

О.Ф.Буляндра
Б.Х.Драганов
В.Г.Федорів
О.С.Бессараб
А.В.Міщенко
А.Ф.Слітенко



ТЕПЛО ТЕХНІКА

О.Ф.Буляндра
Б.Х.Драганов
В.Г.Федорів
О.С.Бессараб
А.В.Міщенко
А.Ф.Слітенко



За редакцією
Б.Х. Драганова
і О.Ф. Буляндри

Допущено
Міністерством
освіти
України.

Підручник
для студентів
вищих
технічних
навчальних
закладів

Київ
“ВИЩА ШКОЛА”
1998

ББК 31.39я73
Т34
УДК 621.1:63(075.8)

Р е ц е н з е н т и : д-р техн. наук проф. *М. Д. Захаров* (Одеська державна академія харчових технологій), д-р техн. наук проф. *Е.С. Малкін* (Київський державний технічний ун-т будівництва та архітектури)

Книга друкується в авторській редакції

Т34 Теплотехніка: Підручник / О.Ф. Буляндра, Б.Х. Драганов, В.Г. Федорів та ін.; За ред. Б.Х. Драганова, О.Ф. Буляндри, — К: Вища шк, 1998. — 334 с.: іл.
ISBN 5-11-004753-7

Викладено основи технічної термодинаміки та теорії теплообміну, подано відомості про паливо і його горіння, парові котли та газові турбіни, двигуни внутрішнього згорання, компресори, теплові електростанції, поновлювані джерела енергії. Розглянуто питання опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, систем тепло- і газопостачання.

Для студентів вищих технічних навчальних закладів не теплоенергетичних спеціальностей.

ISBN 5-11-004753-7

ББК 31.39я73

© О.Ф. Буляндра, Б.Х. Драганов,
В.Г. Федорів, О.С. Бессараб,
А.В. Міщенко, А.Ф. Слітенко, 1998

ПЕРЕДМОВА

Науково-технічний прогрес людства на сучасному етапі супроводжується значним зростанням споживання природних енергетичних ресурсів. В Україні, як і в інших країнах, основна частка енергоспоживання припадає на викопне органічне та ядерне паливо. Рациональне використання паливно-енергетичних ресурсів неможливе без ґрунтовних знань у галузі теплових процесів, без вивчення законів перетворення енергії та знання сучасного теплоенергетичного обладнання. Це визначає роль теплотехніки — загальноінженерної дисципліни, що вивчає методи одержання, перетворення, передачі та використання теплоти, а також будову пов'язаних з цим обладнання, апаратів, пристроїв.

У теплопостачанні виробничих та комунально-побутових споживачів на найближчу перспективу практичне значення будуть мати вторинні та поновлювані джерела енергії. Використання альтернативних постійно поновлюваних джерел енергії слід поєднувати з розробленням енергоощадних технологій. Зазначена проблема актуальна і в справі поліпшення екологічного стану в Україні. Будь-які види енергетичних ресурсів слід оцінювати з урахуванням економічних, технічних, екологічних та інших факторів. Вирішення зазначених проблем значною мірою залежить від рівня підготовки фахівців для теплотехнічної галузі.

У книзі в стиснутому вигляді розглянуто теоретичні основи теплотехніки (технічна термодинаміка та теорія тепломасообміну), що є базою для розуміння та засвоєння всього наступного матеріалу. Основи горіння палива подано в розділі, що включає питання підготовки та спалювання палива. Викладено основні відомості про теплогенеруючі установки, теплові двигуни, компресори. Розглянуто процеси, що проходять у теплових, атомних та дизельних електростанціях. Поряд з описом будови основного енергетичного обладнання значну увагу приділено його техніко-економічній оцінці, включаючи питання підвищення економічності циклів, аналізу балансів енергії, теплоти, палива.

