

Міністерство освіти і науки України



Державний біотехнологічний університет

Методичні вказівки
до практичного заняття

**Дослідження впливу режимів роботи випарника
на холодопродуктивність компресійної холодильної
машини**

за курсом «Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і
харчових виробництв»

Для студентів денної і заочної форми навчання

Затверджено
на засіданні кафедри обладнання та
інжинірингу переробних і харчових
виробництв
Протокол №18 від 27.04.2023р.

Затверджено
на засіданні методичної ради
факультету мехатроніки та
інжинірингу
Протокол №4 від 04.05.2023р.

Харків – 2023

О.В.Богомолів, П.В. Гурський, С.Г.Іващенко

Дослідження впливу режимів роботи випарника на холодопродуктивність компресійної холодильної машини: Методичні вказівки до виконання практичного заняття з навчального курсу: Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і харчових виробництв. – Х.: ДБТУ, 2023. – 16 с.

Рецензенти:

Михайлов В.М. доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи (Державний біотехнологічний університет)

Потапов В.О. доктор технічних наук, професор кафедри «Холодильна і торгівельна техніка» (Державний біотехнологічний університет)

Методичні рекомендації призначені для допомоги студентам денної та заочної форми навчання при виконанні практичного заняття на тему: Дослідження впливу режимів роботи випарника на холодопродуктивність компресійної холодильної машини.

© Гурський П.В., Богомолів О.В.,
С.Г.Іващенко, 2023

© Державний біотехнологічний
університет, 2023

Практична робота №2

Тема: Дослідження впливу режимів роботи випарника на холодопродуктивність компресійної холодильної машини

Мета: Придбати практичні навички в побудові, розрахунку і дослідженні впливу режимів роботи випарника на теоретичний робочий цикл холодильної машини.

Теоретичні дані

Теоретичний цикл парової компресійної холодильної машини, що буде розглядатись в даній практичній роботі та в наступних відбувається за допомогою чотирьох основних елементів (рис.1): випарювача (*Вп*), компресора (*Кп*), конденсатора (*Кд*) (включаючи переохолоджувач (*По*)) і регулюючого вентиля (*Рв*). У кожному з них відбувається певний термодинамічний процес. В реальній експлуатації холодильна машина має ще цілий перелік допоміжних апаратів, таких як віддільники рідини, масловіддільники, ресивери, фільтри, повітроохолоджувачі, насоси, вентилятори і т. ін.

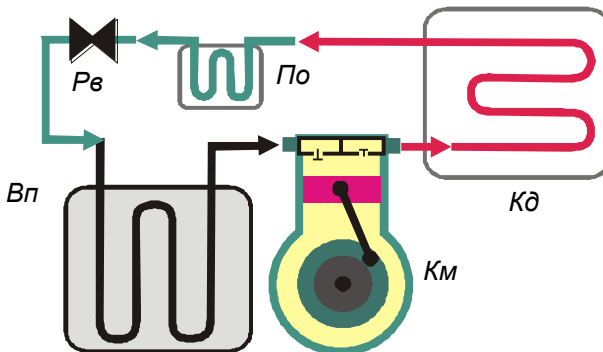


Рисунок 1 – Схема компресійної холодильної машини

Основна перевага парової холодильної компресійної машини полягає в тому, що її робочий цикл в основному протікає в області насичення — між граничними кривими

(рис.3). Це дозволяє здійснювати процес з великим наближенням до циклу Карно, тому що в області насичення ізобари збігаються з ізотермами. Процес парової компресійної машини, що працює по зворотному циклу Карно, протікає в такий спосіб. Робочою речовиною служить легкокипляча рідина (холодильний агент, наприклад аміак з температурою кипіння – $33,3^{\circ}\text{C}$ за атмосферного тиску). В спеціальному трубчастому апараті – випарнику (рис. 2) при постійному тиску P_o і відповідною до нього низькою температурою t_o холодильний агент кипить, причому необхідне для цього тепло відбирається від охолоджуваного приміщення. Пара, що утворюється під час кипіння, з випарника засмоктується компресором, стискаються в ньому і нагнітаються в конденсатор, у якому вона, під впливом охолоджувальної води, конденсуються при постійному тиску P_k і відповідній температурі t_k

Випарник – це теплообмінний апарат, у якому тепло віднімається від охолоджуваного середовища киплячим при низькій температурі холодильним агентом. Охолоджуваним середовищем можуть бути або проміжні холодоносії – розсіл, вода, що використовуються, в свою чергу, для охолодження повітря камер і технологічних апаратів за допомогою ропних і водяних батарей, або безпосередньо повітря охолоджуваних приміщень. Відповідно до цього в холодильній техніці розрізняють випарники для охолодження розсолу (чи води) і випарники для охолодження повітря. До останнього відносяться батареї і повітроохолоджувачі безпосереднього випару.

