



ЕНЕРГЕТИКА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

ТЕПЛОТЕХНІКА

Фірма "ІНКОС"

ТЕПЛОТЕХНІКА

За редакцією професора Б.Х. ДРАГАНОВА
2-е видання, перероблене та доповнене

Затверджено Міністерством аграрної політики України
як підручник для підготовки студентів у вищих аграрних
навчальних закладів

Київ
«Фірма «ІНКОС»
2005

УДК 621.1(075.8)

ББК 31.3я73

Т 34

Затверджено Міністерством аграрної політики України
як підручник для підготовки студентів у вищих аграрних
навчальних закладів (Лист № 18–2–1–128/994 від 17.08.04)

Рецензенти: кафедра теплотехніки Національного університету
харчових технологій;
кафедра теплотехніки і двигунів Національного
транспортного університету.

**Б.Х. Драганов, О.С. Бессараб, А.А. Долінський, В.О. Лазоренко,
А.В. Міщенко, О.В. Шеліманова (за ред. Б.Х. Драганова)**

Т 34 Теплотехніка: Підручник.— 2-е вид., перероб. і доп.— Київ:
Фірма «ІНКОС», 2005. - 400 с.

ISBN 966-8347-12-9

Викладемо основи технічної термодинаміки та теорії тепломасообміну, паливо і його горіння, генератори теплоти в сільському господарстві, теплові двигуни, що застосовуються у сільському господарстві, теплосилові установки. Приведено основи будівельної теплофізики сільськогосподарських будівель та споруд, висвітлені питання опалення і вентиляції громадських та виробничих приміщень, застосування теплоти в галузях аграрного виробництва, використання нетрадиційних джерел енергії, охорони навколишнього середовища.

ISBN 966-8347-12-9

ББК31.3я73

©Драганов Б.Х. та ін., 2004

© Фірма «ІНКОС», 2004

© Художнє оформлення

Фірма «ІНКОС», 2004

П е р е д м о в а

Енергетичне господарство є життєво необхідною частиною всіх галузей виробництва, в тому числі сільського господарства, а також побутового сектора.

Для систем енергозабезпечення сільськогосподарського виробництва характерні певні особливості:

- невелика одинична потужність енергосилових та енергоспоживаючих установок, що призводить до створення спеціального обладнання, яке відрізняється від обладнання, що застосовується у великій станційній енергетиці;

– наявність великої кількості автономних джерел теплоти;

– велика розсосередженість споживачів енергії;

– наявність на балансі сервісних служб АПК місцевих комунальних мереж (електричних, теплових, газових та ін.).

Ці особливості повинні враховуватись фахівцями при проектуванні та експлуатації систем сільськогосподарського енергопостачання.

Характерною рисою сільськогосподарського виробництва є те, що це складний комплекс технічних, біологічних, фізичних та інших факторів, які забезпечують умови життєдіяльності тварин та рослин.

Одне з актуальних завдань сьогодення полягає в необхідності впровадження енергозберігаючих заходів у всіх галузях виробництва, транспорту і побутового сектора. З цією проблемою нерозривно пов'язані питання енергетичної безпеки країни, економіки та охорони довкілля. Ефективним шляхом енергозбереження є використання нетрадиційних джерел енергії, а також вирішення задач оптимізації при проектуванні та експлуатації енергетичного обладнання.

В загальному енергетичному балансі сільських районів теплова енергія відіграє провідну роль. Тому розвиток теплостачання, розробка та експлуатація високоефективного теплотехнічного обладнання стає одним з умов підвищення рівня рентабельності сільськогосподарського виробництва.

Вирішення перелічених проблем залежить від рівня підготовки інженерів в сфері енергетики.

Даний підручник написаний у відповідності до навчальної програми дисципліни «Теплотехніка» для інженерних спеціальностей сільськогосподарських вищих навчальних закладів.

РОЗДІЛ ПЕРШИЙ

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

1.1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Термодинаміка — 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 етапу рівноваги.

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

Розрізняють технічну і хімічну термодинаміку, термодинаміку біологічних систем і т.д. Технічна термодинаміка вивчає закономірності взаємного перетворення теплоти і роботи, а також властивості тіл, що беруть участь у цих перетвореннях, та теплові процеси, що протікають у різних апаратах і установках, теплових і холодильних машинах.

