

Міністерство освіти і науки України



Державний біотехнологічний університет

Методичні вказівки

до практичного заняття

**Дослідження впливу режимів роботи конденсатора
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

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

Дослідження впливу режимів роботи конденсатора 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 конденсатора на холодопродуктивність компресійної холодильної машини.

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

© Державний біотехнологічний університет, 2023

Практична робота №3

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

Мета: Придбати практичні навички в побудові, розрахунку і дослідженні впливу режимів роботи конденсатора 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.

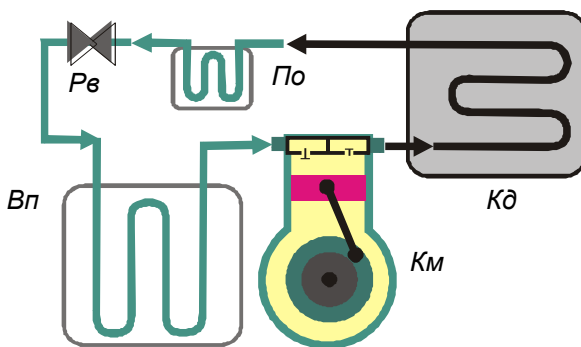


Рисунок 1 – Схема компресійної холодильної машини

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 при постійному тиску P_0 і відповідною до нього низькою температурою t_0 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 (рис. 2), у якому вона, під впливом охолоджувальної води, конденсуються при постійному тиску P_k і відповідній температурі t_k . Рідкий холодильний агент з конденсатора надходить у регулюючий вентиль, на виході з якого, його тиск знижується від P_k до P_0 , тобто відбувається дроселювання. У результаті чого від знову здатний кипіти у випарнику при низькій температурі і забезпечувати охолодження.

При охолодженні водою інтенсивність тепловіддачі значно вище, ніж при охолодженні повітрям. Зі збільшенням швидкості коефіцієнт тепловіддачі значно зростає. Бажано, щоб швидкість води в конденсаторах була $1,0—1,5$ м/с, а швидкість повітря в конденсаторах з повітряним охолодженням — не нижче $2—3$ м/с.

Конденсатори аміачних холодильних машин за конструктивними ознаками підрозділяють на кожухотрубно (вертикальні і горизонтальні), елементні, зрошувальні з проміжним відводом рідкого аміаку та випарні.

Кожухотрубний горизонтальний конденсатор (рис. 2) складається з циліндричного кожуха з привареними по торцях трубними ґратами, у яких розвальцьовані безшовні сталеві труби діаметром $57 \times 3,5$ мм.

В одній із кришок конденсатора є отвори для входу і виходу води. Охолоджувальна вода подається у внутрішні труби через нижній отвір у кришці. Вода виконує кілька ходів по трубах

у різних напрямках, підігрівається теплом від аміаку і виходить через верхній отвір. Пароподібний аміак з компресора надходить у міжтрубний простір через патрубок, розташований у верхній частині кожуха. Контактуючи з холодними трубами, аміак конденсується і стікає в нижню частину міжтрубного простору конденсатора, звідки видаляється в ресивер чи до регулюючої станції. Мاستило, що проникає в конденсатор, як більш важке і малорозчинне в аміаку, осаджується в масловідстійнику і періодично видаляється.

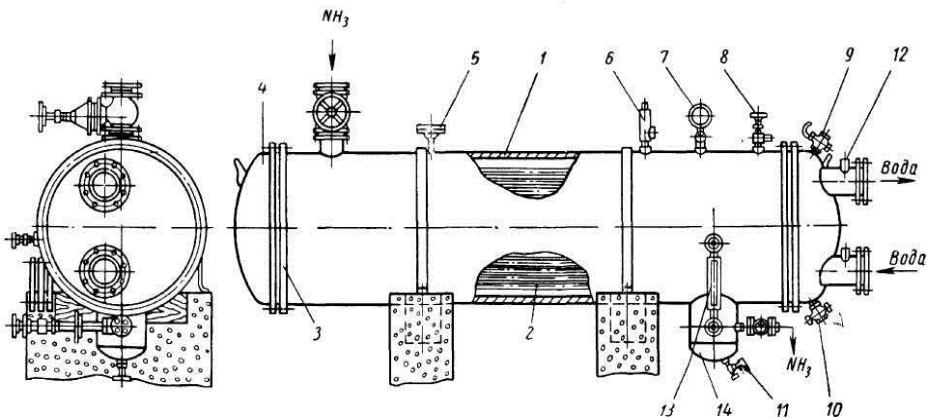


Рисунок 2 – Горизонтальний аміачний кожухотрубний конденсатор:

