

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства
та природокористування

Кафедра гідроенергетики, теплоенергетики і
гідравлічних машин

01-06-88М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з навчальної дисципліни
«Проектування теплоенергетичних установок»
(Розділ «Розрахунок схем холодильних установок»)
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за ОПП «Теплоенергетика» спеціальності 144
«Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична
інженерія» усіх форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННІЕАВГ
Протокол № 3 від 21 листопада 2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Проектування теплоенергетичних установок» (Розділ «Розрахунок схем холодильних установок») для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за ОПП «Теплоенергетика» спеціальності 144 «Теплоенергетика» галузі знань 14 «Електрична інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Куба В. В., Середа В. В. – Рівне : НУВГП, 2023. – 35 с.

Укладачі:

Куба В. В.– старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин;

Середа В. В.– доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск – Рябенко О. А., д.т.н., професор, завідувач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин.

Керівник групи забезпечення спеціальності 144 «Теплоенергетика»

Костюк О. П

© В. В. Куба,
В. В. Середа, 2023
© НУВГП, 2023

ЗМІСТ

Передмова.....	3
1. Принцип дії простої холодильної машини.....	4
2. Принципова теплова схема холодильної установки...	7
3. Опис основного та допоміжного обладнання.....	7
4. Цикл установки в $T-S$ і $lgP-h$ координатах.....	10
5. Термодинамічний розрахунок.....	12
Список літератури.....	23
Додатки.....	24

ПЕРЕДМОВА

Студенти спеціальності 144 «Теплоенергетика» вивчають дисципліну «Проектування теплоенергетичних установок» на лекціях, практичних заняттях і при виконанні курсового проєкту.

Практичні заняття закріплюють знання, що отримані при вивченні теоретичного курсу, розвивають навички самостійного виконання теплотехнічних розрахунків, з аналізом їх результатів і вибору раціональних рішень.

Для проведення занять студенти мають бути ознайомлені з теоретичними питаннями, мати довідкову літературу та за даними методичними вказівками проводити розрахунки теплових схем холодильних установок.

Прийняті студентом при проектуванні схеми холодильної установки технічні рішення повинні враховувати:

- особливості монтажу, наладки, ремонту та випробувань обладнання, виконання правил його експлуатації та технічного обслуговування, технічний стан обладнання при аваріях і порушеннях режимів роботи.

- рівень сучасних рішень аналогічних інженерно-технічних задач і відображати результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, що зв'язані з об'єктом проектування.

1. ПРИНЦИП ДІЇ ПРОСТОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ МАШИНИ

Перехід речовини з рідкого стану до газоподібного здійснюється шляхом підводу тепла зі зовнішнього середовища.

У холодильній машині використовують таке явище, змушуючи циркулювати рідину в апараті, що називається випарником. Рідина перетворюється в пару при температурі на кілька градусів ($\Delta t \approx 10K$) нижче температури, яку потрібно підтримувати в камері, що охолоджується. Для перетворення в пару ця рідина (холодоагент) поглинає тепло з холодильної камери, у якій встановлено випарник. Цим досягається підтримка заданої температури в камері.

Температура пароутворення відповідає тиску насиченої пари рідини. Підбираючи цей тиск, теоретично можна зробити так, щоб холодоагент перетворювався в пару при будь-якій температурі у деяких межах, залежно від типу холодоагенту. Тиск насиченої пари легко визначити, якщо задана температура: з таблиць фізичних властивостей для даного холодоагенту чи за допомогою $lgP-h$ діаграми.

Коли рідкий холодоагент перетвориться в пару, він несе деяку кількість теплоти. Для того щоб холодоагент міг продовжувати «витягати» тепло з камери, необхідно, щоб він постійно надходив у випарник у рідкому стані. Холодоагент в газоподібному стані направляють у конденсатор де він віддає теплоту деякому середовищу (найчастіше це вода або навколишнє повітря) і конденсується, переходячи в рідкий стан.

Щоб відбувся процес конденсації, температура охолоджуючого середовища має бути на кілька градусів ($\Delta t \approx 15K$) нижчою за температуру конденсації. Температура охолодної води чи повітря залежить від параметрів, значення яких не можна вибирати за бажанням. Вийшовши з конденсатора, рідкий холодоагент готовий знову

перетворитися в пару, поглинувши тепло під час проходження через випарник. Таким чином цикл повторюється.

Щоб цей цикл міг і далі функціонувати, потрібно передбачити два обов'язкових пристрої: компресор, який дозволяє перейти від тиску випаровування до тиску конденсації та регулювальний вентиль. Межі контурів високого та низького тиску та фазові перетворення холодоагенту показані на рис. 1.

Холодильна машина, що зображена на рис. 1, містить чотири основних елементи: компресор, конденсатор, регулювальний вентиль і випарник, що не заважає їй задовільно працювати. Найкращим доказом є невеликі віконні конденсатори для охолодження та повітрообміну приміщення влітку.

Торговельні або промислові холодильні машини, які повинні працювати у більш напружених умовах, повинні мати додаткові пристрої та апарати, вибір яких розглядається в курсі «Проектування теплоенергетичних установок».

Перед тим як підбирати основне та допоміжне теплообмінне обладнання, необхідно розрахувати тепловий баланс холодильної камери, вибрати тип холодильного агента та провести розрахунок теплової схеми проекрованої холодильної установки.

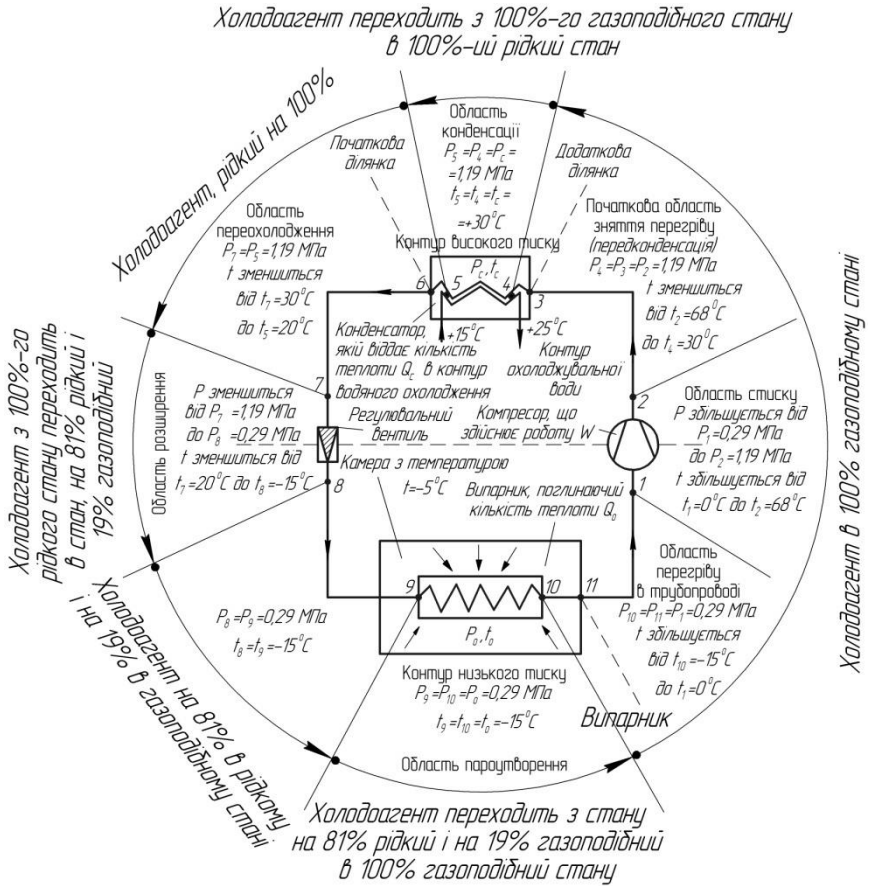


Рис. 1. Схема холодильної машини та її фазові перетворення

2. ПРИНЦИПОВА ТЕПЛОВА СХЕМА ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Принципова схема парокомпресорної холодильної установки показана на рис. 2.

