матеріалу за допомогою відповідей на питання для самоперевірки.

У процесі роботи над підручником варто дотримуватися чіткого уявлення про фізичну сутність процесів, що протікають, навчитися здійснювати їхній аналіз і правильно застосовувати закони та математичні формули. Вивчений матеріал необхідно завжди логічно пов'язувати з практичною діяльністю за фахом.

Закріплення теоретичного матеріалу здійснюється шляхом виконання практичних завдань і лабораторних робіт.

При виникненні будь-яких питань у процесі вивчення дисципліни та утрудненні в розв'язанні завдань необхідно звернутися до викладача за консультацією.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ ТЕМ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Холодильні установки

Призначення та галузь застосування, класифікація.

Парокомпресійні холодильні установки (ПКХУ) одноступінчасті та багатоступінчасті, їх принципи дії, схеми та цикли на $T-s$ та $P-h$ -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. $H-\xi$ -діаграма водоаміачного розчину та зображення процесів на ній. Тепловий розрахунок.

Пароелектричні холодильні установки, принцип дії, схема, теоретичний і реальний цикли на $T-S$ -діаграмі, основні показники, тепловий розрахунок, галузь застосування.

Вихрові холодильні установки, схеми, галузь застосування.

2.1.1 Методичні вказівки

З'ясувати призначення, галузь застосування холодильних установок і класифікацію за різними ознаками. Ознайомитися з методами отримання холоду, які з них промислові.

Вивчити схеми та принципи дії парокомпресійних холодильних установок (ПКХУ), які є найбільш поширеним типом холодильної техніки. Засвоїти принципи побудови процесів одно- та багатоступеневих установок на $T-s$ і $\lg p-h$ -діаграмах та їх тепловий розрахунок. З'ясувати поняття холодильного коефіцієнта. Ознайомитися з холодоагентами, що застосовуються в ПКХУ, вивчити вимоги до них та їх властивості.

Ознайомитися з основними елементами ПКХУ, особливо з компресорами та їх класифікацією. Засвоїти принципи побудови циклів ідеального та дійсного компресорів на $p-v$ діаграмі, з'ясувати поняття коефіцієнта подачі та вплив різноманітних

факторів на нього. Вміти розраховувати витрату потужності на привід компресора.

Вивчити принцип дії та схему газової холодильної установки і процес побудови її циклу на T-s-діаграмі.

До пароежекторних та абсорбційних відносяться холодильні установки, у яких для отримання холоду використовують теплоту.

Ознайомитися з принципом дії та галуззю використання абсорбційних холодильних установок (АХУ), їх схемами, а також холодоагентами, що використовуються в них. Вивчити h-ξ-діаграму водоаміачного розчину і засвоїти принципи побудови процесів на них.

Вивчити принцип дії і схему пароежекторної холодильної установки, засвоїти процес побудови її циклу на T-s-діаграмі, а також теплові розрахунки.

Ознайомитися зі схемою вихрової холодильної установки та галуззю її застосування.

2.1.2 Питання для самоперевірки

- 1 Призначення холодильних установок.
- 2 Перерахуйте галузі, у яких застосовуються холодильні установки?
- 3 Перерахуйте методи отримання холоду.
- 4 Наведіть класифікацію холодильних установок за рівнем температур.
- 5 Наведіть класифікацію холодильних установок за принципом дії.
- 6 Наведіть принципову схему ідеальної ПКХУ.
- 7 Зобразіть цикл ідеальної ПКХУ на T-s-діаграмі.
- 8 Що називають холодильним коефіцієнтом ε ?
- 9 Наведіть принципову схему дійсної ПКХУ.
- 10 Зобразіть цикл ідеальної ПКХУ на T-s-діаграмі.
- 11 Напишіть рівняння теплового балансу ідеальної ПКХУ.
- 12 Наведіть принципову схему двоступеневої ПКХУ.
- 13 Зобразіть цикл двоступеневої ПКХУ на T-s-діаграмі.
- 14 Наведіть принципову схему газової (повітряної) холодильної установки.

15 Зобразіть цикл газової (повітряної) холодильної установки.

16 Наведіть класифікацію холодоагентів за температурою кипіння t при тиску $p=0,1$ МПа.

17 Перерахуйте вимоги, які застосовуються до холодоагентів.

18 Які речовини називають холодоносіями?

19 Перерахуйте вимоги, які ставлять до холодильних агентів?

20 Перерахуйте найбільш поширені холодоагенти для ПКХУ.

21 Перерахуйте речовини, які використовуються у ролі холодоносіїв холодильної техніки.

22 Приведіть класифікацію компресорів ПКХУ.

23 Зобразіть цикл ідеального поршневого компресора на $p-v$ -діаграмі.

24 Зобразіть цикл дійсного поршневого компресора на $p-v$ -діаграмі.

25 Що називають коефіцієнтом подачі λ поршневого компресора?

26 Що називають дійсним холодильним коефіцієнтом $\varepsilon_{\text{дійсн.}}$ ПКХУ?

27 На чому заснований принцип дії АХУ?

28 Вкажіть найбільш поширені пари холодоагентів-абсорбентів, які застосовуються у АХУ?

29 Наведіть принципову схему найпростішої АХУ.

30 Напишіть рівняння теплового балансу АХУ.

31 Що називають тепловим коефіцієнтом АХУ?

32 Зобразіть $h-\xi$ -діаграму водоаміачного розчину.

33 Наведіть принципову схему дійсної АХУ.

34 Вкажіть призначення дефлегматорів дійсної АХУ.

35 Вкажіть призначення теплообмінника розчинів дійсної АХУ.

36 Який холодоагент застосовується у пароежекторних холодильних установках?

37 Перерахуйте переваги води, що застосовується у ролі холодоагента у пароежекторних холодильних установках.

38 Яку мінімальну температуру води можливо одержати у випарувачі пароежекторних холодильних установок?

39 Наведіть принципову схему ідеальної пароежекторної холодильної установки.

40 Зобразіть цикл ідеальної пароежекторної холодильної установки на T-s-діаграмі.

41 Зобразіть цикл дійсної пароежекторної холодильної установки на T-s-діаграмі.

42 Що називають коефіцієнтом інжекції у пароежекторних холодильних установках U ?

43 Що називають холодильним коефіцієнтом у пароежекторних холодильних установках ε ?

44 Вкажіть галузь застосування пароежекторних холодильних установок.

45 Наведіть схему вихрової холодильної установки.

46 Призначення вихрової холодильної установки.

2.2 Трансформатори теплоти та теплові насоси

Типи теплонасосних установок, їх принцип дії, схеми, основні елементи та вузли. Коефіцієнт трансформації теплоти. Підвищення потенціалу відпрацьованої пари: механічна, ежекційна та термохімічна компресія пари.

2.2.1 Методичні вказівки

З'ясувати призначення, схеми та галузь застосування трансформаторів теплоти та теплових насосів, признаки загальності і різноманітності теплових насосів та холодильних установок.

Вивчити методи підвищення потенціалу відпрацьованої пари: механічний, ежекційний і термохімічний. Порівняти їх переваги та недоліки.

Література [1, с. 292 –296; 3, с. 296 – 317.]

2.2.2 Питання для самоперевірки

1 Що спільного і які відмінності між холодильною установкою і тепловим насосом?

2 Наведіть схему і цикл на T-s-діаграмі ідеального теплового насоса.

3 Дайте визначення (або аналітичний вираз) коефіцієнта трансформації теплоти.

4 Як пов'язані між собою коефіцієнт трансформації теплоти μ_u і холодильний коефіцієнт ε_u ?

5 Перерахуйте промислові методи підвищення потенціалу (компресії) відпрацьованої пари.

6 Вкажіть за якими 2^м схемами може проводитися компресія відпрацьованої пари.

7 Поясніть зміст підвищувальної схеми компресії відпрацьованої пари.

8 Поясніть зміст зчіплювальної схеми компресії відпрацьованої пари.

9 Наведіть схему механічної компресії відпрацьованої пари з приводом від парової турбіни і процес компресії та розширення на h-s-діаграмі водяної пари.

10 Наведіть схему механічної компресії відпрацьованої пари з приводом від електродвигуна і процес компресії на h-s-діаграмі водяної пари.

11 Наведіть аналітичний вираз для визначення потужності, що витрачається на привод компресора відпрацьованої пари.

12 Наведіть схему пароструминного компресора і діаграму зміщення тиску за довжиною ежектора.

