



М. Г. Хмельнюк, О.С. Подмазко,  
І. О. Подмазко

# **ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА СФЕРИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ**

М.Г. ХМЕЛЬНЮК, О.С. ПОДМАЗКО, І.О. ПОДМАЗКО

# ХОЛОДИЛЬНІ УСТАНОВКИ ТА СФЕРИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

*Підручник*



2014

Одеська національна академія харчових технологій  
ТДМО

УДК 621.565 (075.8)  
ББК 31.392  
Х 73

*Копіювання, сканування, запис на електронні носії і  
тому подібне, книжки в цілому, або будь-якої її час-  
тини заборонено*

*Рекомендовано методичною комісією напряму "Енергетика" науково-методичної  
ради Одеської національної академії харчових технологій.  
Протокол № 2 від 30 вересня 2014 р.*

**Рецензенти:**

**Радченко М.І.**, проф., д-р техн. наук, завідувач кафедри кондиціонування та рефрижерації Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

**Горін О.М.**, проф., д-р техн. наук, завідувач кафедри холодильної і торговельної техніки Донецького національного університету економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського.

Під загальною редакцією  
доктора технічних наук, професора М.Г.Хмельнюка

**Автори:**

Хмельнюк М.Г., д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри холодильних машин, установок і кондиціонування повітря ОНАХТ,  
Подмазко О.С., канд. техн. наук, доцент кафедри холодильних машин, установок і кондиціонування повітря ОНАХТ,  
Подмазко І.О., канд. техн. наук, доцент кафедри компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ

**Хмельнюк М.Г., Подмазко О.С., Подмазко І.О.**

**Х 73** Холодильні установки та сфери їх використання: Підручник / [М.Г. Хмельнюк, О.С. Подмазко, І.О. Подмазко] Під заг.ред. М.Г. Хмельнюка – Херсон: Гринь Д.С., 2014.– 484 с.

**ISBN 978-617-7243-39-6**

У підручнику, створеному викладачами Навчально-учбового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, описані холодильні установки, що використовуються в різних галузях народного господарства. Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю "Холодильні машини і установки".

Матеріали підручника можуть бути корисними для наукових, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів та аспірантів.

**ББК 31.392**

**ISBN 978-617-7243-39-6**

©М.Г.Хмельнюк,О.С.Подмазко, І.О.Подмазко, 2014

## ВСТУП

Холодильна установка — це комплекс, до складу якого входять холодильні машини, апарати та споруди, призначені для одержання, транспортування та використання штучного холоду в технологічних процесах харчової, хімічної, металургійної, гірничої, нафтової, газової та медичної промисловості. У такому розумінні холодильна установка включає ще й апарати, прилади, трубопроводи і навіть споруди як для здійснення технологічних процесів при низьких температурах, так і для раціональної експлуатації холодильного устаткування протягом тривалого часу.

Здійснення різноманітних технологічних процесів при температурах, нижчих за температуру навколишнього середовища, пов'язане з виробництвом штучного холоду. Подібних технологій стає дедалі більше, і вони все частіше застосовуються у багатьох галузях народного господарства.

*Холодильна технологія зберігання продуктів харчування* використовується у сільському господарстві, переробній м'ясо-молочній промисловості, торгівлі, транспорті (автомобільному, залізничному та водному), рибодобувній та рибопереробній галузях.

У холодильній технології зберігання продуктів харчування створено холодильний ланцюг, ланки якого забезпечують необхідні температурно-вологісні режими для холодильної обробки, зберігання, транспортування і реалізації продуктів харчування.

Щоб зберегти високу якість швидкопсувних продуктів при тривалому зберіганні в холодильних установках слід підтримувати необхідний за технологією температурний режим середовища: для охолодження — до температури  $-5^{\circ}\text{C}$ , заморожування — від  $-40$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ , зберігання продуктів в охолодженому стані  $-2...0^{\circ}\text{C}$ , в замороженому  $-30 \dots -20^{\circ}\text{C}$ . Температурний режим транспортних рефрижераторів залежить від виду перевізних продуктів та попереднього (до перевезення) процесу холодильної технології — їх охолодження чи заморожування.

Переробна промисловість і торгівля є значними споживачами холоду. За допомогою холодильної технології в цих галузях обробляється до 50 млн. т різноманітних продуктів тваринного і рослинного походження. Потреба в холоді безперервно зростає. Саме через недостатнє використання штучного холоду в світі втрачається в середньому 25 — 30 % виготовлених харчових продуктів.