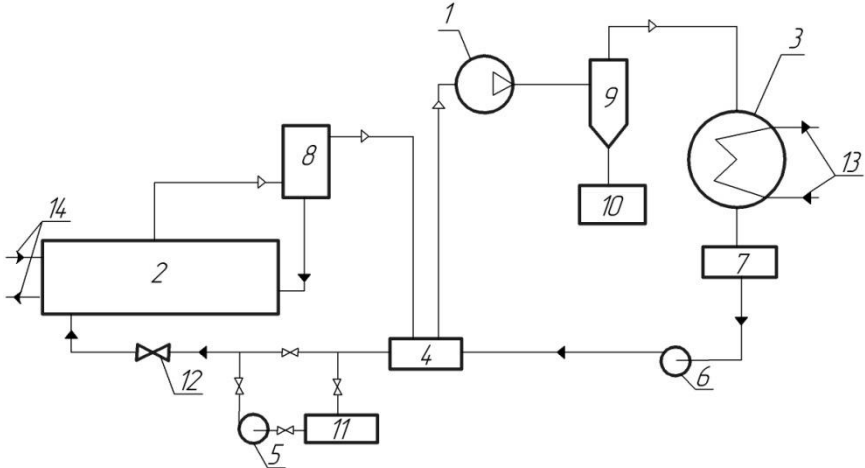


Рис. 2. Принципова тепла схема:

- 1 – компресор; 2 – випарник; 3 – конденсатор;
- 4 – регенеративний теплообмінник; 5 – циркуляційний насос;
- 6 – аміачний насос; 7 – лінійний ресивер; 8 – віддільник рідини; 9 – масловіддільник; 10 – маслосбірник;
- 11 – дренажний ресивер; 12 – терморегулювальний вентиль.
- 13 – система охолодження конденсатора; 14 – система охолодження повітря в приміщенні

3. ОПИС ОСНОВНОГО ТА ДОПОМІЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Компресор призначений для стиснення та нагнітання пари холодоагенту. Компресор у значній мірі визначає техніко-економічні показники при експлуатації холодильної установки.

Конденсатор це теплообмінний апарат, що призначений для передачі теплоти від холодоагенту до навколишнього середовища. В загальному випадку перегріта пара холодинного агента в конденсаторі охолоджується до

температури насичення, далі конденсується та охолоджується на кілька градусів нижче температури конденсації.

Система охолодження конденсатора може бути повітряна чи водяна. При водяному охолодженні використовуються дві системи водопостачання: прямотечійна, коли вода забирається з водопровідної мережі та після використання в конденсаторі зливається в каналізацію та оборотна, з багаторазовим використанням води в конденсаторі з охолодженням її в градирні чи бризкальному басейні.

Випарник це апарат холодильної машини, де робоче тіло кипить за рахунок підведеної теплоти від джерела низької температури. Пара, що при цьому утворюється при кипінні холодоагенту відсмоктується з випарника компресором для здійснення подальших процесів стиску, конденсації, дроселювання холодильної установки.

Система охолодження повітря в камері може бути безпосередня (рис.3а) або з проміжним холодоносієм (рис.3б).

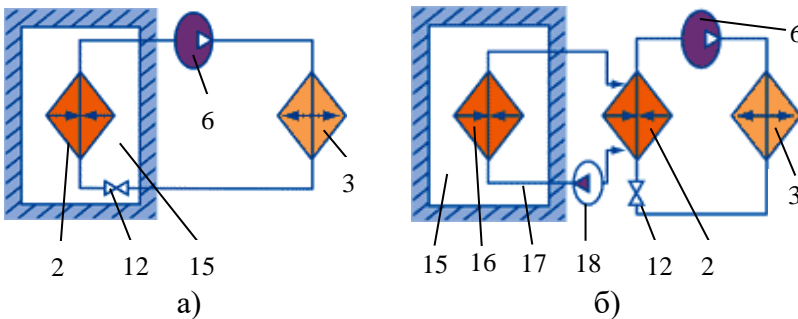


Рис. 3. Система охолодження повітря в камері:
 а) безпосереднє охолодження; б) охолодження з проміжним холодоносієм; 15 – охолоджуване приміщення; 16 – камерне обладнання; 17 – контур проміжного холодоносія; 18 – насос проміжного контуру

При безпосередньому охолодженні випарник 2 розміщений у приміщенні 15, і теплота навколишнього середовища передається безпосередньо киплячому холодоагенту. При

використанні охолодження з проміжним холодоносієм, тепло оточуючого середовища в камерному обладнанні 16 (радіатори або охолодники повітря) передається проміжному холодоносію (водні розчини хлористого натрію або хлористого кальцію) і через контур 17 переноситься до холодоагенту, який кипить у випарнику 2.

Терморегулювальний вентиль (ТРВ) регулює подачу холодоагенту до випарника, щоб підтримувати заданий тиск кипіння та перегрів у випарнику при зміні умов роботи холодильної установки.

Віддільник рідини призначений для відділення парів холодоагенту від крапель рідини, які виносяться з випарника та запобігання потрапляння рідкого холодоагенту в компресор.

Масловіддільник і маслозбірник призначені для видалення з системи мастила, яке може виноситися холодоагентом з компресора, сприяють зменшенню втрат холодоагенту та підвищують безпеку обслуговування системи.

Регенеративний теплообмінник – апарат для охолодження рідкого холодоагенту перед ТРВ холодною парою, що іде з випарника.

Лінійний ресивер використовується для звільнення конденсатора від рідкого холодоагенту та забезпечення його рівномірного надходження до регульованої станції.

Дренажний ресивер призначений для збору рідкого холодоагенту при ремонті основних апаратів і відтаюванні приладів охолодження.

Насоси використовують для циркуляції рідкого холодоагенту, води охолодження в системах водопостачання та проміжного теплоносія.

4. ЦИКЛ УСТАНОВКИ В $T-S$ І $lgP-H$ КООРДИНАТАХ

Цикл холодильної установки зображений на рис. 4 і 5 в діаграмах температура - ентропія ($T-s$ діаграма) та тиск - ентальпія ($lgP-h$ діаграма) відповідно.