13 Поясніть принцип дії термохімічного трансформатора теплоти, який працює за підвищувальною схемою.

14 Поясніть схему термохімічного трансформатора теплоти, який працює за зчіплювальною схемою.

15 Вкажіть переваги та недоліки механічного метода компресії відпрацьованої пари.

16 Вкажіть переваги та недоліки пароструминного компресора відпрацьованої пари.

17 Вкажіть переваги та недоліки термохімічних трансформаторів теплоти.

18 Вкажіть галузь застосування трансформаторів теплоти.

3 ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторний практикум є додатковою частиною дисципліни “Холодильні установки та трансформатори теплоти”.

Лабораторні роботи проводяться на діючих лабораторних стендах і оформляються в лабораторних журналах.

Перед виконанням лабораторних робіт студенту необхідно вивчити матеріал, що відповідає темі програми, і відповіді на контрольні питання, які подаються до кожного блоку лабораторних робіт.

3.1 Випробування парокомпресійної холодильної установки

3.1.1 Мета роботи

Мета цієї роботи полягає в одержанні знань про реальні холодильні установки, набутті практичних навичок експериментального дослідження циклів ПКХУ, розрахунку основних параметрів та побудови холодильних циклів на $\lg p-h$ - діаграмі.

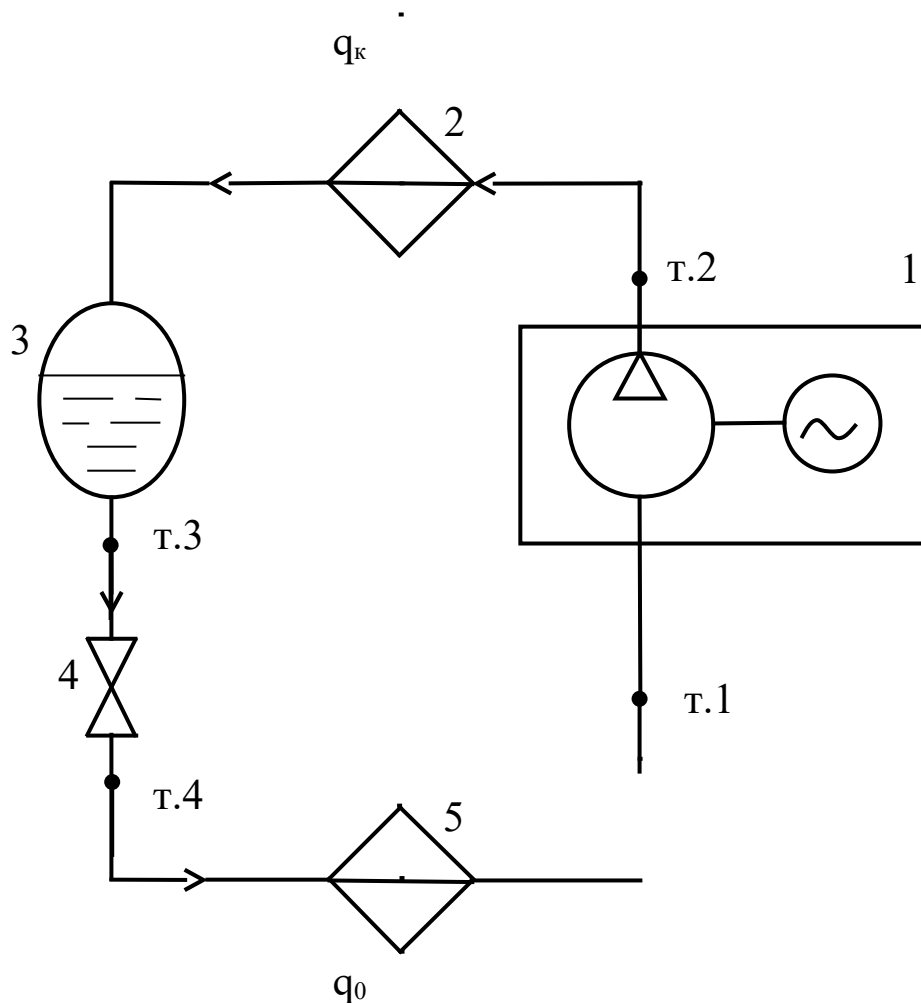
3.1.2 Методика випробувань холодильної установки

ПКХУ (рисунок 3.1) складається з компресора 1 з електроприводом, конденсатора 2, ресивера 3, дроселя 4 і випарника 5. Фреоновий компресор разом із електричним приводом змонтований у герметичному циліндричному кожусі. Конденсація парів фреону в конденсаторі здійснюється за рахунок віддачі теплоти навколишньому повітрю, що прокачується за допомогою вентилятора через конденсатор. Переохолодження конденсату здійснюється в ресивері. Дросель виконаний у вигляді регулюючого вентиля, що дозволяє регулювати температуру кипіння фреону у випарнику і холодопродуктивність установки. Випарник установлений у камері кондиціонера.

Вимір тиску після компресора і випарника здійснюється за допомогою манометрів. Вимір температур у вузлових точках схеми здійснюється за допомогою термопар.

3.1.3 Порядок виконання роботи

1 Увімкнути установку в роботу (здійснюється викладачем).



1 – компресор; 2 – конденсатор; 3 – ресивер; 4 – дросель;
5 – випарник

Рисунок 3.1 – Схема парокомпресійної холодильної установки

2 Після виходу ПКХУ на сталий режим роботи приступити до виміру параметрів, зазначених у таблиці вимірювань 3.1.

3 За допомогою дросельного вентиля 3 за вказівкою викладача змінити режим роботи ПКХУ і повторити пункт 2.

4 Вимкнути установку і приступити до обробки результатів випробувань згідно з методикою, яка наведена у протоколі до цієї роботи. За результатами випробувань побудувати цикл ПКХУ на діаграмі для фреону-12.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань

Параметри ПКХУ	Величина
Тиск конденсації p_k , Па	
Тиск у випарнику p_u , Па	
Температура парів на виході з компресора t_2 , °С	
Температура рідкого фреону на виході з ресивера t_3 , °С	
Температура кипіння фреону у випарнику $t_u = t_4$, °С	
Температура парів на вході в компресор t_1 , °С	

$$p_{k \text{ abs}} = p_k + p_{\text{атм}}; p_{u \text{ abs}} = p_u + p_{\text{атм}}.$$

3.1.4 Обробка результатів експерименту

Після отриманих результатів вимірювань побудувати цикл ПКХУ в lg p-h-діаграмі для фреону-12. За ним визначити ентальпії в точках циклу: h_1, h_2, h_3, h_4 .

Питоме холодовиробництво, кДж/кг,

$$q_0 = h_1 - h_4. \quad (3.1)$$

Питома робота стискування, кДж/кг,

$$l_k = h_2 - h_1. \quad (3.2)$$

Питоме навантаження на конденсатор, кДж/кг,

$$q_k = h_2 - h_3. \quad (3.3)$$

Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_k}. \quad (3.4)$$

3.1.5 Контрольні питання

- 1 Перерахувати основні фази циклу одноступінчастої ПКХУ.
- 2 Дати визначення холодильного коефіцієнта ПКХУ.
- 3 Описати структуру й порядок використання діаграми.
- 4 Указати відмінності принципів роботи ПКХУ від парокompресійного теплового насоса.