Термодинаміка виникла з потреб теплотехніки. Застосування в ХІХ столітті теплових двигунів висунуло перед наукою задачу теоретичного вивчення роботи теплових машин і визначення шляхів підвищення їх коефіцієнта корисної дії. Пізніше задачі термодинаміки стали ширшими й область її вивчення поширилася на різні галузі технічних, біологічних, інформаційних і інших систем. На основі технічної термодинаміки виконуються розрахунки і проектування теплових двигунів, компресорних машин, холодильних установок, течії у повітро- і паропроводах, повітрообміну приміщень, кондиціонування повітря, сушіння і збереження сільськогосподарських продуктів і т.д.

Термодинаміка дозволяє проводити аналіз всіх етапів реального перетворення енергії тіл та полів в корисну дію. Базуючись на положеннях 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 великого числа мікрочасток. Відомі два методи вивчення теплової форми руху матерії. 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 вимагає звертання до молекулярної структури речовини. Такий підхід дуже зручний і цілком достатній для розв'язання більшості практично важливих задач.

Термодинаміка ґрунтується на двох законах (початках), отриманих дослідним шляхом.

Перший закон термодинаміки встановлює кількісне співвідношення закону збереження і перетворення енергії стосовно до термодинамічних систем.

Другий закон термодинаміки вказує на якісну відмінність форми передачі енергії у вигляді теплоти і зв'язаний із принципом зміни ентропії в оборотних і необоротних процесах.

1.2. ТЕРМОДИНАМІЧНА СИСТЕМА

Термодинамічною системою називають сукупність матеріальних тіл, що знаходяться в тепловій і механічній взаємодії одне з іншим і з оточуючими цю систему зовнішніми тілами (останні утворюють навколишнє середовище). Тобто, термодинамічними системами прийнято називати макроскопічні системи, що знаходяться в термодинамічній рівновазі.

Систему, що не обмінюється з навколишнім середовищем ні енергією, ні речовиною, називають *ізолюваною (закритою)*. Якщо система не обмінюється з зон пінним середовищем теплотою, її називають *теплоізолюваною*, або *адиабатною*. Відкриті системи характерні тим, що між ними і оточуючим середовищем відбувається обмін речовиною (масообмінна взаємодія).

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

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

1.3. ТЕРМІЧНІ ПАРАМЕТРИ СТАНУ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Макроскопічні величини, тобто величини, що визначають стан термодинамічної системи (ТС) в даний момент, називають параметрами стану. Розрізняють *термічні* і *калоричні* параметри 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 числа мікро часток у системі, називаються *інтенсивними* (наприклад, тиск, температура); параметри, значення яких пропорційне масі робочого тіла або чисту мікрочасток у системі, називаються *адитивними*, або *екстенсивними* (енергія, ентропія, ентальпія.).

Стан ізолюваної термодинамічної системи, що характеризується сталістю термодинамічних параметрів стану в часі і по всьому об'єму системи, називається *рівноважним*. У рівноважному стані системи відсутні потоки енергії і речовини. Всяка ізолювана система згодом приходиться у стан рівноваги і самочинно з нього вийти не може. В ізолюваних ТС рівноважний стан визначається зовнішніми умовами (значеннями тиску і зовнішньою стосовно системи температурою оточуючого середовища). Якщо між різними частинами об'єму системи є різниці температури, тиску і т.п., то вона *нерівноважна*.

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

$$p = \frac{2}{3} n \frac{mw^2}{2} \quad (1.1)$$

де n — число молекул в одиниці об'єму; m — маса молекули; 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 системні одиниць СІ тиск вимірюють у паскалях. Один паскаль $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Отже, 1 Па дорівнює

тискові, зумовленому силою 1 Н, рівномірно розподіленою в напрямку нормалі по поверхні площею 1 м². У практичних розрахунках частіше використовують 1 кПа=10³ Па і 1 МПа=10⁶ Па. Серед інших одиниць вимірювання тиску слід зазначити насамперед такі: 1 кгс/см²=1ат; 1ат = 98100Па; 1 Па = 0,102*10⁻⁴ кгс/см²; 1 бар = 10⁵ Па.

Тиск поділяють на абсолютний p , атмосферний p_a , надлишковий p_n і вакуумст-ричний p_e .

Прилади для виміру тиску — манометри, барометри, вакуумметри.

Якщо абсолютний тиск $p > p_a$, то надлишковий тиск дорівнює різниці між абсолютним тиском вимірюваного середовища й атмосферним тиском, тобто $p_n = p - p_a$. Якщо $p < p_a$, то розріджений тиск дорівнює $p_e = p_a - p$. У цьому випадку прилад (вакуумметр) показує значення розрідження (вакууму).

