

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ І ТРАНСПОРТУ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ЩОДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
**«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕПЛОТЕХНІКИ»**  
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ  
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 133 – «ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»  
(У ТОМУ ЧИСЛІ СКОРОЧЕНИЙ ТЕРМІН НАВЧАННЯ)  
ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

КРЕМЕНЧУК 2017

Методичні вказівки щодо самостійної роботи з навчальної дисципліни «Теоретичні основи теплотехніки» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» (у тому числі скорочений термін навчання) освітнього ступеня «бакалавр»

Укладач к.т.н., доц. Е. С. Клімов

Рецензент к.т.н., доц. С. М. Черненко

Кафедра автомобілів і тракторів

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2017 р.

Голова методичної ради \_\_\_\_\_ проф. В. В. Костін

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Теми та погодинний розклад лекцій і самостійної роботи .....	5
2 Перелік тем і питань для самостійного опрацювання.....	6
3 Питання до модульного контролю.....	20
Список літератури .....	22

## ВСТУП

Самостійна робота студента є основним засобом оволодіння матеріалом у час, вільний від аудиторних занять.

Мета самостійної роботи – поглиблене вивчення теоретичних основ теплотехніки та підготовка до виконання лабораторних і контрольних робіт.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

– закони термодинаміки, принципи взаємного перетворення теплоти і роботи, основи тепло- і масообміну, основні положення теорії горіння палив;

уміти:

– визначати параметри стану ідеальних і реальних газів, оцінювати ефективність перетворення енергії в теплових машинах, розраховувати теплові баланси систем теплообміну.

Під час вивчення навчальної дисципліни «Теоретичні основи теплотехніки» студенти, керуючись програмою навчального курсу, самостійно працюють над підручниками і навчальними посібниками, виконують лабораторні роботи, контрольні роботи і домашні завдання.

Матеріал навчального курсу вивчають за основним підручником [1]. Для більш докладного вивчення окремих питань тем навчального курсу, що виносяться для самостійного опрацювання студентам денної форми навчання, й на допомогу під час виконання контрольних робіт студентам-заочникам рекомендована додаткова література. Під час самостійної роботи студента над підручником необхідно досягти виразного уявлення про фізичну сутність досліджуваних явищ і процесів. При цьому варто пам'ятати, що основи теплотехніки містять у собі розділи: технічну термодинаміку, основи тепло- і масообміну, теорію горіння і є базою для вивчення окремих розділів – «Теплоенергетичні установки», що викладаються в спеціальних навчальних курсах, наприклад, «Автомобільні двигуни» та ін.

Під час вивчення кожного розділу навчального курсу студентам рекомендовано вести конспект, що використовується при повторенні матеріалу, і розв'язувати задачі для закріплення теоретичного матеріалу. Засвоєння матеріалу теми перевіряється за якістю відповідей на питання для самоперевірки, що наведені до кожної теми курсу.

# 1 ТЕМИ ТА ПОГОДИННИЙ РОЗКЛАД ЛЕКЦІЙ І САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

№ теми	Найменування теми	Денна, денна скорочена форма навчання		Заочна, заочна скорочена форма навчання	
		К-ть годин (лек)	К-ть годин СРС	К-ть годин (лек)	К-ть годин СРС
Змістовий модуль 1					
1	Основні поняття та визначення термодинаміки	1	9	0,4	6
2	Перший закон термодинаміки	2	11	0,8	5
3	Термодинамічні процеси ідеальних газів у закритих системах	2	7	0,8	6
4	Термодинамічні процеси в реальних газах і парах. Термодинамічні властивості вологого повітря	1	5	-	5
5	Термодинаміка відкритих систем	1	2	-	2
6	Другий закон термодинаміки. Цикли теплосилових установок	2	6	0,4	7
	Разом за змістовий модуль 1	9	40	2,4	31
Змістовий модуль 2					
7	Нагнітання газів і пари	2	6	0,4	8
8	Теплопровідність	1	7	0,4	7
9	Конвективний і променевиий теплообмін	2	6	0,4	5
10	Складний теплообмін	1	5	0,4	4
11	Процеси горіння палив	1	1	-	4
	Разом за змістовий модуль 2	7	25	1,6	28
	Забезпечення індивідуальних завдань (КР)	-	-	-	33
	Усього годин:	16	80	4	108