3.2 Випробування двохступневої парокompресійної холодильної установки

3.2.1 Мета роботи

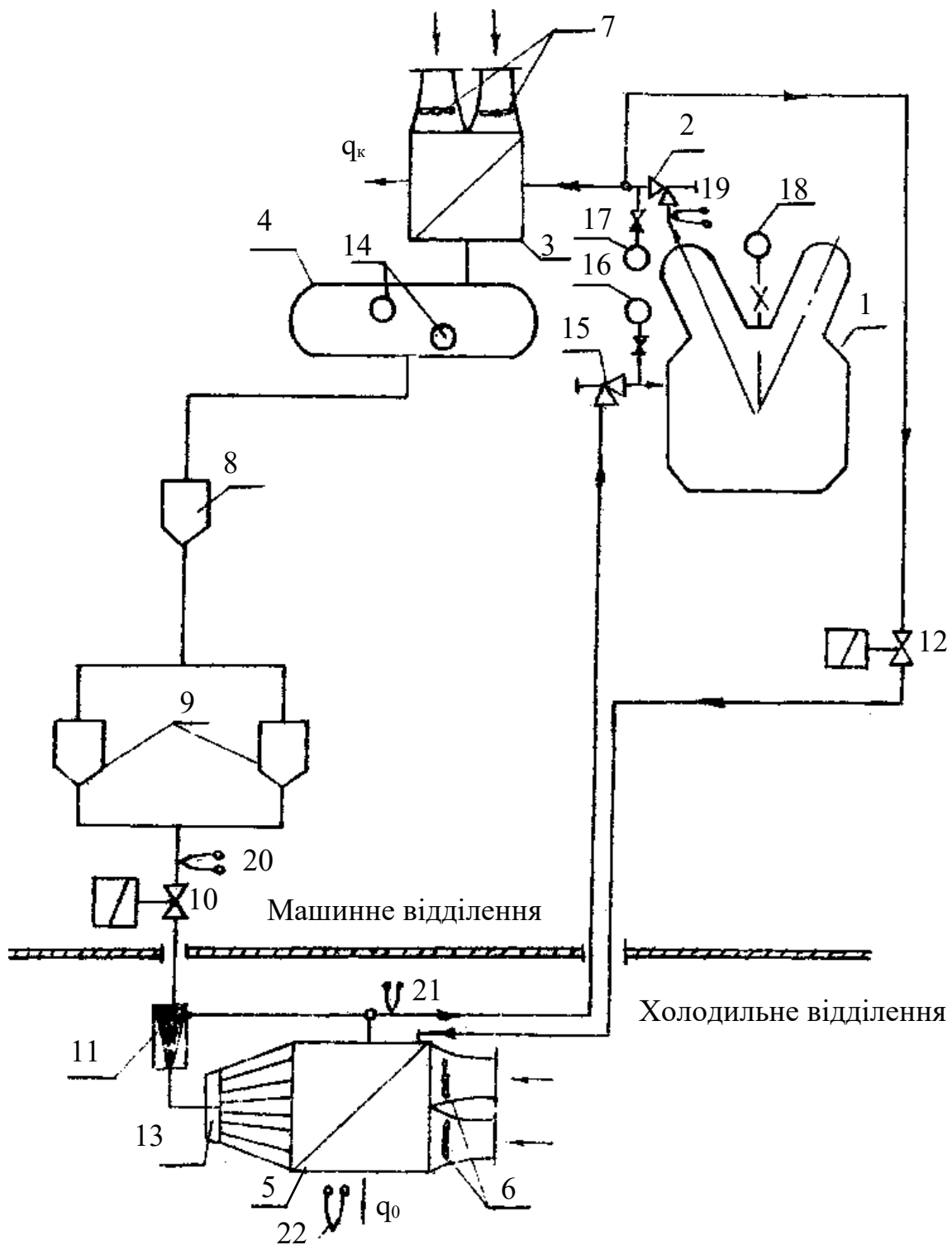
Метою цієї роботи є набуття практичних навичок у роботі ПКХУ із двоступінчастим компресором для рефрижераторного рухомого складу залізничного транспорту.

3.2.2 Опис конструкції холодильної установки

Об'єктом роботи є холодильний агрегат ФАЛ 056/1 (рисунок 3.2), що являє собою компресійну холодильну установку, яка працює на фреоні-12 і призначається для використання в холодильних вагонах. Вона забезпечує корисну холодопродуктивність 15500 кДж/год, температуру охолодження - 20°C. Холодильний агрегат компактної конструкції складається із трьох основних груп:

- 1) холодильний агрегат – машинний бік – знаходиться поза холодильним приміщенням;
- 2) холодильний агрегат – бік випарника – знаходиться в холодильному приміщенні;
- 3) електричний приладовий ящик.

Після ввімкнення холодильного агрегату починає працювати компресор 1. Для полегшення пуску компресора за допомогою реле часу деякий час відкритий магнітний вентиль 12 на лінії до випарника 5. Після запуску компресора магнітний вентиль 12 закривається, а холодоагент підводиться у конденсатор 3, у якого збоку є вентилятори 7, що продувають через нього повітря, яке необхідне для охолодження.



1 – компресор; 2 – нагнітальний запірний вентиль; 3 – конденсатор; 4 – ресивер; 5 - випарник; 6, 7 – вентилятори; 8 – фільтр; 9 – фільтр-осушувач; 10, 12 – магнітні вентиля; 11 – терморегулюючий вентиль; 13 – розподілювач рідини; 14 – оглядові вікна; 15 – кутовий запірний вентиль; 16, 17, 18 – манометри; 19, 20, 21, 22 – термопари

Рисунок 3.2 – Схема двоступінчастої парокompресійної установки

У конденсаторі холодоагент охолоджується і конденсується. Рідинний холодоагент надходить у ресивер 4 і далі через фільтр 8, призначений для уловлювання можливих забруднень холодоагента у вигляді твердих часток. Потім холодоагент надходить у паралельно працюючі фільтри-осушувачі 9, у яких синтетичний осушувач відділяє вологу. Далі холодоагент проходить через магнітний вентиль 10, що закривається при непрацюючому компресорі або при відтаванні випарника для запобігання додатковому надходженню холодоагента у випарник 5. Перед випарником знаходиться терморегулюючий вентиль, що виконує дві функції:

- 1) функцію дроселя (для зниження тиску перед випарником),
- 2) функцію регулятора кількості подаваного у випарник холодоагента залежно від фактичної температури перегріву холодоагента на виході випарника, що фіксується за допомогою зрівняльного трубопровода. При правильному регулюванні терморегулюючого вентиля він забезпечує вихід з випарника тільки перегрітої пари, чим усувається ймовірність "мокрого" ходу компресора. Випарник 5 складається з декількох горизонтальних рядів пластинчастих труб із загальною поверхнею 64 м². Біля випарника перебувають два вентилятори 6, що продувають повітря холодильного приміщення через випарник 5. При цьому теплота, яка необхідна для випару холодоагента, надходить від цього повітря. Для забезпечення відтавання випарника один магнітний вентиль закривається, а другий магнітний вентиль 12 відкривається. Гаряча пара холодоагента, що подається компресором, надходить у трубопровід гарячої пари і через магнітний вентиль 12 надходить у випарник, виключаючи його відтавання.

Конденсатор 3 складається із секцій із загальною поверхнею охолодження 84 м² трубчасто-пластинчастого типу. Труби і пластини виконані з алюмінію. Пароподібний холодоагент надходить у конденсатор зверху через нагнітальний трубопровід і виходить відтіля після конденсації знизу через рідинний трубопровід у ресивер.

Ресивер холодоагента 4 виконаний з алюмінієвого сплаву і має ємність 22,5 літри, у ньому є оглядові вікна для перевірки рівня холодоагента.

Випарник 5 складається із чотирьох трубчато-пластинчастих секцій із загальною поверхнею охолодження 64 м². Труби і пластини виготовлені з алюмінію. Терморегулюючим вентилем 11 через розподілювач рідини 13 і вісім розподільних трубок холодоагент впорскується у випарник, де він випаровується в трубках і при цьому відводить тепло повітря охолоджуваного приміщення.

Компресор 1 всмоктує холодоагент через усмоктувальну сітку і кутовий запірний вентиль 15 у всмоктувальний простір картера. Звідси холодоагент всмоктується трьома циліндрами низького тиску, стискується в них і витісняється у відповідні нагнітальні камери. Ці нагнітальні камери з'єднані з усмоктувальним простором циліндра високого тиску. Після стиску в циліндрі високого тиску холодоагент виходить із компресора й через нагнітальний запірний вентиль надходить у конденсатор.

Для контролю за роботою та визначення тиску і температури в характерних точках циклу стенд обладнаний манометрами низького тиску, високого тиску, проміжного тиску, а також термopарами.

3.2.3 Порядок виконання роботи

- 1 Увімкнути установку в роботу (здійснюється викладачем).
- 2 Після виходу ПКХУ на сталий режим роботи приступити до вимірювання параметрів, вказаних в таблиці 3.2.
- 3 Вимкнути установку і приступитися до обробки результатів випробувань.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань

Параметри ПКХУ	Величина
1	2
Тиск конденсації p_k , Па	
Тиск між ступенями компресора p_{np} , Па	
Тиск у випарнику p_u , Па	
Температура у випарнику t_u , °С	
Температура конденсації t_k , °С	

Продовження таблиці 3.2

1	2
Температура парів на виході з компресора $t_2, ^\circ\text{C}$	
Температура рідкого фреону на виході з ресивера $t_3, ^\circ\text{C}$	
Температура парів на вході в компресор $t_1, ^\circ\text{C}$	
Температура в холодильному відділенні $t_0, ^\circ\text{C}$	

$$P_{к\text{ абс}} = P_{к} + P_{атм}; P_{нр\text{ абс}} = P_{нр} + P_{атм}; P_{и\text{ абс}} = P_{и} + P_{атм}.$$

3.2.4 Обробка результатів експерименту

Після отриманих результатів вимірювань побудувати цикл ПКХУ із двоступінчастим стиском в lg p-h-діаграмі для фреону-12. За ним визначити ентальпії в точках циклу: $h_1, h_{2'}, h_{2''}, h_2, h_3, h_4, h_0$.

