

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет водного господарства
та природокористування

О.М. Бордюженко, В.Л. Шестаков

ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ, ТЕПЛОТЕХНІКА ТА ТЕПЛОТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Частина 1

**Технічна термодинаміка. Процеси і апарати
для високотемпературної обробки матеріалів**

Інтерактивний комплекс
навчально-методичного забезпечення дисципліни

Кредитно-модульна система організації
навчального процесу

Для студентів напряму 6.060101 "Будівництво"



Рівне – 2008

УДК 536.24+666.9
ББК 31.3
Б82

*Затверджено вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування
(Протокол № 6 від 30 травня 2008 р.)*

Рецензенти:

Марків Т.Є., кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельного виробництва Національного університету "Львівська політехніка";

Волощук В.А., кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики та машинознавства НУВГП.

Бордюженко О.М., Шестаков В.Л.

Б 82 Основи термодинаміки, теплотехніка та теплотехнічне обладнання: Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення.: Ч.1. Технічна термодинаміка. Процеси і апарати для високо-температурної обробки матеріалів. – Рівне: НУВГП, 2008. – 224 с.

Навчально-методичний комплекс "Основи термодинаміки, теплотехніка та теплотехнічне обладнання" містить робочу програму, стисло викладений навчальний матеріал дисципліни, що поділений на змістові модулі і теми, питання та вправи для самоконтролю з кожної теми, методичні рекомендації до самостійної та індивідуальної роботи; типові завдання для модульних контрольних робіт, список рекомендованої літератури.

В першій частині комплексу розглянуті питання основ технічної термодинаміки та теплопередачі, процесів горіння палива а також процесів і апаратів для високотемпературної обробки будівельних матеріалів.

Комплекс призначено для самостійного вивчення дисципліни в умовах кредитно-модульної організації навчального процесу студентами вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом 6.060101 "Будівництво".

УДК 536.24+666.9
ББК 31.3

© Бордюженко О.М., Шестаков В.Л., 2008
© НУВГП, 2008

ПЕРЕДМОВА

Дисципліна "Основи термодинаміки, теплотехніка та теплотехнічне обладнання" є однією з базових дисциплін, що формують інженерну підготовку спеціалістів багатьох технічних напрямків. Для технологів з виробництва будівельних матеріалів та виробів особливо важливою є, поряд з хімічною і інженерно-технологічною, також і теплотехнічна підготовка.

Термодинаміка і теплотехніка ґрунтуються на базових математично формалізованих законах. Термодинамічні і теплові процеси описані численними залежностями, емпіричними формулами, критеріальними рівняннями. Для засвоєння курсу студенти повинні розв'язувати задачі, пов'язані з різноманітними ситуаціями, що виникають в установках промислової теплотехніки і теплоенергетики. Локальні задачі формують необхідні базові навички до розрахунку теплових процесів і апаратів

В даному інтерактивному комплексі відображена послідовність "теплофізика – термодинаміка – теплопередача". Частина 1 комплексу включає 2 модулі: *модуль 1* – теоретичні відомості з технічної термодинаміки і теплопередачі; *модуль 2* – горіння палива, теплові установки для сушіння і випалу.

Комплекс включає практикум з прикладами розв'язування задач з технічної термодинаміки, теплопередачі і локальних задач з розрахунку теплових агрегатів. Також наведені тестові завдання для модульних контрольних робіт і завдання та рекомендації до виконання індивідуальної та самостійної роботи.

Даний посібник є першою частиною інтерактивного комплексу, до другої частини входять решта процесів і апаратів (сушарки та печі для штучних виробів, плавильні агрегати, установки для теплової обробки бетонних та залізобетонних виробів).

Автори вдячні рецензентам кандидатам технічних наук, доцентам Марківу Т.Є. та Волощуку В.А. за цінні поради та рекомендації, висловлені при написанні комплексу.

3. ПРОГРАМНИЙ МАТЕРІАЛ ЗМІСТОВИХ МОДУЛІВ (МОДУЛІ № 1-2)

Модуль 1. ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА І ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

3.1. ОСНОВНІ ГАЗОВІ ЗАКОНИ ТА ГАЗОВІ СУМІШІ

3.1.1. Параметри стану газу

Як відомо з фізики, газу складаються з величезної кількості молекул, що знаходяться в тепловому, або, як інакше говорять, в хаотичному русі.