Однією з галузей харчової промисловості, яка інтенсивно розвивається, є концентрування соків, виготовлення сухих порошоків із концентрованих соків, а також продуктів з проміжною вологістю з метою їх зберігання при звичайних температурах, сублімаційне сушіння.

У холодильному ланцюгу харчової технології використовуються різноманітні холодильні установки: одно- і двоступінчастого стиснення. Для здійснення технології обробки холодом застосовуються холодильники і морозильні апарати.

У технологічних процесах, що застосовуються в *нафтовій, газовій та хімічній промисловості*, використовують штучний холод у діапазоні помірних температур (близько  $-100^{\circ}\text{C}$ ).

У *нафтовій* промисловості штучне охолодження використовують у технологічних процесах, де застосовують в основному системи безпосереднього кипіння холодильного агенту в поверхневих апаратах. Вибір холодильного агенту визначається умовами роботи підприємств. Найчастіше використовують вуглеводні, якими в достатній кількості забезпечене окреме підприємство. Вони мають високу молекулярну масу, що

дає можливість використовувати в холодильній установці відцентрові компресори.

У газовій промисловості штучний холод використовують при підготовці газу до транспортування та при переробці нафтових і природних газів газоконденсатних родовищ. При цьому застосовують як зовнішні, так і внутрішні холодильні цикли, де холод здобувають у процесі переробки газу (дроселювання рідин або розширення газу), а також комбіновані цикли. Температура транспортованого газу становить  $-25...5^{\circ}\text{C}$ , тиск 5,5 МПа. Необхідність в холоді вимірюється десятками тисяч кіловат і потребує застосування високопродуктивного турбокомпресорного устаткування з газовими чи паровими приводами компресорів. У холодильних установках використовуються апарати повітряного охолодження, а холодоагентом є вуглеводні (етан, пропан), які дістають при переробці газів.

У хімічній промисловості (здобування етилену, фармацевтичних і біохімічних препаратів, виробництво азоту, синтетичного каучуку, хлору тощо) застосовують різноманітні системи холодопостачання з різними типами холодильних машин — від поршневих компресорів до відцентрових агрегатів продуктивністю кілька тисяч кіловат. Широко застосовуються абсорбційні установки, які використовують теплоту технологічних процесів або теплофікаційні відбори ТЕЦ.

Азотне виробництво складається з підприємств синтезу аміаку та азотної кислоти. Основна частина холоду при виробництві аміаку споживається агрегатом синтезу для конденсації аміаку з азотно-воднево-аміачної суміші високого тиску при температурах кипіння холодоагенту  $-12...-10^{\circ}\text{C}$ , а також для конденсації аміаку за температур кипіння  $-34...-30^{\circ}\text{C}$ . Для виробництва аміаку застосовують тепловикористовувальні абсорбційні водоаміачні машини та аміачні відцентрові компресорні агрегати. Для виробництва етилену використовують штучний холод температурних рівнів від 6 до  $-100^{\circ}\text{C}$ . При цьому застосовують системи безпосереднього кипіння на холодильних агентах — етилені та пропілені (тобто продуктах зазначеного виробництва).

Перша стадія виробництва синтетичного каучуку основана на полімеризації ненасичених вуглеводнів — мономерів, для чого потрібний штучний холод на температурному рівні від  $-40$  до  $7^{\circ}\text{C}$ . Друга стадія здобуття каучуку відбувається за температурою  $-100^{\circ}\text{C}$ .

Хлор виділяється з газової суміші в результаті фракційної конденсації, де застосовують абсорбційні водоаміачні холодильні установки з температурою кипіння  $-45^{\circ}\text{C}$  або фреонові установки з температурним режимом  $-5, -20, -65^{\circ}\text{C}$ , оснащені відцентровими компресорними машинами.

Значним споживачем холоду виступає галузь хімічної промисловості, яка виробляє хімічні волокна з різних видів синтетичних полімерів. Тут застосовують лише системи охолодження з проміжним холодоносієм з температурним рівнем  $20...-10^{\circ}\text{C}$ . Потреба в холоді великих комбінатів досягає 35 — 58 МВт.