Абсолютна термодинамічна температура T у відповідності з молекулярно-кінетичною теорією газів пропорційна кінетичній енергії поступального руху часток робочого тіла:

$$kT = \frac{2}{3} \overline{mw^2}, \quad (1.2)$$

де k — стала Больцмана, що дорівнює 1,380662*10⁻²³ Дж/К.

Рівняння (1.2) вказує 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, обумовлена з рівняння (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. При $T = 0\text{К}$ припиняється тепловий рух молекул. Інша реперна точка відліку — температура потрійної точки води. Потрійна точка характеризує стан рівноваги між трьома фазами: льодом, рідиною і паром. Температура потрійної точки дорівнює 273,16 К (+0,01 °С). 1/273,16 частка інтервалу між цими двома реперними точками відліку за термодинамічною температурною шкалою, є один градус кельвіна - 1К. Температуру вимірюють також за шкалою Цельсія, де за нуль приймають температуру танення льоду, а за 100 °С — температуру кипіння води при тиску 101 325 Па (так звані нормальні фізичні умови). Зв'язок між термодинамічною температурою TK і температурою t °С наступний:

$$T = t + 273,15.$$

Для вимірювання температури застосовують рідинні термометри, термопари, пірометри та інші прилади. Їхня дія заснована на використанні таких властивостей речовин, як теплове розширення, термоелектрорушійна сила, електричний опір, інтенсивність випромінювання й ін.

Питомий об'єм v — це об'єм, що займає одиниця маси речовини. Для однорідного тіла масою m і об'ємом V його визначають за формулою:

$$v = V/m.$$

Величина, обернена питомому об'ємові, — густина $\rho = 1/v$, звідси $\rho v = 1$. Одиниця виміру питомого об'єму м³/кг, а густини — кг/м³.

1.4. РІВНЯННЯ СТАНУ ТЕРМОДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ

Для рівноважної термодинамічної системи існує детермінований функціональний зв'язок між термічними параметрами, який називають *термічним рівнянням стану*. Рівняння, що зв'язує температуру T , зовнішні параметри і внутрішню енергію, називається *калоричним рівнянням стану*. Рівняння стану встановлюється дослідним шляхом або виводиться на основі законів статистичної фізики. Якщо відомі термічне і калоричне рівняння стану, то за допомогою першого і другого законів термодинаміки можна визначити всі термодинамічні властивості системи.

Термічне рівняння стану для довільної кількості ідеального газу записують так:

$$pV = mRT. \quad (1.3)$$

Для 1 кг газу

$$pv = RT, \quad (1.4)$$

де R — питома газова стала, Дж/(кг*К).

З термічного рівняння стану ідеального газу знаходимо

$$p \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = \frac{\partial}{\partial T} (RT) = R \quad (1.5)$$

Отже, питома газова стала - це робота 1 кг ідеального газу при незмінному тиску (ізобарний термодинамічний процес) і зміні його температури на один градус.

Якщо в рівнянні (1.3) замінити m на μ , де μ — молярна маса газу, а також врахувати, що $V\mu = \mu v$, то одержимо рівняння Клапейрона-Менделєєва

$$pV_\mu = R_\mu T \quad (1.6)$$

де V_μ — молярний об'єм робочого тіла, м³/кмоль (при нормальних фізичних умовах $V_\mu = 22,4$ м³/кмоль); $R_\mu = \mu R$ — універсальна газова стала.

Якщо рівняння (1.6) записати для нормальних фізичних умов, одержимо $R_\mu = p V_\mu / T = 101\,325 \cdot 22,4 / 273,15 = 8314$ Дж/(кмоль градус).

Газова стала 1 кг довільного ідеального газу молярною масою μ дорівнює

$$R = 8314 / \mu. \quad (1.7)$$

Властивості реальних газів унаслідок значущості сили міжмолекулярних взаємодій відмінні від властивостей ідеальних газів. Найбільш просте рівняння, що відображає зв'язок між термічними параметрами стану реальних робочих тіл - рівняння Ван-дер-Ваальса. Позначимо через b мінімальний об'єм, до якого можна стиснути реальний газ. Очевидно, що в цьому випадку вільний для руху молекул об'єм буде дорівнювати різниці $(v - b)$. Через зменшення довжини вільного пробігу молекул число ударів їх об стінку за одиницю часу збільшиться в $v / (v - b)$ раз, що зумовить збільшення тиску газу.

$$p = \frac{RT}{v} \cdot \frac{v}{v - b} = \frac{RT}{v - b}$$

Сили притягання між молекулами призводять до виникнення молекулярного тиску (у реальному газі через силу притягання швидкість руху молекули до стінки знижується, а отже, імпульс сили удару об стінку зменшується). Сила молекулярного притягання пропорційна квадратові числа молекул, що ударяють по 1 м² поверхні, тобто квадратові щільності, і обернено пропорційна питомому об'ємові:

$P_{\text{мол}}=a/v^2$ де a - коефіцієнт пропорційності, і по залежить від природи реального газу.

