

ЗМІСТ

Вступ	5
Тема 1. Основи холодильної технології	7
1.1. Загальні положення (передмова)	7
1.2. Технічна термодинаміка: основні поняття та визначення	8
1.3. Термодинамічна система	9
1.4. Термічні параметри стану термодинамічної системи	10
1.5. Термодинамічний процес	12
<i>Питання для самоконтролю</i>	17
Тема 2. Теоретичні основи штучного охолодження	18
2.1. Способи отримання низьких температур	18
2.2. Адіабатичне дроселювання	23
2.3. Адіабатичне розширення газу	23
2.4. Вихровий ефект	24
2.5. Термоелектричний ефект	25
<i>Питання для самоконтролю</i>	27
Тема 3. Термодинамічні процеси і оборотний цикл	28
3.1. Другий закон термодинаміки (загальні положення)	28
3.2. Оборотний коловий процес	29
3.3. Найпростіший коловий процес (цикл Карно)	31
3.4. Ступінь необоротності циклу	32
<i>Питання для самоконтролю</i>	33
Тема 4. Схеми парової холодильної машини	34
4.1. Загальні положення	34
4.2. Схеми та цикли парокомпресійних холодильних агрегатів	35
<i>Питання для самоконтролю</i>	42
Тема 5. Розрахунок циклу парової холодильної машини	44
5.1. Розрахунок теоретичного циклу парокомпресійної холодильної машини	44
5.2. Двоступінчаста холодильна машина	47
5.3. Схема абсорбційної холодильної машини	50
<i>Питання для самоконтролю</i>	53
Тема 6. Холодильні агенти і теплоносії холодильних машин	54
6.1. Загальні положення	54
6.2. Вимоги до холодильного агента	55
6.3. Теплоносії	58
6.4. Системи машинного охолодження	60
<i>Питання для самоконтролю</i>	65

Тема 7. Льодяне і льодосоляне охолодження	66
7.1. Загальні положення	66
7.2. Охолодження водяним льодом	68
7.3. Охолодження льодосоляне	69
7.4. Охолодження сухим льодом	73
7.5. Льодовні і деякі способи заготівлі природного льоду	74
<i>Питання для самоконтролю</i>	<i>78</i>
Тема 8. Холодильні установки	79
8.1. Загальні положення	79
8.2. Основні елементи холодильних установок	81
<i>Питання для самоконтролю</i>	<i>88</i>
Тема 9. Визначення холодильної потужності і вибір холодильної установки	89
9.1. Машинне охолодження	89
9.2. Холодильні установки	90
9.3. Визначення потужності і вибір установки	95
9.4. Автоматизація холодильних установок	99
<i>Питання для самоконтролю</i>	<i>100</i>
Тема 10. Калоричні розрахунки холодильної установки	101
10.1. Загальні положення	101
10.2. Класифікація апаратів для обробки холодом	103
10.3. Калоричні розрахунки холодильної установки	105
10.4. Ізоляція холодильних установок	110
10.5. Теплотехнічні розрахунки ізоляції захисних засобів конструкцій холодильників	114
<i>Питання для самоконтролю</i>	<i>118</i>
Тема 11. Холодильна обробка та зберігання м'яса і м'ясопродуктів	119
11.1. Загальні положення	119
11.2. Охолодження і підморожування	121
11.3. Заморожування і розморожування	123
11.4. Технологія і техніка обробки холодом	126
<i>Питання для самоконтролю</i>	<i>131</i>
Тема 12. Холодильна обробка та зберігання молока і молокопродуктів	132
12.1. Загальні положення	132
12.2. Охолодження молока	134
12.3. Заморожування молока	136
12.4. Технологія і техніка обробки молока холодом	138
<i>Питання для самоконтролю</i>	<i>140</i>
Короткий термінологічний словник	141
Список рекомендованої літератури	147

ВСТУП

Постійне розширення меж використання штучного холоду в науково-дослідній сфері, сільському господарстві та багатьох галузях промисловості сприяє інтенсивному розвитку та вдосконаленню методів отримання низьких температур і розробці для цього нових технологічних засобів й обладнання.