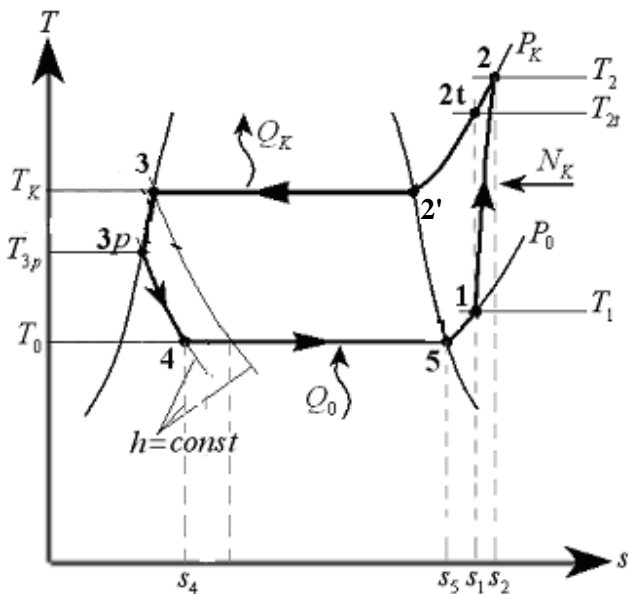


Рис. 3. Цикл в координатах $T-s$

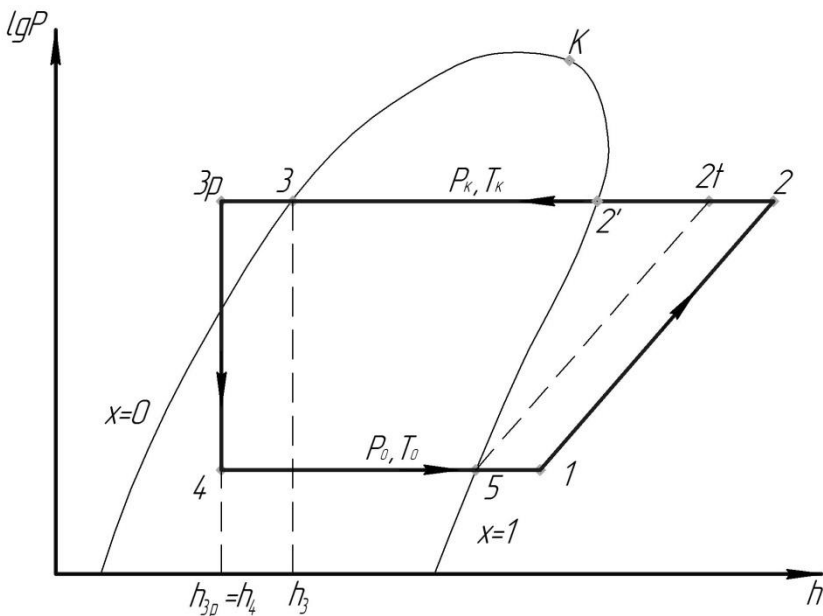


Рис. 4. Цикл в координатах $lgP-h$

В процесі стиснення 1-2т зміна стану холодоагенту може відбутись тільки в ідеальному компресорі, де немає теплообміну з оточуючим середовищем, і вся робота стиснення використовується на підвищення температури та тиску холодоагенту. Для нашого випадку, стиснення є неізотропним (процес 1-2).

Цикл холодильної машини реалізується в закритому контурі:

- лінія 1-2 - характеризує процес стиснення парів в компресорі;
- лінія 2-2' характеризує процес охолодження перегрітих парів до температури насичення в конденсаторі;
- по лінії 2'-3 відбувається процес конденсації в конденсаторі парів у рідину при температурі та тиску конденсації;
- лінія 3-3_p – процес додаткового охолодження рідкого холодоагенту в регенеративному теплообміннику;
- лінія 3_p-4 – процес дроселювання (зниження тиску) в ТРВ;

- лінія 4-5 – процес кипіння рідини у випарнику;
- лінія 5-1 – перегрів пари у регенеративному теплообміннику.

5. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

5.1. Визначення температури кипіння холодоагенту

Одним з важливих моментів розрахунку схеми холодильної установки (ХУ) є визначення температури кипіння в випарнику. Зменшення різниці температур θ_2 у випарнику веде до збільшення холодильного коефіцієнта циклу ϵ , що приводить до зменшення роботи компресора ($N_{ел}$) при незмінній холодильній потужності ХУ (Q_0). А з іншого боку, зменшення різниці температур збільшує поверхню теплообміну ($Q = k \cdot F \cdot \Delta t$, $\Delta t \downarrow - F \uparrow$).

Показані на рис. 5, 6 хемі розподілу температур у випарнику, в залежності від типу системи охолодження,.

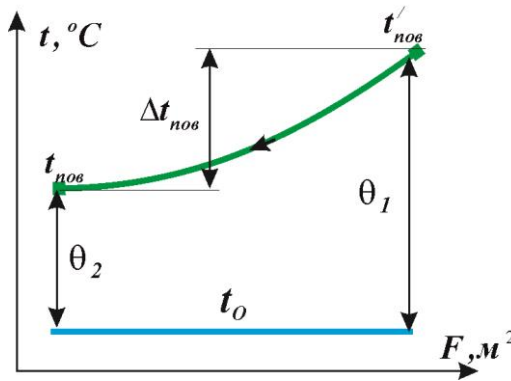


Рис. 5. Розподіл температур при безпосередньому охолодженні

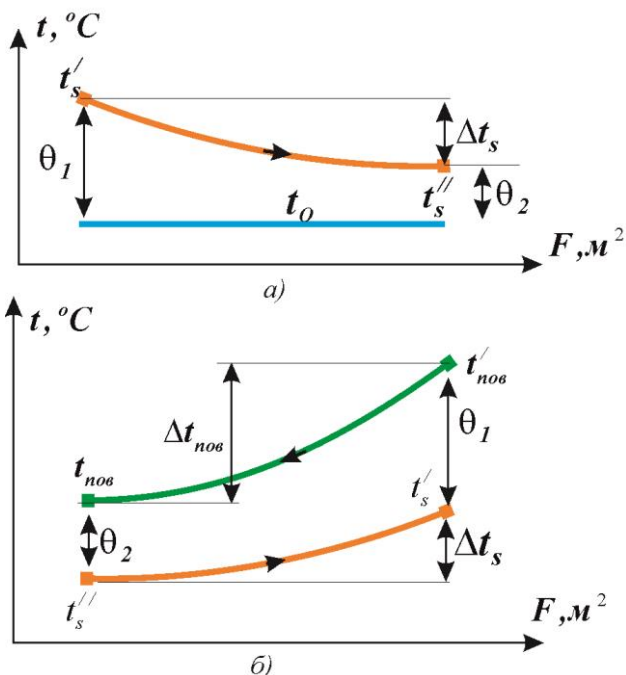


Рис. 6. При охолодженні проміжним холодоносієм:

а) випарник; б) радіатор або охолодник повітря

Температуру кипіння агента $t_0(P_0)$ приймаємо залежно від температури повітря у приміщенні і способу охолодження агента.

При безпосередньому охолодженні повітря в приміщенні (рис. 5) з використанням радіаторів:

$$t_{нов} - t_0 = \theta_2 = 7...10^\circ C \Rightarrow t_0 = t_{нов} - (7...10)^\circ C; \quad (1)$$

при використанні охолодників повітря:

$$t_{нов} - t_0 = \theta_2 = 6...8^\circ C \Rightarrow t_0 = t_{нов} - (6...8)^\circ C. \quad (2)$$

При охолодженні повітря в приміщенні з проміжним холодоносієм (рис. 6):

$$\bar{t}_s - t_0 = 4...6^\circ C \Rightarrow t_0 = \bar{t}_s - (4...6)^\circ C, \quad (3)$$

де $\bar{t}_s = \frac{(t_s' + t_s'')}{2}$ – середня температура холодоносія, $^\circ C$.

При використанні радіаторів у приміщенні температурний напір $t_{нов} - t_s$ приймають у діапазоні $7-10^\circ\text{C}$; при використанні охолодників повітря в діапазоні $6-8^\circ\text{C}$. Перепад температур у випарнику Δt_s приймають рівним $2-4^\circ\text{C}$. Теплофізичні характеристики розчину для холодоносія знаходять за середньою температурою і концентрацією солі у ньому. Концентрація солі залежить від температури замерзання t_s , яку приймають на $6-8^\circ\text{C}$ нижчою температури кипіння t_0 .

5.2. Визначення температури конденсації холодоагенту

Важливим моментом є також визначення температури конденсації холодоагенту в конденсаторі. Чим ближчою вона до температури навколишнього середовища, тим більшою є ефективність циклу ХУ. Але тут постає питання оптимізації співвідношення між площею поверхні теплообміну та величиною температурного напору між температурою охолоджувальної води та температурою конденсації холодоагенту. Графік розподілу температур у конденсаторі показаний на рис. 7.