Випарники для охолодження розсолів і води. Ці випарники повинні володіти високими теплотехнічними якостями, від яких залежить інтенсивність процесу теплопередачі. Важливо, щоб в апараті були забезпечені висока швидкість циркуляції охолоджуваної рідини, швидкість видалення бульбашок, що утворюються при кипінні холодильного агента, малі гідравлічні опори і чистота системи. Безпосередньо від цих факторів залежать коефіцієнти теплопередачі, а отже, і розміри апарата, його металоємність і вартість. Випарники повинні бути прості у виготовленні й в обслуговуванні. Велике

поширення одержали вертикальнотрубні і кожухотрубні випарники.

Багатоходовий аміачний кожухотрубний випарник (рис. 2) являє собою циліндричний корпус із привареними трубними ґратами, у які вставлені і розвальцьовані сталеві труби діаметром 25×3 мм. До трубних ґрат кріпляться чавунні кришки з перегородками, що утворюють усередині випарника кілька ходів для протоки охолоджуваної рідини.

Розсіл чи вода охолоджуються в результаті теплообміну з аміаком, що кипить у міжтрубному просторі при низькому тиску і низькій температурі. Рідкий холодоносій надходить у випарник через нижній патрубок в одній із кришок, робить по трубах послідовно кілька ходів і виходить з випарника через верхній патрубок.

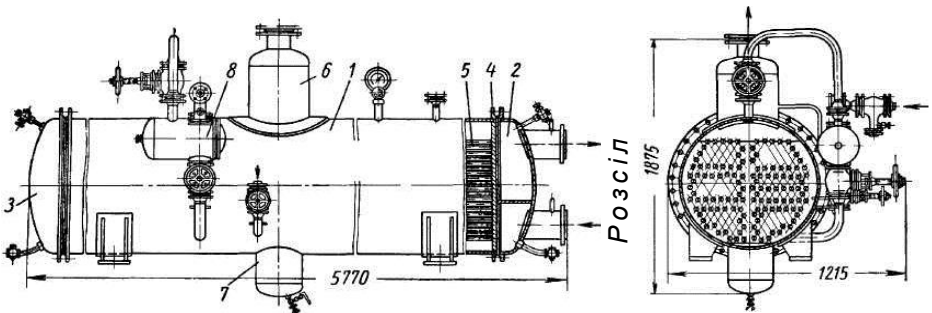


Рисунок 2 – Аміачний кожухотрубний випарник:

- 1 – корпус, 2 і 3 – кришки; 4 – трубні ґрати; 5 – труби; 6 – сухопарник;
7 – відстійник, 8 – поплавковий регулюючий вентиль

Рідкий холодильний агент підводиться від регулюючого вентиля у випарник знизу в міжтрубний простір. Рівень рідини підтримується на висоті 0,8 діаметра кожуха. Пара, що утворюється у випарнику звільняється в паросушнику (сухопарнику) від часток рідини, що захоплюються ним, і відсмоктується компресором. Мазило, що проникає у випарник, періодично видаляється через масловідстійник.

Побудова теоретичного циклу компресійної холодильної машини по заданих параметрах з перепадом температур на випарнику

Для розрахунку теоретичного робочого циклу парової холодильної компресійної машини необхідно знати наступні температури: кипіння холодильного агента у випарнику t_o , конденсації t_k і переохолодження рідини перед регулюючим вентилем t_n . Ці температури встановлюють у залежності від температури охолоджуваного приміщення і температури зовнішнього середовища (охолоджувальної води чи повітря).

Температура кипіння t_o при безпосередньому охолодженні холодильним агентом буває на $8...10^\circ\text{C}$ нижче температури повітря охолоджуваних камер. При охолодженні проміжним теплоносієм (розсолем) t_o повинна бути на $5...7^\circ\text{C}$ нижче температури розсолу, а остання – на $8...10^\circ\text{C}$ нижче температури повітря камер. Температура конденсації t_k повинна бути на $8...10^\circ\text{C}$ вище температури води, що надходить на конденсатор, температура переохолодження t_n на $3...4^\circ\text{C}$ вище температури води, що надходить в переохолоджувач.