Основним завданням підручника є ознайомлення майбутніх інженерів з теорією теплових процесів, з будовою обладнання та апаратів, що виробляють або використовують теплоту, з фізико-хімічними процесами, що відбуваються в цьому обладнанні, з питанням економії енергетичних ресурсів та захисту навколишнього природного середовища, з системами теплопостачання виробничих та комунально-побутових споживачів за рахунок традиційних та нетрадиційних джерел енергії.

Глави 1...5, 7 написані проф. О.Ф. Буляндрую, крім параграфів 3.6 та 7.2, що написані Б.Х. Драгановим; глави 8, 9, 11 — проф. В.Г. Федорівим; глави 12, 14, 19...23 — проф. Б.Х. Драгановим; глави 6, 10, 13 — доц. О.С. Бессарабом; глава 15 — проф. А.Ф. Слітенком, глава 18 — проф. Б.Х. Драгановим спільно з доцентом А.В. Міщенком; глави 16 та 17 — доц. А.В. Міщенком.

Загальне редагування книги виконали проф. Б.Х. Драганов та проф. О.Ф. Буляндра.

Глава 10

ПРОМЕНИСТИЙ ТА СКЛАДНИЙ ТЕПЛООБМІНИ

10.1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ЗАКОНИ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Із багатьох видів випромінювання, що різняться довжиною хвилі, в теплотехніці розглядають *теплове випромінювання*, до якого належать інфрачервоний, видимий та почасти ультрафіолетовий діапазони. За винятком газів з малою кількістю атомів у молекулі, усі тіла випромінюють та поглинають енергію. Наслідком взаємних перетворень теплової та променистої енергії і є *променистий теплообмін*. Потік променистої енергії, як і теплової, можна позначити Q , Вт.

Нагадаємо відомі з курсу фізики пасивні характеристики тіла відносно променистого потоку Q_n , що падає на нього (рис. 10.1). Частина цього потоку Q_A поглинається тілом, отже $Q_A/Q_n = A$ — *поглинальна здатність тіла*. Частина Q_R відбивається від поверхні тіла, решта Q_D проходить крізь тіло без зміни, отже,

$$Q_A + Q_R + Q_D = Q_n; \quad A + R + D = 1, \quad (10.1)$$

де R — відбивальна здатність, D — діатермічність тіла.

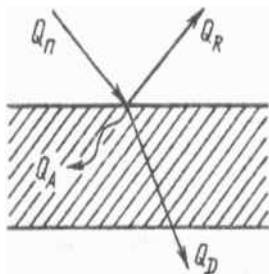


Рис. 10.1. Розподіл теплового потоку випромінювання, що падає на тіло

Якщо $R=D=0$, $A=1$, то таке тіло називається *абсолютно чорним* (АЧТ). Більшість рослин, технічних матеріалів та продуктів мають $A=0,8\dots 0,95$. Коли $R=1$ — це *абсолютно дзеркальне* тіло, якщо поверхня відбиває промені за законами геометричної оптики, і *абсолютно біле*, якщо промені відбиваються у різні боки. У випадку $D=1$ тіло має назву *прозорого* або *діатермічного*. Шар повітря, товщина якого кілька десятків метрів, можна вважати прозорим.

Кварц є добре прозорим для ультрафіолетових, віконне скло для видимих променів. Поліетилен добре пропускає видимі та інфрачервоні промені, тому застосовується для виготовлення парників чи теплиць. Харчові продукти та сировина частково пропускають теплові промені на деяку глибину; цю здатність треба використовувати для інтенсифікації теплових процесів.

Найбільш важливою з активних характеристик випромінювання є *випромінювальна здатність* тіла E — сумарна кількість енергії, що випромінюється з одиниці поверхні за одиницю часу.

Вона має одиницю ват на квадратний метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$) і є аналогом густини теплового потоку q . Похідна $\partial E/\partial \lambda = E_\lambda$ — це монохроматична випромінювальна здатність у діапазоні довжин хвиль від λ до $\lambda + d\lambda$; одиниця її — ват на кубічний метр ($\text{Вт}/\text{м}^3$).

