



Міністерство освіти і науки України

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Інститут гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії  
Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## СИЛАБУС освітньої компоненти – ОК 17

### ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

Освітній рівень	перший (бакалаврський)	
Програма навчання	обов'язкова	
Галузь знань	14	Електрична інженерія
Спеціальність	144	Теплоенергетика
Освітня програма	Енергетичний менеджмент та інжиніринг енергосистем	
Обсяг дисципліни	8 кредитів ECTS (240 академічних годин)	
Види аудиторних занять	Лекції (56 годин), лабораторні роботи (16), практичні заняття (48 години)	
Індивідуальні та (або) групові завдання	Курсова робота та розрахунково-графічна робота	
Форми семестрового контролю	Іспит та залік	

#### Викладач:

Хлієва Ольга Яківна, д.т.н., професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції,  
[khliyev@ogasa.org.ua](mailto:khliyev@ogasa.org.ua)

В процесі вивчення даної дисципліни СТУДЕНТ ЗНАЙОМИТЬСЯ З Є ЗАКОНОМІРНОСТЯМИ ВЗАЄМНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕПЛОТИ НА РОБОТУ, ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКОМ МІЖ ТЕПЛОВИМИ ТА МЕХАНІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ, ЩО ВІДБУВАЮТЬСЯ В ТЕПЛОВИХ ТА ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИНАХ, КОМПРЕСОРАХ ТОЩО, ПРОЦЕСАМИ ТА ВЛАСТИВОСТІ РОБОЧИХ ТІЛ ЗА РІЗНИХ ФІЗИЧНИХ УМОВ.

Наприклад: студент вчиться вмінню виконувати термодинамічні розрахунки процесів, які відбуваються у різноманітному теплоенергетичному обладнанні.

**Передумовами для вивчення дисципліни є** набуття теоретичних знань та практичних навичок за такими дисциплінами:

- Вища математика;
- Фізика.

### **Програмні результати навчання:**

ПРН1. Знати і розуміти математику, фізику, хімію на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ПРН2. Знати і розуміти інженерні науки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки у сфері теплоенергетики.

ПРН3. Розуміння міждисциплінарного контексту спеціальності «Теплоенергетика».

ПРН4. Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики.

ПРН5. Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

ПРН9. Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.

ПРН10. Знати і розуміти технічні стандарти і правила техніки безпеки у сфері теплоенергетики.

ПРН11. Мати лабораторні / технічні навички, планувати і виконувати експериментальні дослідження в теплоенергетиці за допомогою сучасних методик і обладнання, оцінювати точність і надійність результатів, робити обґрунтовані висновки

ПРН12. Розуміти ключові аспекти та концепції теплоенергетики, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.

ПРН13. Розуміти основні методики проектування і дослідження в теплоенергетиці, а також їх обмеження.

ПРН15. Розуміти основні властивості та обмеження застосовуваних матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів.

ПРН19. Розробляти та реалізовувати енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання.

### **Диференційовані результати навчання:**

#### **знати:**

- закони збереження та перетворення енергії стосовно систем передачі та трансформації теплоти;
- основні джерела інформації про термодинамічні властивості робочих тіл та теплоносіїв теплоенергетичних установок;
- особливості та методи розрахунку термодинамічних процесів та циклів теплоенергетичних, теплонасосних та холодильних установок;
- основи методів оцінки ефективності термодинамічних процесів та циклів теплоенергетичних, теплонасосних та холодильних установок.

#### **вміти:**

- використовувати сучасні джерела інформації та методи розрахунку термодинамічних властивостей речовин, що використовуються в теплоенергетиці;
- обчислювати показники енергетичної ефективності прямих та зворотних термодинамічних циклів;

- проводити термодинамічний аналіз циклів та процесів у теплосилових машинах, теплових насосах, холодильних машинах з метою оптимізації їх робочих характеристик.

**володіти:**

- термінологією в галузі технічної термодинаміки;
- навичками пошуку інформації про термодинамічні властивості робочих тіл, холодоагентів та теплоносіїв теплоенергетичних установок;
- основами термодинамічного аналізу робочих процесів у теплосилових машинах, теплонасосних та холодильних установках з метою визначення параметрів їх роботи, теплової ефективності.