З урахуванням зазначеного вище Ван-дер-Ваальс запропонував для реальних газів термічне рівняння стану у такому вигляді:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v - b) = RT \quad (1.8)$$

Рівняння (1.8) не завжди узгоджується з експериментом, що зумовлюється наявністю в реальних газах окремих груп, які складаються з двох, трьох і більш молекул.

На основі розробленої теорії асоціації молекул водяної пари М.П.Вукаловичем і І.І.Новіковим запропоноване інше термічне рівняння стану реального газу — водяної пари, а також складені таблиці і діаграми її властивостей, які використовують на практиці для виконання теплотехнічних розрахунків.

Окрім рівняння Ван-дер-Ваальса та Вукаловича-Новікова відомі рівняння й інших авторів, наприклад рівняння Бельтело:

$$\left(p + \frac{a}{Tv^2}\right) \cdot (v - b) = RT$$

1.5. ГАЗОВІ СУМІШІ

Суміш ідеальних газів, які хімічно не взаємодіють між собою, називається ідеальною газовою сумішшю. Відповідно до закону Дальтона

$$p_n = \sum_{k=1}^n p_k \quad (1.9)$$

де p_n — тиск суміші; p_k — парціальний тиск k -го компонента суміші, що дорівнює тискові, що мав би даний компонент, якщо він займав би увесь об'єм при температурі суміші; n — число компонентів суміші.

Рівняння стану для k -го компонента суміші має такий вигляд:

$$p_k V = m_k R_k T \quad (1.10)$$

а для суміші газів

$$p_n V = T \sum_{k=1}^n m_k R_k \quad (1.11)$$

де m_k — маса k -го компонента; R_k — питома тазова стала k -го компонента.

Оскільки розглядається рівноважний стан робочого тіла, будемо вважати $T_n = T_1 = T_2 = \dots = T$.

Очевидно, що маса суміші газів m_n дорівнює сумі мас компонентів:

$$m_n = \sum_{k=1}^n m_k$$

Зіставляючи рівняння (1.10) і (1.11), можна написати

$$m_n R_n T = T \sum_{k=1}^n m_k R_k ,$$

відкіля

$$R_n = \frac{\sum_{k=1}^n m_k R_k}{\sum_{k=1}^n m_k} = \sum_{k=1}^n g_k R_k = \sum_{k=1}^n g_k \cdot \frac{8314}{\mu_k} \quad (1.12)$$

де $g_k = m_k / m_n$ — масова частка k -го компонента суміші

Очевидно, що

$$g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1.$$

Тоді термічне рівняння стану для газової суміші

$$p_n V = m_n R_n T \quad (1.13)$$

Склад суміші газів виражають також через об'ємну частку

$$r_k = V_k / V,$$

де V_k — парціальний об'єм k -го компонента, тобто той об'єм, що займав би компонент, маючи температуру суміші і знаходячись під тиском, який дорівнював би, тиску суміші.

Оскільки температура всіх компонентів однакова, то з рівняння стану випливає, що

$$P_k = p_n V_k$$

або

$$\sum_{k=1}^n V_k = \sum_{k=1}^n \frac{P_k V}{p_n} = V.$$

Отже, сума парціальних об'ємів суміші ідеальних газів дорівнює об'ємові, займаному сумішшю, тобто

$$\sum_{k=1}^n r_k = 1.$$

Користуючись поняттям парціального об'єму, термічне рівняння стану k -го компонента суміші можна записати:

$$p_k V_k = m_k R_k T. \quad (1.14)$$

Якщо відома густина p_k кожного компонента суміші, то можна встановити зв'язок між масовими й об'ємними частками газової суміші:

$$g_k = \frac{p_k V_k}{\sum_{k=1}^n (p_k V_k)} \quad (1.15)$$

Поділивши чисельник і знаменник на V і з огляду на те, що $p_k = \mu_k/V$, одержимо:

$$g = \frac{p_k r_k}{\sum_{k=1}^n p_k r_k} = \frac{\mu_k r_k}{\sum_{k=1}^n \mu_k r_k} = \frac{\mu_k r_k}{\mu_n} \quad (1.16)$$

де $\mu_n = 8314/R_n$

Аналогічно для об'ємних часток

$$r_k = (g_k p_k) / \sum_{k=1}^n \left(\frac{g_k}{p_k} \right) = \left(\frac{g_k}{\mu_k} \right) / \sum_{k=1}^n \left(\frac{g_k}{\mu_k} \right) \quad (1.17)$$

При відомому хімічному складі суміші вищенаведеними формулами можна користуватися для виконання практичних розрахунків термодинамічних процесів установок, у яких робоче тіло являє собою суміш різних газів (наприклад, у двигунах внутрішнього згорання, в топках сушарок і т.д.).