Питоме холодовиробництво, кДж/кг,

$$q_0 = h_1 - h_4. \quad (3.5)$$

Питома робота стискування, кДж/кг,

$$l_{к} = (h_{2'} - h_{1'}) (h_{2''} - h_{1''}). \quad (3.6)$$

Питоме навантаження на конденсатор, кДж/кг,

$$q_{к} = h_{2''} - h_3. \quad (3.7)$$

Холодильний коефіцієнт

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l_{к}}. \quad (3.8)$$

Питома робота стискування для одноступінчастої ПКХУ, кДж/кг,

$$l_{к}^0 = h_{20} - h_{1'}. \quad (3.9)$$

Холодильний коефіцієнт для одноступінчастої ПКХУ

$$\varepsilon^0 = \frac{q_0}{l_k^0}. \quad (3.10)$$

Порівняйте цикли одноступінчастої та двоступінчастої ПКХУ.

3.2.5 Контрольні питання

1 Де застосовуються холодильні установки на залізничному транспорті?

2 У чому полягає причина застосування дво- чи багатоступінчастого стиску в ПКХУ?

3 Указати відмінності в циклах одно- і двоступінчастого ПКХУ.

4 Указати призначення теплорегулюючого дроселя.

4 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ

4.1 Парокомпресійні і абсорбційні холодильні установки

Розрахувати і вибрати типові парокомпресійну і абсорбційну холодильну установки холодопродуктивністю $Q_o = 348$ кВт для отримання холоду при температурі $t_o = -15$ °С. Для АХУ теплоносій, що гріє, - водяна насичена пара з температурою $t_n = 120$ °С; температура охолоджувальної води $t_b = +20$ °С.

Визначити холодопродуктивність установок при $t_o = -10$; -15; -20; -25 °С та порівняти установки при однакових умовах роботи.

4.1.1 Розрахунок парокомпресійної холодильної установки

Визначити теоретичний робочий цикл парової холодильної компресійної установки за $\lg p$ - h -діаграмою.

Методичні вказівки до розрахунку

Побудова теоретичного циклу проводиться за заданими робочими параметрами. Для цього необхідно знати температури t_o , t_k , t_n . Ці температури встановлюються в залежності від температури в охолоджувальній камері і температури зовнішнього середовища (охолоджувальної води), тобто на основі заданих параметрів.

Температура кипіння холодильного агента у випарнику t_o – з вихідних даних.

Температура конденсації t_k приймається на 10°С вище температури води, що надходить в конденсатор.

Температура переохолодження t_n приймається на 5°С вище температури води, що надходить.

У подальшому необхідно вибрати холодильний агент виходячи з діапазону охолодження за умовами завдання.

Після визначення цих температур будемо теоретичний цикл на $\lg p$ - h - діаграмі (рисунок 4.1) для вибраного холодильного агента таким чином:

- за заданою температурою t_0 визначається точка 1 на перетині ізотерми t_0 з кривою $x=1$, визначається тиск p_0 і будується ізобара;

- визначається тиск p_k на перетині ізотерми t_k з кривою $x=1$ і будується ізобара;

- з точки 1 проводиться адіабата в область перегрітої пари до перетину з ізобарою p_k , визначається точка 2 і параметри цієї точки (лінія 1-2 – адіабатне стискання у компресорі);

- потім проводяться лінії:

- 2-2' – охолодження перегрітої пари до t_k ;

- 2'-3' – конденсація пари;

- 3'-3 – переохолодження конденсату;

- точка 3 характеризує стан холодильного агента перед регулюючим вентиляем, вона визначається на перетині ізобари p_k з ізотермою t_n ;

- по закінченні проводиться лінія 3-4 (процес дроселювання при $h=\text{const}$).

Проводиться розрахунок побудованого циклу. З діаграми визначається ентальпія сухої насиченої пари, що всмоктується компресором h_1 , ентальпія у кінці стискання h_2 , ентальпія рідкого холодильного агента $h_3 = h_4$ перед регулюючим вентиляем та питомий об'єм пари, що всмоктується v_1 .

За визначеними даними розраховуємо:

- холодопродуктивність 1 кг холодильного агента, кДж/кг,

$$q_0 = h_1 - h_4; \quad (4.1)$$

- теоретичну роботу стискання у компресорі, кДж/кг,

$$l = h_2 - h_1; \quad (4.2)$$

- теплоту, що віддається 1 кг холодильного агента у конденсаторі, кДж/кг,

$$q = q_0 + l; \quad (4.3)$$

- теоретичний холодильний коефіцієнт циклу

$$\varepsilon_m = \frac{q_0}{l}; \quad (4.4)$$

- кількість холодильного агента, що надходить до випарника, кг/с,

$$G = \frac{Q_0}{q_0}; \quad (4.5)$$

- теоретичну потужність, що витрачається в компресорі, кВт,

$$N_m = \frac{Q_0}{\varepsilon_m}; \quad (4.6)$$

- об'єм пари холодоагента, що всмоктується компресором, м³/с,

$$V = G \cdot v_1; \quad (4.7)$$

- теплову завантаженість конденсатора, Вт,

$$Q = Q_0 \frac{\varepsilon_m + 1}{\varepsilon_m}; \quad (4.8)$$

- об'ємну холодопродуктивність холодильного агента (при стандартних умовах), кДж/м³,

$$q_{0v} = \frac{q_0}{v_1}. \quad (4.9)$$

Перевіряються граничні параметри t і P , за межею яких використання одноступінчастих холодильних машин економічно недоцільно.

Одноступінчасті машини допускаються до роботи у діапазоні у залежності від холодоагента, при відношенні тисків $p_k/p_0 < 9$ і різниці тисків $p - p_0 < 1,2$ МН/м².

Розрахунок дійсного циклу парової компресійної холодильної установки

Дійсний цикл парової компресійної машини відрізняється від теоретичного наявністю об'ємних і енергетичних втрат як в компресорі, так і поза ним. Об'ємні втрати зменшують

продуктивність холодильної машини, енергетичні збільшують витрати потужності в порівнянні з теоретичною.

Об'ємні втрати, що зменшують холодопродуктивність машини, в основному виникають в компресорі.

Усі види об'ємних втрат у практичних умовах враховуються коефіцієнтом подачі, величина якого рівна

$$\lambda = \lambda_i \cdot \lambda_\omega \lambda_{ш}, \quad (4.10)$$

де λ_i – індикаторний коефіцієнт всмоктування;

$$\lambda_i = \lambda_c \cdot \lambda_{др}, \quad (4.11)$$

де λ_c – об'ємний коефіцієнт, що враховує шкідливий простір,

$$\lambda_c = 1 - c_0 \cdot \left[\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{1}{1.2}} - 1 \right], \quad (4.12)$$

до розрахунку λ_c приймаємо відносну величину об'єму шкідливого простору c_0 рівною 4 %;

$\lambda_{др}$ – коефіцієнт дроселювання, що приймається рівним 0,95;

λ_ω – коефіцієнт підігріву, який можна оцінити приблизно за формулою $\lambda_\omega = \frac{T_0}{T_k}$;

$\lambda_{ш}$ – коефіцієнт густини, який приймається рівним 0,98.

Визначається погодинна продуктивність компресора, м³/год,

$$V_n = \frac{V}{\lambda}. \quad (4.13)$$

Враховуючи продуктивність, проводиться вибір розмірів і конструктивних параметрів компресора.

Для поршневого компресора простої дії маємо

$$V_n = 60 \frac{\pi \cdot D^2}{4} S \cdot z \cdot n, \quad (4.14)$$

де n – число обертів вала, хв⁻¹;

z – кількість циліндрів;

S – хід поршня, м;

D – діаметр поршня, який визначається з останньої формули таким чином, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{60 \cdot \pi \cdot S \cdot z \cdot n}}. \quad (4.15)$$

Згідно з діаметром за каталогами, що випускаються промисловістю, підбирається компресор, який найбільш повно задовольняє необхідні вимоги. Коли вибір компресора проведений вдало, то величина V_n , що отримана за розрахунком, приблизно рівна об'єму, який описує поршень компресора за одну годину.