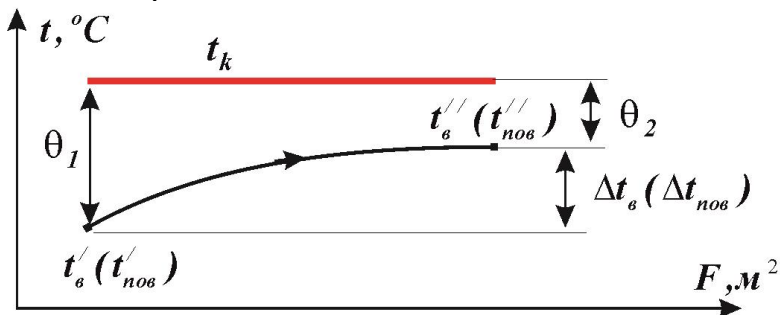


Рис. 7. Розподіл температури в конденсаторі

Значення температури конденсації t_k приймають залежно від температури охолоджувального середовища.

Для кожухотрубних конденсаторів значення перепаду температур наведено в таблиці 1.

Таблиця 1.

Конденсатори кожухотрубні

Перепад температур	Оборотне водопостачання	Прямотечійна система водопостачання	Повітряне охолодження
$\Delta t_g = t_g'' - t_g'$	$3,5 \div 5,5^\circ C$	$6 \div 8^\circ C$, $2 \div 5^\circ C$ (якщо дешева та достатньо) $6 \div 10^\circ C$ (якщо дорога та недостатньо)	
θ_2	$2 \div 4^\circ C$	$3 \div 5^\circ C$	$8 \div 12^\circ C$
$\Delta t_{нов} = t_{нов}'' - t_{нов}'$	-	-	$4 \div 6^\circ C$

$$t_g'' = t_g' - \Delta t_g \Rightarrow t_k = t_g'' + \theta_2, \quad (4)$$

$$t_{нов}'' = t_{нов}' - \Delta t_{нов} \Rightarrow t_k = t_{нов}'' + \theta_2. \quad (5)$$

За використання випарних конденсаторів - $t_k = 35^\circ C$.

За наявності системи оборотного водопостачання температура конденсації t_k знаходиться після розрахунку охолодника води.

Витрата води через охолодник визначається:

$$V_g = \frac{Q_z}{c_g \cdot \rho_g \cdot \Delta t_g}. \quad (6)$$

Площа поперечного перерізу охолодника води розраховується з врахуванням теплового навантаження на установку:

$$F_z = \frac{Q_z}{q_F}, \quad (7)$$

де q_F – питоме теплове навантаження на охолодник, $\frac{\kappa Bt}{m^2}$

(див. табл. 2).

Таблиця 2.

Характеристики охолодників

Тип охолодника	Коефіцієнт ефективності η	Питоме теплове навантаження $q_F, \frac{\kappa Bt}{m^2}$	Питоме гідравлічне навантаження, $H_6 \times 10^3, \frac{m^3}{(m^2 \cdot c)}$
Бризкальний басейн	0,35–0,4	2,5–6,5	0,2–0,3
Градирня			
відкрита бризкальна	0,45–0,55	8–20	0,7–1
відкрита крапельна	0,6–0,75	10–30	0,8–1,4
вентиляторна	0,75–0,85	40–50	1,5–2,5

Питоме гідравлічне навантаження охолодників:

$$H_6 = \frac{V_6}{F_2}, \quad (8)$$

Отримане значення H_6 порівнюють з дослідними значеннями наведеними в таблиці 2.

Теплове навантаження Q_2 на охолодник води задають або розраховують. При цьому частіше Q_2 приймають рівним тепловому навантаженню на конденсатор:

$$Q_2 \approx Q_k = Q_0 + N_i, \quad (9)$$

де Q_2, Q_k – теплове навантаження відповідно охолодника води та конденсатора, κBt ; Q_0 – холодопродуктивність холодильної установки, яка використовує воду від даного охолодника (бризкального басейну, градирні), κBt ;

N_i – індикаторна потужність компресора, κBm .

Теплове навантаження на охолодник можна розрахувати за допомогою рівняння:

$$Q_2 = \left[G_g \cdot c_g \cdot t_g^{//} - (G_g - G_{g_{\text{вин}}}) \cdot c_g \cdot t_g' \right] \approx G_g \cdot c_g \cdot (t_g^{//} - t_g'), \quad (10)$$

де G_g – витрата води, $\frac{\kappa Z}{c}$; $t_g^{//}$, t_g' – температура води яка входить в охолодник і виходить з нього, $^{\circ}C$; $G_{g_{\text{вин}}}$ – кількість випарованої води $\frac{\kappa Z}{c}$.

Основним показником роботи охолодника води є температура води $t_g^{//}$ і t_g' , яка залежить від теплового навантаження на охолодник, коефіцієнта ефективності його роботи і метеорологічних умов.

Температура води входить в рівняння коефіцієнта ефективності охолодника:

$$\eta = \frac{t_g^{//} - t_g'}{t_g^{//} - t_m}, \quad (11)$$

де η – коефіцієнт ефективності охолодника, що залежить від типу охолодника (див. табл. 2); t_m – температура повітря за мокрим термометром, $^{\circ}C$.

Температуру t_m визначають за $h-d$ діаграмою вологого повітря та середньою максимальною температурою найбільш жаркого місяця $t_{30\text{в}}$ (див. табл. Д1 додатку) і відносною вологістю зовнішнього повітря $\varphi_{30\text{в}}$.

У конденсаторах із водяним охолодженням для прямоочного водоспоживання та використанні води з природних водойм, температуру живильної води t_g' приймають на $7-8^{\circ}C$ нижче ніж температура зовнішнього повітря $t_{30\text{в}}$ або відповідною середньомісячній температурі зовнішнього повітря.

5.3. Визначення кількості ступенів компресора

Ступінь стиснення поршневого компресора дорівнює

$$\pi = P_K / P_0, \quad (12)$$

де $P_K = f(t_K)$ – тиск конденсації холодоагенту у конденсаторі, див. табл. Д2;

$P_0 = f(t_0)$ – тиск кипіння холодоагенту у випарнику, див. табл. Д3.

Якщо ступінь стиснення в компресорі $\pi = P_K / P_0 < 6$, тоді приймають одноступеневу схему компресорної холодильної установки, [2].

Внутрішній відносний коефіцієнт корисної дії поршневих компресорів $\eta_{oi}^k = 0,75 \dots 0,85$.

5.4. Визначення температури парів холодоагента, які всмоктуються в компресор

Відсутність вологи в парах холодоагенту, що всмоктуються компресором, робить роботу останнього безпечною, а термін його роботи – довшим. Тому пари холодоагенту перегріваються перед тим як потрапити до компресору на $5-10^0\text{C}$ вище температури насичення у випарнику для одноступеневих компресійних аміачних установок [3].

Перегрів пари здійснюється за рахунок початкового охолодження холодоносія, або за рахунок регенерації самого холодоагенту, при якій теплота до пари підводиться в регенеративному теплообміннику при відводі його від потоку більш високої температури (перед регулювальним вентиляем). В обох випадках збільшується холодильна потужність циклу, але й збільшується потужність приводу компресора.

5.5. Визначення температури холодоагенту після переохолодження

Переохолодження холодоагенту проводять тільки для збільшення теплоти поглинання в випарнику, за рахунок

більшої кількості вологи у вологій насиченій парі на початку випаровування.

Недоліками переохолодження є:

- вища витрата охолоджувальної води (але це менше в порівнянні з витратою охолоджувальної води на конденсацію);
- вища витрата електроенергії для насосів охолоджувальної води (для подолання тертя та підйомів на різні геометричні висоти).

Температура рідкого холодоагенту перед ТРВ в т.Зр (див. рис.4) $t'_{3p} = t_3 - (2...4)^\circ C$, якщо охолодження відбувається у водяному переохолоднику. Температура рідкого холодильного агента, охолоджуваного в регенеративному ТА, визначається з теплового балансу ТА.