1.6. ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ПРОЦЕС

Зміна стану термодинамічної системи унаслідок впливу на неї зовнішнього середовища називається *термодинамічним процесом*. При цьому відбувається послідовна зміна термодинамічних параметрів стану робочого тіла.

Процес, що складається з безперервної низки послідовних *рівноважних термодинамічних станів*, називається *рівноважним термодинамічним процесом*. Кожний з таких станів, будучи рівноважним, може бути описаним відповідним рівнянням стану.

Для того, щоб при переході термодинамічної системи з одного стану в інший всі проміжні стани могли розглядатися як рівноважні, такий процес повинен проходити дуже повільно*. Процес, що не задовольняє цій вимозі, нерівноважний.

Будь-який реальний процес у тій чи іншій мірі нерівноважний. Наприклад, при русі поршня в циліндрі процес протікає досить швидко і тому не виконується умова його рівноважності. Рівноважні процеси — оборотні. Оборотні термодинамічні процеси — це такі, при яких термодинамічна система після низки змін свого стану

* Досить повільно в порівнянні з відповідним часом релаксації, тобто з інтервалом часу, протягом якого система самочинно повертається в стан рівноваги

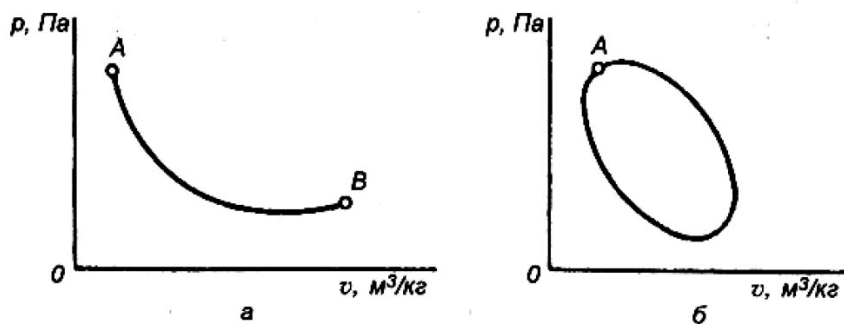


Рис. 1.1. Термодинамічний процес в p - v -координатах:
 а - процес розширення; б — коловий процес

повертається до початкового. Наприклад, термодинамічний процес, зображений на рис. 1.1 а, може протікати через ті самі рівноважні стани як у прямому A - B , так і в зворотному B - A напрямках, і називається оборотним. Таким чином, при здійсненні оборотних процесів не відбувається залишкових змін ні в самій системі, ні в навколишньому середовищі.

Для протікання оборотного процесу необхідно, по-перше, забезпечення теплової і механічної рівноваги, тобто рівність для кожною стану температури і тиску робочого тіла і навколишнього середовища; по-друге, відсутність тертя, завихрень та інших односторонньо спрямованих (необоротних) процесів. Хоча в природі і техніці реально протікають процеси необоротні, вивчення оборотних процесів має суттєве практичне значення, так як вони служать для оцінки ступеня досконалості реальних (необоротних) процесів. Крім того, зіставлення необоротних процесів з оборотними дозволяє виявити шляхи підвищення ефективності перших (наприклад, ККД теплових двигунів). Міра необоротності процесу в замкнутій системі, тобто зміна функції його стану – ентропія (див. главу 3).

Оборотний термодинамічний процес, в якому робоче тіло, повертаючись у вихідний стан, не набуває двічі одного і того ж стану, називається круговим процесом, або циклом. Рис 1.1 б.

Контрольні питання і завдання

1. Що вивчає термодинаміка? Яке значення технічної термодинаміки в розв'язанні практичних задач в галузях сільськогосподарського виробництва?

2. Що таке термодинамічна система?

3. Дайте визначення і характеристику різним параметрам стану термодинамічної системи. Наведіть відповідні приклади.

4. Основні термічні параметри стану.