Основними сферами промисловості, в яких застосування штучного холоду є важливою технологічною ланкою їх виробничого циклу, є харчова та переробна галузі. Використання низьких температур у цих галузях не обмежується тільки створенням сприятливих умов для коротко- або довготривалого зберігання (консервації) продукції на різних стадіях виробництва, а й може бути задіяне як основна технологічна операція для виробництва різноманітної продукції. Ефективність запровадження технології використання холоду в тому чи іншому виробничому циклі значною мірою залежить від оптимального вибору для цієї мети високопродуктивного й енергоощадливого холодильного обладнання та продуманості щодо застосування низьких температур у технологічному процесі з дотриманням усіх необхідних правил та рекомендацій.

Саме тому актуальним є завдання підготовки кваліфікованих наукових та інженерних кадрів з виробництва та раціонального використання штучного холоду для потреб харчової і переробної галузі.

Метою вивчення дисципліни «Основи холодильних технологій» як професійно орієнтованого курсу є отримання студентами знань про існуючі та нові прогресивні технології зберігання й обробки сільськогосподарської сировини холодом, необхідних у подальшій виробничо-технологічній, науково-дослідній та практичній діяльності майбутніх фахівців.

Завданням курсу є засвоєння теоретичних основ холодильних технологій: первинної холодильної обробки, короткочасного зберігання, підготовки до транспортування, охолодження,

заморожування, довготривалого зберігання сировини та продукції, розморожування (дефростації), зокрема, швидкокопсувної; вибір раціональних режимів та способів ведення технологічних операцій; класифікація способів обробки й зберігання, зокрема, м'ясо- та молокопродуктів; принципи вибору способів і класифікація холодильників функціонального призначення, основні технології зберігання сільськогосподарської продукції з використанням холоду.

Предмет дисципліни – нові технологічні підходи щодо обробки та переробки м'ясо- і молокопродукції, плодоовочевої та плодово-ягідної сировини і продуктів; оптимізація сучасних технологічних процесів виробництва й зберігання; використання нового технологічного обладнання та устаткування для виробництва продуктів; застосування нових нетрадиційних способів обробки, переробки та виготовлення харчових продуктів із застосуванням холоду.

Зміст дисципліни – способи отримання низьких температур; термодинамічні процеси і оборотний цикл; схеми парових холодильних машин і розрахунки циклу парової холодильної машини; склад холодильника і технологічні зв'язки; схема абсорбційної холодильної машини; холодильні агенти та теплоносії холодильних машин; льодяне і льодосоляне охолодження; схеми типових установок; класифікація холодильників за функціональним призначенням; новітні досягнення науки і техніки використання холоду в переробній галузі.

ОСНОВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

- Загальні положення (передмова)
- Технічна термодинаміка – основні поняття та визначення
- Термодинамічна система
- Термічні параметри стану термодинамічної системи
- Термодинамічний процес

Ключові слова: термодинаміка, система, абсолютний тиск, пито-
мий об'єм, абсолютна термодинамічна температура, параметри,
оборотний процес.

1.1. Загальні положення (передмова)

Енергетичне господарство є життєво необхідною складовою всіх галузей виробництва, у тому числі сільського господарства, переробної галузі, а також побутового сектору.

Для систем енергопостачання виробництв переробної галузі характерні певні особливості:

- невелика одинична потужність енергосилових та енергоспоживаючих установок, що зумовлює необхідність створення спеціального обладнання, яке відрізняється від обладнання, застосовуваного у великій станційній енергетиці;
- наявність великої кількості автономних джерел теплоти;
- велика розосередженість споживачів енергії;
- наявність на балансі сервісних служб АПК місцевих комунальних мереж (електричних, теплових, газових та ін.).

Ці особливості повинні враховуватися фахівцями під час проектування та експлуатації систем енергопостачання агропромислового виробництва (АПВ). Характерною рисою АПВ є те, що це дуже складний комплекс технічних, біологічних, фізичних, хімічних та інших факторів, які забезпечують умови життєдіяльності тварин і рослин (у сільськогосподарському виробництві) та мікроорганізмів, бактерій тощо – у переробній галузі.

Одне з актуальних завдань сьогодення полягає в необхідності впровадження *енергозберігаючих заходів* в усіх галузях виробництва, транспорту й побутового сектору. З цією проблемою нерозривно пов'язані питання *енергетичної безпеки* країни, економіки та *охорони навколишнього середовища*.