Розрізняють газу *ідеальні* і *реальні*. До першого належать такі, котрі знаходяться далеко від рідкого стану і важко перетворюються в рідини. Наприклад, атмосферне повітря і продукти згорання палива вважаються ідеальними газу. Реальними газу називають такі, котрі порівняно легко перетворюються в рідину. Так, водяна пара, одержувана в парових котлах, вважається реальним газу. Однак водяна пара, що знаходиться в продуктах згорання палива, відноситься до ідеальних газів, тому що вона далека від рідкого стану.

Основними величинами (параметрами), якими характеризується стан будь-якого газу, служать температура, питомий об'єм і тиск.

Температура газу в залежності від початку відліку її виражається в градусах Кельвіна ($T, ^\circ K$), якщо відлік ведеться від абсолютного нуля температур, і в градусах Цельсія ($t, ^\circ C$), якщо відлік ведеться від температури танення льоду, що складає $0^\circ C$. Оскільки, абсолютний нуль температур лежить на 273° нижче температури танення льоду, то співвідношення між температурами, вираженими цими двома способами, можна представити так:

$$T = t + 273. \quad (3.1)$$

Питомим об'ємом v називають об'єм одиниці маси речовини. В системі СІ він вимірюється в m^3/kg . Повний об'єм газу позначають V і вимірюють в m^3 . Якщо масу тіла позначити M , то

$$V = M \cdot v. \quad (3.2)$$

$$\varphi = \frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п.н}}}, \quad (3.70)$$

де $\rho_{\text{п}}$ – густина пари в повітрі; $\rho_{\text{п.н}}$ – густина пари в насиченому повітрі при тій же температурі.

Так як при одній і тій же температурі густини прямо пропорційні тискам, то *відносну вологість можна представити як відношення парціального тиску пари в повітрі до парціального тиску пари в насиченому повітрі при тій же температурі*, тобто

$$\varphi = \frac{p_{\text{п}}}{p_{\text{п.н}}}, \quad (3.71)$$

де $p_{\text{п.н}}$ – парціальний тиск пари в насиченому повітрі (тобто тиск насиченої пари при температурі повітря, що визначається за таблицею водяної пари).

Для визначення φ служать *психрометри* (рис. 3.19). Найбільш простий психрометр складається з двох термометрів, в одного з яких кулька з ртуттю або іншою рідиною обгорнута легкою тканиною, зануреною в резервуар з водою. Його називають *мокрим термометром*: він показує температуру тонкого шару повітря, що прилягає до мокрої тканини і поверхні води в резервуарі; це повітря можна вважати насиченим внаслідок близькості його до води; температура його нижче температури повітря в приміщенні, у якому знаходиться психрометр. Другий термометр показує температуру вологого повітря в приміщенні, яке здебільшого буває ненасиченим. На відміну від першого цей термометр називають *сухим термометром*. За значеннями температур сухого і мокрого термометрів підраховують значення φ і зводять їх у психрометричні таблиці.

Для характеристики вологості повітря при розрахунку сушильних пристроїв, вентиляційних установок та ін. має велике значення величина **вологості повітря** d , що представляє *кількість пари, яка приходить на кожен кілограм сухого повітря, що знаходиться у вологому повітрі*. Отже

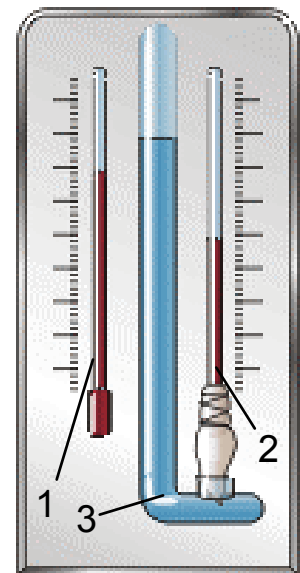


Рис. 3.19. Психрометр станційний:

- 1 – "сухий" термометр;
- 2 – "мокрый" термометр;
- 3 – резервуар з водою

Модуль 2. ПАЛИВО І ТЕПЛОНОСІЇ. УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШІННЯ І ВИПАЛУ

3.5. ВИДИ ТА ВЛАСТИВОСТІ ПАЛИВА

3.5.1. Види палива

Паливо як джерело одержання тепла має величезне значення для промисловості будівельних матеріалів і для народного господарства в цілому.