1 – циліндричний кожух; 2 – теплообмінні труби; 3 – трубні ґрати; 4 – кришка, 5 – фланець для приєднання зрівняльної лінії від ресивера; 6 – запобіжний клапан; 7 – манометр; 8 – вентиль для спуску повітря і газів, що не конденсуються; 9 - вентиль для спуску повітря з водяного простору; 10 - кран для зливу води з конденсатора; 11- вентиль для випуску мастила; 12 - термометрова гільза; 13 – показчик рівня; 14 – масловідстійник

Швидкість руху води в конденсаторі досить велика (0,7–1,5 м/с). Це забезпечує високе значення коефіцієнта тепловіддачі (α) з боку води. Відвід рідкого аміаку з теплопередаючої поверхні здійснюється безперервно, тому коефіцієнт тепловіддачі з боку аміаку також високий:

$\alpha = 8000 \dots 10000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$. Однак конденсат, що утворюється на верхніх трубах, стікає на нижні труби, що у певній мірі знижує інтенсивність роботи нижньої частини конденсатора.

Питоме теплове навантаження в горизонтальних кожухотрубних конденсаторах складає $4700\text{--}5200 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при різниці температур аміаку і води близько 5°С . Перевагою горизонтальних кожухотрубних конденсаторів є зручність агрегування їх з іншими елементами холодильної установки.

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

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 вентиляем 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 $8 \dots 10^\circ \text{С}$ нижче температури повітря охолоджуваних камер. При охолодженні проміжним теплоносієм (розсолем) t_o повинна бути на $5 \dots 7^\circ \text{С}$ нижче температури розсолу, а остання – на $8 \dots 10^\circ \text{С}$ нижче температури повітря камер. Температура конденсації t_k повинна бути на $8 \dots 10^\circ \text{С}$ вище температури води, що надходить на конденсатор, температура переохолодження t_n на $3 \dots 4^\circ \text{С}$ 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 агенту (суха насичена пара) при вході в компресор.

Стискування у компресорі відбувається по адіабаті. Із точки 1 проводимо адіабату в області перегрітої пари (суцільна крива) до перетину її з ізобарою p_k , що відповідає заданій температурі конденсації t_k .

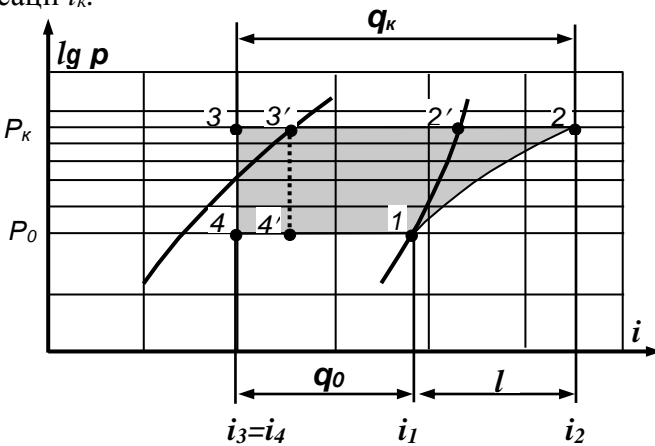


Рисунок 3 – Теоретичний цикл холодильної компресійної машини на i -lgp-діаграмі

Отримана точка 2 визначає стан холодильного агента на виході з компресора. Процес у конденсаторі протікає при постійному тиску тому на діаграмі зображається горизонтальною прямою. На ділянці 2—2' відбувається охолодження перегрітої в компресорі пари до температури конденсації t_k , потім холодильний агент конденсується до точки 3' на лівій граничній кривій (лінія 2'-3') і переохолоджується нижче температури конденсації (лінія 3'-3).