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

		Кількість годин			
		лекції	лабораторні	практичні	самостійна
	<b>Технічна термодинаміка 1</b>				
1	Тема 1 Основні поняття та закони технічної термодинаміки. Термодинаміка ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу.	4	0	4	8
2	Тема 2 Перший закон термодинаміки. Робота зміни об'єму газу. Внутрішня енергія як параметр стану. Теплоємність. Визначення внутрішньої енергії та ентальпії ідеальних газів. Визначення кількості теплоти, що передається у процесі.	4	0	4	8
3	Тема 3 Основні газові процеси. Ізохорний, ізобарний, ізотермічний та адіабатний процеси. Вивчення політропного процесу.	4	4	4	8
4	Тема 4 Суміші ідеальних газів.	2	0	2	6
5	Тема 5 Другий закон термодинаміки. Кругові процеси (цикли).	2	0	2	8
6	Тема 6 Загальні умови термодинамічної рівноваги.	2	0	2	6
7	Тема 7 Реальний газ та його властивості. Водяна пара, її властивості та характеристики. Діаграми p-v, T-s та h-s водяної пари. Основні процеси зміни стану водяної пари.	2	2	2	8
8	Тема 8 Вологе повітря. Діаграма h-d вологого повітря. Процеси в діаграмі вологого повітря h-d.	2	2	2	6
9	Тема 9 Течія газів та пари. Рівняння першого закону термодинаміки газового потоку. Дроселювання.	2		2	6
	Всього	24	8	24	64
	<b>Технічна термодинаміка 2</b>				

10	Тема 10 Газові цикли, компресор. Робота одноступеневого компресора. Ізотермічне, адіабатне та політропне стиснення.	6	2	4	10
11	Тема 11 Цикли двигунів внутрішнього згоряння	6	2	4	12
12	Тема 12 Цикли газотурбінних установок та реактивних двигунів	6	0	4	10
13	Тема 13 Цикли паросилових установок. Цикл Ренкіна. Методи підвищення ККД циклу Ренкіна. Термодинамічні засади теплофікації.	8	2	6	12
14	Тема 14 Зворотні цикли: цикли холодильних машин та теплових насосів	6	2	6	12
	Всього	32	8	24	56
	<b>Всього по дисципліні</b>	<b>56</b>	<b>16</b>	<b>48</b>	<b>120</b>

### Критерії оцінювання та засоби діагностики

Мінімальний та максимальний рівень оцінювання щодо "іспиту" (перша частина) та "заліку" (друга частина) за навчальною дисципліною "Технічна термодинаміка" складає 60 і 100 балів і може бути досягнений наступними засобами оцінювання:

Засоби оцінювання		Мінімальна кількість балів	Максимальна кількість балів
Вид контролю	Кількість у семестрі		
Контроль знань:			
- Поточний контроль знань (стандартизовані тести), або	2	2×10	2×20
- Підсумковий (семестровий) контроль знань	1		
- Виконання контрольної роботи	1	10	20
Залік	1	30	40
<b>Разом</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

З дисципліни передбачено виконання курсової роботи та розрахунково-графічної роботи.

Розрахунково-графічна робота складається з трьох окремих завдань та охоплює усі базові теми дисципліни «Технічна термодинаміка»:

- рівняння стану ідеальних газів;
- основні термодинамічні процеси ідеальних газів;
- основні термодинамічні процеси реальних газів (на прикладі водяної пари).

Курсова робота складається з завдання, що охоплює тему аналізу термодинамічних циклів та присвячено визначення основних параметрів холодильного циклу (теплого насосу) та реальної парокompресійної холодильної машини (теплого насосу).

Розрахунково-графічної робота складається з розрахункової та графічної

частини і виконується у вигляді пояснювальної записки (формат А-4), або в окремому стандартному зошиті у клітинку. Графічна частина включає одну діаграму ( $h-s$  для води та водяної пари) з нанесеними олівцем зображеннями процесів (у відповідності до завдання).

Курсової роботи складається з розрахункової та графічної частини і виконується у вигляді пояснювальної записки (формат А-4). Графічна частина включає одну діаграму ( $p-h$  для холодоагенту) з нанесеними олівцем зображеннями процесів (у відповідності до завдання).

Методичні рекомендації до виконання курсової роботи та розрахунково-графічної роботи наведено в [5]. Для виконання завдання розроблено 10 варіантів вхідних даних.

Два рази за семестр проводяться експрес контроль знань – **стандартизовані тести** (20 тестових питань). Приклад тестових питань:

1. Ізопроцес ідеального газу, що відбувається при  $pv = const$  називається:

а) ізотермічний; б) ізохорний; в) ізобарний; г) адіабатний; д) політропний.

2. Манометр парового котла показує тиск 2,5 бар. Температуру сухого насиченого пара в котлі дорівнює.

а) 167 °С; б) 100 °С; в) 128 °С; г) 139 °С; д) 156 °С.

3. Холодильний коефіцієнт обратного цикла рассчитывается по формуле ( $q_1$  – количество отведенного из цикла тепла;  $q_2$  – количество подведенного в цикле тепла;  $l_0$  – затраченная работа):

а)  $\frac{q_1}{l_0}$ ; б)  $\frac{l_0}{q_1}$ ; в)  $\frac{q_2}{l_0}$ ; г)  $\frac{q_2}{q_1}$ ; д)  $\frac{q_2}{q_1}$ ; е)  $\frac{q_1}{q_2}$ .