Намітивши основні температури, можна побудувати теоретичний цикл і розрахувати його, тобто визначити теоретичну холодопродуктивність 1 кг холодильного агента, витрату роботи в компресорі та інші, зв'язані з ними величини.

Холодильні цикли зручніше за все розраховувати за допомогою термодинамічних діаграм.

Найбільш зручною для розрахунків є ***i -lgp-діаграма*** (рис. 3). На цій діаграмі по осі абсцис відкладені ентальпії i , а по осі ординат – абсолютний тиск p . Для шкали тисків дуже часто застосовують логарифмічний масштаб.

Теоретичний робочий цикл холодильної машини на ***i -lgp-діаграмі*** будується в такий спосіб. По заданій температурі кипіння t_o і відповідному їй тиску p_o знаходимо на правій граничній кривій точку 1 (рис.4), що визначає стан холодильного агента (суха насичена пара) при вході в компресор.

Стискування у компресорі відбувається по адіабаті. Із точки

$$l = i_2 - i_1 \quad (2)$$

Графічно на *i-lgp-діаграмі* роботі l відповідає проекція адіабати 1–2 на вісь абсцис (рис.4).

Тепло, віддане від 1 кг холодильного агента охолоджуваній воді чи повітрю в конденсаторі (ізобара 2–3), за законом збереження енергії дорівнює сумі $q_k = q_0 + l$. Також воно може бути визначене як різниця ентальпій холодильного агента (рис. 4) в точках 2 і 3 за формулою:

$$q_k = i_2 - i_3 \quad (3)$$

На *i-lgp-діаграмі* це тепло зображається відрізком 2–3. Далі знаходимо:

а) холодильний коефіцієнт циклу за формулою:

$$\varepsilon_{теор} = \frac{q_0}{l} \quad (4)$$

б) кількість холодильного агента (кг/год), що усмоктується компресором протягом 1 год. (годинна кількість циркулюючого холодильного агента) визначається за формулою:

$$G = 3,6 \frac{Q_0}{q_0}, \quad (5)$$

де Q_0 — задана холодопродуктивність машини, Вт.

в) обсяг пари ($m^3/год$), всмоктуваної компресором за 1 год:

$$V = G v_1, \quad (6)$$

або з використанням формули 5:

$$V = 3,6 \frac{Q_0}{q_0} v_1 = 3,6 \frac{Q_0}{q_v}, \quad (7)$$

де v_1 — питомий об'єм пари, m^3/kg , що всмоктується компресором, знаходять по діаграмі (ізохора, що проходить через точку 1) чи з таблиць для насиченої пари;

q_v — об'ємна холодопродуктивність холодильного агента, кДж/м³.

$$q_v = \frac{q_0}{v_1} \quad (8)$$

За величиною V визначаються розміри компресора.

г) теоретична потужність (κBm), витрачена в компресорі:

$$N_{теор} = \frac{Gl}{3600} = \frac{Q_0}{1000 \varepsilon_{теор}} \quad (9)$$

д) теплове навантаження (κBm) конденсатора (з рівняння теплового балансу):

$$Q = Q_0 + N_{теор} \cdot 1000 = Q_0 + \frac{Q_0}{\varepsilon_{теор}} = Q_0 \frac{\varepsilon_{теор} + 1}{\varepsilon_{теор}} \quad (10)$$

Хід роботи

1. Вивчити дану інструкцію.
2. З таблиць 2 і 3 варіантів вибрати вихідні дані.
3. Побудувати на ***i-lgp-діаграмі*** теоретичні робочі цикли холодильної машини з перепадом тисків кипіння у випарнику.
4. На діаграмі теоретичних робочих циклів знайти додаткові величини, необхідні для розрахунків і заповнити таблицю 1.
5. Розрахувати теоретичні робочі цикли холодильної машини за різних умов роботи випарника.
6. Виконати аналіз отриманих результатів – ***висновки***.

Таблиця 1 – Додаткові дані для розрахунку

№ точки на діаграмі	<i>t</i>		<i>p</i>		<i>v</i>		<i>i</i>		<i>s</i>	
	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2
1										
2										
2'										
3'										
3										
4										

Форма звіту

Тема:

Мета:

Вихідні дані (табл. 2 і 3).