Визначення потужності, що споживається, і вибір електродвигуна для компресора

Підвищення роботи стискання у дійсному процесі в порівнянні з теоретичним відбувається головним чином в результаті наявності теплообміну в циліндрі компресора і гідравлічного опору при всмоктуванні та виштовхуванні пари. Це підвищення роботи визначається індикаторним коефіцієнтом корисної дії η_i .

Для приблизного розрахунку η_i часто використовують емпіричну формулу проф. П.П. Левіна

$$\eta_i = \lambda_0 + \epsilon \cdot t_0, \quad (4.16)$$

де ϵ – коефіцієнт, який для вертикальних машин рівний 0,001.

Індикаторна потужність розраховується за формулою, Вт,

$$N_i = \frac{N_m}{\eta_i}. \quad (4.17)$$

Втрати, які викликані тертям частин компресора, що рухаються, враховуються механічним коефіцієнтом корисної дії η_m . У сучасних компресорах з вертикальним розташуванням циліндрів $\eta_m = 0,85 \dots 0,9$.

Ефективна потужність, яка необхідна для привода компресора, кВт,

$$N_m = \frac{N_i}{\eta_m}. \quad (4.18)$$

Потужність електродвигуна визначається за формулою

$$N = \frac{N_e}{\eta_p}, \quad (4.19)$$

де η_p – коефіцієнт корисної дії редуктора (пасової клинкової передачі). Вибирається електродвигун за номінальною потужністю, яка наближається до розрахункового значення.

Визначення холодопродуктивності при різних режимах роботи

Між об'ємом пари, що всмоктується компресором, $V = V_n \cdot \lambda$, об'ємною холодопродуктивністю q_v і холодопродуктивністю q зв'язок, який виражається формулою

$$Q_{0p} = Q \frac{q_{vp} \cdot \lambda_p}{q_{vc} \cdot \lambda_c}. \quad (4.20)$$

За допомогою цього відношення можна встановити залежність між «робочою» і «стандартною» холодопродуктивностями у дійсному процесі.

Проводяться відповідні розрахунки холодопродуктивності при різних t_0 і дається висновок щодо впливу температури на холодопродуктивність.

4.1.2 Розрахунок абсорбційної холодильної установки (АХУ)

Розрахунок теплової схеми за $h - \xi$ - діаграмою

Розрахунок теплової схеми проводиться виходячи з таких даних:

- холодопродуктивність $Q_o = 348\ 000$ Вт;
 - температура водяної пари, що гріє, $t_{гп}=120$ °С;
 - температура води, що охолоджує $t_{в}=20$ °С;
 - нижча температура розчину у випарнику $t_0=-15$ °С;
 - температура конденсації $t_{к}=30$ °С.
- Температура у кип'ятильнику, °С,

$$t_2 = t_n - 10. \quad (4.21)$$

Температура розчину в абсорбері, $^{\circ}\text{C}$,

$$t_4 = t_e + 5. \quad (4.22)$$

Тиск у кип'ятильнику і конденсаторі визначається за температурою, що відповідає $t_k = t_e + 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, становить $p=1 \text{ МПа}$.

Вища температура розчину у випарнику $t''_0 = t_0 - 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тиск у випарнику і абсорбері $p_0 = 0,2 \text{ МПа}$.

На рисунку 4.2 наведено принципову схему абсорбційної холодильної установки, де наведені точки, що характеризують рідину і відповідний стан пари.

Розрахунок абсорбційних установок, що працюють на водоаміачних розчинах, ведуть за допомогою $h-\xi$ -діаграми, принципний вигляд якої наведений на рисунку 4.3. В холодильній техніці концентрацію легкокиплячого компоненту прийнято визначати через ξ і відносити до 1 кг розчину.

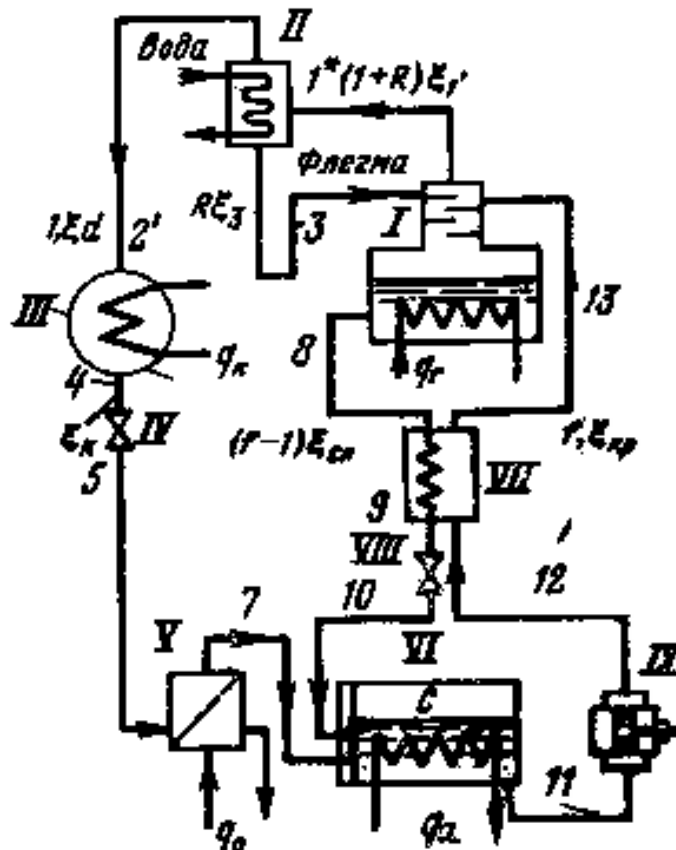


Рисунок 4.2 – Схема абсорбційної холодильної установки

Для побудови процесу, що відбувається в установці, на $h - \xi$ -діаграмі визначають параметри точок, які характеризують параметри рідини і пари. При цьому задаються рядом умов. Тиск у генераторі p_g при спрощених розрахунках приймають рівним тиску в конденсаторі $p_g = p_k$, а тиск в абсорбері – тиску у випарнику $p_a = p_0$.

Зображення циклу повної абсорбційної холодильної установки на $h - \xi$ -діаграмі (рисунок 4.4) проводимо у такому порядку :

- проводяться лінії кипіння і конденсації для тисків p_g у генераторі і p_k у конденсаторі, а також p_0 в абсорбері і випарнику;
- будуються необхідні ізотерми, що відповідають:
- температурі рідини на виході з абсорбера t_a ;
- температурі рідини, що кипить у випарнику t_0 ;
- температурі рідини на виході з конденсатора t_k ;

