

Міністерство освіти і науки України



Державний біотехнологічний університет

Методичні вказівки

до практичного заняття

**Дослідження впливу режимів роботи віддільника  
рідини 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 віддільника рідини на холодопродуктивність компресійної холодильної машини:** Методичні вказівки до виконання практичного заняття з навчального курсу: Кондиціонування та холодозабезпечення переробних і харчових виробництв. – Х.: ДБТУ, 2023. – 20 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 відділу рідини на холодопродуктивність компресійної холодильної машини.

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

© Державний біотехнологічний  
університет, 2023

## **Практична робота №4**

**Тема:** Дослідження впливу віддільника рідини на роботу холодильної компресійної машини.

**Мета:** Придбати практичні навички в побудові, розрахунку і дослідженні теоретичного робочого циклу холодильної машини з віддільником рідини.

### **Теоретичні дані**

Теоретичний цикл парової компресійної холодильної машини відбувається за допомогою чотирьох основних елементів (рис.1): випарювача, компресора, конденсатора (переохолоджувач) і регулюючого вентиля. 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, насоси, вентилятори повітроохолоджувачі, і т. ін.

Основна перевага парової холодильної компресійної машини полягає в тому, що її робочий цикл в основному протікає в області насичення — **між граничними кривими** (рис.2). 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<sup>o</sup>C за атмосферного тиску). В спеціальному трубчастому апараті – випарнику (рис. ) 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.

Характерною рисою циклу парової компресійної машини є усмоктування компресором вологої пари і стискування її в

області насичення, тобто «вологий хід» компресора. Такий режим роботи за умови одержання наприкінці адіабатного стискування сухої насиченої пари в теоретичному відношенні є найбільш вигідним, тому що він наближає робочий процес холодильної машини до зворотного циклу Карно. Однак у практичних умовах краще застосовувати «сухий хід» компресора.

Для здійснення сухого ходу компресора пару холодильного агента з випарника направляють у допоміжний апарат, що називається віддільником рідини. Тут вона звільняється від часток рідини. Рідина, що відокремилася, повертається назад у випарник і там знову кипить, а суха насичена пара надходить у компресор. Всмоктувана пара в компресорі стискується і надходить у конденсатор, у якому спочатку охолоджується до температури насичення і потім конденсується при постійній температурі.

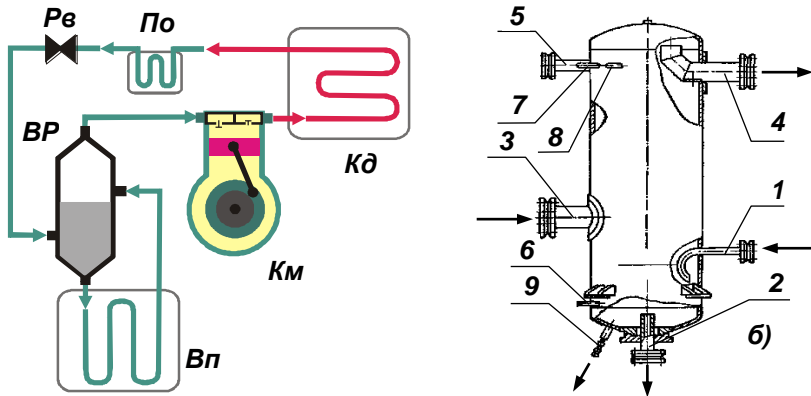
При переході від «вологого ходу» компресора до «сухого ходу» ми маємо, з одного боку, збільшення холодопродуктивності з іншого боку, — збільшення витрат на роботу компресора. Порівняно з циклом Карно перехід в область перегрівання призводить до зниження холодильного коефіцієнта, тому що збільшення холодопродуктивності відбувається при цьому повільніше, ніж збільшення роботи.

У машині ж з регулюючим вентилем, у якій збільшуються витрати роботи і зменшується холодопродуктивність порівняно з циклом Карно, вигідність «сухого ходу» у теоретичному робочому циклі залежить від фізичних властивостей холодильних агентів і умов роботи.