Для розв'язання цієї задачі потрібно визначити ентальпію пари холодоагенту на початку та в кінці процесу перегріву пари в регенеративному ТА.

$$h_5 = h''(t_0, P_k); h_1 = h''(t_1, P_k).$$

Якщо не враховувати підвід теплоти з оточуючого середовища через ізоляцію регенеративного ТА, то до пари буде підводитись така ж кількість теплоти, що й відводиться від більш теплого потоку рідини з більш високим тиском.

Відвід тепла від рідини з більшим тиском:

$$q_{pид}^P = q_{3-3p} = c_p \cdot (t_3 - t_{3p}), \quad (13)$$

Підвід тепла до пари з меншим тиском:

$$q_{напу}^P = q_{5-1} = h_1 - h_5, \quad (14)$$

Отримаємо

$$t_{3p} = t_3 - \frac{h_1 - h_5}{c_p}, \quad (15)$$

5.6. Побудова циклу та визначення параметрів холодоагенту в характерних точках

Побудову циклу в Т-s координатах (див. рис. 4) здійснюємо так. За температурою кипіння аміаку t_0 та тиску кипіння P_0 на лінії

$x=1$ знаходимо точку 5. За температурою конденсації t_k та тиску P_k на лінії $x=0$ знаходимо точку 3. Точку 1 знаходимо на перетині ізотерми t_1 з ізобарою P_0 .

З точки 1 проводимо ізоентропу в області перегрітої пари до перетину з ізобарою P_k , отримаємо точку $2t$. Визначаємо ентальпію пари аміаку h_{2t} в цій точці. Знайдемо теоретичний тепловий перепад у компресорі:

$$l_t = h_{2t} - h_1, \quad (16)$$

Знаючи ККД процесу стиску ($\eta_{oi}^k = 0,75 \dots 0,85$) визначимо дійсний тепловий перепад у компресорі:

$$l = \frac{l_t}{\eta_{oi}}, \quad (17)$$

Тоді ентальпія пари на виході з компресора дорівнює

$$h_2 = h_1 + l. \quad (18)$$

Точку 2 знайдемо на перетині ізобари P_k і h_2 .

Точка 3_p характеризує стан конденсату перед дроселем. Вона знаходиться на перетині лінії $x=0$ з ізотермою t_{3p} .

Проводимо лінію постійної ентальпії $h_{3p}=h_4$ до перетину в точці 4 з ізотермою t_0 .

Розрахунок побудованого циклу. З допомогою T-S діаграми для холодоагенту визначаємо параметри в характерних точках циклу, а результати зводимо у таблицю 3.

Таблиця 3.

Параметри агента в характерних точках циклу

Параметр	1	2	2'	3	3p	4	5
P , МПа							
t , °С							
h , кДж/кг							
s , кДж/(кг·К)							
x							

5.7. Вибір холодоносія та його параметри

Якщо температура холодоносія \bar{t}_s нижче 0°C , тоді в якості холодоносія приймаємо водні розчини хлористого кальцію CaCl_2 чи хлористого натрію NaCl . Вміст солі в розчині приймається при температурі його замерзання t_3 , що на $6-8^{\circ}\text{C}$ нижча робочої температури t_0 . Фізичні властивості холодоносіїв наведено в табл. Д6, Д7 і Д8 додатку. Якщо \bar{t}_s більша ніж 0°C , тоді в якості холодоносія можна використовувати воду, її фізичні властивості наведені в табл.Д4 додатку.

5.8. Визначення основних характеристик в процесах циклу

Визначення питомої роботи компресору

$$l_k = h_2 - h_1, \text{кДж/кг.} \quad (19)$$

Визначення питомої теплоти відведеної в конденсаторі

$$q_k = h_2 - h_3, \text{кДж/кг.} \quad (20)$$

Визначення питомої теплоти пароутворення в випарнику

$$q_0 = h_5 - h_4, \text{кДж/кг.} \quad (21)$$

Масова витрата холодоагента

$$G_0 = \frac{Q_0}{q_0}, \text{кг/с.} \quad (22)$$

Об'ємна витрата холодоагента, якій всмоктується до компресору

$$V_0 = G_0 \cdot v_1, \text{м}^3/\text{с.} \quad (23)$$

Теоретичний холодильний коефіцієнт циклу

$$\varepsilon_T = \frac{q_0}{l}. \quad (24)$$

Теоретична потужність, яка затрачується в компресорі

$$N_T = \frac{Q_0}{\varepsilon_T}, \text{кВт.} \quad (25)$$

Витрата електроенергії компресором

$$N_{ел} = \frac{l_K \cdot G_0}{\eta_{ел}}, \text{ кВт}, \quad (26)$$

де $\eta_{ел}$ – електричний ККД, $\eta_{ел} = 0,85$, [1].

Теплове навантаження конденсатора

$$Q_K = q_K \cdot G_0, \text{ кВт}, \quad (27)$$

або

$$Q = Q_o \cdot \frac{\varepsilon_T + 1}{\varepsilon_T}, \text{ кВт}. \quad (28)$$

Теплове навантаження регенеративного підігрівника

$$Q_{РП} = q_{РП} \cdot G_0 = (h_1 - h_5) \cdot G_0, \text{ кВт}, \quad (29)$$

або

$$Q_{РП} = q_{РП} \cdot G_0 = C_p \cdot (t_3 - t_{3p}) \cdot G_0, \text{ кВт}. \quad (30)$$

Масова витрата охолоджуваної води

$$G_{охл} = \frac{Q_K + Q_{ПО}}{c_p \cdot \Delta t_6}, \text{ кг/с}, \quad (31)$$

де c_p – теплоємність води при середній температурі \bar{t}_6 .

Об'ємна витрата охолоджуваної води

$$V_{охл} = G_{охл} \cdot v_6 = \frac{G_{охл}}{\rho_6}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (32)$$

де ρ_6 – густина води при середній температурі \bar{t}_6 .

Масова витрата холодоносія

$$G_{XH} = \frac{Q_0}{c_p^{XH} \cdot (t_s' - t_s'')}, \text{ кг/с}, \quad (33)$$

де c_p^{XH} – теплоємність холодоносія при температурі \bar{t}_s .

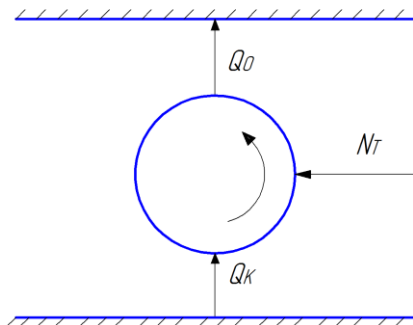
Об'ємна витрата холодоносія

$$V_{XH} = G_{XH} \cdot v_{XH} = \frac{G_{XH}}{\rho_{XH}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (34)$$

де ρ_{XH} – густина холодоносія при температурі \bar{t}_s .

5.9. Енергетичний баланс циклу КХУ

Енергетичний баланс циклу компресійної холодильної установки зображений на рис. 8.



Перевірка балансу:

$$Q_o = Q_K + N_T.$$

Рис. 8. Енергетичний баланс холодильного циклу

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чумак І. Г., Чепурненко В. П., Лар'яновський С. Ю. Холодильні установки : підручник. Одеса : Рефпринтінфо, 2006. 550 с.
2. Морозюк Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов : учебник Одесса : Студия «Негоциант», 2016. 712 с.
3. Бодак М. П., Сирохман І. В. Холодильна технологія та технічні засоби її забезпечення. Львів : Львівс.торг.-екон.ун-т, 2018. 412 с. іл..
4. Ялпачик В. Ф., Стручаєв М. І., Ялпачик Ф. Ю. Холодильне устаткування : навч.посіб. Мелітополь : Тавр. держ. агротехн. ун-т, 2014. 111 с.