Точка 3 характеризує стан холодильного агента перед регулюючим вентилям. Вона визначається перетинанням ізобари p_k із ізотермою t_n в області рідини. Процес дроселювання, як

відомо, протікає без виробництва зовнішньої роботи і теплообміну із зовнішнім середовищем. На діаграмі він зображається вертикальною прямою 3—4, для якої $i = \text{const}$ ($t_3 = t_4$). Таким чином, всі процеси теоретичного робочого циклу, за винятком процесу стискування в компресорі, на i - $\lg p$ -діаграмі зображаються прямими лініями. Основні розрахункові величини вимірюються відрізками прямих на осі абсцис.

Цикл холодильної машини з підвищенням t_k в координатах i - $\lg p$ -діаграмі зображено на рис. 4.

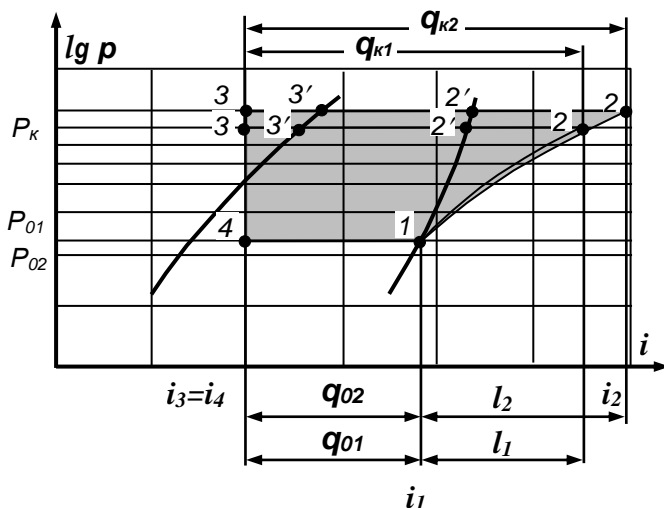


Рисунок 4 – Теоретичний робочий цикл компресійної парової холодильної машини в i - $\lg p$ -діаграмі з підвищенням t_k

Розрахунок теоретичного циклу

Розрахуємо теоретичний робочий цикл, компресорної холодильної установки користуючись i - $\lg p$ -діаграмою для холодильного агента аміаку. Питома холодопродуктивність (кДж/кг) одного кілограма холодильного агента визначається як різниця ентальпій у точках 1 і 4 за формулою:

$$q_0 = i_1 - i_4 \quad (1)$$

На ентальпійній діаграмі (рис. 2) холодопродуктивність

зображена відрізком ізобари 4–1. За відсутності переохолодження вона була б меншою на величину відрізка 4–4', тобто визначалася б відрізком 4'–1.

Теоретична робота 1 кг агента ($\kappaДж/кг$), що затрачується при адіабатному стискуванні в компресорі, визначається різницею ентальпій у точках 2 і 1:

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

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:

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

б) кількість холодильного агента ($\kappaг/год$), 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 ($м^3/год$), всмоктуваної компресором за 1 год:

$$V = Gv_1, \quad (6)$$

або з використанням формули 5:

$$V = 3,6 \frac{Q_0}{q_0} \nu_1 = 3,6 \frac{Q_0}{q_v}, \quad (7)$$

де ν_1 – питомий об'єм пари, $\text{м}^3/\text{кг}$, 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, $\text{кДж}/\text{м}^3$.

$$q_v = \frac{q_0}{\nu_1} \quad (8)$$

За величиною V визначаються розміри компресора.

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

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

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

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

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 конденсації у конденсаторі.
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 конденсатора.
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-lgr-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 конденсатора

№ варіанта	Холодильний агент	$t_o, ^\circ C$	$t_k, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	$Q_o, Вт$
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	0	22000
7		-10	+30	-2	45000
8		-12	+28	-5	10000
9		-18	+30	-8	28000
10		-8	+25	0	42000

Таблиця 3 – З підвищенням температури конденсації t_k на $10^\circ C$

№ варіанта	Холодильний агент	$t_o, ^\circ C$	$t_k, ^\circ C$	$t_n, ^\circ C$	$Q_o, Вт$
1	NH ₃	-6	+45	-10	20000
2		-10	+40	0	40000
3		-16	+35	-10	35000
4		-8	+40	-10	30000
5		-15	+40	-5	25000
6		-5	+30	0	22000
7		-10	+40	-2	45000
8		-12	+38	-5	10000
9		-18	+40	-8	28000
10		-8	+35	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 вентиляем?