## 2 ПЕРЕЛІК ТЕМ І ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ОПРАЦЮВАННЯ

### Тема 1 Основні поняття та визначення термодинаміки

Рівняння стану ідеального газу: визначення ідеального газу; газова стала ідеального газу (характеристична й універсальна), рівняння стану. Рівняння стану реальних газів: відмінна риса реальних газів від ідеальних; рівняння стану Ван-дер-Ваальса, величини  $a$  і  $b$  у рівнянні Ван-дер-Ваальса та їх визначення.

### Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під термодинамічною системою?
2. Яким числом незалежних параметрів характеризується стан робочого тіла?
3. Який стан називають рівноважним, і який – нерівноважним?
4. Що називають термодинамічним процесом?
5. Які процеси називають рівноважними, і які – нерівноважними?
6. Які процеси називають оборотними, і які – необоротними?
7. Які умови оборотності процесів?
8. Що розуміють у термодинаміці під внутрішньою енергією газу?
9. Що таке ентальпія газу?
10. Який газ називають ідеальним?
11. Чи можна азот, кисень і повітря вважати ідеальними газами за досить низьких температур і при великого тиску?
12. Чи можна водяну пару вважати ідеальним газом за досить високих температур і малого тиску?
13. У чому полягає закон Авогадро?
14. Що таке кіломоль речовини? Який об'єм займає кіломоль будь-якого газу за нормальних умов?
15. Яка різниця між характеристичною й універсальною газовими сталими газу?

16. Що таке абсолютний, надлишковий (манометричний) і барометричний тиски, і який зв'язок між ними? Що таке нормальні умови?

17. Сформулюйте закони Гей-Люссака і Бойля-Маріотта.

18. Чому внутрішня енергія і ентальпія ідеального газу залежать тільки від одного параметра – температури?

**Література:** [1, с. 8 – 15; 2, с. 42 – 43].

## **Тема 2 Перший закон термодинаміки**

Внутрішня енергія тіла: кінетична і потенційна складові для ідеальних і реальних газів; залежність внутрішньої енергії від основних параметрів стану тіла; зміна внутрішньої енергії в круговому процесі. Визначення роботи в термодинамічному процесі: аналітичний вираз для визначення роботи і її зображення в  $pV$ -діаграмі. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки: формулювання першого закону термодинаміки; аналітичний вираз закону в двох формах запису. Ентальпія – функція стану робочого тіла: зміна ентальпії ідеального газу; залежність ентальпії від основних параметрів; зміна ентальпії в круговому процесі. Повна і питома теплоємність робочих тіл: теплоємність ідеального газу; теплоємності, віднесені до 1 кг, 1 м<sup>3</sup> і 1 кмоль, і зв'язок між ними; середня і дійсна теплоємності. Залежність теплоємності від температури: залежність мольної теплоємності від атомності газу; визначення кількості тепла за допомогою таблиць середніх теплоємностей. Ізохорна й ізобарна теплоємності: залежність теплоємності від характеру процесу; зв'язок між теплоємностями  $c_p$  і  $c_v$ ; показник адіабати  $k = c_p/c_v$  і залежність його від температур; рівняння Майера. Суміші ідеальних газів: поняття про газову суміш; закон Дальтона; способи завдання суміші; парціальний об'єм компонента; визначення середньої молярної маси суміші та її газової сталої; зв'язок між масовими й об'ємними частками; визначення парціальних тисків компонентів суміші. Теплоємність суміші ідеальних газів.

### **Питання для самоперевірки**

1. Наведіть формулювання й аналітичний вираз першого закону термодинаміки.

2. Коли тепло, робота і зміна внутрішньої енергії вважаються позитивними і коли – негативними?

3. Чому внутрішня енергія і ентальпія ідеального газу залежать тільки від одного параметра – температури?

4. Які існують формулювання і математичні вирази першого закону термодинаміки?

5. Що називають теплоємністю, і чи є вона функцією стану речовини?

6. Яка теплоємність більша: ізохорна чи ізобарна й чому?