Паливом називають речовини, що здатні в процесі хімічних або ядерних перетворень виділяти значну кількість теплоти, яка може бути використана для енергетичних, технологічних і побутових потреб.

Розрізняють *органічні* та *ядерні* палива. В органічному паливі теплота виділяється внаслідок реакцій сполучення горючих складових з окислювачем – з киснем повітря, в ядерному паливі – внаслідок реакцій розпаду атомних ядер деяких ізотопів важких елементів (урану U^{235} та U^{238} , плутонію P^{239}).

Органічне паливо горить, ядерне розщеплюється.

За *агрегатним станом* паливо поділяють на *тверде*, *рідке* та *газоподібне*.

Органічне паливо поділяють на *викопне природне* та *штучне*.

Викопне природне паливо є продуктом біологічних та хімічних перетворень речовини рослин та мікроорганізмів, що існували мільйони років тому. Воно нагромаджене у надрах Землі.

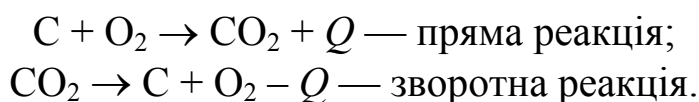
Штучне органічне паливо створене людиною відповідною переробкою природних сполук. Штучне паливо поділяють на *композиційне* і *синтетичне*. Композиційне паливо – це механічна суміш горючих речовин (наприклад, пропан-бутан). Синтетичне паливо — це продукт термохімічної переробки горючих речовин, внаслідок якої вони набувають нових властивостей, що задовольняють споживача більшою мірою.

До синтетичного палива належать: продукти переробки нафти; рідке паливо, вироблене з вугілля; етанол з рослинності тощо. Поняття "паливо" є категорією не тільки технічною, а й економічною, оскільки у кожному конкретному випадку його використання має бути ефективним. До того ж, спалюючи паливо, слід створити умови для якомога меншого забруднення навколишнього середовища.

За цих умов особливого значення набувають ступінь змішування реагуючих в процесі горіння речовин, швидкість підведення повітря до зони горіння і відведення з неї продуктів горіння та інші фізичні фактори.

Швидкість горіння в низькотемпературній *кінетичній* області швидко зростає зі збільшенням температури, але не залежить від швидкості підведення повітря. У високотемпературній *дифузійній* області швидкість горіння буде залежати не тільки від температури, але і від швидкості підведення повітря. Вплив температури в дифузійній області горіння позначається менше, ніж в кінетичній. При подальшому підвищенні температури вона починає впливати на виникнення і протікання відновлювальних реакцій.

Реакції горіння палива є оборотними. Вони можуть протікати в двох напрямках. Наприклад:



Якщо пряма реакція протікає з виділенням тепла Q , то зворотна – з поглинанням його.

Ступінь дисоціації CO_2 , у відсотках при різних тисках і температурах наведена в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Дисоціація CO_2 , %

Температура, °С	Тиск, ат		
	0,1	1	10
1000	0,13	0,06	0,03
1500	1,7	0,8	0,4
2000	8	4	3
2500	60	19	9

З табл. 3.11 видно, що при звичайних умовах горіння палива в печах, тобто при температурі 1000...1500°С, дисоціація CO_2 буде невелика. Ступінь розкладання водяної пари ще менша. Тому в розрахунках горіння вплив дисоціації не враховується.

3.6.2. Розрахунки процесу горіння

Розрахунки горіння палива звичайно складаються з визначення:

- витрати повітря, необхідного для горіння палива;