Основна перевага сухого ходу — значне зменшення інтенсивності теплообміну між холодильним агентом і стінками циліндра компресора. Цей теплообмін приносить велику шкоду, тому що зменшує холодопродуктивність компресора і збільшує витрати роботи на виробництво холоду. Крім того, «сухий хід» усуває можливість аварій, що виникають при «вологодому ході» внаслідок гідравлічних ударів у циліндрі компресора. Усе це змушує відмовлятися від застосування на практиці «вологого

ходу» і переходити на роботу машини з «сухим ходом».

Віддільники рідини (ВР) служать для створення сухого ходу компресора, Їх застосовують в аміачних установках (рис.1, а) при безпосередньому охолодженні камер. Віддільник рідини (рис. 1, б) являє собою зварну вертикальну циліндричну судину з входними і вихідними штуцерами для пароподібного і рідкого аміаку. Він призначений для забезпечення сухого ходу компресора і встановлюється на всмоктувальній магістралі між випарником і компресором. Відділення пари від часток рідини, що захоплюється з випарника, відбувається внаслідок різкої зміни напрямку і величини швидкості потоку (до 0,5 м/с).



**Рисунок 1 – Холодильна компресійна машина з віддільником рідини:**

а) **схема холодильної машини:** КМ - компресор; КД - конденсатор; Вп - випарювач; ВР - віддільник рідини; Рв - регулювальний вентиль; По - переохолоджувач рідкого холодоагенту; б) **схема віддільника рідини:** 1- патрубок надходження холодильного агента від (Рв); 2 - патрубок подачі холодильного агента на випарювач або на камерні прилади охолодження; 3 - патрубок надходження холодильного агента від камерних приладів охолодження (випарювача); 4 - патрубок подачі сухої пари холодильного агента до компресора; 5 - патрубок приєднання до зрівняльної парової лінії; 6, 7 - патрубки для приєднання поплавкових регуляторів і сигналізаторів рівня рідини; 8 - патрубок для манометра; 9 - патрубок для зливання мастила

Через віддільник рідини подається також рідкий аміак від регулюючого вентиля у випарну систему. При цьому пара, що утворилася при дроселюванні, видаляється з віддільника в усмоктувальну лінію компресора, а рідина стікає в нижню

частину апарата і надходить у випарну систему. Віддільник рідини періодично звільняють від мастила, що накопичується внизу апарата, в мастилозбірнику. У деяких конструкціях мастилозбірник має нагрівальний пристрій, для підігрівання мастила перед випуском з апарату. Віддільник рідини з зовнішньої сторони має теплову ізоляцію.

Через патрубок 1 холодильний агент надходить у віддільник від регулюючого вентиля (РВ) для відділення пари, отриманої під час дроселювання, через патрубок 2 рідина зливається в камерні прилади охолодження або у випарювач, а через патрубок 3 із приладів охолодження або з випарювача повертається волога пара. Волога пара осушується внаслідок випадання крапельок рідини, що захоплюються паром під час кипіння. Суха пара відсмоктується компресором (КМ) із верхньої частини віддільника через патрубок 4. В апараті передбачений також патрубок 5 для приєднання зрівняльної парової лінії, патрубки 6 і 7 для приєднання поплавкових регуляторів і сигналізаторів рівня рідини в апараті і патрубок 8 для манометра. У нижній частині накопичується мастило, яке періодично випускається через патрубок 9. Віддільники рідини зовні мають теплоізоляцію. Підбирають віддільники рідини по діаметру всмоктувального патрубка до компресора. Швидкість руху пари в патрубку приймають для аміаку 18—20 м/с, для фреонів — 10—15 м/с.

### *Побудова теоретичного циклу холодильної компресійної машини з віддільником рідини по заданих параметрах*

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 вентилям  $t_n$ . Ці температури встановлюють залежно від температури охолоджуваного приміщення і температури зовнішнього середовища (охолоджуємої води або повітря).