7. У чому відмінність понять «дійсна теплоємність» і «середня теплоємність»?

8. Як формулюється закон Дальтона для суміші ідеальних газів?

9. Якими способами можна задати суміш? Що таке приведений (парціальний) об'єм компоненти суміші?

**Література:** [1, с. 15 – 26; 2, с. 12 – 19, 26 – 32].

### **Тема 3 Термодинамічні процеси ідеальних газів у закритих системах**

Ентропія – повний диференціал функції стану: ентропія як функція стану; зміна ентропії ідеального газу; система координат  $T_s$ , визначення тепла в цій діаграмі. Ізохорний процес ідеального газу: аналітичне дослідження процесу і графічне зображення в  $p_v$ - і  $T_s$ -діаграмах. Ізобарний процес ідеального газу: аналітичне дослідження процесу і графічне зображення в  $p_v$ - і  $T_s$ -діаграмах. Ізотермічний процес ідеального газу: аналітичне дослідження процесу та графічне зображення в  $p_v$ - і  $T_s$ -діаграмах. Адіабатний процес ідеального газу: аналітичне дослідження процесу і графічне зображення в  $p_v$ - і  $T_s$ -діаграмах. Політропний процес ідеального газу: аналітичне дослідження процесу і графічне зображення в  $p_v$ - і  $T_s$ -діаграмах.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Як називають процес, у якому все підведене тепло йде на збільшення внутрішньої енергії?



2. Як називається процес, у якому все підведене тепло йде на здійснення роботи?

3. Як називають процес, у якому робота відбувається лише за рахунок зменшення внутрішньої енергії?

4. Як називають процес, у якому підведене до робочого тіла тепло чисельно дорівнює зміні ентальпії? Яка частка підведеного тепла в цьому випадку йде на здійснення роботи?

5. Який процес називають політропним?

6. За яких значень показника політропи  $n$  можна одержати рівняння основних термодинамічних процесів? У чому полягає узагальнююче значення політропного процесу?

**Література:** [1, с. 19 – 20, с. 38 – 39, с. 46 – 55; 2, с. 32 – 37].

#### **Тема 4 Термодинамічні процеси в реальних газах і парах. Термодинамічні властивості вологого повітря**

Фазові переходи в реальних газах: властивості реальних газів; рівняння Ван-дер-Ваальса і його аналіз; приведені рівняння Ван-дер-Ваальса; поняття фази. Процеси пароутворення: водяна пара, основні визначення; процес паротворення в  $p$ - і  $T$ -діаграмах; визначення параметрів води і водяної пари. Особливості  $p$ -,  $h$ -діаграми водяної пари; таблиці води і водяної пари;  $h$ -діаграма водяної пари, фазові перетворення; потрійна точка; розрахунок основних термодинамічних процесів водяної пари за допомогою таблиць і  $h$ -діаграми. Основні властивості вологого повітря: поняття «вологе повітря»; щільність, газова стала, парціальний тиск сухого повітря і водяної пари. Вологовміст, абсолютна і відносна вологість повітря; температура точки роси; психрометр. Теплоємність і ентальпія вологого повітря.  $h$ -діаграма вологого повітря. Основні процеси вологого повітря: підігрів, охолодження, сушіння, змішання.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Що таке випарювання і кипіння?

2. Яка пара називається сухою насиченою?
3. Який фізичний зміст граничних кривих?
4. Яку пару називають перегрітою, і що таке ступінь перегріву?
5. Яку пару називають вологою насиченою, і що таке ступінь сухості?
6. Як визначити питомий об'єм, ентальпію й ентропію вологої пари?
7. Як змінюється теплота пароутворення зі збільшенням тиску?
8. Чим характерна критична точка?
9. Якими параметрами можна охарактеризувати стан вологої, сухої та перегрітої пари?
10. Зобразити  $p$ - і  $T$ -діаграми водяної пари та визначити у них характерні області й лінії фазових переходів.
11. Зобразити основні термодинамічні процеси з паром у  $p$ -,  $T$ - і  $h$ -діаграмах. Наведіть формули для визначення роботи, тепла,  $\Delta u$ .
12. Як змінюються ентальпія сухої насиченої пари, ентальпія рідини і теплота паротворення залежно від тиску?
13. Дайте визначення вологого повітря.
14. Що таке насичене та ненасичене вологе повітря?
15. Що таке абсолютна та відносна вологість, вологовміст?
16. У чому особливість розмірності ентальпії вологого повітря?
17. Що таке температура крапки роси?
18. Чому в  $h$ -діаграмі процес сушки в ідеальній сушильній установці відбувається за незмінної ентальпії?