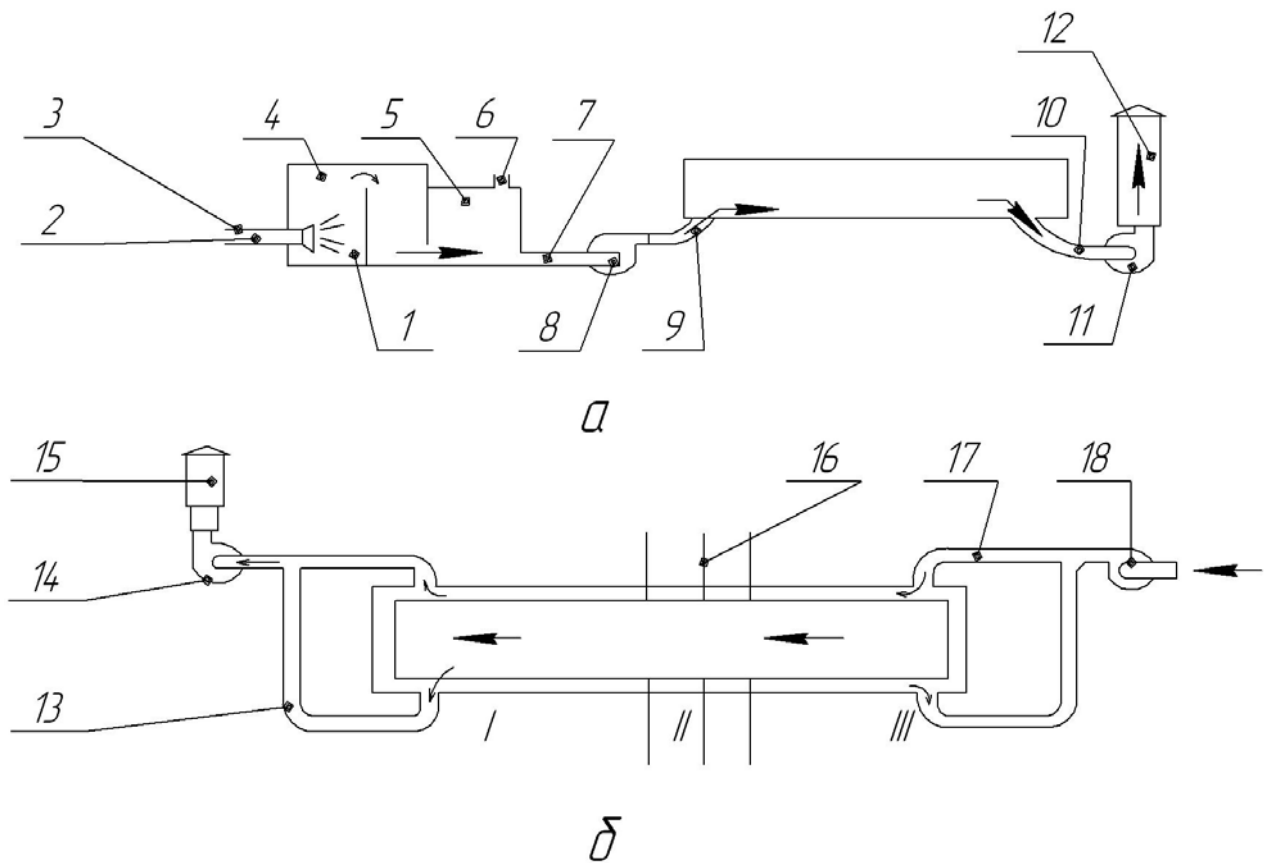


Рис. 3.31. Аеродинамічні схеми теплових установок:

а – сушильна камера; б – випалювальна піч; I, II, III – зони підігріву випалення і охолодження; 1 – топка; 2 – газопровід; 3 – повітропровід; 4, 7, 8, 9, 10, 13, 17 – канали; 5 – змішувальна камера; 6 – подача повітря; 8, 11, 14, 18 – вентилятори; 12, 15 – димові труби; 16 – пальники

3.7.2. Отримання теплоносіїв

Теплоносії отримують при спалюванні палива в топкових пристроях.

Топки – це пристрої для спалювання твердого кускового палива, в їх комплект входять топкова камера, колосникова решітка, золотбійник, надколосниковий простір і гарнітура (дверцята, спостережні отвори).

Топки бувають прості і напівгазові. В простій топці з нерухомою решіткою (рис. 3.32, а) завантажують і шурують паливо вручну, спалюючи в ній деревину, торф і все вугілля, окрім пісних та спікливих.

Більш поширені напівмеханічні і механічні топки. Напівмеханічна топка з шуруючою планкою (рис. 3.32, б) має колосникову решітку із плит з отворами для подачі повітря, на яку укладають шла-

цюють на перегрітій парі; із прогрівом струмами високої частоти; з комбінованими джерелами теплоти.