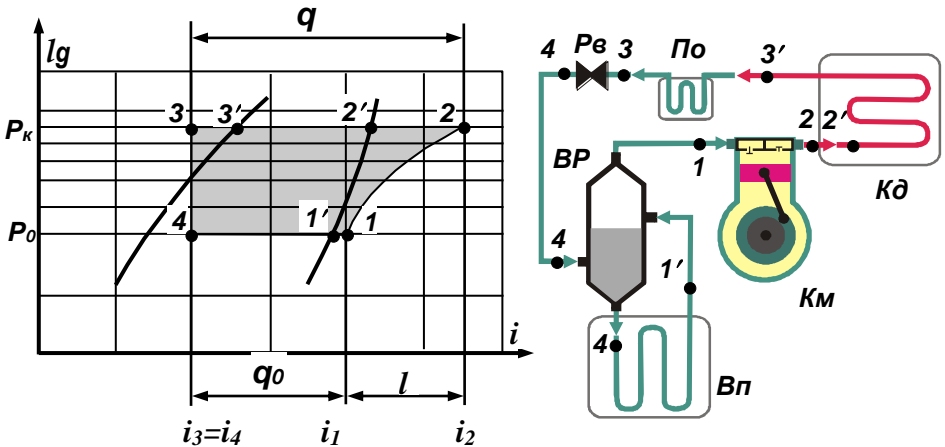
Температура кипіння  $t_o$  при безпосередньому охолодженні холодильним агентом буває на 8...10 °С нижче температури

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 до конденсатора, температура переохолодження  $t_n$  на  $3...4$   $^{\circ}\text{C}$  вище температури води, яка надходить.

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

Холодильні цикли зручніше за все розраховувати за допомогою термодинамічних діаграм.

Найбільш зручною для розрахунків є  $i$ - $l\text{g}p$ -діаграма (рис. 2). На цій діаграмі по осі абсцис відкладені ентальпії  $i$ , а по осі ординат – абсолютний тиск  $P$ . Для шкали тисків дуже часто застосовують логарифмічний масштаб.



**Рисунок 2 – Теоретичний цикл компресійної холодильної машини з віддільником рідини на  $i$  –  $l\text{g}p$ -діаграмі**

Теоретичний робочий цикл холодильної машини з віддільником рідини на  $i$ - $l\text{g}p$ -діаграмі будується в такий спосіб. По заданій температурі кипіння  $t_o$  та відповідному їй тиску  $p_o$  знаходимо на правій граничній кривій точку  $1'$ , що

визначає стан холодильного агента (суха насичена пара) при вході у віддільник рідини. Далі знаходимо точку  $1$  сухої пари при вході в компресор.