Ескіз схеми холодильної машини з точками процесу.

Ескіз теоретичного робочого циклу в *i-lgp-діаграмі* із знаходженням додаткових даних для розрахунку (табл. 1).

Теоретичні розрахунки робочих циклів.

Порівняння значень ε_1 і ε_2 ; l_1 і l_2 ; Q_1 і Q_2 ; N_1 і N_2 , аналіз і виконання висновків.

Варіанти завдань для роботи

Таблиця 2– За звичайних умов роботи випарника

№ варіанта	Холодильний агент	$t_o, ^\circ C$	$t_k, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	Q_o, Bm
1	NH ₃	-6	+35	-10	20000
2		-10	+30	0	40000
3		-16	+25	-10	35000
4		-8	+30	-10	30000
5		-15	+30	-5	25000
6		-5	+20	+5	22000
7		-10	+30	-2	45000
8		-12	+28	-5	10000
9		-18	+30	-8	28000
10		-8	+25	+5	42000

Таблиця 3 – Зі зниженням температури кипіння t_o на $10^\circ C$

№ варіанта	Холодильний агент	$t_o, ^\circ C$	$t_k, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	Q_o, Bm
1	NH ₃	-16	+35	-10	20000
2		-20	+30	0	40000
3		-26	+25	-10	35000
4		-18	+30	-10	30000
5		-25	+30	-5	25000
6		-15	+20	0	22000
7		-20	+40	-2	45000
8		-22	+28	-5	10000
9		-28	+30	-8	28000
10		-18	+25	0	42000

Контрольні запитання.

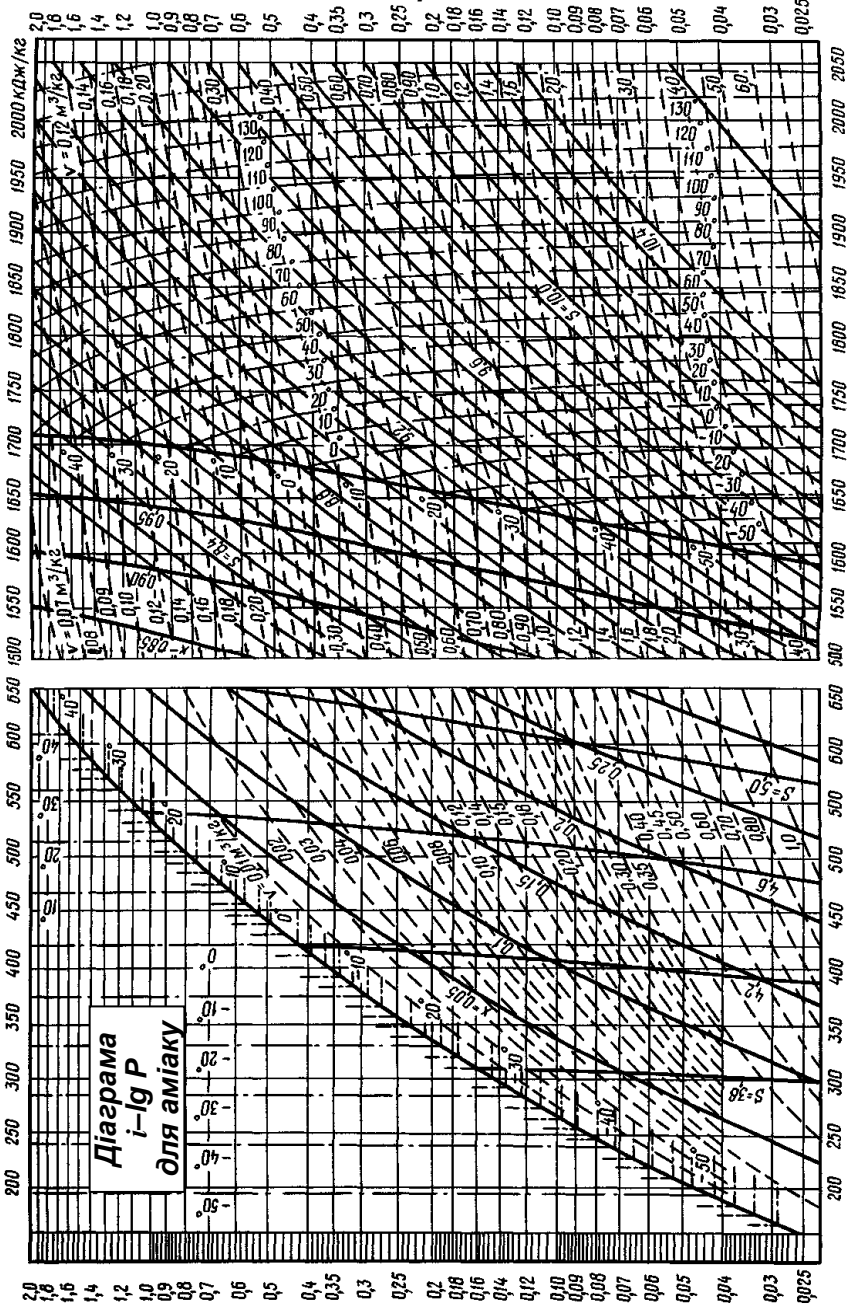
1. Які процеси відбуваються у випарнику, компресорі, конденсаторі і регулюючому вентилі парової компресійної холодильної машини?
2. Що називається питомою масовою і об'ємною холодопродуктивністю холодоагенту?
3. Чому цикл холодильної машини стає більш ефективним із введенням процесу охолодження рідини перед регулюючим вентилем?
4. Що таке "сухий хід" компресора і для чого він вводить?
5. Як впливає "сухий хід" на економічність холодильного циклу?
6. Які процеси відбуваються в регенеративному теплообміннику? Для яких холодоагентів доцільно його застосовувати?
7. Для яких цілей застосовується в холодильній машині регулюючий вентиль?
8. Як впливає на роботу компресора випарник рідини?
9. Що характеризує в холодильній машині коефіцієнт ε ?
10. Як впливає на роботу холодильної машини зменшення