Основним законом теплового випромінювання є закон Планка для монохроматичної випромінювальної здатності АЧТ

$$E_{0\lambda} = \frac{h_1 \lambda^{-5}}{\exp[h_2/(\lambda T) - 1]} \quad (10.2)$$

де $h_1 = 3,74 \cdot 10^{-16} \text{ Вт} \cdot \text{м}^2$; $h_2 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{К}$. Вираз (10.2) зображено графічно на рис. 10.2.

Закон Планка є основою для багатьох законів випромінювання, наприклад закону зсунення Віна

$$\lambda_{\max} T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}, \quad (10.3)$$

де λ_{\max} — довжина хвилі, за якої $E_{0\lambda}$ є максимальною для даної температури T . Так само з (10.2) інтегруванням за λ від 0 до ∞ можна вивести вираз для закону Стефана - Больцмана

$$E_0 = \sigma T^4. \quad (10.4)$$

Константа Стефана-Больцмана σ теоретично має значення $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$, експерименти дають у середньому $5,73 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$, отже, для практичних розрахунків можна брати $\sigma = 5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Вираз (10.4) можна використати для визначення *сірого тіла*

$$E = \varepsilon \sigma T^4, \quad (10.5)$$

де ε — відносна випромінювальна здатність, або ступінь чорноти тіла. Для *несірих тіл* (платина, вольфрам тощо) ступінь при T відрізняється від чотирьох.

З інших законів випромінювання нагадаємо закон Кірхгофа для сірих тіл:

$$\frac{E}{A} = E_0; \quad \frac{E}{E_0} = \varepsilon; \quad \varepsilon = A \quad (10.6)$$

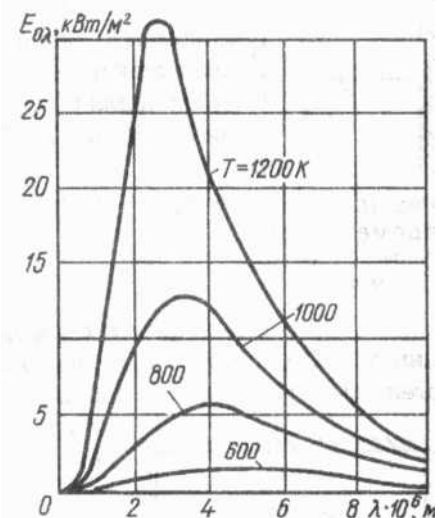


Рис. 10.2. Залежність монохроматичної випромінювальної здатності АЧТ від довжини хвилі при різних температурах

10.2. ПРОМЕНИСТИЙ ТЕПЛОБМІН МІЖ ТІЛАМИ В ДІАМЕТРИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

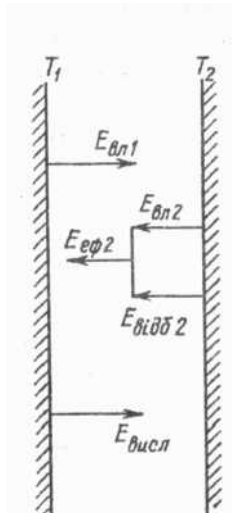


Рис. 10.3. Схема променистого теплообміну між двома тілами

Це дуже поширений вид теплообміну в агропромислових та технологічних процесах, де прозорим середовищем найчастіше є повітря. У найпростішому випадку тверді тіла мають плоскі паралельні поверхні, такі великі, що кожний промінь з одного тіла падає на друге тіло (рис. 10.3). За законом Стефана-Больцмана (10.4) кожне з тіл випромінює *власне випромінювання* ($E_{вн}$). *Відбитий* від іншого тіла *потік* ($E_{вдб}$) разом з його власним випромінюванням становить *ефективне випромінювання* ($E_{еф}$) цього тіла (його вимірюють за допомогою радіометрів чи пірометрів). Різниця між ефективними випромінюваннями обох тіл становить потрібний для розрахунку апаратів *вислідний потік* $E_{висл}$, чи $q_{1,2}$. Якщо $T_1 > T_2$, $D_1 = D_2 = 0$, то

$$E_{висл} = q_{1,2} = \varepsilon_{зв} \sigma (T_1^4 - T_2^4), \quad (10.7)$$

де $\varepsilon_{зв}$ — зведений ступінь чорноти системи тіл 1 і 2:

$$\varepsilon_{зв} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \quad (10.8)$$