5. Наведіть приклади функціональної залежності між параметрами стану для ідеального і реального робочого тіла. Що таке газова стала? Напишіть рівняння стану для суміші газів і вкажіть на фізичну сутність кожної величини, що входить у рівняння.

6. Що таке парціальний тиск і парціальний об'єм для суміші газів? Як визначити для газової суміші значення газової сталої, масової її об'ємної часток компонентів?

7. Що таке оборотний процес і цикл?

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА

РОЗДІЛ ПЕРШИЙ **ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА**

1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ

1.1. Загальні відомості	4
1.2. Термодинамічна система	5
1.3. Термічні параметри стану термодинамічної системи... ..	5
1.4. Рівняння стану термодинамічної системи	7
1.5. Газові суміші	8
1.6. Термодинамічний процес	10

2. ПЕРШИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

2.1. Внутрішня енергія	12
2.2. Робота розширення-стиску	13
2.3. Робота і теплота	14
2.4. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки для закритих систем	14
2.5. Теплоємність	15
2.6. Ентальпія	17
2.7. Ентропія	18
2.8. Термодинамічні процеси ідеальних газів у закритих системах	20

3. ДРУГИЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМІКИ

3.1. Загальна характеристика	27
3.2. Термічний ккд. холодильний коефіцієнт	28
3.3. Цикл карно	29
3.4. Зміна ентропії в необоротних процесах	31
3.5. Ексергія. Ексергетичний метод аналізу термодинамічних	34

4. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ ПАРООУТВОРЕННЯ

4.1. Пароутворення при постійному тиску	37
4.2. Параметри стану рідини і пари	39
4.3. Процеси зміни стану пари	40
4.4. Вологе повітря	42

5. ТЕРМОДИНАМІКА ВІДКРИТИХ СИСТЕМ

5.1. Загальні відомості	49
5.2. Математичне вираження першого закону Термодинаміки для потоку	49
5.3. Витікання газів і парів	52
5.4. Дроселювання	57
5.5. Термодинамічні основи компресора	58

6. ЦИКЛИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ І УСТАНОВОК

6.1. Вихідні положення	63
6.2. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згорання	63
6.3. Цикли паросилових установок	66

7. ЦИКЛИ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК І ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ (ЗВОРОТНІ ТЕРМОДИНАМІЧНІ ЦИКЛИ)	
7.1. Загальні відомості	71
7.2. Цикл парової компресійної холодильної установки	71
7.3. Цикл абсорбційної холодильної установки	72
7.4. Цикл теплового насоса	73
8. ОСНОВИ НЕРІВНОВАЖНОЇ ТЕРМОДИНАМІКИ	
8.1. Загальні відомості	75
8.2. Основні положення термодинаміки необоротних процесів	75
8.3. Зростання ентропії в необоротних процесах за Пригожішим	77
РОЗДІЛ ДРУГИЙ. ОСНОВИ ТЕПЛОМАСООБМІНУ.	
9. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ.	
9.1. Способи передачі теплоти	79
9.2. Основні визначення	80
10. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ	
10.1. Основний закон теплопровідності	82
10.2. Диференціальне рівняння теплопровідності	83
10.3. Крайові умови	84
10.4. Теплопровідність при стаціонарному режимі	86
10.5. Теплопровідність тіл при наявності внутрішніх джерел тіла	90
10.6. Теплопровідність при граничних умовах третього роду	91
11. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ РЕЖИМІ	
11.1. Загальні відомості	94
11.2. Методи рішення	95
12. КОНВЕКТИВНИЙ ТЕПЛООБМІН	
12.1. Загальні поняття і визначення	99
12.2. Закон тепловіддачі	99
12.3. Короткі відомості з гідродинаміки. Диференціальні рівняння конвективного теплообміну ...	100
12.4. Основні теорії подібності, подібність і моделювання процесів конвективного теплообміну	104
12.5. Критеріальні рівняння для визначення коефіцієнтів теплообміну	106
12.5.1 Вимушені рухи теплоносія	106
12.5.2 Вільний рух теплоносія	108
12.5.3 Теплообмін при конденсації пари	108
12.5.4 Тепловіддача при кипінні рідини	109
13. ПРОМЕНЕВИЙ ТЕПЛООБМІН	
13.1. Основні поняття, визначення і закони	111
13.2. Променистий теплообмін між тілами і методи зміни його інтенсивності	114
13.3. Випромінювання газів	116
14. ОСНОВИ ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ	
14.1. Класифікація	118
14.2. Розрахунок рекуперативного теплообмінника	119
14.3. Методи інтенсифікації процесів теплопередачі	123