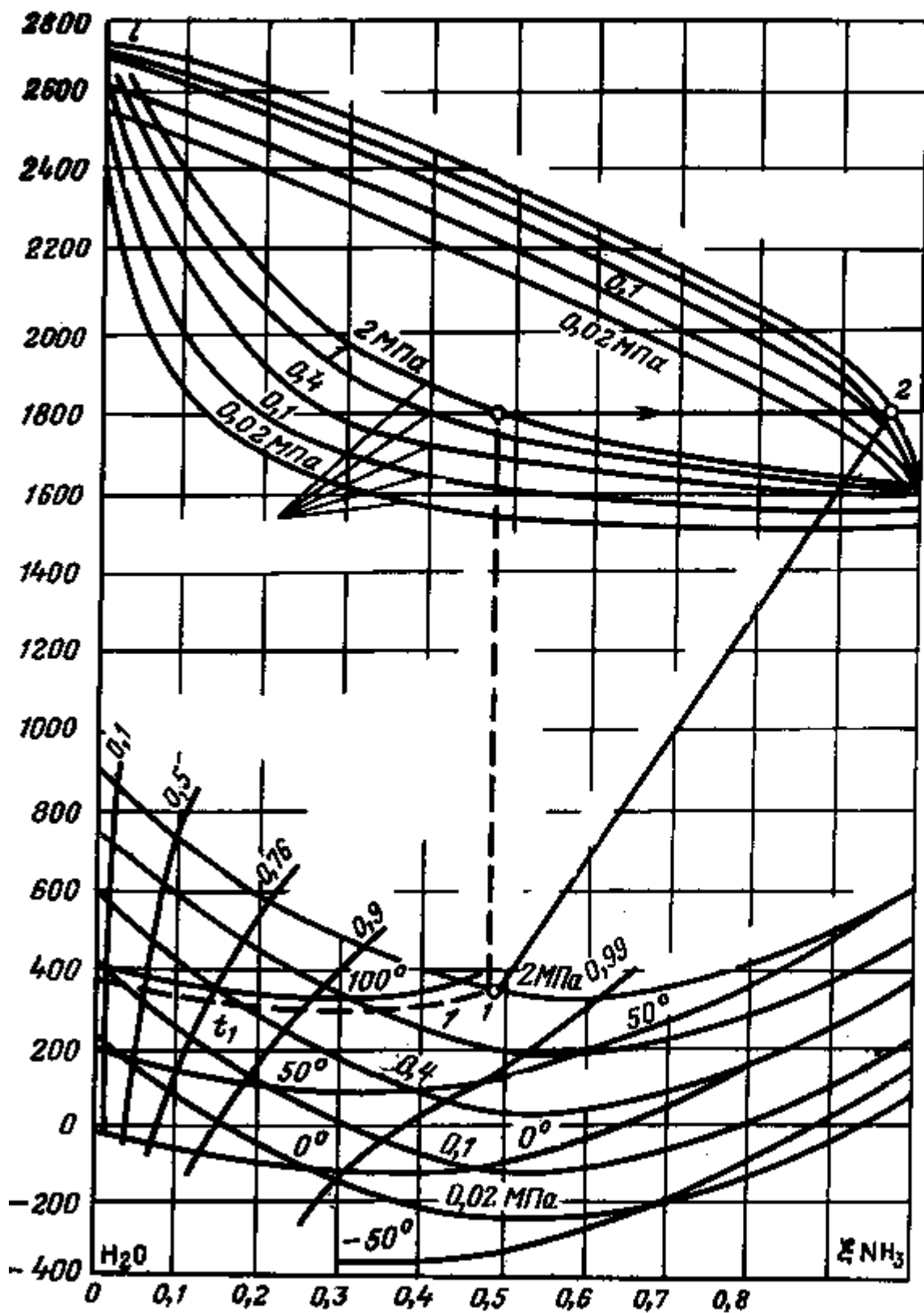


Рисунок 4.3 – $h-\xi$ -діаграма водоаміачного розчину

- точка 4, що характеризує параметри рідини після конденсатора з температурою t_k і концентрацією розчину ξ_k , знаходиться на перетині ізотерми t_k і ізобари p_k ;

- точка 2', що характеризує параметри пари на виході з дефлегматора перед конденсатором, знаходиться на перетині прямої ξ_k і ізобари p_k ;

- точка 6^0 відповідає рівноважному стану пари. Точка $6'$ будується на перетині ізобари p_0 і прямої $\xi=1$. Точки 6^0 і $6'$ з'єднуються прямою, яка характеризує ізотермічний процес у випарнику;

- точка 7 характеризує стан вологій пари на вході у абсорбері, знаходиться на прямій $6^0 - 6'$ і на перетині з $\xi = \xi_k$;

- параметри рідкої суміші на виході з генератора відповідають параметрам точки 8, що будується на перетині ізобари p_r і ізотерми t_r ;

- за допомогою допоміжних кривих будується точка $8'$ і з'єднується з точкою 8 прямою, яка характеризує процес в генераторі. Пара, що утворюється в генераторі (точка $8'$), надходить у ректифікаційну колону і вступає у тепломасообмін з флегмою (точка 3) і міцним розчином $\xi_{кр}$;

- точка 3, яка характеризує стан флегми, визначається тиском p_r і концентрацією міцного розчину $\xi_{кр}$. Процес дефлегмації зображується лінією 2'-3;

- точка 1' будується за допомогою допоміжних кривих, процес 1'-Е – часткова конденсація пари 1' з подальшою сепарацією на пару 2' з концентрацією ξ_k і флегми з параметрами точки 3;

- точка 10, що характеризує стан розчину після дроселювання до тиску p_0 , збігається з точкою 9, яка визначає стан розчину до дроселювання, але відповідає дуже вологій парі з тиском p_0 і концентрацією суміші з парорідинною емульсією $\xi_{сл.}$. Процес абсорбції уявляється першою фазою змішення – лінією 10-7 і другою фазою охолодження – лінією С-11, що необхідно для концентрації не тільки пари з випарнику, але і пари, що утворюється при дроселюванні рідини у перепускному вентилі. Точку С отримують перехрестям лінії 10-7 і продовженням лінії 11-3 (12-13);

- точка 12, що характеризує параметри рідини при виході з абсорбера, збігається з точкою 11, тому що ентальпія при стисканні рідини насосом до тиску p_r не змінюється. Подальша рідина нагрівається у проміжному теплообміннику до параметрів, що відповідають точці 13 і надходить у генератор.

Тепловий баланс АХУ

Для розрахунку теплових потоків визначаються такі величини.

Кратність циркуляції

$$f = \frac{\xi_d - \xi_{cl}}{\xi_{kp} - \xi_{cl}}, \quad (4.23)$$

де ξ_d – стан флегми після дефлегматора (концентрація міцного розчину $\xi_d = \xi_K$);

ξ_{kp} – концентрація розчину, що надходить в генератор;

ξ_{cl} – концентрація слабого розчину, який відходить з генератора.

Флегмове число

$$R = \frac{\xi_d - \xi_1}{\xi_1 - \xi_3}, \quad (4.24)$$

де ξ_1 – середня концентрація пари, що відходить з генератора;

ξ_3 – концентрація розчину, що надходить в генератор з дефлегматора.

Рівняння теплового балансу абсорбційної холодильної установки має вигляд, кДж/кг,

$$q_0 + q_2 = q_k + q_a + q_R. \quad (4.25)$$

Теплота, яка використовується у генераторі, кДж/кг,

$$q_2 = f \cdot (h_8 - h_{13}) + R \cdot (h_1' - h_3) + h_1' - h_8, \quad (4.26)$$

де h_8 – ентальпія слабкого розчину на виході з генератора на вході до проміжного теплообмінника, кДж/кг;

h_1' – ентальпія пари, на вході в дефлегматор після генератора (кр. 1'), кДж/кг;

h_3 – ентальпія розчину на виході з дефлегматора, кДж/кг;

h_{13} – ентальпія міцного розчину після теплообмінника, кДж/кг,

$$h_{13} = h_{11} + \frac{q_m}{f}, \quad (4.27)$$

де h_{11} – ентальпія міцного розчину після абсорбера на вході до насоса, кДж/кг;

q_m – теплота, що віддається слабким розчином у теплообміннику, кДж/кг.

$$q_m = (f - 1)(h_8 - h_{10}), \quad (4.28)$$

де h_{10} – ентальпія слабкого розчину на вході абсорбера, кДж/кг.

Теплота, що відводиться від дефлегматора водою,

$$q_R = (1 + R) \cdot h_1' - h_2' - R \cdot h_3, \quad (4.29)$$

де h_2' – ентальпія пари, на вході в конденсатор після дефлегматора (точка 2'), кДж/кг.

Теплота, що відводиться у конденсаторі,

$$q_K = h_2' - h_4, \quad (4.30)$$

де h_4 – ентальпія кріпкого розчину після конденсатора перед випарником, кДж/кг.

Теплота, що відводиться в абсорбері, кДж/кг,

$$q_a = h_7 - h_{10} + f \cdot (h_{10} - h_{11}), \quad (4.31)$$

h_7 – ентальпія вологої пари перед абсорбером, кДж/кг.

Теплота, що підводиться до випарника, кДж/кг

$$q_0 = (h_7 - h_5), \quad (4.32)$$

$h_5 = h_4$ – ентальпія розчину перед випарником, кДж/кг.

Порівнюється тепловий баланс, що віднесений до 1 кг пари.
Далі визначається тепловий коефіцієнт

$$\varepsilon = \frac{q_0}{q_2}. \quad (4.33)$$

Кількість пари, що утворюється, кг/год,

$$D = \frac{Q_0}{q_0}. \quad (4.34)$$

Кількість розчину, що утворюється у парогенераторі,

$$F = f \cdot D. \quad (4.35)$$

4.2 Трансформатори теплоти

Як трансформатори теплоти для підвищення тиску відпрацьованої пари низького тиску отримали найбільш розповсюдження струминні компресори. Принципова схема пароструминного компресора наведена на рисунку 4.5.