Більш поширеним є випадок, коли тіло 1 розміщене в порожнині тіла 2 (рис. 10.4): трубопроводи з парою, гарячою водою чи холодоагентом у приміщеннях, опалювальні чи охолодні батареї тощо. Цього разу теж можна користуватися виразом (10.7), аби лише поверхня A_1 не була угнутою, але

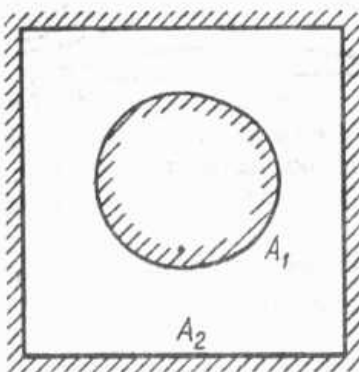


Рис. 10.4. Схема променистого теплообміну між тілами в замкненому просторі

$$\varepsilon_{зв} = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + A_1/A_2(1/\varepsilon_2 - 1)} \quad (10.9)$$

де A_1 – менша поверхня, навіть якщо $T_1 < T_2$.

У загальному випадку довільного розміщення тіл 1 та 2 розрахунки здійснюють за допомогою кутових коефіцієнтів тавзаємних поверхонь опромінення; для конкретних випадків складено таблиці чи номограми цих характеристик.

Для інтенсифікації променистого теплообміну треба збільшувати T_1 , $\varepsilon_{зв}$ або

зменшувати T_2 . Ця задача виникає й під час холодильної обробки продуктів чи сировини, оскільки променисте відведення теплоти від продуктів не супроводжується усиханням їх, як то має місце при конвективному теплообміні, а зниження усушки є важливим джерелом зберігання якості та кількості продуктів.

Навпаки, якщо треба зменшити променистий теплообмін, то застосовують *екрани*. У найпростішому випадку, коли $\varepsilon_e = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$, один екран зменшує вислідний потік у два рази, два — у три рази і так далі. Коли $\varepsilon_e \neq \varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$ для (10.7) обчислюється так:

$$\varepsilon_{\text{зв}} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + 2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{\varepsilon_{ie}} + \frac{1}{\varepsilon_2} - (n+1)}, \quad (10.10)$$

де n — кількість екранів.

10.3. ПРОМЕНИСТИЙ ТЕПЛООБМІН МІЖ ГАЗОМ ТА ЙОГО ОБОЛОНКОЮ

Якщо гази мають компоненти з трьома та більше атомами у молекулі (найчастіше це CO_2 та H_2O) або домішками рідких чи твердих часток, то такі суміші можуть мати істотну поглинальну та випромінювальну здатність. Їх умовно можна поділити на чотири групи.

1. Несвітні гази — більшість технологічних газових сумішей, очищені газуваті продукти згорання.

2. Напівсвітні гази та полум'я — полум'я антрацитів та іншого вугілля, що має малу кількість летких речовин (див. гл. 13), полум'я газового пальника, якщо газ добре перемішується з повітрям до нього.

3. Світні гази та полум'я — полум'я деревини, торфу, мазуту.

4. Запилені газові потоки та полум'я — факел пиловугільних топків.