За *схемою руху газів і матеріалу* – прямоточні (матеріал і гази рухаються в одному напрямку), протиточні (матеріал і гази рухаються назустріч один одному), із внутрішнім або зовнішнім підгрівом сушильного агента, з рециркуляцією або без неї, одно- або багатозонні.

За *основною конструкцією* – газозарові з нерухомим, киплячим або віброкиплячим шаром із сушінням повітрям або димовими газами; сушарки із сушінням при падінні, у зваженому стані і при русі матеріалу; розпилювальні з пневматичним, механічним і відцентровим розпиленням; барабанні (з безпосереднім контактом газу і матеріалу і з зовнішнім омиванням поверхні); контактні (шнекові, скребкові, трубчасті, подові); тунельні і щілинні зі стрічковими конвеєрами або вагонетками для сушіння штучних і листових виробів; камерні сушарки.

3.8.6. Барабанні сушарки

Для сушки сипких і дрібнокускових будівельних матеріалів застосовують економічні і надійні в експлуатації *барабанні сушильні установки* (рис. 3.47).

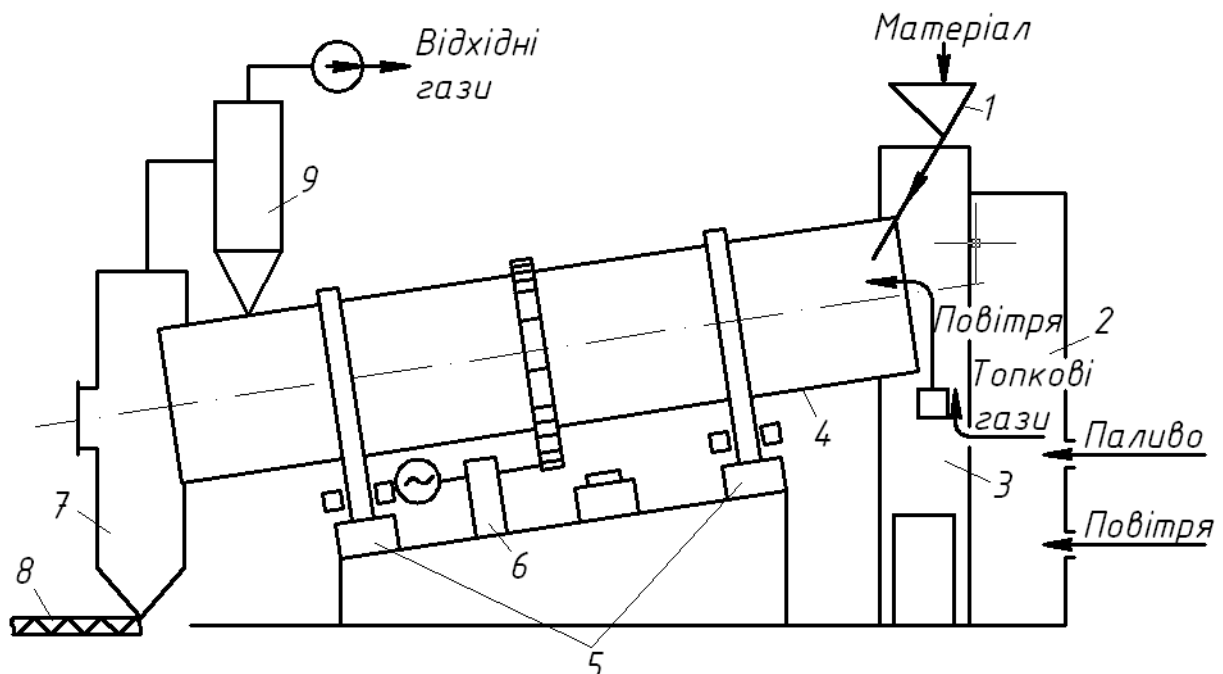


Рис. 3.47. Барабанна сушарка:

1 – витратний бункер; 2 – топка; 3 – камера змішування; 4 – сушильний барабан; 5 – опори; 6 – електродвигун з редуктором; 7 – кінцева камера; 8 – конвеєр; 9 – циклон

рошок піднімається до вікна в бічній стінці котла. З нього самопливом, через відвідну тічку, надходить в бункер томління гіпсу.

У варильних котлах гіпс не стикається з топочними газами. В процесі варіння він інтенсивно перемішується і рівномірно нагрівається, що забезпечує одержання однорідного продукту високої якості.