**Література.** [1, с. 51 – 72, 74 – 82; 2, с. 37 – 41, 44 – 46].

## **Тема 5 Термодинаміка відкритих систем**

Рівняння першого закону термодинаміки для потоку: основні поняття; рівняння енергії газового потоку; робота проштовхування і технічна робота. Швидкість витікання газу із звуженого сопла: рівняння Бернуллі; швидкість газу під час адіабатного витікання. Масова витрата газу через сопло. Критична швидкість витікання газу: критичні параметри газу під час його руху по соплу;

умови переходу через критичну швидкість; сопло Лавалю. Розрахунок процесу витікання за допомогою  $h$ -діаграми: розрахунок витікання водяної пари із звуженого сопла та сопла Лавалю за допомогою таблиць і  $h$ -діаграми; дійсний процес витікання. Дроселювання газів і пари: сутність процесів дроселювання газу і пари; зміна параметрів робочого тіла у процесі дроселювання; поняття про ефект Джоуля–Томсона; особливості дроселювання ідеального та реального газу; поняття про температуру інверсії; практичне використання процесу дроселювання; зображення процесу дроселювання в  $h$ -діаграмі.

### **Питання для самоперевірки**

1. Напишіть рівняння енергії газового потоку та дайте пояснення окремим його членам.
2. Що таке робота проштовхування і який вона може мати знак?
3. Що таке технічна робота? Як показати її в  $p$ -діаграмі?
4. Який фізичний зміст критичної швидкості? Чому в закритичній області витрата газу не залежить від перепаду тисків?
5. Що таке сопло та дифузор?
6. Який процес називається дроселюванням?
7. Як відбувається процес адіабатного дроселювання?
8. Як змінюються параметри вологої пари під час дроселювання? Як і залежно від чого змінюється температура реального газу під час дроселювання?

**Література:** [1, с. 83 – 94; 2, с. 47 – 55, 58 – 59].

### **Тема 6 Другий закон термодинаміки. Цикли теплосилових установок**

Загальне формулювання другого закону термодинаміки: сутність другого закону термодинаміки та його основних формулювань; узагальнена схема теплової установки: кругові термодинамічні процеси та цикли теплових машин; прямі та зворотні цикли; оборотні та необоротні цикли. Термічний коефіцієнт корисної дії: оцінювання ефективності циклів. Прямий цикл Карно і його термічний к. к. д. Узагальнений (регенеративний) цикл Карно. Зворотний цикл Карно – цикл ідеального теплового насоса.

Цикли поршневих двигунів внутрішнього згорання: ідеальні цикли теплових двигунів і їх аналіз; вплив ступеня стиснення на термодинамічний к. к. д. Цикли газотурбінних установок (ГТУ): цикли газотурбінних установок і їх аналіз; методи підвищення к. к. д. ГТУ; зображення циклів у  $p$ - $v$ - і  $T$ - $s$ -діаграмах. Цикли паротурбінних установок: схема паросилової установки; цикл Ренкіна і його дослідження; вплив початкових і кінцевих параметрів на термічний к. к. д. циклу Ренкіна; зображення циклу Ренкіна в  $p$ - $v$ - і  $T$ - $s$ -діаграмах; шлях підвищення економічності паросилових установок. Цикл парогазової установки й основи теплофікації.

Типи холодильних установок та їхні параметри: холодильний коефіцієнт і холодопродуктивність; холодильні агенти та їхні основні властивості. Цикл повітряної та парової компресорної холодильної установки, характеристика холодильних агентів, застосовуваних у парових холодильних установках. Абсорбційна холодильна установка: схема, принцип дії та холодильний коефіцієнт. Цикл теплового насоса: схема, принцип дії та коефіцієнт теплоперетворення. Цикл глибокого холоду: термодинамічні основи роботи установок з глибокого охолодження.