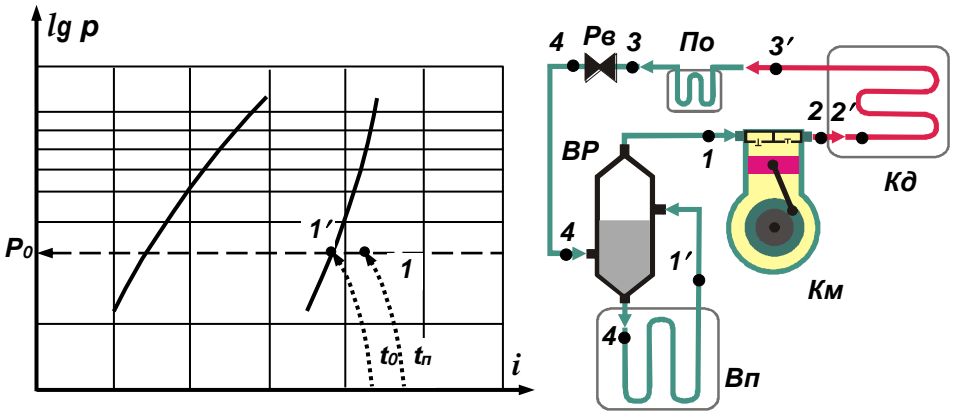


Рисунок 3 – Знаходження точок  $1'$  і  $1$

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

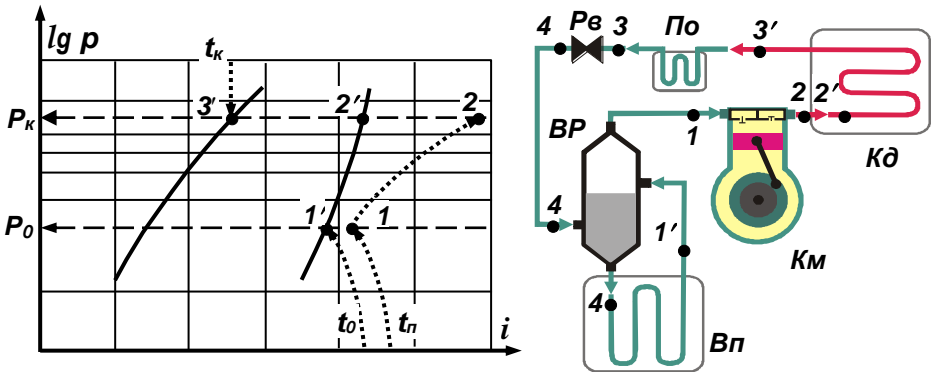


Рисунок 4 – Знаходження точок  $2; 2'; 3'$

Отримана точка  $2$  визначить стан холодильного агента при виході з компресора. Процес у конденсаторі протікає при постійному тиску і на діаграмі зображується горизонтальною



прямою 2—3. На ділянці 2—2' відбувається охолодження перегрітої пари до температури конденсації  $t_k$ , потім холодильний агент конденсується до точки 3' на лівій граничній кривій (лінія 2'—3') і далі переохолоджується стосовно температури конденсації (лінія 3'—3).

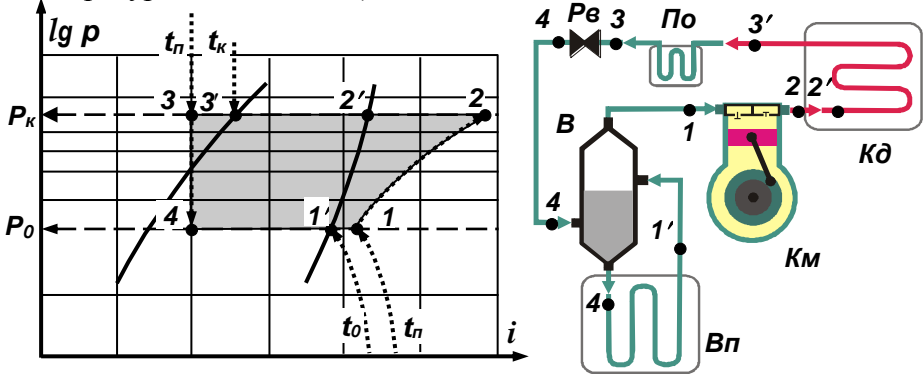


Рисунок 5 – Знаходження точок 3 і 4

Точка 3 характеризує стан холодильного агента перед регулюючим вентилем. 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 зобразиться вертикальною прямою 3—4, для якої  $i = \text{const}$  ( $t_3 = t_4$ ). Таким чином, всі процеси теоретичного робочого циклу, за винятком процесу стиску в компресорі, на  $i$ — $lgp$ -діаграмі зображуються прямими лініями. Основні розрахункові величини вимірюються відрізками прямих на осі абсцис.

Цикл холодильної машини з віддільником рідини в  $i$ — $lgp$ -діаграмі зображений на рис 2:

- процес 1 — 1' — відділення рідини перед усмоктуванням;
- процес 1' — 2 — адіабатичне стискування пари в компресорі;
- процес 2 — 3 — відвід тепла в конденсаторі при  $P_k = \text{const}$ ;
- процес 2 — 2' — відвід теплоти перегріву;
- процес 2' — 3' — конденсація;
- процес 3' — 3 — переохолодження рідини;

процес 3 — 4 — дроселювання;

процес 4 — 1 — підвід тепла у випарнику й трубопроводах на шляху з випарника в компресор при  $P_o = \text{const}$ , холодильний агент кипить і перегрівається.

### *Розрахунок теоретичного циклу*

Розрахуємо теоретичний робочий цикл, компресорної холодильної установки користуючись *i-lgp-діаграмою* для аміаку (додаток). Питома холодопродуктивність ( $\text{кДж/кг}$ ) 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 ( $\text{кДж/кг}$ ), 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.2).