Оберткові печі, або сушильні барабани, (рис. 3.61) продуктивністю 5...15 т/год для випалу гіпсу у вигляді щебеню розміром до 35 мм являють собою зварений сталевий циліндр, що обертається на опорних роликах з частотою 2...3 об/хв. Нахил барабана 3...5°. Гіпс живильни-

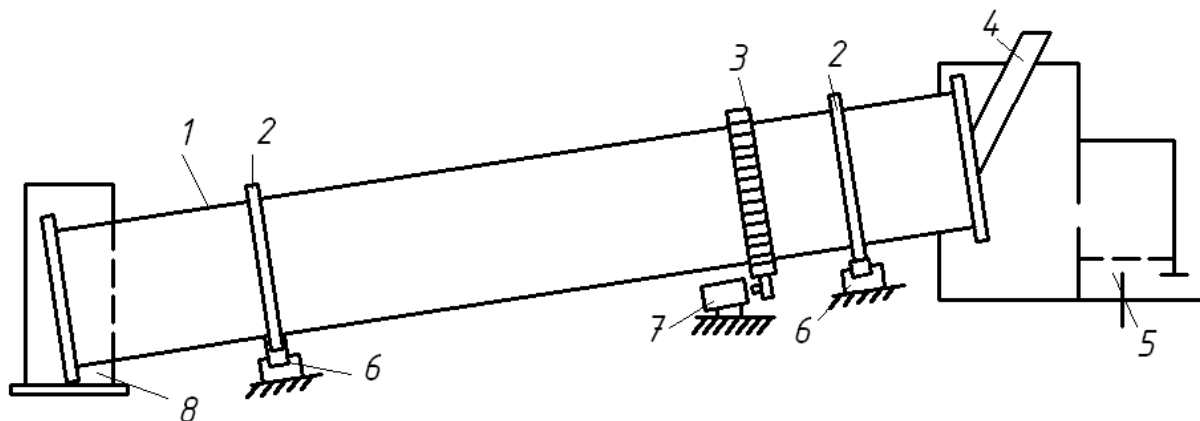


Рис. 3.61. Схема випалу гіпсу в сушильному барабані:

- 1 – сталевий барабан; 2 – бандажі; 3 – вінцева шестерня; 4 – завантажувальна воронка; 5 – топка; 6 – роликові опори; 7 – привід барабану; 8 – розвантажувальна воронка

ком подається в піднятий кінець барабана через завантажувальну лійку і похило переміщується до розвантажувальної лійки. Топкові гази рухаються як у напрямку руху матеріалу (прямоток), так і проти нього (протиток), що економічно вигідніше. При прямотоку температура газів, змішаних з повітрям на вході в барабан, складає близько 900°C, а при протитоку – 600...700°C. З барабана гази виходять з температурою 160...180°C при прямотоку, і близько 100°C – при протитоку. Питома витрата палива складає 5 % від маси готового продукту.

Випалена гіпсова крупка надходить у видаткові бункери парового млина або бункери витримування (томління). За 24...48 год томління одержують однорідний продукт за рахунок дегідратації напівгідрату, що нерозклався, і переходу розчинного ангідриту в напівводний гіпс.

Випал гіпсу в оберткових печах – це процес безперервний і, отже, автоматизації. Витрата палива складає 45...50 кг/т, електроенергії – 20...25 кВт·год/т, що економічніше, чим у варильних котлах. Більш поширені сушильні барабани діаметром 1,6...3 м і довжиною 8...30 м, з частотою обертання 0,03...0,05 об/с і продуктивністю 2,5...20 т/год.

5. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Модуль №1

Технічна термодинаміка і теплопередача

- 1. Ким вперше була визначена фізична природа теплоти?**
 - Ньютоном.
 - Карно.
 - Ломоносовим.
 - Джоулем.
- 2. Назвіть характеристичне рівняння ідеального газу:**
 - $PV = \text{const.}$
 - $V/T = \text{const.}$
 - $PV = RT.$
 - $PV = T.$
 - $PM = RT.$
- 3. Який із газів не можна віднести до ідеальних?**
 - Повітря.
 - Водяна пара.
 - Азот.
 - Аргон.
 - Водень.
- 4. Який вираз відображає I-й закон термодинаміки?
(dQ -тепло отримане робочим тілом, dU -зміна його внутрішньої енергії, dL -робота розширення)**
 - $dQ = dU + dL.$
 - $dQ = dU - dL.$
 - $dQ = dL - dU.$
 - $dQ = dL \cdot dU.$
- 5. Ізохорним називається процес зміни стану газу при якому...**
 - $P = \text{const.}$
 - $V = \text{const.}$
 - $T = \text{const.}$
 - $\Delta Q = 0.$
- 6. Політропним називається процес зміни стану газу при якому...**
 - $P = \text{const.}$
 - $V = \text{const.}$
 - $PV = \text{const.}$
 - $PV^m = \text{const.}$
- 7. Чому дорівнює абсолютний тиск газу?
($P_{\text{ман}}$ – манометричний B – атмосферний або барометричний тиск)**
 - $P_{\text{абс}} = P_{\text{ман}} + B.$
 - $P_{\text{абс}} = P_{\text{ман}} - B.$
 - $P_{\text{абс}} = B - P_{\text{ман}}.$
 - $P_{\text{абс}} = B / P_{\text{ман}}.$
- 8. Абсолютна температура тіла дорівнює...**
 - $T = t - 273.$
 - $T = t + 273.$
 - $T = 273 - t.$

- Мокрого.
 - Для сухого та комбінованого.
29. Чи є корисними для сухого способу виробництва клінкеру внутрішні теплообмінні пристрої обертових печей?
- Так.
 - Ні.
 - Частково.
30. В якому матеріалі відбувається найбільш інтенсивний теплообмін між теплоносієм і шаром матеріалу, що рухається в барабанних сушарках, обертових печах?
- Пилоподібному.
 - Дрібногрудковому.
 - Крупногрудковому.

6. ЗАВДАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ

6.1. Загальні вимоги до оформлення роботи

Індивідуальна робота студентів представлена курсовою роботою, яка виконується в 6 семестрі.

Курсова робота пов'язана з проектом по виробництву в'язучого (повітряні або гідравлічні в'язучі) і представляє собою технологічний і теплотехнічний розрахунок установки для випалу або сушіння будівельного матеріалу.

Робота включає пояснювальну записку (до 25 сторінок) із схемами та ескізами теплової установки. Пропонується наступний склад роботи: вступ, опис теплової установки, вибір режимів роботи, технологічний розрахунок, розрахунок горіння палива, матеріально-теплові баланси, аеродинамічний розрахунок, техніко-економічні показники роботи теплової установки, список використаної літератури.

Робота оформляється у вигляді зброшурованого звіту на стандартних аркушах формату А4 рукописним способом або за допомогою друкарських пристроїв. Графічна частина має бути представлена аркушем формату А2, на якому зображується ескіз теплової установки, графіки температур теплоносія і виробів, діаграми (єпюри) тиску газів.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	3
1. ОПИС ТА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	4
2. МЕТОДИ КОНТРОЛЮ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИ І РОЗПОДІЛ БАЛІВ	11
3. ПРОГРАМНИЙ МАТЕРІАЛ ЗМІСТОВИХ МОДУЛІВ (МОДУЛІ № 1-2) ...	16
<i>Модуль 1. Технічна термодинаміка і теплопередача</i>	<i>16</i>
3.1. Основні газові закони та газові суміші	16
3.1.1. Параметри стану газу	16
3.1.2. Основні газові закони	18
3.1.3. Газові суміші	21
3.1.4. Одиниці виміру роботи (енергії)	23
3.1.5. Теплоємність газів	24
3.2. Закони термодинаміки.....	26
3.2.1. Основні визначення	26
3.2.2. Перший закон термодинаміки	29
3.2.3. Процеси зміни стану газу	29
3.2.4. Другий закон термодинаміки.....	36
3.2.5. Цикл Карно. Ентропія.....	38
3.3. Водяна пара. Вологе повітря.....	40
3.3.1. Процес пароутворення при $p=\text{const}$	40
3.3.2. Діаграма водяної пари	43
3.3.3. Вологе повітря.....	46
3.4. Основи теорії теплопередачі.....	51
3.4.1. Основні положення гідроаеродинаміки	51
3.4.2. Види теплообміну	56
3.4.3. Теплопередача при стаціонарному потоці тепла через плоску і циліндричну стінки.....	58
3.4.4. Тепловіддача дотиканням. Поняття про теорію подібності.....	63
3.4.5. Теплообмін випромінюванням	68
3.4.6. Теплообмінний апарат.....	73
<i>Модуль 2. Паливо і теплоносії. Установки для сушіння і випалу</i>	<i>76</i>
3.5. Види та властивості палива.....	76
3.5.1. Види палива.....	76
3.5.2. Склад палива	78
3.5.3. Теплозгоряння палива	80
3.5.4. Дров'яне паливо	82
3.5.5. Торф	83
3.5.6. Викопне вугілля	83
3.5.7. Рідке паливо	86
3.5.8. Природний газ	88