Вислідний потік від гарячого несвітного або напівсвітного газу до сірих стінок оболонки, в якій він перебуває, можна обчислити за формулою, наближеною до (10.7):

$$q_{r,o} = \varepsilon'_c \sigma (\varepsilon_r T_r^4 - A_r T_c^4). \quad (10.11)$$

Тут ε'_c — ефективний ступінь чорноти стінки. Для цегли та інших технічних матеріалів, що мають $\varepsilon_c \geq 0,8$, ε'_c обчислюють як середній між ε_c та ε_0 (оболонка в цих умовах наближається до моделі АЧТ), тобто $\varepsilon'_c = 0,5(\varepsilon_c + 1)$. Ступінь чорноти газу ε_r обчислюють як суму ε_i кожного компонента (CO_2 , H_2O та ін.). Ступені чорноти ε_i визначають

за номограмами як функцію парціального тиску цього компонента, середньої товщини шару газу та температури газу в центрі, точніше — максимального її значення.

Шар газу, що прилягає до стінки, має низьку температуру, яка наближається до T_c , тому цей прошарок відіграє роль поглинального середовища. Поглинальна здатність газу береться при температурі стінки $[A_T = f(T_c)]$ за такою ж методикою, як ε_r , але за іншими номограмами, оскільки газу не дуже добре підкоряються закону Кірхгофа (10.6).

Вислідний потік $q_{r,0}$ відносять до одиниці поверхні оболонки (топки).

Для світних газів та полум'я методика обчислення у цілому зберігається, але $\varepsilon_{ze} = \varepsilon_c' \varepsilon_\phi$ де ε_ϕ — ефективний ступінь чорноти факела, який визначається за номограмами чи таблицями як функція температури та концентрації рідких і твердих частинок, що є компонентами факела. Для пиловугільних топок, що мають запилене полум'я, ще додається концентрація пилу у пилоповітряній суміші, яку подають до топки. Значення ε_ϕ змінюються від 0,4, якщо спалюють антрацит у шарі, до 0,85 для мазутного факела.

10.4. СКЛАДНИЙ ТЕПЛООБМІН

Складним, або комбінованим, теплообміном звичайно називають перенесення теплоти променистим та конвективним або кондуктивним способами. Якщо тверде чи нерухоме рідке тіло є частково прозорим, то частку енергії за рахунок випромінювання враховують збільшенням ефективної теплопровідності матеріалу λ

$$q = q_{пр} + q_{тп} = \lambda \Delta t / \delta, \quad \lambda = \lambda_{тп} + \lambda_{пр} \quad (10.12)$$

Індекси “пр” та “тп” означають “променистий” та “теплопровідність”, величину $\lambda_{пр}$ або одразу λ визначають спеціальними дослідженнями.

Таку саму методику використовують, коли обчислюють перенесення теплоти крізь ізоляційні, зернисті, сипкі матеріали. Крізь твердий каркас теплота передається теплопровідністю, крізь пори — конвекцією та тепловими променями.

Дуже поширений променисто-конвективний теплообмін обчислюють двома способами. Якщо превалює променистий теплообмін, то частку конвективного переносу можна врахувати збільшенням ефективного ступеня чорноти газу ε_r . Цей додаток для таких умов теплообміну треба визначати експериментально. В деяких випадках, скажімо під час обчислення топок парових котлів, конвективним

теплообміном між факелом та стінками топки просто нехтують, хоч він тут є чималим.

Більш поширеною є методика зведення складного теплообміну до конвективного збільшенням коефіцієнта тепловіддачі a :

$$q = q_k + q_{\text{пр}} = a(t_r - t_c); \quad a = a_k + a_{\text{пр}}, \quad (10.13)$$