Технологічні процеси у виробництві *хіміко-фармацевтичних препаратів: вітамінів та антибіотиків*, супроводжуються споживанням штучного холоду на температурному рівні  $-15...-10^{\circ}\text{C}$ .

При виробництві білково-вітамінних концентратів шляхом синтезу суміші різних парафінів нафти й мінеральних солей із спеціальною культурою дріжджів потреба в холоді досить значна: 1 т продуцента для білково-вітамінних концентратів виділяє 16 ГДж теплоти, для лізину — до 54,5 ГДж. При сучасній потужності заводів потреба в холоді вимірюється десятками тисяч кіловат.

Холод використовується при термічній обробці сталей, стабілізації й відновленні розмірів деталей, запресовуванні для створення нерухомих посадок, для охолодження ванн анодування, старіння алюмінієвих сплавів, осушування стиснутого повітря, при згинанні труб із замороженою в них водою, а також в установках кондиціонування повітря.

Температурні режими названих холодильних технологій обробки металів становлять  $-30 \dots -120^\circ\text{C}$ . У верхньому інтервалі можна використовувати парокомпресійні машини двоступінчастого стиснення (до  $-60^\circ\text{C}$ ) та каскадні машини (до  $-80^\circ\text{C}$ ). Можливе зниження температурного рівня до  $-120^\circ\text{C}$ , якщо будуть використані суміші холодильних агентів.

У будівельній технології застосовують штучний та природний холод для заморожування ґрунтів при будівництві підземних споруд (шахт, тунелів, сховищ зріджених газів), для створення протифільтраційних завіс у греблях мерзлого типу та інших гідротехнічних спорудах, а також для зміцнення ґрунтів під фундаментами будівель, опор нафто- та газопроводів, для охолодження масивних бетонних споруд (великих гребель і т. п.).

Усі типи холодильних установок можна класифікувати за рядом ознак. Кожна з них уособлює лише одну характерну особливість установки; тому у визначенні певної холодильної установки можуть бути дві та більше ознак. Холодильні установки чи станції можуть відрізнятися за такими показниками (ознаками):

- **призначення:** стаціонарні та пересувні установки з централізованим й децентралізованим охолодженням для холодопостачання, змішаного тепло- і холодопостачання, для акумулювання теплової енергії та її транспортування, утилізаційні енергоустановки;
- **продуктивність:** великі установки – продуктивністю понад 3,0 МВт, середні – до 1,0 МВт, дрібні – до 60 кВт;
- **температурний режим:** високотемпературні установки ( $-10 \dots -10^\circ\text{C}$ ), середньотемпературні ( $-20 \dots -10^\circ\text{C}$ ) та низькотемпературні ( $-120 \dots -20^\circ\text{C}$ );
- **режим роботи:** установки стаціонарні, нестаціонарні, безперервні, циклічні, нестаціонарні з акумулятором теплової енергії;
- **вид холодильного агенту:** установки аміачні, фреонові, етанові, пропанові, вуглекислотні, а також ті, які працюють на сумішах холодильних агентів;
- **вид охолодження:** установки з безпосереднім та проміжним охолодженням;
- **вид споживаної енергії:** установки з приводом від електродвигуна або від газової турбіни, ті, які працюють на вторинних енергоресурсах (абсорбційні холодильні установки), а також ті, що використовують природний холод (теплові труби), і геліоустановки.

Стаціонарні холодильні установки з централізованим охолодженням застосовують для всіх видів торговельних і виробничих холодильників, у металургійній, хімічній та нафтохімічній промисловості.

Децентралізоване охолодження застосовують для різних технологічних процесів хімічної промисловості, на деяких типах холодильників, тобто переважно там, де необхідно створювати локальні температурні умови, або там, де застосовують агреговані холодильні машини у блоці з випарниками для створення потрібного технологічного режиму.

Стаціонарні холодильні установки з централізованим охолодженням можуть мати

середню й велику продуктивність, причому на хімічних комбінатах їх потужність іноді досягає кількох десятків тисяч кіловат. Установки децентралізованого охолодження за холодопродуктивністю найчастіше належать до дрібних чи середніх.

Високотемпературні холодильні установки малої та середньої холодопродуктивності працюють за одноступінчастим циклом; їх укомплектовують поршневими або гвинтовими компресорами. Великі холодильні установки можна комплектувати також турбокомпресорами або абсорбційними холодильними машинами. Низькотемпературні холодильні установки комплектують двоступінчастими або каскадними холодильними машинами, в хімічній промисловості – турбокомпресорами.