### **Питання для самоперевірки**

1. Який цикл називають прямим і який – зворотним?
2. Чим оцінюється ефективність прямого та зворотнього циклів?
3. Яке призначення теплових машин, що працюють за прямим і зворотним циклами?
4. У чому сутність другого закону термодинаміки? Навести його основні формулювання.
5. Навести за допомогою  $T$ - $s$ -діаграми, що при заданих  $T_{\max}$  і  $T_{\min}$ ,  $\eta_t$  циклу Карно буде найбільшим порівняно з  $\eta_t$  інших циклів.
6. Зобразити за допомогою  $T$ - $s$ -діаграми, що  $\eta_t$  циклу Карно не може бути рівним одиниці.
7. Чому процеси стиснення та розширення в усіх ідеальних циклах теплових двигунів приймаються адіабатними?

8. Чи можна за характером процесу підведення тепла довідатись, який цикл розглядається (поршневого чи газотурбінного двигуна)?
9. Цикли яких двигунів характеризує ізохорний відвід тепла і чому?
10. Збільшення якого параметра збільшує термічний к. к. д. будь-якого циклу?
11. Чим обмежується ступінь стиснення в різних типах поршневих двигунів?
12. Чим обмежується та як вибирається ступінь підвищення стиснення в газотурбінних двигунах?
13. Як зображується робота насоса в  $p-v$ -діаграмі для циклу Ренкіна та циклу Карно?
14. Від яких параметрів і як залежить  $\eta_t$  циклу Ренкіна?
15. Як змінюється ступінь сухості пари за турбіною під час збільшення тиску пари перед турбіною за постійної початкової температури?
16. Який параметр характеризує ефективність холодильної установки?
17. Які основні недоліки повітряної компресорної холодильної установки?
18. Навести в  $T_s$ -діаграмі цикл повітряної компресорної холодильної установки й еквівалентний їй зворотний цикл Карно.
19. Чому в парових холодильних установках доцільно застосовувати процес дроселювання, а в повітряних – адіабатне розширення в турбіні?
20. Які властивості повинні мати холодоагенти?
21. Якими способами одержують зріджені гази?
22. Як працює тепловий насос?

**Література:** [1, с. 33 – 40, с. 103 – 127, с. 131 – 139; 2, с. 20 – 31, 60 – 69, с. 299 – 312].

### **Тема 7 Нагнітання газів і пари**

Типи машин для нагнітання газів і пари. Робочий процес одноступеневого поршневого компресора: принцип дії, робота, що

витрачається на привод одноступеневого компресора. Індикаторна діаграма та продуктивність компресора: ізотермічне, адіабатне та політропне стиснення; вплив об'єму шкідливого простору на роботу компресора; зображення в  $p_v$ - і  $T_s$ -діаграмах термодинамічних процесів, що відбуваються у компресорі. Багатоступеневе стиснення газу з проміжним охолодженням: багатоступеневі компресори, проміжні охолоджувачі. Процес стиснення робочого тіла в турбокомпресорі: поняття про відцентрові й осьові компресори.

### **Питання для самоконтролю**

1. Як залежить робота привода компресора від величини показника політропи стиснення? Який зв'язок між роботою привода (технічною) та роботою процесу стиснення?
2. Як впливає шкідливий простір на продуктивність компресора?
3. Як впливає показник політропи стиснення на кінцеву температуру газу в одноступеневому компресорі?
4. У якому з поршневих компресорів (швидкохідному чи тихохідному) показник політропи стиснення буде більшим?
5. Який цикл називають ідеальним?
6. У якому діапазоні зміни витрати і тиску використовуються поршневі компресори? Що таке об'ємний коефіцієнт і коефіцієнт подачі?
7. У яких випадках і чому використовують багатоступеневе стиснення з проміжним охолодженням? Чому воно призводить до зменшення роботи привода?