ДОДАТОК

Таблиця Д1. Температура навколишнього повітря для деяких населених пунктів України

Місто	Середня по місяцям $t_{\text{сер.х.м}}$												Абсолютна мінімальна	Абсолютна максимальна	Середня максимальна найбільш жаркого місяця	Найбільш холодних днів забезпеченістю		Найбільш холодних п'ятиденки забезпеченістю		Період із середньою добовою температурою повітря				Середня температура найбільш холодного періоду	Тривалість періоду з середньою добовою температурою $< 10^{\circ}\text{C}$				
	<8 °C		<10 °C		Тривалість $t_{\text{о}}$	Середня температура $t_{\text{ср.о}}$, °C	Тривалість $t_{\text{о}}$	Середня температура $t_{\text{ср.о}}$, °C																					
	17	18	19	20					21	22	23	24																	
0,98	0,92	0,98	0,92	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Вінниця	-6	-5,3	-0,5	6,9	14	17	19	18	13	7,5	1,3	-3,4	-35	38	25	-29	-26	-25	-21	189	-1,1	207	-0,1	-10	116				
Луцьк	-4,9	-3,9	0,5	7,3	14	17	19	18	13	7,7	2,3	-2,1	-34	38	24	-27	-24	-22	-20	187	-0,2	207	0,8	-8	105				
Луганськ	-6,6	-6	-0,4	8,6	16	20	22	21	15	8,1	1,4	-3,8	-32	41	29	-32	-29	-27	-25	180	-1,6	197	-0,6	-10	117				
Дніпропетровськ	-5,4	-4,8	0,4	9	16	20	22	21	16	8,8	2	-3,1	-37	40	28	-28	-26	-25	-23	175	-1	191	-0,1	-9	109				
Донецьк	-6,6	-6,2	-1	7,9	15	19	22	20	15	7,9	0,9	-4,2	-37	40	28	-29	-27	-25	-23	183	-1,8	193	-0,9	-10	122				
Житомир	-5,7	-4,9	-0,4	7	14	17	19	18	13	7,2	1,3	-3,2	-35	38	25	-29	-25	-25	-22	192	-0,8	207	0,1	-9	116				
Ужгород	-3,1	-0,7	4,8	10	16	18	21	20	17	9,7	4,9	0,1	-28	40	26	-24	-22	-20	-18	162	1,6	175	2,2	-6	70				
Бердянськ	-3,8	-3,5	0,7	8,2	16	21	24	23	17	11	3,9	-1,2	-29	39	28	-26	-22	-22	-19	168	0	186	0,8	-7	98				
Запоріжжя	-4,9	-4,2	1	9	16	20	23	22	16	9,3	2,8	-2,3	-34	41	29	-28	-25	-24	-22	174	-0,4	190	0,4	-8	102				
Івано-Франківськ	-5,1	-3,7	1,3	7,6	14	17	19	18	14	8,2	2,2	-2,4	-34	37	25	-26	-24	-22	-20	184	-0,1	202	0,7	-9	102				
Київ	-5,9	-5,2	-0,4	7,5	15	18	20	19	14	7,5	1,2	-3,5	-32	30	26	-29	-26	-25	-22	187	-1,1	204	-0,2	-10	118				
Кіровоград	-5,6	-5,1	-0,3	7,8	15	18	20	20	15	7,7	1,3	-3,3	-35	40	24	-29	-26	-25	-22	185	-1	202	-0,1	-9	116				

Продовження таблиці Д1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Джанкой	-1,8	-1,3	2,9	9,4	16	20	23	22	17	11	5,4	0,9	-30	41	30	-23	-21	-19	-17	160	1,5	178	2,3	-5	65
Євпаторія	-0,1	-0,1	3,8	9,4	14	20	23	23	18	13	6,7	2,3	-28	40	29	-23	-20	-18	-16	149	2,4	172	3,3	-3	38
Сімферополь	-1	-0,7	3	9,3	15	19	22	21	16	11	5,8	1,5	-29	40	28	-22	-20	-18	-16	158	1,9	179	2,8	-4	56
Феодосія	0,6	0,5	4,2	9,6	16	20	24	23	19	13	7,3	3,2	-25	38	28	-22	-19	-17	-15	144	2,9	168	3,7	-2	16
Ялта	4	3,8	5,9	10	16	20	24	24	19	14	9,3	6,1	-15	39	28	-10	-8	-7	-6	126	5,2	157	5,9	1	0
Львів	-5	-4,2	0,3	6,7	13	15	17	17	13	7,7	2,4	-2,6	-33	37	23	-24	-23	-20	-19	191	-0,2	211	0,7	-9	106
Миколаїв	-3,5	-2,8	2,1	9,4	17	20	23	22	17	11	3,9	-1,2	-30	40	29	-26	-23	-23	-20	165	0,4	182	1,2	-7	31
Любашівка	-5	-4,2	0,6	8,1	15	18	21	20	15	8,9	2,3	-2,6	-34	38	27	-27	-24	-23	-20	178	-0,6	194	0,3	-9	108
Одеса	-2,5	-2	2	8,2	15	19	22	21	17	11	5,3	0,2	-28	37	27	-24	-21	-21	-18	165	1	183	1,9	-6	78
Полтава	-6,9	-6,5	-1,3	7,6	15	18	21	20	14	7,4	0,6	-4,5	-37	38	27	-30	-27	-26	-23	187	-1,9	202	-1	-11	124
Рівне	-5,4	-4,4	0	6,9	14	17	19	18	13	7,4	1,8	-2,6	-36	38	24	-27	-25	-22	-21	191	-0,5	210	0,4	-9	112
Суми	-7,9	-7,6	-2,4	6,4	14	18	19	18	13	6,4	-0,2	-5,4	-36	38	25	-32	-28	-27	-24	195	-2,5	212	-1,5	-12	131
Тернопіль	-5,4	-4,4	0,1	7	14	17	18	17	13	7,4	1,8	-2,8	-34	37	24	-26	-24	-23	-21	190	-0,5	208	0,4	-9	112
Харків	-7,3	-6,9	-1,7	7,7	15	19	21	20	14	7,1	0,3	-4,8	-36	39	27	-31	-28	-26	-23	189	-2,1	205	-1,2	-11	126
Херсон	-3,2	-2,6	2,2	9,3	16	20	23	22	17	11	4,1	-0,8	-32	39	29	-27	-23	-23	-19	167	0,6	184	1,4	-7	87
Хмельницький	-5,6	-4,6	0	7	14	17	19	18	13	7	1,6	-3	-32	36	25	-26	-25	-22	-21	191	-0,6	211	0,3	-9	113
Черкаси	-5,8	-5,6	-0,5	7,6	15	18	20	19	14	7,2	1,4	-3,5	-37	38	26	-29	-26	-25	-22	189	-1	203	-0,1	-9	117
Чернігів	-6,7	-6,2	-1,4	6,8	14	18	19	18	13	6,8	0,6	-4,2	-34	39	25	-30	-27	-26	-23	191	-1,7	206	-0,8	-10	126
Чернівці	-5	-3,5	1,5	8,3	14	17	19	19	14	8,6	2,4	-2,4	-32	38	26	-26	-24	-22	-20	179	-0,2	197	0,7	-9	102