Розглядаючи режим роботи холодильних установок, слід наголосити на умовності визначення стаціонарного режиму. Практично завжди такий режим є нестаціонарним, тому що відбуваються зміни температури із заданою амплітудою близько середнього її значення. Він характерний для холодильних установок холодокомбінатів та виробничих холодильників. Нестационарні режими властиві установкам і системам, в яких відбуваються процеси з фазовими переходами та переміщенням зони заморожування. Температурний режим залежить від теплового навантаження. Останнє змінюється під впливом різних чинників, особливо під час циклічних процесів завантаження апаратів або камер заморожування. Для стабілізації вирівнювання теплового навантаження використовують акумулятори холоду.

Даний підручник є навчальним інформаційно-методичним посібником, зміст якого присвячено сучасним досягненням холодильної техніки і технології в найважливіших галузях промисловості. Головною метою підручника є передача величезного багаторічного наукового і практичного досвіду світового суспільства в галузі створення, впровадження і використання холодильної техніки і холодильних технологій.

Підручник містить сучасну світову інформацію про галузь низьких температур, достойну лепту куди внесли працівники кафедри холодильних машин і установок Одеської державної академії холоду, що не тільки проводили наукові дослідження і виконували проектні розробки, але й брали безпо-

середню участь у монтажі та експлуатації охолоджувальних систем.

Розглядаються вітчизняні розробки і розробки провідних світових фірм, що забезпечує можливість швидшої адаптації випускників до сучасних промислових умов, коли виробниче обладнання холодильників і охолоджувальні системи компонуються з імпортного обладнання. Підручник є доповненням навчально-довідкового фонду, зокрема інформації, що міститься в книзі "Холодильні установки спеціального призначення" /Хмельнюк М.Г., Подмазко О.С./.

Підручник безсумнівно знайде широке коло читачів як серед студентів і аспірантів, так і поміж вчених, інженерів і техніків.

Автори висловлюють глибоку подяку рецензентам - д-р техн. наук, проф. Горіну М.О. і д-р техн. наук, проф. Радченко М.І.

Автори, також виражають вдячність всьому колективу кафедри холодильних машин, установок і кондиціонування повітря інституту холоду, кріотехнологій і екоенергетики ім. В.С.Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій за поради й підтримку.

Всі зауваження читачів по змісту, викладу матеріалу і оформлення книги будуть із вдячністю прийняті.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабакин Б.С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем: Монография. – Рязань: Узорочье.– 2003.– 470 с.
2. Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Холодильные установки. — Л.:МАШИНОСТРОЕНИЕ, 1980. — 622 с.
3. Чумак И.Г. и другие. Холодоснабжение предприятий мясной и молочной промышленности. — К.: Вища школа, 1979. — 192 с.
4. Зеликовский И.Х., Каплан Л.Г. Малые холодильные машины и установки. — М.: АГРОПРОМИЗДАТ, 1989. — 672 с.
5. Быков Б.С., Калинин И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы.– М.: Агропромиздат, 1998.– 286 с.
6. Гальперин Н. И., Носов Г. А. Основы техники фракционной кристаллизации. — М.: Химия, 1988. — 304 с.
7. Интенсификация теплообмена в испарителях холодильных машин /Гоголин А.А., Данилова Г.Н., Азарсков В.М. и др. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 220 с.
8. Курылев Е.С., Оносовский В.В., Румянцев Ю.Д. Холодильные установки.– Санкт-Петербург: Политехника, 2000.– 575 с.
9. Пап Л. Концентрирование вымораживанием /Пер. с венгерского; Под ред. О.Т. Комякова. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 97 с.
10. Плотников В.Т., Филаткин В.Н. Раздельные вымораживающие установки. — М.: Агропромиздат, 1987. — 270 с.
11. Алмаши Э., Эрдели Л., Шарой Т.Быстрое замораживание пищевых продуктов. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981 — 408 с.
12. Теплообменные аппараты холодильных установок/Под ред. Г. Н. Даниловой. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1986. — 303 с.
13. Холодильная техника / В.Ф. Лебедев, И.Г. Чумак, Г.Д. Аверин и др. –М.: Агропромиздат, 1987. — 335 с.
14. Холодильные машины: Справочник. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. — 220 с.
15. Железный В.П., Проценко Д.А., Ниченко С.В. Влияние примесей масла на теоретические показатели эффективности холодильных систем. . – М.: Холодильная техника, №5, 2005. — 42-48 с.
16. Чумак І.Г., Нікульшина Д.Г. Холодильні установки. Підручник. — К.: Вища школа, 1984. — 300 с.
17. Чумак И.Г., Чепурненко В.П. Холодильные установки. Издание 4 в двух томах. — К.: Вища школа, 1996. — 560 с.
18. Хмельнюк М.Г., Подмазко О.С. Холодильні установки спеціального призначення. Підручник. – Херсон: Гринь Д.С., 2013. – 488с.