**Література:** [1, с. 94 – 100; 2, с. 221 – 239].

### **Тема 8 Теплопровідність**

Кількісна характеристика переносу теплоти: основні поняття та визначення, види переносу теплоти, механізм передачі теплоти в різних матеріалах. Основний закон теплопровідності: диференціальне рівняння Фур'є для однорідних ізотропних тіл; тепловий потік і щільність теплового потоку, коефіцієнт теплопровідності. Диференційне рівняння теплопровідності: умова

однозначності; коефіцієнт температуропровідності. Теплопровідність плоскої однорідної стінки. Тепловий потік через багат шарову стінку.

### **Питання для самоперевірки**

1. Як передається тепло в процесі теплопровідності?
2. Сформулюйте основний закон теплопровідності.
3. Який закон розподілу температури за товщиною плоскої та циліндричної стінок?
4. За якої умови розрахунок циліндричної стінки можна замінити розрахунком плоскої стінки?
5. Чи завжди зі збільшенням товщини ізоляції циліндричної труби тепловий потік через неї зменшується? За якої умови вибирається ізоляція труби?

**Література:** [1, с. 162 – 169, 148 – 151], [2, с. 73 – 75].

### **Тема 9 Конвективний і променевий теплообмін**

Основний закон конвективного теплообміну. Гідродинамічний і тепловий прикордонні шари: особливості руху рідин в умовах природної та примусової конвекції; властивості теплоносіїв; різні види руху рідини і газу та перенос імпульсу в потоці; основи теорії граничного шару. Диференціальне рівняння тепловіддачі. Критерії подібності явищ тепловіддачі: характерні критерії й основні формули для визначення конвективного теплообміну в різних умовах протікання. Тепловіддача під час природної конвекції. Тепловіддача під час поперечного обтікання труб. Тепловіддача під час протіканні теплоносія всередині труби.

Характеристика процесу променевого теплообміну: основні поняття та визначення: частота теплового випромінювання тіл, баланс променевого теплообміну. Основні закони променевого теплообміну: закони Планка, Віна, Кирхгофа, Стефана-Больцмана; сфера їх застосування. Особливості випромінювання газів: спектри випромінювання, товщина шару газу випромінюючого та поглинаючого теплових променів.

## Питання для самоперевірки

1. Сформулювати основний закон тепловіддачі конвекцією.
2. Який критерій характеризує примусову конвекцію?
3. Який критерій характеризує вільну конвекцію?
4. Дайте фізичний зміст критеріїв  $Re$ ,  $Gr$ ,  $Pr$ ,  $Nu$ .
5. Що характеризує критерій Нусельта?
6. Що таке визначальна температура та визначальний розмір?
7. Чому під час обтікання стінки рідиною в безпосередній близькості від поверхні стінки температурний градієнт різко збільшується?
8. У чому особливості тепловіддачі під час кипіння води та конденсації водяної пари? Які режими кипіння вам відомі?
9. У чому особливості тепловіддачі під час великих швидкостей руху газу?
10. Які режими руху газу спостерігаються у вертикальній трубі у вільному потоці повітря?
11. Як змінюється коефіцієнт тепловіддачі по довжині труби під час руху газу всередині її й чому?
12. Які довжини хвиль обмежують видимі та які – теплові промені?
13. Що відбувається з променевою енергією, що падає на поверхню твердого тіла? Що таке абсолютно чорне, абсолютно біле та сіре тіло?
14. Як графічно зображується закон Планка? Чи можна і як на цьому графіку навести випромінювальну здатність тіла?
15. Про що говорить закон Кирхгофа і яке його практичне застосування?
16. Сформулювати закон Стефана–Больцмана і пояснити його зв'язок із законом Планка.
17. Дайте визначення абсолютно чорного та сірого тіл, поглинальної здатності й ступеня чорноти.
18. Довести, що коефіцієнт поглинання сірого тіла дорівнює його ступеню чорноти.
19. Яке тіло є близьким за властивостями до абсолютно чорного?



20. Що таке «ефективне випромінювання»? Чим воно відрізняється від власного випромінювання?

21. Для чого потрібні екрани та які властивості вони мають?

22. Які особливості випромінювання газів?

23. Які гази можна вважати прозорими для теплових променів?