де a — ефективний, чи сумарний, коефіцієнт тепловіддачі; a_k — коефіцієнт конвективного теплообміну; $a_{\text{пр}}$ — умовний коефіцієнт тепловіддачі за рахунок променистого теплообміну. Умовність $a_{\text{пр}}$ у тому, що густина теплового потоку $q_{\text{пр}}$ пропорційна різниці четвертих степенів температури, а $a_{\text{пр}}$ зводить цю пропорційність до різниці температур у першому степені. Ця умовність збільшується, якщо газ є прозорим для теплового випромінювання. Температура газу не має відношення до цього випромінювання і все ж таки доводиться a визначати з тотожності $a_{\text{пр}} \equiv q_{\text{пр}}(t_r - t_c)^{-1}$. Проте ця методика дає змогу обчислювати вислідний потік енергії за єдиним алгоритмом (8.1), тобто як частку від ділення рушійної сили Δt на загальний опір R . Особливо корисною методика стає, коли обчислюють коефіцієнт теплопередачі, наприклад, для плоскої стінки

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_{1к} + a_{1\text{пр}}} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_{2к} + a_{2\text{пр}}}}. \quad (10.14)$$

Теплота може передаватися також за рахунок масообміну, наприклад під час холодильної обробки харчових продуктів разом з водяною парою переходить потік теплоти q_m , що може мати такий самий порядок, що й q_k , або $q_{\text{пр}}$. Враховувати це перенесення енергії доцільно так: $a_m = q_m / \Delta t$, де a_m — умовний коефіцієнт тепловіддачі випаровуванням.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть основні особливості теплового випромінювання.
2. Що називається поверхневою густиною потоку інтегрального випромінювання?
3. Дайте означення поняттям: поглинальна, відбивальна, пропускна здатність тіла.
4. Сформулюйте закони Планка, Віна і Стефана-Больцмана.
5. Що таке ефективне випромінювання?
6. Дайте означення зведеного ступеня чорноти, у тому числі при наявності екрану. Наведіть вираз для висхідного потоку випромінювання
7. Викладіть особливості променистого теплообміну між газами і їхньою оболонкою.
8. Сформулюйте основні положення складного теплообміну.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
I. Технічна термодинаміка	
<i>Глава 1. Основні поняття та означення.....</i>	<i>5</i>
1.1. Предмет та метод термодинамічного аналізу явищ природи. Термодинамічна система.....	5
1.2. Параметри стану термодинамічної системи.....	6
1.3. Рівноважний і нерівноважний стани системи.....	9
1.4. Рівняння стану ідеального газу.....	10
1.5. Газові суміші. Фізичні характеристики сумішей.....	11
1.6. Термодинамічний процес.....	13
Контрольні запитання та завдання.....	14
<i>Глава 2. Перший закон термодинаміки.....</i>	<i>15</i>
2.1. Закон збереження і перетворення енергії. Внутрішня енергія системи.....	15
2.2. Робота і теплота — форми обміну енергією.....	17
2.3. Рівняння першого закону термодинаміки для закритих систем.....	19
2.4. Теплоємності газів.....	20
2.5. Ентальпія.....	22
2.6. Координати і потенціали термодинамічних взаємодій. Ентропія.....	24
2.7. Термодинамічні процеси ідеальних газів у закритих системах. Основні відомості.....	27
Контрольні запитання та завдання.....	36
<i>Глава 3. Другий закон термодинаміки.....</i>	<i>37</i>
3.1. Основні положення та формулювання.....	37
3.2. Коловий процес, або цикл. Термодинамічний аналіз циклів.....	38
3.3. Ідеальний цикл Карно та його коефіцієнт корисної дії.....	41
3.4. Математичний вираз другого закону термодинаміки.....	44
3.5. Зміна ентропії в довільних оборотних і необоротних процесах.....	46
3.6. Ексергія. Ексергетичний метод аналізу термодинамічних систем.....	48
Контрольні запитання та завдання.....	50
<i>Глава 4. Термодинаміка реальних робочих тіл.....</i>	<i>50</i>
4.1. Рівняння стану реальних газів.....	50