Розрахувати пароструминний компресор при таких умовах:

- параметри робочої пари перед компресором $p_p = 9,81 \cdot 10^5$ Па;
 $t_p = 180^\circ \text{C}$; $v_p = 0,198$ м³/кг; $h_p = 2784,2$ кДж/кг.

- параметри пари, що інжектуються, перед компресором:
 $p_u = 1,17 \cdot 10^5$ Па; пара волога с $x = 0,95$; $h_u = 2570$ кДж/кг;

- тиск стискання $p_c = 2,94 \cdot 10^5$ Па;

- продуктивність компресора $G_c = 2800$ кг/год або $0,78$ кг/с.

За h-s-діаграмою (див. рисунок 4.6) визначаються адіабатні теплоперепади h_0 і h_2 .

Для розрахунку приймаються такі значення коефіцієнтів швидкості:

- коефіцієнт швидкості у робочому соплі $\varphi_1 = 0,95$;
- коефіцієнт швидкості на виході з сопла $\varphi_2 = 0,97$;
- коефіцієнт швидкості у дифузорі $\varphi_3 = 0,9$;
- коефіцієнт швидкості на вхідній ділянці $\varphi_4 = 0,85$;
- коефіцієнт швидкості робочої пари $K_1 = 0,83$;
- коефіцієнт швидкості пари, яка інжектуюється, $K_2 = 0,74$.

За рисунком 4.7 визначаються оптимальні значення h_k при відношеннях h_0 / h_2 і h_k / h_0 , а потім за hs -діаграмою тиск на вході камери змішування.

Для заданих умов будуються процеси, що відбуваються у компресорі, на hs -діаграмі. Для визначення коефіцієнта K_3 , який залежить від розподілу роботи стискання між камерою змішування і дифузором, задаються рядом значень тиску у кінці камери змішування p_3 і для кожного значення за таблицями водяної пари визначається питомий об'єм v_3 , а значення K_3 визначаються за формулою

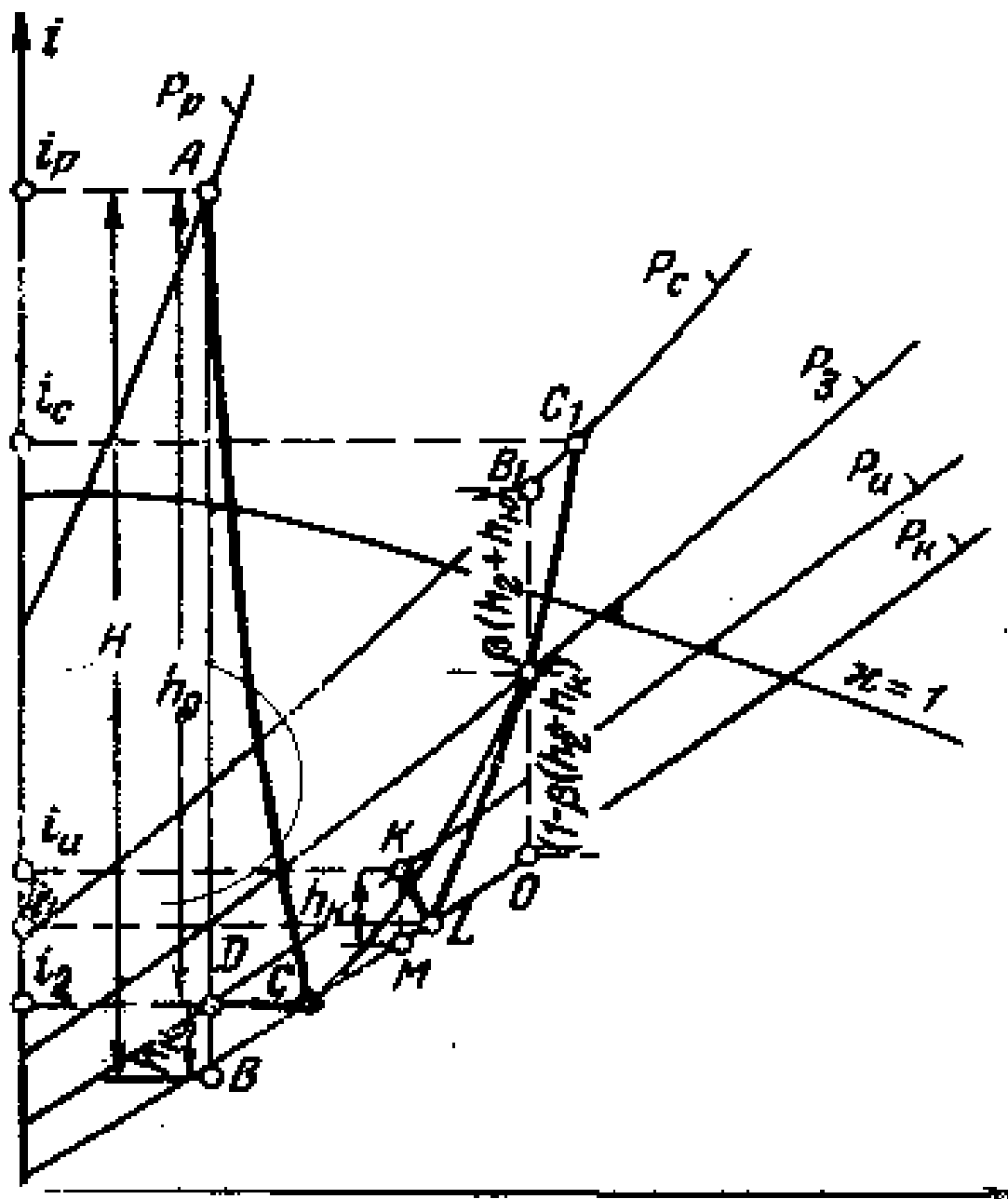


Рисунок 4.6 – Процес у струминному компресорі на $h-s$ -діаграмі у камері змішування

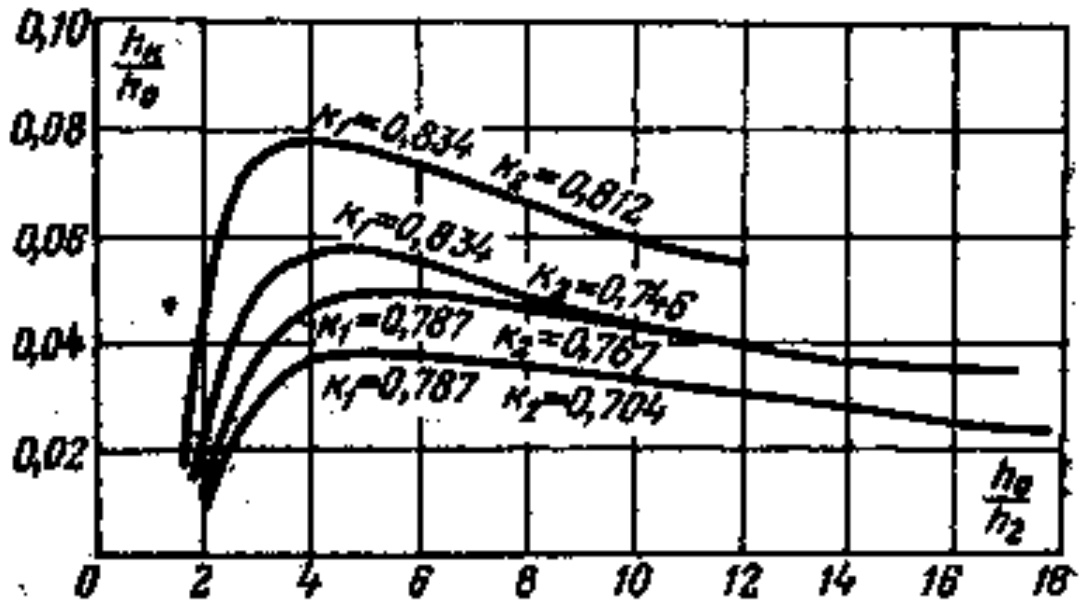


Рисунок 4.7. – Залежність оптимального значення $\frac{h_k}{h_0}$ від відношення зовнішніх теплоперепадів $\frac{h_0}{h_2}$

$$K_3 = \sqrt{\beta \left[1 + \varphi_3^2 \cdot \frac{(p_3 - p_k) \cdot v_3}{2 \cdot \beta \cdot (h_2 + h_k)} \right]}, \quad (4.36)$$

де β – відношення адіабатного перепаду стискання у дифузори до усього адіабатного перепаду у камері змішування і дифузори.

$$\beta = \frac{A_1 B_1}{O B_1} \quad (\text{див. рисунок 4.6}). \quad (4.37)$$

З отриманих значень K_3 вибирається мінімальне, при якому будуть оптимальними умови до розрахунку камери змішування.