Тепло, віддане від 1 кг холодильного агента охолодженій 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. 2) 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 ( $\text{кг/год}$ ), що усмоктується компресором протягом 1  $\text{год}$ . (годинна кількість циркулюючого холодильного агента) визначається за формулою:

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

де  $Q_0$  — задана холодопродуктивність машини,  $\text{Вт}$ .

в) обсяг пари ( $\text{м}^3/\text{год}$ ), всмоктуваної компресором за 1  $\text{год}$ :

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

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,  $\text{м}^3/\text{кг}$ , 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,  $\text{кДж/м}^3$ .

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

За величиною  $V$  визначаються розміри компресора.

г) теоретична потужність ( $\text{кВт}$ ), витрачена в компресорі:

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

д) теплове навантаження ( $\text{кВт}$ ) 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 і вибрати вихідні дані (табл. №2 і 3)
2. Виконати ескіз схеми холодильної машини з віддільником рідини і вказати точки зміни процесів.
3. Побудувати на  $i-lgp$ -діаграмі теоретичні робочі процеси холодильної машини, використовуючи дані таблиць №2 і 3.
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 (з віддільником і без нього).
6. Порівняти значення  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$ ;  $l_1$  і  $l_2$ ;  $Q_1$  і  $Q_2$ ;  $N_1$  і  $N_2$
7. Виконати аналіз отриманих результатів – висновки.

Таблиця 1 – Додаткові дані для розрахунку

№ точки на діаграмі	$t$		$p$		$v$		$i$		$s$	
	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2	Табл.1	Табл.2
1										
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  $\varepsilon_1$  і  $\varepsilon_2$ ;  $l_1$  і  $l_2$ ;  $Q_1$  і  $Q_2$ ;  $N_1$  і  $N_2$ , аналіз і виконання висновків.