4.2. Процеси пароутворення, $p-v$ і $T-v$ -діаграми.....	52
4.3. $T-s$ - і $h-s$ -діаграми водяної пари.....	56
4.4. Визначення термодинамічних параметрів води і водяної пари.....	59
4.5. Термодинамічні процеси водяної пари.....	62
4.6. Вологе повітря та його параметри.....	66
4.7. $h-d$ -діаграма вологого повітря.....	69
Контрольні запитання та завдання.....	72
Глава 5. Термодинаміка потоку.....	72
5.1. Основні характеристики потоку.....	72
5.2. Перший закон термодинаміки для стаціонарного потоку.....	73
5.3. Адіабатний витік газу із сопла.....	78
5.4. Масова витрата газу при витіканні із сопла.....	80
5.5. Розрахунки процесів витікання водяної пари за допомогою $h-s$ -діаграми.....	82
5.6. Фізичні основи процесів дроселювання.....	84
5.7. Розрахунок процесів дроселювання водяної пари за допомогою $h-s$ -діаграми.....	87
Контрольні запитання та завдання.....	88
Глава 6. Робочі процеси в компресорах.....	89
6.1. Аналіз процесу нагнітання газу одноступінчастим компресором.....	89
6.2. Багатоступінчасте стискання.....	91
Контрольні запитання та завдання.....	93
Глава 7. Цикли теплових та холодильних установок.....	94
7.1. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згорання.....	94
7.2. Цикли газотурбінних установок.....	100
7.3. Цикли паросилових установок.....	103
7.4. Холодильні установки.....	114
Контрольні запитання та завдання.....	120
II. Теорія тепломасообміну	
Глава 8. Теплопровідність та теплопередача.....	122
8.1. Основні поняття.....	122
8.2. Основні закони теплопровідності.....	124
8.3. Умови однозначності.....	127
8.4. Стаціонарна теплопровідність плоскої стінки. Теплопередача.....	129
8.5. Теплопередача крізь циліндричну стінку.....	131
Контрольні запитання та завдання.....	133

<i>Глава 9. Конвективний теплообмін</i>	134
9.1. Основні поняття теорії подібності.....	134
9.2. Тепловіддача при вільній конвекції.....	137
9.3. Тепловіддача при вимушеній конвекції.....	139
9.4. Тепломасообмін при кипінні.....	141
9.5. Тепломасообмін при плівковій конденсації пари.....	143
Контрольні запитання та завдання.....	145
<i>Глава 10. Променистий та складний теплообміни</i>	146
10.1. Основні поняття та закони теплового випромінювання.....	146
10.2. Променистий теплообмін між тілами в діатермічному середовищі.....	148
10.3. Променистий теплообмін між газом та його оболонкою.....	149
10.4. Складний теплообмін.....	150
Контрольні запитання та завдання.....	151
<i>Глава 11. Основи розрахунку теплообмінних процесів та апаратів</i>	152
11.1. Класифікація теплових процесів та апаратів.....	152
11.2. Розрахунок рекуперативних теплообмінників.....	153
11.3. Інтенсифікація та гальмування теплопередачі.....	157
11.4. Основи розрахунку регенеративних апаратів.....	160
11.5. Апарати контактної обробки.....	161
Контрольні запитання та завдання.....	164
<i>Глава 12. Тепломасообмін у двокомпонентних середовищах</i>	165
12.1. Загальні відомості.....	165
12.2. Дифузія у двокомпонентних середовищах.....	167
12.3. Диференціальні рівняння тепломасообміну. Критерії подібності. Потрійна аналогія.....	169
Контрольні запитання та завдання.....	170
III. Енергетичні установки та теплові двигуни	
<i>Глава 13. Паливо та основи теорії горіння</i>	172
13.1. Загальні відомості.....	172
13.2. Склад і характеристика палива.....	173
13.3. Основи теорії горіння органічного палива.....	180
13.4. Розрахунки процесів горіння палив.....	192
Контрольні запитання та завдання.....	195
<i>Глава 14. Котельні установки</i>	195
14.1. Загальні відомості.....	195