Ефективним шляхом енергозбереження є використання *нетрадиційних джерел енергії*, а також вирішення завдань оптимізації при проектуванні та експлуатації енергетичного обладнання.

У загальному енергетичному балансі сільських районів теплова енергія відіграє провідну роль. Тому розвиток теплопостачання, розроблення й експлуатація високоефективного теплотехнічного обладнання, зокрема холодильного, стає однією з умов підвищення рентабельності як переробної галузі, так і сільськогосподарського виробництва в цілому.

Вирішення зазначених проблем залежить значною мірою від *рівня підготовки фахівців у сфері енергетики*.

1.2. Технічна термодинаміка: основні поняття та визначення

Термодинаміка – це наука про закони теплового руху (термо) і його перетворення (динаміка) в інші види руху, що відбуваються в макроскопічних рівноважних системах і при переході систем до стану рівноваги.

Відмітна особливість термодинаміки полягає в тому, що вона дозволяє розглянути всі різноманітні види енергії, які можуть проявлятися під час взаємодії тіл та фізичних полів, а також усі перетворення різних видів енергії в макроскопічних системах.

Розрізняють технічну і хімічну термодинаміку, термодинаміку біологічних систем та ін. У нашому випадку розглядається й вивчається технічна термодинаміка, зокрема процеси з відведенням теплоти.

Технічна термодинаміка вивчає закономірності взаємного перетворення теплоти і роботи, а також властивості тіл, що беруть участь у цих перетвореннях, та теплові процеси, що відбуваються в різних апаратах й установках (теплових і *холодильних* машинах).

На основі технічної термодинаміки виконуються розрахунки та проектування теплових двигунів, компресорних машин, холодильних машин і установок, течії в повітро- і паропроводах, повітрообміну приміщень, кондиціонування повітря, сушіння, збереження сільськогосподарської продукції й ін.

Термодинаміка дозволяє проводити аналіз всіх етапів реального перетворення енергії тіл та полів в корисну дію. Спираючись на положення рівноважної термодинаміки, можна охарактеризувати особливості можливих станів рівноваги і загальний енергетичний ефект рівноваги. Термодинаміка *необоротних процесів* дозволяє оцінити *дисипацію енергії* в реальних процесах і, як наслідок, *коефіцієнт використання енергії*.

Тепловий рух обумовлений рухом і взаємодією між собою великої кількості мікрочастинок. Відомі два методи вивчення теплової форми руху матерії [2, 3]. Метод статистичної фізики ґрунтується на *молекулярній моделі* фізичних систем і використовує можливості *математичної теорії ймовірності*. Термодинамічний метод, названий *феноменологічним*, установлює зв'язок між *макроскопічними параметрами*, що визначають зміни стану системи, і не потребує звернення до молекулярної структури речовини. Такий підхід дуже зручний і цілком достатній для розв'язання більшості практично важливих завдань.

Термодинаміка ґрунтується на двох законах (початках), отриманих дослідним шляхом. *Перший закон термодинаміки* виражає загальний закон збереження та перетворення енергії в застосуванні до термодинамічних процесів. *Другий закон термодинаміки* вказує на якісну відмінність форми передачі енергії у вигляді теплоти і пов'язаний із принципом зміни ентропії в оборотних і необоротних процесах.

1.3. Термодинамічна система

Термодинамічною системою називають сукупність матеріальних тіл, що знаходяться в тепловій і механічній взаємодії одне з одним та з оточуючими цю систему зовнішніми тілами (останні утворюють зовнішнє середовище). Тобто, термодинамічними системами прийнято називати макроскопічні системи, що знаходяться в стані термодинамічної рівноваги.

Систему, що не обмінюється з навколишнім середовищем ні енергією, ні речовиною, називають *ізолюваною (закритою)* системою. Якщо система не обмінюється із зовнішнім середовищем теплотою, її називають *теплоізолюваною, або адіабатною*.

Відкриті системи характерні тим, що між ними і навколишнім середовищем відбувається обмін речовинами (масообмінна взаємодія).

Термодинамічна система містить у собі робочі тіла (гази, повітря, пари) і джерела теплоти.

Гази, у яких ми можемо нехтувати впливом сил взаємодії між молекулами й об'ємом самих молекул, називають *ідеальними газами*.