15. ТЕПЛОМАСООБМІН У ДВОКОМПОНЕНТНИХ СЕРЕДОВИЩАХ	
15.1. Загальні відомості	125
15.2. Дифузія у двокомпонентних середовищах	126
15.3. Диференціальні рівняння тепломасообміну, критерії подібності. Потрійна аналогія.....	127

РОЗДІЛ ТРЕТІЙ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

16. ПАЛИВО ТА ОСНОВИ ТЕОРІЇ ГОРІННЯ

16.1. Загальні відомості.....	130
16.2. Склад і характеристика палива	131
16.3. Основи теорії горіння органічного палива	136
16.4. Розрахунки процесів горіння палив.....	142

17. КОТЕЛЬНІ УСТАНОВКИ

17.1. Загальні відомості.....	145
17.2. Схема котельної установки.....	145
17.3. Тепловий баланс парового котла.....	147
17.4. Будова і характеристики котлів малої продуктивності	148
17.5. Розрахунок поверхні нагріву	153
17.6. Елементи конструкцій котлів, допоміжні системи і пристрої	154
17.7. Особливості експлуатації котлових установок.....	158

18. ТЕПЛОГЕНЕРАТОРИ, ВОДОНАГРІВАЧІ, ГАЗОВІ ОПАЛЮВАЛЬНІ ПРИБАДИ

18.1. Теплогенератори	160
18.2. Водонагрівники	161
18.3. Газові опалювальні прилади	163

19. КОМПРЕСОРИ. ВЕНТИЛЯТОРИ

19.1. Загальні відомості та класифікація компресорів	166
19.2. Принцип дії і будова поршневого компресора	166
19.3. Компресорні установки	170
19.4. Вентилятори	171

20. ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

20.1. Загальні відомості та класифікація	174
20.2. Робочий цикл двигунів внутрішнього згорання.....	175
20.3. Тепловий баланс та техніко економічні показники.....	178
20.4. Токсичність відпрацьованих вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання	179

21. ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ

21.1. Загальні відомості та класифікація	181
21.2. Паротурбінні електричні станції.....	181
21.3. Показники теплової економічності роботи теплової електростанції.....	183
21.4. Атомні електричні станції.....	184
21.5. Парогазові установки	185
21.6. Дизельні електростанції.....	186

РОЗДІЛ ЧЕТВЕРТИЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОТИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

22. ТЕПЛОФІЗИКА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВИРОБНИЧИХ СПОРУД

22.1. Тепловий режим сільськогосподарських приміщень.....	189
22.2. Теплофізичні характеристики огороджувальних	190
22.3. Теплосприйняття підлоги	191
22.4. Теплостійкість приміщення	193
22.5. Вологіший режим огорожень	194
22.6. Повітряний режим сільськогосподарських приміщень	195

23. ОПАЛЕННЯ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ І КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ БУДІВЕЛЬ

23.1. Загальні відомості	202
23.2. Теплова потужність системи опалення	203
23.3. Теплові втрати приміщень	204
23.4. Тепловиділення від виробничого устаткування і технологічних процесі	209
23.5. Система опалення	210
23.6. Нагрівальні прилади систем водяного, парового і панельно променистого опалення.....	222
23.7. Устаткування для нагрівання повітря	225
23.8. Гаряче водопостачання	227
23.9. Кондиціонування повітря	230

24. ВЕНТИЛЯЦІЯ ВИРОБНИЧИХ І КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВИХ БУДІВЕЛЬ

24.1. Загальні відомості	236
24.2. Принципові схеми вентиляції	237
24.3. Розрахунок систем вентиляції.....	243
24.4. Підбір вентиляторів	246

25. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОТИ У ТВАРИННИЦТВІ І ПТАХІВНИЦТВІ

25.1. Загальні відомості	249
25.2. Розрахунок повітрообміну	249
25.3. Визначення теплової потужності системи опалення	254
25.4. Розрахунок вентиляції і опалення тваринницьких і птахівницьких приміщени) за допомоги hd-діаграми	254
25.5. Вибір устаткування для системи вентиляції і опалення	256
25.6. Автоматизація мікроклімату	258
25.7. Технологічне споживання теплоти	258

26. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОТИ В СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

26.1. Загальні відомості.....	262
26.2. Конструктивні і теплофізичні характеристики культивацийних споруд	265
26.3. Способи обігріву	266
26.4. Попередження перегріву рослин у теплицях	270
26.5. Підживлення рослин вуглекислим газом	271
26.6. Тепловий розрахунок теплиць	272
26.7. Автоматичне керування мікрокліматом у теплицях	274