t_o

Література

1. Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і харчових виробництв: Практикум /Гурський П.В., Богомолов О.В., Бредихін В.В. та ін./ Х.: ТОВ «Діса плюс», 2019. – 256 с
2. Кондиціонування та вентиляція повітря:Текст лекцій / Е. Г. Братута, А.М. Ганжа, О. В. Круглякова, В. В. Чубарова Харків : НТУ «ХП», 2009. –128 с.
3. Штокман Е.А. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности. М.: АСВ, 2001. 564 с.
4. Еркин А.П., Коренев А.М., Харитонов В.П.. Устройство и эксплуатация холодильных установок, Пищевая промышленность. -М.: 1980. -310 с.
5. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование./под ред.проф. Б.М.Хрусталева –М.: АСВ, 2008. –784 с.
6. Воробьева Н.Н. Холодильная техника и технология : учебное пособие. В 2-х частях. Ч. 1 / Воробьева Н.Н.; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2006. - 164 с.
7. Воробьева Н.Н. Холодильная техника и технология : учебное пособие. В 2-х частях. Ч. 2 / Воробьева Н.Н.; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. - Кемерово, 2006. - 104 с.
8. А.Беккер Системы вентиляции. М.: Техносфера, Евроклимат, 2005. – 232 с.
9. Пигарев В.Е., Архипов П.Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха:Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. /Под ред. В.Е. Пигарева. –М.: Маршрут, 2003. – 424 с.
10. Цуранов О.А., Крысин А.Г. Холодильная техника и технология. /под ред. Проф В.А.Гуляева. –СПб.:Лидер, 2004.– 448 с.
11. Мещеряков Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии. -М.: Пищевая промышленность, 1975. -560 с.
12. Справочник. Применение холода в пищевой промышленности. -М.: Пищевая промышленность, 1975. -271 с.

Тиск p , мПа



Навчальне видання

Гурський П.В.,
Богомолів О.В.,
Іващенко С.Г.

Методичні вказівки
до практичного заняття

**Дослідження впливу режимів роботи випарника на
холодопродуктивність компресійної холодильної
машини**

з курсу «Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і
харчових виробництв»

Для студентів денної і заочної форми навчання

Кафедра обладнання та інжинірингу переробних і харчових
виробництв

Комп'ютерний набір та верстка: П.В.Гурський

Підп. до друку 05.05.23

Формат паперу 60×84 1/16 Обл. - вид. арк. 1,5

Тираж 100 Ризограф TR 1510 № 80654645

ДБТУ, 61001, м. Харків, пр. Героїв Харкова 45, кім.212

Підготовлено та надруковано кафедрою «Обладнання та
інжинірингу переробних і харчових виробництв»
Державного біотехнологічного університету