1.4. Термічні параметри стану термодинамічної системи

Макроскопічні величини, тобто величини, що визначають стан термодинамічної системи (ТС) у даний момент, називають *параметрами стану* ТС. До перших відносять абсолютний тиск P , питомий об'єм V і абсолютну температуру T , до других – внутрішню енергію u , ентальпію h і ентропію S .

Параметри, що не залежать від маси робочого тіла або кількості мікрочастинок у системі, називаються *інтенсивними* (наприклад, тиск, температура); параметри, значення яких пропорційне масі робочого тіла або кількості мікрочастинок у системі, називають *адитивними*, або *екстенсивними* (енергія, ентропія, ентальпія).

Стан ізольованої термодинамічної системи, що характеризується сталістю термодинамічних параметрів у часі і по всьому об'єму системи, називається *рівноважним*.

У рівноважному стані системи відсутні потоки енергії речовини. Будь-яка ізольована система згодом приходиться у стан рівноваги і самочинно з нього вийти не може. В ізольованих ТС рівноважний стан визначається зовнішніми умовами (значеннями тиску і зовнішньою стосовно ТС температурою навколишнього середовища.) Якщо між різними частинами об'єму системи є різниця температур, тиску та ін., то вона є *нерівноважною*.

Абсолютний тиск – результат ударів об стінку мікрочастинок робочого тіла, що хаотично рухаються. Відповідно до молекулярно-кінетичної теорії тиск газу визначається рівнянням

$$P = \frac{2}{3} n \frac{m \bar{w}^2}{2}, \quad (1.1)$$

де n – кількість молекул в одиниці об'єму;

m – маса молекули;

\bar{w}^2 – середня квадратична швидкість поступального руху молекул.

Чисельно абсолютний тиск дорівнює силі, що діє на одиницю площі поверхні тіла в напрямку внутрішньої нормалі до неї.

У системі СІ тиск вимірюють у паскалях. Один паскаль $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Отже, 1 Па дорівнює тискові, зумовленому 1 Н , рівномірно розділеному в напрямку нормалі по поверхні площею 1 м^2 . У практичних розрахунках частіше використовують $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$ і $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$. Серед інших одиниць вимірювання тиску слід зазначити насамперед такі:

$$1 \text{ кгс/см}^2 = 1 \text{ ат}; 1 \text{ ат} = 98\,100 \text{ Па}; 1 \text{ Па} = 0,102 \cdot 10^{-4} \text{ кгс/см}^2;$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}.$$

Тиск поділяють на **абсолютний** P , **атмосферний** P_a , **надлишковий** P_n і **вакууметричний** P_v .

Для вимірювання тиску застосовують прилади: манометри, барометри, вакуумметри.

Якщо абсолютний тиск $P > P_a$, то надлишковий тиск дорівнює різниці між абсолютним тиском вимірюваного середовища і атмосферним тиском, тобто $P_n = P - P_a$. Якщо $P < P_a$, то розріджений тиск дорівнює $P_v = P_a - P$. У цьому випадку прилад (вакуумметр) показує значення розрідження (вакууму).

Абсолютна термодинамічна температура T згідно з молекулярно-кінетичною теорією газів пропорційна кінетичній енергії поступального руху частинок робочого тіла (холодоагенту):

$$kT = \frac{2}{3} \cdot \frac{m\bar{w}^2}{2}, \quad (1.2)$$

де k – стала Больцмана, що дорівнює $1,380\,662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

Рівняння (1.2) указує на те, що температура є мірою інтенсивності теплового руху. З рівнянь (1.1) і (1.2) випливає, що велика кількість випадкових явищ (рух і взаємодія молекул) виражається у вигляді певної закономірності – значення макроскопічних параметрів. Тут виявляється методологічний аспект взаємного зв'язку між динамічними і статистичними закономірностями.

Температура, що обумовлюється рівнянням (1.2), називається **термодинамічною (абсолютною)**.

Поняття термодинамічної температури впливає з другого закону термодинаміки. Для шкали абсолютної температури характерні дві точки відліку. За початок відліку приймають абсолютний нуль. Якщо $T = 0\text{К}$, тепловий рух молекул припиняється. Інша реперна точка відліку – **температура потрійної точки води**. Потрійна точка води характеризує стан рівноваги між трьома фазами: льодом, рідиною і паром. Температура потрійної точки дорівнює $273,16$