3.6. Горіння палива	89
3.6.1. Фізико-хімічні основи процесу горіння	89
3.6.2. Розрахунки процесу горіння	92
3.7. Аеродинаміка теплових установок.....	101
3.7.1. Загальні положення	101
3.7.2. Отримання теплоносіїв.....	102
3.7.3. Характеристики газодинамічного тракту	108
3.7.4. Пристрої для переміщення теплоносія	111
3.7.5. Очищення газів	114
3.8. Сушильні установки. Теоретичні основи сушіння.....	117
3.8.1. Вологовміст матеріалу.....	117
3.8.2. Періоди процесу сушіння. Напружений стан при сушінні виробів	118
3.8.3. Основні принципи розрахунку процесу сушіння.....	123
3.8.4. Вплив режимів сушіння на якість матеріалу.....	128
3.8.5. Класифікація сушильних установок.....	129
3.8.6. Барабанні сушарки.....	130
3.8.7. Розрахунок сушильних установок.....	133
3.9. Основи високотемпературних процесів обробки будівельних матеріалів.....	135
3.9.1. Процес випалу. Загальні відомості.....	135
3.9.2. Випал в'язучих речовин.....	137
3.9.3. Класифікація печей.....	140
3.9.4. Оберткові печі	143
3.9.5. Шахтні печі.....	150
3.9.6. Установки для випалу гіпсу	156
3.9.7. Принципи теплотехнічного розрахунку печей.....	159
4. ПРАКТИКУМ. ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ	162
4.1. Основні газові закони та закони термодинаміки	162
4.2. Водяна пара. Вологе повітря.....	167
4.3. Основи теорії теплопередачі.....	169
4.4. Горіння палива	171
4.5. Аеродинаміка теплових установок.....	174
5. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДЛЯ МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ.....	176
6. ЗАВДАННЯ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ	185
6.1. Загальні вимоги до оформлення роботи	185
6.2. Приклади завдань на курсову роботу	186
6.3. Рекомендації до виконання курсової роботи.....	189
6.3.1. Опис роботи теплової установки.....	189
6.3.2. Технологічні параметри та режим роботи установки.....	189

6.3.3. Розрахунок горіння палива	189
6.3.4. Конструктивний розрахунок установок.....	195
6.3.5. Розрахунок процесу сушіння.....	199
6.3.6. Матеріальний баланс	203
6.3.7. Тепловий баланс	205
7. ТЕМАТИКА ТА ЗАВДАННЯ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ	207
7.1. Загальні рекомендації до самостійної роботи	207
7.2. Завдання для самостійного розв'язання задач	207
7.2.1. Основи термодинаміки.....	208
7.2.2. Теплопередача	211
7.3. Теми рефератів для самостійної роботи	214
8. ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....	217
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	221

Навчальне видання

*Бордюженко Олег Михайлович
Шестаков Володимир Леонтійович*

ОСНОВИ ТЕРМОДИНАМІКИ, ТЕПЛОТЕХНІКА ТА ТЕПЛОТЕХНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ

Частина 1

*Технічна термодинаміка. Процеси і апарати
для високотемпературної обробки матеріалів*

Інтерактивний комплекс
навчально-методичного забезпечення

Друкується в авторській редакції



Підписано до друку 30.05.2008 р. Формат 60×84 1/16.
Папір друкарський №1. Гарнітура Times. Друк різнографічний.
Ум.-друк арк. 13,1 Обл.-вид. арк. 13,7.
Тираж 100 прим. Зам. № 916.

Підготовка pdf-версії:

Бордюженко О.М.
<http://tbk.at.ua>

*Редакційно-видавничий центр
Національного університету
водного господарства та природокористування
33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
РВ №31 від 26.04.2005 р.*