**Література:** [1, с. 196 – 199; 201 – 204, с. 229 – 240; 2, с. 79 – 102, с. 103 – 111].

### **Тема 10 Складний теплообмін**

Теплопередача через плоску стінку: коефіцієнт теплопередачі через плоску стінку. Теплопередача через циліндричну стінку: коефіцієнт теплопередачі через циліндричну стінку. Теплопередача через ребристу стінку: коефіцієнт теплопередачі через ребристу стінку. Теплова ізоляція та її критична товщина.

Види теплообмінних апаратів: рекуперативні, регенеративні та змішувальні теплообмінники. Рівняння теплового балансу теплообмінника. Тепловий розрахунок однотрубних теплообмінників: середній температурний напір; температура теплоносіїв, поверхня теплообміну; основи розрахунку рекуперативних теплообмінників. Тепловий розрахунок складних теплообмінників: розрахунок теплообмінників з різними схемами руху теплоносіїв. Перевірочний розрахунок теплообмінника.

### **Питання для самоперевірки**

1. Чим відрізняється теплопередача від тепловіддачі?
2. Написати рівняння теплопередачі через плоску та циліндричну стінки.
3. Записати вираз для визначення критичного діаметра ізоляції труби.
4. Записати вираз для визначення коефіцієнта теплопередачі через ребристу стінку.
5. Які види теплообмінних апаратів ви знаєте?
6. Де застосовуються рекуперативні теплообмінники?

7. На основі яких вихідних рівнянь побудовано визначення поверхні рекуперативних теплообмінників?

8. При яких припущеннях виводяться формули, що визначають середній логарифмічний температурний напір?

9. Коли середній логарифмічний температурний напір можна замінити середньоарифметичним?

10. Які переваги має схема теплообмінника з протирухом теплоносіїв перед схемою теплообмінника з пряморухом теплоносіїв? У яких випадках ці схеми еквівалентні?

**Література:** [1, с. 169 – 175, с. 241 – 247; 200 – 212; 2, с. 112 – 117].

### **Тема 11 Процеси горіння палив**

Види та характеристики палив і їх склад: природне паливо, його походження і види; характеристики палив: елементарний склад, вміст вологи і золи. Теплота згоряння палива: вища та нижча теплота згоряння; стехіометричні розрахунки реакцій горіння елементів палива; визначення теоретично необхідної кількості повітря та складу продуктів згоряння. Основні положення теорії горіння палив: коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ , та його зв'язок із процесами сумішоутворення; вплив  $\alpha$  на склад продуктів згоряння; теоретична температура згоряння; хімічна та механічна неповнота згоряння; згоряння рідкого палива.

#### **Питання для самоперевірки**

1. Який елементарний склад твердого і рідкого палива? Що таке органічна, пальна, суха та робоча маса палива? Як проводиться перерахування складу палива з однієї маси в іншу?

2. У чому різниця між вищою та нижчою теплотою згоряння? Чому теплові баланси звичайно зводять за нижчою теплотою згоряння?

3. Назвати основні види рідкого палива. Які його основні характеристики?

4. Які гази входять до складу природних газів? Які характерні риси природного газу як палива?

5. Як визначають витрату повітря, необхідну для згорання 1 кг (1 м<sup>3</sup>) палива, і кількість продуктів згорання, що утворюються? Як визначається ентальпія продуктів згорання?

6. Що таке коефіцієнт надлишку повітря, як пов'язана його величина з якістю сумішоутворення?

7. Що визначають за допомогою газового аналізу продуктів згорання?

8. Що таке температура запалення та концентраційні межі запалення?