27. СУШІННЯ	
27.1. Загальні відомості.....	276
27.2. Фізичні властивості вологою повітря.....	276
27.3. Діаграма стану вологого повітря.....	274
27.4. Вологий матеріал як об'єкт сушіння.....	280
27.5. Статика сушіння.....	282
27.5.1 Принцип дії повітряної сушарки.....	282
27.5.2 Матеріальний баланс повітряної сушарки.....	283
27.5.3 Тепловий баланс повітряної сушарки.....	284
27.5.4 Побудова процесу сушіння на h-x-діаграмі.....	286
27.5.5 Коефіцієнт корисної дії сушарки.....	289
27.6. Кінетика сушіння.....	289
27.6.1 Кінетичні криві процесу сушіння.....	290
27.6.2 Зовнішній масообмін у процесі сушіння.....	291
27.6.3 Внутрішнє вологоперенесення в процесі сушіння.....	293
27.7. Конструкції сушарок.....	294
27.7.1 Класифікація сушарок.....	294
27.7.2 Конвективні сушарки.....	294
27.7.3 Порядок розрахунку конвективних сушарок.....	301
27.7.4 Спеціальні способи сушіння.....	301
27.7.5 Способи інтенсифікації процесів сушіння.....	303
28. ЗБЕРІГАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ	
28.1. Загальні відомості.....	308
28.2. Капітальні сховища та їхня характеристика.....	308
28.3. Способи і режими зберігання.....	309
28.4. Вентилювання сховищ.....	310
28.5. Зберігання в регульованому газовому середовищі.....	311
28.6. Тепловий розрахунок сховищ.....	312
28.7. Автоматичне регулювання температурно-вологісного режиму в сховищах.....	316
29. ЗАСТОСУВАННЯ ХОЛОДУ	
29.1. Загальні відомості.....	317
29.2. Крижане і льодосоляне охолодження.....	317
29.3. Машинне охолодження.....	320
29.4. Холодильні установки.....	320
29.5. Визначення холодильної потужності і вибір холодильної установки.....	323
29.6. Автоматизація холодильних установок.....	326
30. СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	
30.1. Загальні відомості.....	328
30.2. Норми теплоспоживання. Річна витрата теплоти і палива.....	328
30.3. Підбір котлів.....	332
30.4. Графіки теплового навантаження.....	333
30.5. Класифікація систем теплопостачання.....	336
30.6. Регулювання теплових навантажень.....	339
31. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ	
31.1. Загальні відомості.....	344
31.2. Ізоляція теплових мереж.....	345

31.3. Труби і їхні опори	346
31.4. Компенсація теплового подовження труб.....	346
31.5. Гідравлічний розрахунок теплопроводів	347
31.6. Тепловий розрахунок	348
32. ЕКОНОМІЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ	
32.1. Загальні відомості.....	353
32.2. Використання вторинних енергетичних ресурсів.....	354
32.2.1 Загальні відомості.....	354
32.2.2 Використання теплоти вторинної пари, гарячої води, газів.....	355
32.2.3 Використання теплоти вентиляційного повітря, що видаляється з тваринницьких приміщень	356
32.3. Використання поновлюваних джерел енергії	357
32.3.1 Загальні відомості.....	357
32.3.2 Системи сонячного енергопостачання. Класифікація систем	358
32.3.3 Пасивні системи сонячного опалення	359
32.3.4 Основні елементи активних систем сонячного тепло- і холодопостачання	360
32.4.5 Фотоелектричні перетворювачі	365
32.4.6 Автоматизація систем сонячного тепло- і холодопостачання....	367
32.5. Використання енергії вітру	368
32.5.1 Загальні відомості, класифікація.....	368
32.5.2 Основні типи вітроенергетичних установок	369
32.5.3 Основи теорії вітроенергетичних установок.....	371
32.5.4 Схеми підключення вітроустановок до споживачів	374
32.6. Геотермальна енергія	376
32.6.1 Геотермальні ресурси і їхні типи	376
32.6.2 Характеристики геотермальних джерел	376
32.7. Біоенергетичні установки	378
32.7.1 Загальні відомості.....	378
32.7.2 Принципові схеми біогазових установок.....	380
32.8 Використання теплонасосних установок у сільському господарстві.....	382
32.8.1. Загальні зведення.....	382
32.8.2. ККД і методика розрахунок установки з тепловим насосом	385
32.9. Оптимізація енергозберігаючих систем.	385
33. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА	
33.1. Загальні відомості.....	389
33.2. Захист навколишнього середовища	390
Література.....	393
Зміст	394