Таблиця Д2. Фізичні властивості рідкого аміаку (NH₃) на лінії насичення

t, °C	P, МПа	ρ _р , кг/м ³	v _р , м ³ /кг	h _р , кДж/кг	c _{рр} , кДж/(кг·К)	г, кДж/кг	λ _р , мВт/(м·К)	μ _р , μПа·с	Pr _р	σ, Н·м
-50	0,0408	702,1	0,0014243	118,4	4,360	1415,9	722,28	328,87	1,985	0,051107
-40	0,0717	690,2	0,0014490	162,3	4,414	1388,6	688,11	281,24	1,804	0,047262
-30	0,1194	677,8	0,0014753	206,8	4,465	1359,7	654,63	244,07	1,665	0,043519
-20	0,1901	665,1	0,0015035	251,7	4,514	1329,1	621,96	214,41	1,556	0,039879
-15	0,2362	658,7	0,0015183	274,4	4,539	1313,2	605,94	201,73	1,511	0,038098
-10	0,2907	652,1	0,0015336	297,2	4,564	1296,7	590,14	190,22	1,471	0,036342
-5	0,3548	645,4	0,0015495	320,1	4,59	1279,7	574,56	179,72	1,436	0,034614
0	0,4294	638,6	0,0015660	343,2	4,617	1262,2	559,20	170,09	1,404	0,032912
5	0,5158	631,7	0,0015831	366,4	4,645	1244,2	544,06	161,23	1,377	0,031237
10	0,6151	624,6	0,0016009	389,7	4,676	1225,5	529,12	153,03	1,352	0,029589
15	0,7285	617,5	0,0016195	413,2	4,709	1206,3	514,29	145,42	1,331	0,027969
20	0,8575	610,2	0,0016388	436,9	4,745	1186,4	499,86	138,32	1,313	0,026376
30	1,1672	595,2	0,0016802	484,9	4,828	1144,4	471,35	125,45	1,285	0,023276
40	1,5554	579,4	0,0017258	533,8	4,932	1099,3	443,54	114,04	1,268	0,020292
50	2,0340	562,9	0,0017766	583,8	5,064	1050,5	416,32	103,79	1,262	0,017427
60	2,6156	545,2	0,0018340	635,1	5,235	997,3	389,59	94,483	1,270	0,014689
70	3,3135	526,3	0,0019000	688,2	5,465	938,9	363,24	85,933	1,293	0,012081

Таблиця Д3. Фізичні властивості пари аміаку (NH₃) на лінії насичення

t, °C	P, МПа	ρ _п , кг/м ³	v _п , м ³ /кг	h _п , кДж/кг	с _{рп} , кДж/(кг·К)	г, кДж/кг	λ _п , мВт/(м·К)	μ _п , μПа·с	Pr _п	σ, Н·м
-50	0,0408	0,381	2,6277	1534,3	2,178	1415,9	20,238	7,573	0,815	0,051107
-40	0,0717	0,644	1,5533	1550,9	2,244	1388,6	20,641	7,859	0,854	0,047262
-30	0,1194	1,037	0,9640	1566,5	2,326	1359,7	21,149	8,152	0,896	0,043519
-20	0,1901	1,603	0,6237	1580,8	2,425	1329,1	21,768	8,450	0,941	0,039879
-15	0,2362	1,966	0,5087	1587,5	2,481	1313,2	22,12	8,6	0,964	0,038098
-10	0,2907	2,391	0,4183	1593,9	2,542	1296,7	22,503	8,751	0,988	0,036342
-5	0,3548	2,885	0,3466	1599,8	2,608	1279,7	22,918	8,903	1,013	0,034614
0	0,4294	3,457	0,2893	1605,4	2,680	1262,2	23,365	9,056	1,039	0,032912
5	0,5158	4,115	0,243	1610,5	2,758	1244,2	23,847	9,209	1,065	0,031237
10	0,6151	4,868	0,2054	1615,3	2,841	1225,5	24,365	9,364	1,092	0,029589
15	0,7285	5,727	0,1746	1619,5	2,932	1206,3	24,922	9,519	1,12	0,027969
20	0,8575	6,703	0,1492	1623,3	3,030	1186,4	25,519	9,676	1,149	0,026376
30	1,1672	9,053	0,1105	1629,3	3,250	1144,4	26,846	9,995	1,210	0,023276
40	1,5554	12,034	0,0831	1633,1	3,510	1099,3	28,379	10,325	1,277	0,020292
50	2,0340	15,785	0,0634	1634,2	3,823	1050,5	30,160	10,673	1,353	0,017427
60	2,6156	20,493	0,0488	1632,4	4,208	997,3	32,262	11,049	1,441	0,014689
70	3,3135	26,407	0,0379	1627,1	4,699	938,9	34,803	11,468	1,548	0,012081

Таблиця Д4. Фізичні властивості води на лінії насичення

t, °C	P, МПа	ρ_p , кг/м ³	h_p , кДж/кг	s_p , кДж/кг	c_{pp} , кДж/(кг·К)	r , кДж/кг	λ_p , мВт/(м·К)	μ_p , μПа·с	Pr_p	σ , Н·м
10	0,0012	999,7	42,02	0,1511	4,1955	2477,20	580,00	1306,00	9,447	0,07422
20	0,0023	998,2	83,91	0,2965	4,1844	2453,50	598,42	1001,60	7,004	0,07274
30	0,0042	995,6	125,73	0,4368	4,1801	2429,80	615,46	797,36	5,416	0,07119
40	0,0074	992,2	167,53	0,5724	4,1796	2406,00	630,58	652,97	4,328	0,06960
50	0,0124	988,0	209,34	0,7038	4,1815	2381,90	643,55	546,83	3,553	0,06794
60	0,0199	983,2	251,18	0,8313	4,1851	2357,70	654,35	466,38	2,983	0,06624
70	0,0312	977,7	293,07	0,9551	4,1902	2333,00	663,09	403,87	2,552	0,06448
80	0,0474	971,8	335,01	1,0756	4,1969	2308,00	669,99	354,33	2,220	0,06267
90	0,0702	965,3	377,04	1,1929	4,2053	2282,50	675,25	314,40	1,958	0,06082
100	0,1014	958,4	419,17	1,3072	4,2157	2256,40	679,09	281,74	1,749	0,05891
110	0,1434	951,0	461,42	1,4188	4,2283	2229,60	681,69	254,70	1,580	0,05696
120	0,1987	943,1	503,81	1,5279	4,2435	2202,10	683,19	232,05	1,441	0,05497
130	0,2703	934,8	546,38	1,6346	4,2615	2173,70	683,70	212,90	1,327	0,05293
140	0,3615	926,1	589,16	1,7392	4,2826	2144,30	683,30	196,54	1,232	0,05086
150	0,4762	917,0	632,18	1,8418	4,3071	2113,70	682,04	182,46	1,152	0,04874
160	0,6182	907,5	675,47	1,9426	4,3354	2082,00	679,96	170,24	1,085	0,04659

Таблиця Д5. Фізичні властивості водяної пари на лінії насичення

t , °C	P , МПа	$\rho_{п}$, кг/м ³	$h_{п}$, кДж/кг	$s_{п}$, кДж/кг	$c_{рп}$, кДж/(кг·К)	r , кДж/кг	$\lambda_{п}$, мВт/(м·К)	$\mu_{п}$, μПа·с	$P_{гп}$	σ , Н·м
10	0,0012	0,009	2519,2	8,900	1,8947	2477,20	17,621	9,461	1,017	0,07422
20	0,0023	0,017	2537,4	8,666	1,9059	2453,50	18,227	9,727	1,017	0,07274
30	0,0042	0,030	2555,5	8,452	1,9180	2429,80	18,887	10,010	1,017	0,07119
40	0,0074	0,051	2573,5	8,256	1,9314	2406,00	19,599	10,308	1,016	0,06960
50	0,0124	0,083	2591,3	8,075	1,9468	2381,90	20,365	10,616	1,015	0,06794
60	0,0199	0,130	2608,8	7,908	1,9648	2357,70	21,187	10,935	1,014	0,06624
70	0,0312	0,198	2626,1	7,754	1,9862	2333,00	22,068	11,260	1,014	0,06448
80	0,0474	0,294	2643,0	7,611	2,0120	2308,00	23,011	11,592	1,014	0,06267
90	0,0702	0,424	2659,5	7,478	2,0429	2282,50	24,019	11,929	1,015	0,06082
100	0,1014	0,598	2675,6	7,354	2,0800	2256,40	25,096	12,269	1,017	0,05891
110	0,1434	0,827	2691,1	7,238	2,1244	2229,60	26,245	12,612	1,021	0,05696
120	0,1987	1,122	2705,9	7,129	2,1770	2202,10	27,467	12,956	1,027	0,05497
130	0,2703	1,497	2720,1	7,026	2,2389	2173,70	28,765	13,301	1,035	0,05293
140	0,3615	1,967	2733,4	6,929	2,3109	2144,30	30,140	13,647	1,046	0,05086
150	0,4762	2,548	2745,9	6,837	2,3939	2113,70	31,595	13,992	1,060	0,04874
160	0,6182	3,260	2757,4	6,749	2,4883	2082,00	33,131	14,337	1,077	0,04659