## Варіанти завдань для роботи

### Таблиця 2 – Без віддільника рідини

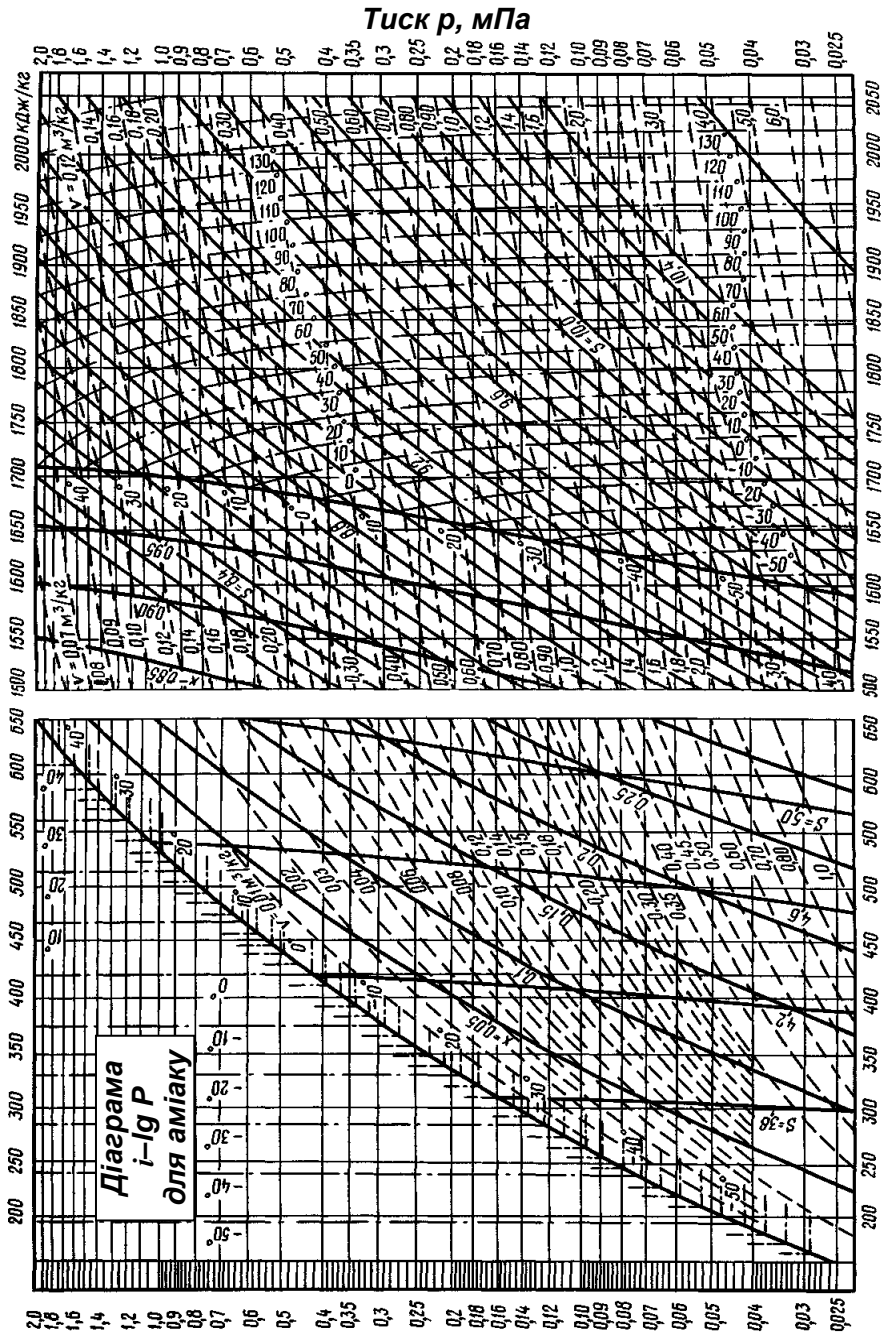
№ варіанта	Холодильний агент	$t_o, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$t_{п}, ^\circ\text{C}$	$Q_o, \text{BT}$
1	NH <sub>3</sub>	-6	+35	-10	20000
2		-10	+30	0	40000
3		-16	+25	-10	35000
4		-8	+30	-10	30000
5		-15	+30	-5	25000
6		-5	+20	0	22000
7		-10	+30	-2	45000
8		-12	+28	-5	10000
9		-18	+30	-8	28000
10		-8	+25	0	42000

### Таблиця 3 – З віддільником рідини

№ варіанта	Холодильний агент	$t_o, ^\circ\text{C}$	$t_k, ^\circ\text{C}$	$t_{п}, ^\circ\text{C}$	$t_{вс}, ^\circ\text{C}$	$Q_o, \text{BT}$
1	NH <sub>3</sub>	-6	+35	-10	+5	20000
2		-10	+30	0	-0	40000
3		-16	+25	-10	-8	35000
4		-8	+30	-10	+5	30000
5		-15	+30	-5	-5	25000
6		-5	+20	0	+5	22000
7		-10	+30	-2	+5	45000
8		-12	+28	-5	-2	10000
9		-18	+30	-8	-8	28000
10		-8	+25	0	+2	42000

### *Контрольні запитання.*

1. Які процеси відбуваються у випарнику, компресорі, конденсаторі і регулюючому вентилі парової компресійної холодильної машини?
2. Що таке холодильний коефіцієнт?
3. Що називається питомою масовою і об'ємною холодопродуктивністю холодоагенту?
4. Чому цикл холодильної машини стає більш ефективним із введенням процесу охолодження рідини перед регулюючим вентиляем?
5. Що таке "сухий хід" компресора і для чого він уводиться?
6. Як впливає "сухий хід" на економічність холодильного циклу?
7. Які процеси відбуваються в регенеративному теплообміннику? Для яких холодоагентів доцільно його застосовувати?
8. Для яких цілей застосовується в холодильній машині регулюючий вентиль?
9. Як впливає на роботу компресора віддільник рідини?
10. Що характеризує в холодильній машині коефіцієнт  $\varepsilon$ ?
11. Як впливає на роботу холодильної машини збільшення  $t_0$ ?



## *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. Братуга, 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.



**Навчальне видання**

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

Методичні вказівки  
до практичного заняття

**Дослідження впливу режимів роботи віддільника  
рідини 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