**Література:** [8, с. 4 – 32].

### 3 ПИТАННЯ ДО МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

#### Модуль 1

1. Термодинамічна система.
2. Термодинамічний процес і його характеристика.
3. Основні параметри стану робочого тіла.
4. Внутрішня енергія робочого тіла.
5. Ентальпія – функція стану робочого тіла.
6. Визначення роботи в термодинамічному процесі.
7. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки.
10. Рівняння стану ідеального газу.
- 11 Рівняння стану реального газу.
12. Ізохорний процес ідеального газу.
13. Ізобарний процес ідеального газу.
14. Ізотермічний процес ідеального газу.
15. Адіабатний процес ідеального газу.
16. Політропний процес ідеального газу.
17. Фазові переходи в реальних газах.
18. Основні характеристики вологого повітря.
19. Швидкість витікання газу із звуженого сопла.
20. Рівняння першого закону термодинаміки для потоку.
21. Масова витрата газу через сопло.
22. Критична швидкість витікання газу із сопла.
23. Узагальнена схема теплової установки. Термічний коефіцієнт корисної дії.
24. Прямий цикл Карно.
25. Загальне формулювання другого закону термодинаміки.
26. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згорання.
27. Типи холодильних машин і їх параметри.
28. Цикл парової компресорної холодильної установки.

## Модуль 2

1. Кількісна характеристика переносу теплоти.
2. Основний закон теплопровідності.
3. Теплопровідність одношарової плоскої стінки
4. Теплопровідність одношарової циліндричної стінки.
5. Тепловий потік через плоску багат шарову стінку.
6. Тепловий потік через циліндричну багат шарову стінку.
7. Основний закон конвективного теплообміну.
8. Критерії подібності явищ тепловіддачі.
9. Характеристика процесу променевого теплообміну.
10. Основні закони теплового випромінювання.
11. Критерії подібності явищ тепловіддачі.
12. Теплопередача через плоску стінку.
13. Теплопередача через циліндричну стінку.
14. Теплопередача через ребристу стінку.
15. Теплова ізоляція та її критичний діаметр.
16. Типи теплообмінних апаратів.
17. Рівняння теплового балансу теплообмінника.
18. Перевірочний розрахунок теплообмінників.
19. Тепловий баланс системи рідинного охолодження двигуна.
20. Види і характеристики палив та їх склад.
21. Типи машин для нагнітання газу та пари.
22. Процес стиснення газу в поршневому компресорі.
23. Багатоступеневе стиснення газу з проміжним охолодженням.
24. Теплопостачання промислових підприємств.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

### Основна

1. Алабовский А. Н. Техническая термодинамика и теплопередача : учеб. пособие / А. Н. Алабовский, И. А. Недужий – [3-е изд., перераб. и доп.] – К. : Выща шк., 1990. – 225 с.
2. Беляев Н. М. Основы теплопередачи : учебник. / Н. М. Беляев. – К. : Выща шк.; Головное изд-во, 1989. – 343 с.
3. Буляндра О. Ф. Технічна термодинаміка : підруч. для студ. енерг. спец. вищ. навч. закл./ О. Ф. Буляндра. – 2-ге вид., випр. – К. : Техніка, 2006. – 320 с.
4. Нащокин В. В. Техническая термодинамика и теплопередача / В. В. Нащокин. – М. : Высшая школа, 1980. – 496 с.
5. Швец И. Т. Теплотехника. / И. Т. Швец, В. И. Толубинский, А. Н. Алабовский, Н. Ф. Кираковский, И. А. Недужий, П. А. Пивоваров. – К. : «Вища школа»; Головное изд-во, 1976. – 520 с.

### Додаткова

1. Баскаков А. П. Теплотехника : учебник для вузов / А. П. Баскаков, Б. В. Берг, О. К. Витт и др. ; под ред. А. П. Баскакова. – М. : Энергоиздат, 1982. – 264 с.
2. Панкратов Г. П. Сборник задач по теплотехнике : учеб. пособие для неэнергетич. спец. вузов / Г. П. Панкратов. – [2-е изд., переб. и доп.] – М. : Высш. шк., 1986. – 248 с. : ил.
3. Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике / О. М. Рабинович. – М. : «Машиностроение», 1973. – 344 с.

Методичні вказівки щодо самостійної роботи з вивчення навчальної дисципліни «Теоретичні основи теплотехніки» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування» (у тому числі скорочений термін навчання) освітнього ступеня «бакалавр»

Укладач к.т.н., доц. Е. С. Клімов

Відповідальний за випуск доц. кафедри автомобілів і тракторів С. М. Черненко

Підп. до др. \_\_\_\_\_ . Формат 60x84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. \_\_\_\_\_. Наклад \_\_\_\_\_ прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Безкоштовно.

Видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600