Таблиця Дб. Фізичні властивості водних розчинів хлористого натрію при низьких температурах

Вміст солі в розчині, % (мас.)	Густина при 15°C, кг/м ³	Температура замерзання, °C	Динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu \cdot 10^4$, Па·с					Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)		
			0°C	-5°C	-10°C	-15°C	-20°C	0°C	-10°C	-20°C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	1000	0,0	17,66	-	-	-	-	0,5815	-	-
1,5	1010	-0,9	17,85	-	-	-	-	0,5780	-	-
2,9	1020	-1,8	18,05	-	-	-	-	0,5757	-	-
4,3	1030	-2,6	18,25	-	-	-	-	0,5734	-	-
5,6	1040	-3,5	18,44	-	-	-	-	0,5710	-	-
7,0	1050	-4,4	18,74	-	-	-	-	0,5687	-	-
8,3	1060	-5,4	19,13	23,05	-	-	-	0,5664	-	-
9,6	1070	-6,4	19,62	23,74	-	-	-	0,5641	-	-
11,0	1080	-7,5	20,21	24,43	-	-	-	0,5606	-	-
12,3	1090	-8,6	20,8	25,21	-	-	-	0,5582	-	-

Продовження таблиці Дб

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13,6	1100	-9,8	21,48	26,09	-	-	-	0,5559	-	-
14,9	1110	-11,0	22,37	27,17	33,45	-	-	0,5536	0,5187	-
16,2	1120	-12,2	23,25	28,35	34,92	-	-	0,5515	0,5164	-
17,5	1130	-13,6	24,33	29,72	36,79	-	-	0,5489	0,5140	-
18,8	1140	-15,1	25,6	31,2	38,75	47,77	-	0,5466	0,5117	-
20,0	1150	-16,6	26,88	32,77	40,81	50,13	-	0,5443	0,5094	-
21,2	1160	-18,2	28,25	34,43	43,07	52,78	-	0,5420	0,5071	-
22,4	1170	-20,0	29,63	36,4	45,62	55,82	68,67	0,5408	0,5059	0,4768
23,1	1175	-21,2	30,41	37,47	47,09	57,49	70,44	0,5396	0,5047	0,4757
23,7	1180	-17,2	31,39	38,55	48,66	59,35	-	0,5385	0,5036	-
24,9	1190	-9,5	32,96	40,71	-	-	-	0,5361	-	-
26,1	1200	-1,7	34,73	-	-	-	-	0,5338	-	-
26,3	1203	0,0	35,02	-	-	-	-	0,5338	-	-

Таблиця Д7. Фізичні властивості водних розчинів хлористого кальцію при низьких температурах

Вміст солі в розчині, % (мас.)	Густина при 15°C, кг/м ³	Температура замерзання, °C	Динамічний коефіцієнт в'язкості $\mu \cdot 10^4$, Па·с				Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)			
			0°C	-10°C	-20°C	-30°C	0°C	-10°C	-20°C	-30°C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,1	1000	0,0	17,76	-	-	-	0,5815	-	-	-
5,9	1050	-3,0	19,82	-	-	-	0,5675	-	-	-
11,5	1100	-7,1	22,96	-	-	-	0,5524	-	-	-
16,8	1150	-12,7	27,66	43,65	-	-	0,5350	0,504	-	-
17,8	1160	-14,2	28,74	45,13	-	-	0,5303	0,5	-	-
18,9	1170	-15,7	29,92	46,70	-	-	0,5257	0,497	-	-
19,9	1180	-17,4	31,2	48,46	-	-	0,521	0,493	-	-
20,9	1190	-19,2	32,77	50,72	-	-	0,5164	0,49	-	-
21,9	1200	-21,2	34,43	53,27	86,13	-	0,5117	0,486	0,465	-
22,8	1210	-23,3	36,2	56,11	90,15	-	0,5071	0,484	0,463	-

Продовження таблиці Д7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
23,8	1220	-25,7	38,16	59,25	94,76	-	0,5024	0,48	0,459	-
24,7	1230	-28,3	40,22	62,69	99,96	-	0,4978	0,477	0,457	-
25,7	1240	-31,2	42,58	66,81	105,7	148,1	0,4931	0,473	0,455	0,437
26,6	1250	-34,6	45,22	70,83	111,7	158,9	0,4885	0,47	0,452	0,436
27,5	1260	-38,6	48,07	75,24	118,5	171,7	0,4838	0,464	0,449	0,435
28,4	1270	-43,6	51,21	80,25	126,9	188,4	0,4792	0,463	0,446	0,434
29,4	1280	-50,1	54,94	86,33	137,9	212,9	0,4745	0,459	0,444	0,433
29,9	1286	-55	56,9	90,45	143,9	225,6	0,4722	0,457	0,443	0,431
30,3	1290	-50,6	58,86	93,29	149,6	238,4	0,4699	0,456	0,442	0,43
31,2	1300	-41,6	63,37	100,6	161,9	265,9	0,4652	0,452	0,438	0,429
32,1	1310	-33,9	68,28	108,7	176,3	307,1	0,4605	0,449	0,436	0,428
33	1320	-27,1	73,87	117,3	191,9	-	0,4571	0,444	0,434	-
33,9	1330	-21,2	80,15	127,2	210	-	0,4524	0,441	0,431	-
34,7	1340	-15,6	86,52	138,1	-	-	0,4478	0,438	-	-
35,6	1350	-10,2	93,2	151,9	-	-	0,4431	0,433	-	-
36,4	1360	-5,1	100,9	-	-	-	0,4396	-	-	-
37,3	1370	0,0	109,2	-	-	-	0,4350	-	-	-

Таблиця Д8. Питома теплосмність водних розчинів хлористого натрію і хлористого кальцію в кДж/(кг·К)

Густина при 15°С, кг/м ³	Хлористий натрій			Густина при 15°С, кг/м ³	Хлористий кальцій			
	0°С	-10°С	-20°С		0°С	-10°С	-20°С	-30°С
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1010	4,077	-	-	1100	3,503	-	-	-
1020	4,006	-	-	1110	3,444	-	-	-
1030	3,943	-	-	1120	3,385	-	-	
1040	3,884	-	-	1130	3,331	3,306	-	-
1050	3,830	-	-	1140	3,276	3,251	-	-
1060	3,775	-	-	1150	3,226	3,201	-	-
1070	3,725	-	-	1160	3,176	3,155	-	-
1080	3,679	-	-	1170	3,130	3,109	-	-
1090	3,633	-	-	1180	3,088	3,063	-	-
1100	3,591	3,582	-	1190	3,046	3,021	-	-
1110	3,553	3,541	-	1200	3,004	2,979	2,954	-
1120	3,515	3,503	-	1210	2,967	2,941	2,916	-
1130	3,478	3,469	-	1220	2,933	2,908	2,883	-

Продовження таблиці Д8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1140	3,444	3,432	-	1230	2,899	2,874	2,849	-
1150	3,411	3,398	-	1240	2,870	2,845	2,819	2,795
1160	3,377	3,365	-	1250	2,841	2,816	2,791	2,765
-1170	3,344	3,335	3,323	1260	2,812	2,786	2,761	2,736
1175	3,331	3,323	3,310	1270	2,782	2,757	2,732	2,707
1203	3,251	-	-	1280	2,757	2,732	2,707	2,682
				1286	2,740	2,715	2,690	2,665
				1370	2,531	-	-	-