4. Що таке "сухий хід" компресора і для чого він уводиться?

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?

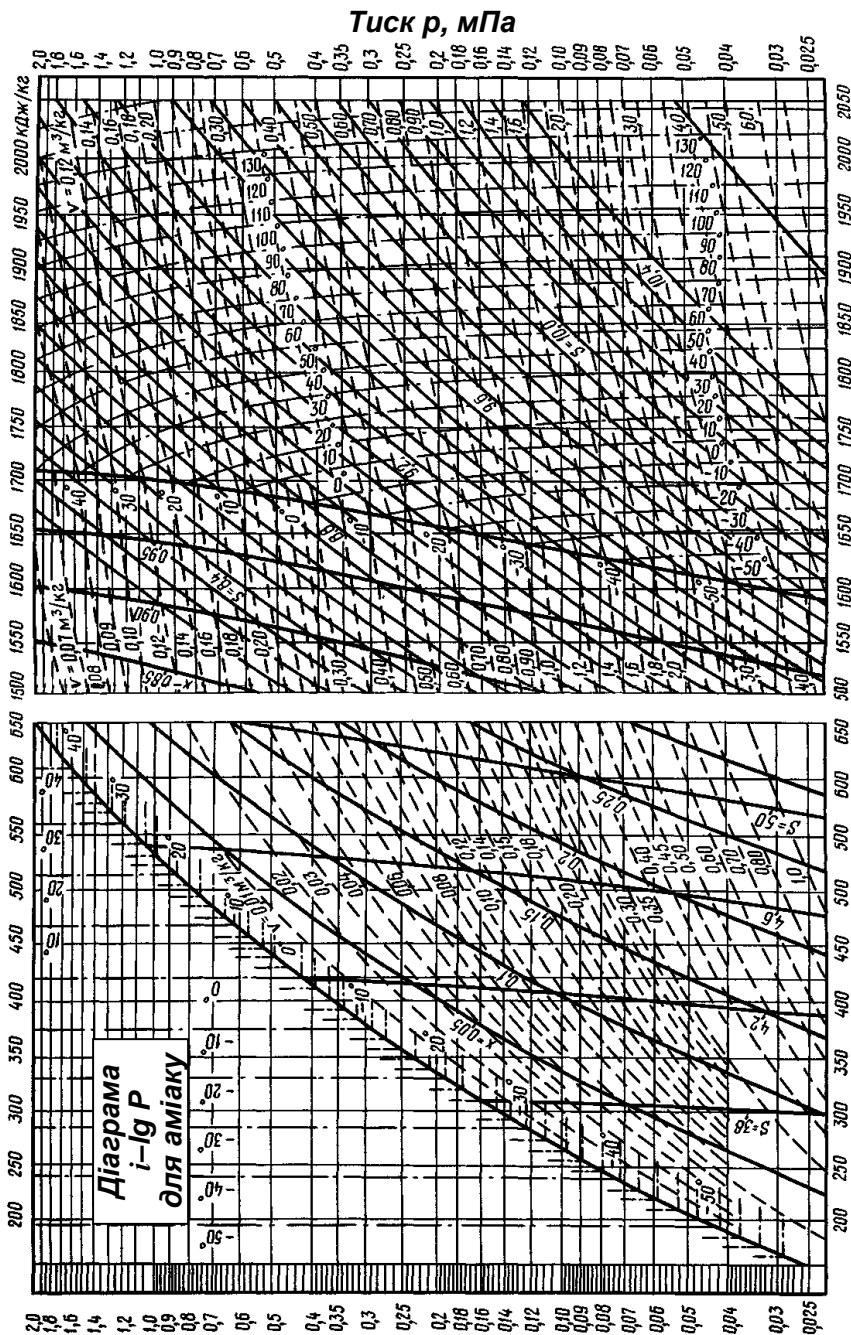
8. Як впливає на роботу компресора конденсатор?

9. Що характеризує в холодильній машині коефіцієнт ε ?

10. Як впливає на роботу холодильної машини збільшення t_k ?

Література

1. Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і харчових виробництв: Практикум /Гурський П.В., Богомолів 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. Еркін 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.



Навчальне видання

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

Методичні вказівки

до практичного заняття

**Дослідження впливу режимів роботи конденсатора 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