Коефіцієнт інжекції при оптимальних розрахункових умовах визначається за формулою

$$U = \frac{K_1 \sqrt{h_0 + h_k} - K_3 \sqrt{h_0 + h_k}}{K_3 \sqrt{h_2 + h_k} - K_2 \sqrt{h_k}}. \quad (4.38)$$

Визначається розрахунковий коефіцієнт інжекції

$$U_p = k \cdot U, \quad (4.39)$$

де $k = f\left(\frac{p_c}{p_u}\right) \approx 0,6 \div 1,0$.

Витрата пари, що інжектуються, визначається так, кг/с:

$$G = U_p \cdot G_p. \quad (4.40)$$

Критичний перетин робочого сопла визначається за формулою, м²,

$$f_1 = \frac{G_p}{C \sqrt{\frac{p_p}{v_p}}}, \quad (4.41)$$

де C – коефіцієнт, рівний 0,667 для перегрітої пари і 0,635 для сухої насиченої пари. Звідси визначається діаметр сопла

$$d_1 = 1,13 \sqrt{f_1}. \quad (4.42)$$

Вихідний перетин робочого сопла визначається за формулою, м²,

$$f_2 = \frac{G_p \cdot v_2}{1,41 \cdot \varphi_1 \sqrt{h_0 + h_\kappa}}, \quad (4.43)$$

а потім – вихідний діаметр робочого сопла

$$d_2 = 1,13 \sqrt{f_2}. \quad (4.44)$$

Вхідний перетин потоку, що інжектуються, визначається за формулою, м²,

$$f_4 = \frac{G_u \cdot v_4}{1,41 \cdot \varphi_4 \sqrt{h_\kappa}}, \quad (4.45)$$

а потім – вхідний діаметр

$$d_4 = 1,13 \sqrt{f_2 + f_4}. \quad (4.46)$$

Перетин циліндричної частини камери змішування визначається за формулою

$$f_3 = \frac{G_p(1+U_p) \cdot v_3 \cdot \varphi_3}{1,41\sqrt{\beta \cdot (h_0 + h_k)}}, \quad (4.47)$$

а потім – діаметр камери змішення

$$d_3 = 1,13\sqrt{f_3} \quad (4.48)$$

і довжина камери змішування

$$l = 8 \cdot d_3, \quad (4.49)$$

Якщо прийнята швидкість виходу пари з дифузора $\omega_c = 40$ м/с, то перетин дифузора буде

$$f_c = \frac{G_c \cdot v_c}{\omega_c}, \quad (4.50)$$

а діаметр

$$d_c = 1,13\sqrt{f_c}. \quad (4.51)$$

При куті розходження дифузора $\alpha = 6^\circ$ довжина дифузора буде

$$f_0 = \frac{d_c - d_3}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (4.52)$$

Довжина вільного струменя визначається за формулою

$$S = \left(\sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U_p} - 0,29 \right) \frac{d_2}{2 \cdot a}, \quad (4.53)$$

де a – дослідна константа, що розповсюджена у межах 0,07-0,09, а діаметр вільного струменя буде

$$d_5 = 3,4 \cdot d_2 \sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U}. \quad (4.54)$$

Коефіцієнт корисної дії струминного апарату буде

$$\eta = \frac{U_p \cdot h_2}{h_2 - h_2}. \quad (4.55)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

- 1 Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1972. – 320 с.
- 2 Бакластов А.М., Горбенко В.А., Удыма П.Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок. – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.
- 4 Лебедев П.Д., Щукин А.А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1970. – 408 с.
- 5 Краснощеков Е.А., Сукомел Л.С. Задачник по теплопередаче. – М.: Энергия, 1969. – 263 с.
- 6 Промышленные тепломассообменные установки и процессы / Под ред. А.М. Бакластова – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 327 с.
- 7 Бажан П.И. Расчет и конструирование охладителей дизелей. – М.: Машиностроение, 1981.- 168 с.
- 8 Бажан П.И., Канивец Г.Е., Селивестров В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. – 366 с.
- 9 Ерощенко С.А., Крушедольский А.Г. Методические указания к лабораторным работам по разделу «Холодильные установки» курса «Промышленные тепломассообменные процессы и установки». – Харьков: ХИИТ, 1989. – 16 с.

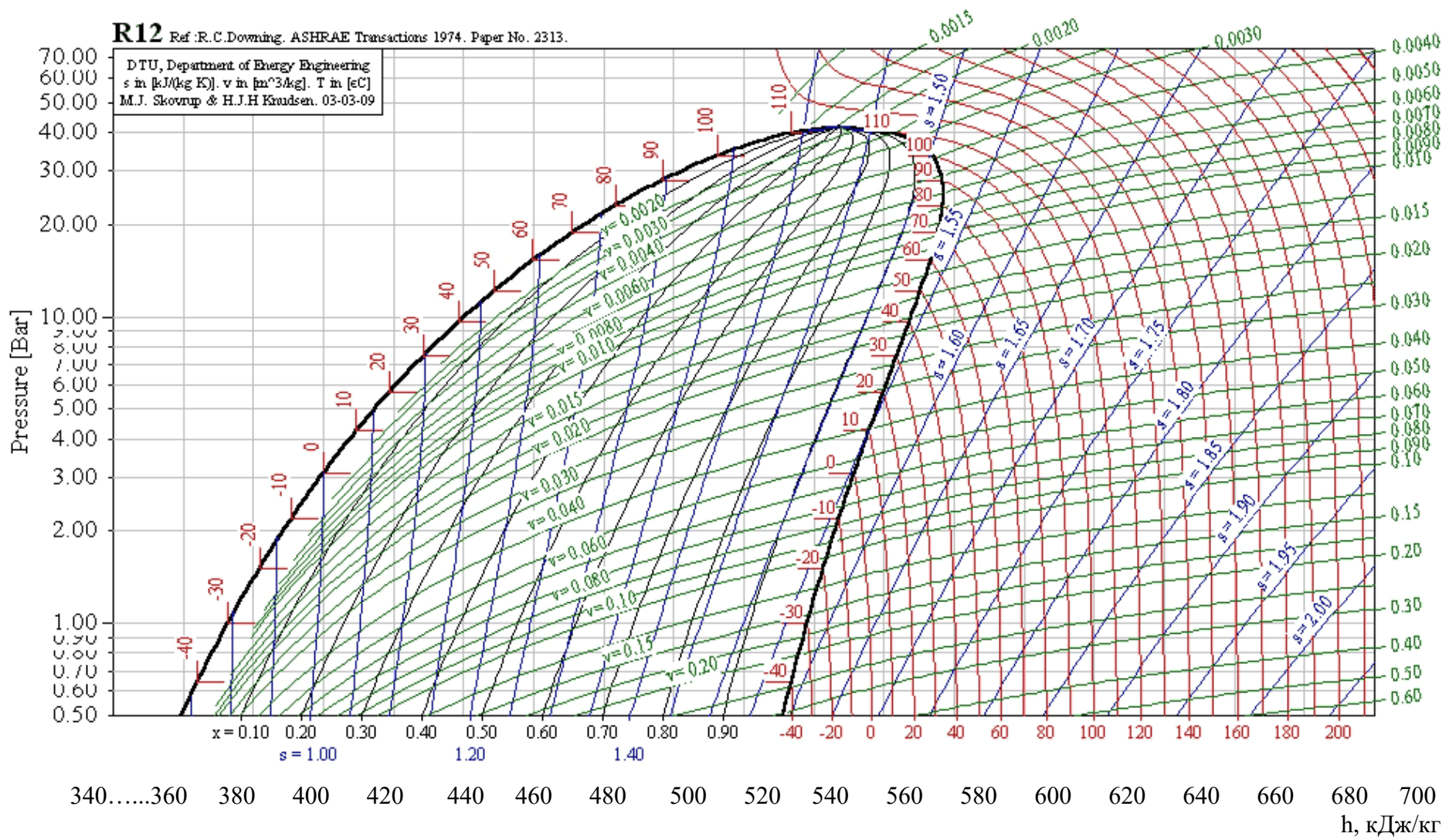


Рисунок 4.1 – lg p-h-диаграмма фреону-12