<b>Вступ</b> .....	3
<b>Розділ 1. Поняття про холодильну установку</b> .....	7
1.1 Схеми вузла подачі холодоагенту у випарну систему.....	7
1.2 Підтримання температури в охолоджувальних об'єктах.....	16
1.3 Аналіз холодильних систем .....	21
<b>Розділ 2. Ам'ячні системи</b> .....	35
2.1 Виробництво ам'яку.....	37
2.2 Безнасосні ам'ячні системи .....	39
2.3 Насосно-циркуляційні системи охолодження.....	40
2.4 Тенденції розвитку ам'ячних холодильних систем.....	44
2.5 Термопресор, як проміжний охолоджувач .....	50
2.6 Гідроциклони.....	50
2.7 Схеми машинних відділень.....	52
2.8 Децентралізовані системи охолодження.....	54
2.9 Схеми підключення конденсаторів різних типів, які працюють паралельно .....	55
<b>Розділ 3. Фреонові системи</b> .....	57
3.1 Холодоагенти.....	57
3.2 Особливості фреонових систем .....	58
3.3 Запобігання витіканню холодоагенту у фреонових системах .....	60
3.4 Волога та повітря у фреонових системах.....	62
3.5 Масла у фреонових системах.....	64
3.6 Підведення фреону до випарників.....	70
3.7 Масловідділення у фреонових системах.....	74
3.8 Розведення трубопроводів.....	75
3.9 Особливості циркуляції маслофреонових сумішей .....	76
<b>Розділ 4. Використання систем з проміжним рідким холодоносієм</b> .....	80
4.1 доцільність використання схем з холодоносієм.....	82
4.2 схеми трубопроводів для рідких холодоносіїв.....	84
<b>Розділ 5. Основи експлуатації холодильних установок</b> .....	97
5.1 Підтримування оптимального режиму роботи холодильної установки ...	97
5.2 Відхилення від оптимального режиму роботи холодильної установки.	
Неполадки в роботі холодильної установки.....	98
5.3 Вологий хід компресора та гідравлічні удари .....	100
5.4 Підвищення температури пари, що нагнітається компресором.	
Проведення допоміжних операцій .....	100
5.5 Проведення основних операцій технічного обслуговування (допоміжні операції) .....	101

5.6 Несправності в роботі холодильної установки.....	104
<b>Розділ 6. Сфери використання холодильних установок .....</b>	<b>122</b>
6.1 Використання холоду в будівельній техніці.....	122
6.2 Використання холоду в деревообробній промисловості.....	126
6.3 Використання холоду в спорті .....	129
6.4 Використання холоду в пральних машинах промислового типу.....	133
6.5 Використання холоду в саунах та банях .....	136
6.6 Використання холоду у метрологічній службі при атестації обладнання .....	137
6.7 Використання холоду в машинобудуванні та металургії.....	141
6.8 Використання холоду у виноробній промисловості .....	149
6.9 Торгівельне холодильне обладнання.....	160
6.10 Сублімаційні установки.....	174
6.11 Використання холоду в медицині.....	176
6.12 Випробувальні камери та стенди .....	185
6.13 Застосування холоду при виробництві молочної продукції.....	190
6.14 Коцентрування виморожуванням .....	214
6.15 Холодильний транспорт .....	229
6.16 Штучний холод в енергетичних системах з відновлюваними джерелами .....	291
6.17 Використання холоду у нафтовій, газовій та хімічній промисловості .....	313
6.18 Апарати швидкого заморожування.....	359
6.19 Використання акумулювання холоду.....	421
6.20 Сухий лід.....	440
6.21 Виробництво водяного льоду.....	449
<b>Список рекомендованої літератури .....</b>	<b>481</b>