14.2. Тепловий та ексергетичний баланси котла.....	198
14.3. Топкове обладнання.....	202
14.4. Парові та водогрійні котли.....	208
14.5. Основні елементи котельного агрегату.....	217
14.6. Допоміжні системи та пристрої котельних установок.....	220
Контрольні запитання та завдання.....	225
<i>Глава 15. Паротурбінні та газотурбінні установки.....</i>	<i>225</i>
15.1. Загальні відомості про паротурбінні установки.....	225
15.2. Перетворення енергії в турбінному ступені.....	228
15.3. Багатоступінчасті парові турбіни.....	232
15.4. Допоміжне обладнання паротурбінної установки.....	235
15.5. Загальні відомості про газотурбінні установки.....	237
15.6. Елементи газотурбінної установки та їх охолодження.....	239
Контрольні запитання та завдання.....	244
<i>Глава 16. Двигуни внутрішнього згорання.....</i>	<i>245</i>
16.1. Загальні відомості та класифікація.....	245
16.2. Робочий цикл двигунів внутрішнього згорання.....	247
16.3. Тепловий баланс та техніко-економічні показники.....	251
16.4. Токсичність відпрацьованих вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання.....	253
Контрольні запитання та завдання.....	253
<i>Глава 17. Компресори. Вентилятори.....</i>	<i>254</i>
17.1. Загальні відомості та класифікація компресорів.....	254
17.2. Принцип дії і будова поршневого компресора.....	255
17.3. Компресорні установки.....	260
17.4. Типи вентиляторів і їхні характеристики.....	261
Контрольні запитання та завдання.....	264
IV. Енергопостачання	
<i>Глава 18. Теплові електричні станції.....</i>	<i>266</i>
18.1. Загальні відомості та класифікація.....	266
18.2. Паротурбінні електричні станції.....	267
18.3. Показники теплової економічності роботи станції.....	269
18.4. Атомні електричні станції.....	270
18.5. Парогазові установки.....	272
18.6. Дизельні електростанції.....	273
Контрольні запитання та завдання.....	277
<i>Глава 19. Опалення, вентиляція, гаряче водопостачання та кондиціонування повітря.....</i>	<i>277</i>

19.1. Опалення. Визначення теплових втрат крізь огороджувальні конструкції.....	277
19.2. Система опалення.....	280
19.3. Опалювальні прилади.....	281
19.4. Гаряче водопостачання.....	282
19.5. Вентиляція приміщень.....	283
19.6. Кондиціонування повітря.....	286
Контрольні запитання та завдання.....	290
<i>Глава 20. Системи теплопостачання.....</i>	<i>291</i>
20.1. Класифікація споживачів теплоти.....	291
20.2. Графіки теплового навантаження.....	292
20.3. Класифікація і принципіальні схеми систем теплопостачання.....	294
20.4. Теплові підстанції (пункти).....	296
20.5. Теплові мережі.....	300
Контрольні запитання та завдання.....	303
<i>Глава 21. Газопостачання.....</i>	<i>303</i>
21.1. Споживачі. Норми та режими споживання газу.....	303
21.2. Системи постачання природним газом.....	305
21.3. Постачання зрідженим газом.....	308
21.4. Газообладнання котельних.....	309
21.5. Пальникові пристрої.....	310
Контрольні запитання та завдання.....	312
<i>Глава 22. Поновлювані та вторинні енергетичні ресурси.....</i>	<i>312</i>
22.1. Використання сонячної енергії.....	313
22.2. Використання енергії вітру.....	317
22.3. Використання геотермальної енергії.....	318
22.4. Біогазові установки.....	320
Контрольні запитання та завдання.....	322
<i>Глава 23. Охорона навколишнього природного середовища.....</i>	<i>322</i>
23.1. Загальні відомості.....	322
23.2. Захист навколишнього середовища.....	325
Контрольні запитання та завдання.....	327
Список використаної літератури.....	328