**Підсумковий контроль знань** проводиться для студентів, що не змогли з будь яких причин набрати необхідну кількість балів, або для студентів, що бажають збільшити вже набрану кількість балів. Підсумковий контроль знань здійснюється у вигляді усної бесіди з викладачем.

**Іспита та залік** проводиться в усній формі, по білетах встановленого зразку. В кожному білеті наведені три питання

### Питання до іспиту

1. Поняття робоче тіло у термодинаміці.
2. Поняття термодинамічні параметри.
3. Головні термодинамічні параметри, що характеризують стан робочого тіла.
4. Абсолютний, надлишковий та атмосферний тиск, зв'язок між ними.
5. Що називають станом термодинамічної рівноваги? Наведіть приклади рівноважного та нерівноважного станів.
6. Поняття термодинамічного процесу?
7. Рівноважний та нерівноважний термодинамічний процес.
8. Поняття оборотний та необоротний процес.
9. Поняття ідеальний та реальний газ.
10. Рівняння стану ідеального газу.

11. Поняття рівняння стану. Як записується рівняння стану у загальному вигляді?
12. Поняття робота та теплота у термодинаміці.
13. Формули для обчислення елементарна та повна робота зміни об'єму?
14. Першого закон термодинаміки.
15. Поняття внутрішньої енергії тіла.
16. Поняття середньої та дійсної теплоємності.
17. Поняття ізохорної теплоємності.
18. Поняття ізобарної теплоємності.
19. Зв'язок між ізохорною та ізобарною теплоємностями для реального та ідеального газів.
20. Поняття ентальпії. Від яких параметрів стану залежать внутрішня енергія та ентальпія ідеального газу, за якими формулами вони визначаються.
21. Графіки ізохорного процесу в діаграмах  $p-v$  та  $t-s$ , зміни внутрішньої енергії, роботи та теплоти процесу.
22. Графіки ізобарного процесу в діаграмах  $p-v$  та  $t-s$ , зміни внутрішньої енергії, роботи та теплоти процесу.
23. Графіки ізотермічного процесу в діаграмах  $p-v$  та  $t-s$ , зміни внутрішньої енергії, роботи та теплоти процесу.
24. Зміни внутрішньої енергії, роботи та теплоти в адіабатному процесі з ідеальним газом.
25. Зміни внутрішньої енергії, роботи та теплоти в політропному процесі з ідеальним газом.
26. Формули для визначення робота та теплота у політропному процесі.
27. Другий закон термодинаміки
28. Поняття теплової двигун.
29. Поняття термічного ККД теплового двигуна.
30. Цикл Карно.
31. Поняття ентропія.
32. Визначення зміни ентропії для оборотних процесів із ідеальними газами?
33. Які зміни відбуваються з ентропією у необоротних процесах?
34. Запис другого закону термодинаміки для оборотних та незворотних процесів.
35. Поняття термодинамічної шкали температур.
36. Загальні умови термодинамічного рівноваги. Термодинамічні потенціали.
37. Рівняння Ван-дер-Ваальса. За яких умов це рівняння перетворюється у рівняння стану ідеального газу Клапейрона-Менделєєва?
38. Поняття насиченої пари речовини.
39. Поняття вологої насиченої пари.
40. Поняття перегрітої пари та ступеня перегріву.
41. Поняття нижня та верхня пригранична криві на термодинамічній діаграмі речовини.
42. Поняття ступеня сухості та ступеня вологості речовини.

43. Поняття критична точка. Термодинамічні параметри речовини у критичній точці.
44. Формула для визначення ентальпії вологої пари.
45. Сутність графічного методу розрахунку процесів з парою за допомогою діаграми h-s.

### **Питання та заліку**

46. Цикл двигуна внутрішнього згоряння з ізохорним підведенням теплоти.
  47. Цикл двигуна внутрішнього згоряння з ізохорним підведенням теплоти.
  49. Цикл двигуна внутрішнього згоряння зі змішаним підведенням теплоти.
  50. Цикли газотурбінних установок.
  51. Цикл Карно у області вологій парі та його недоліки.
  52. Прямий цикл Ренкіна. Корисна робота, термічний ККД циклу Ренкіна.
  53. Вплив параметрів на термічний ККД циклу Ренкіна.
  54. Паросілові установки з вторинним перегрівом пари.
  55. Дійсний цикл паро-силових установок з незворотним розширенням пари.
- Коефіцієнти корисної дії.
56. Зворотній цикл Ренкіна (холодильна машина).
  57. Холодильний коефіцієнт та коефіцієнт перетворення зворотнього циклу Ренкіна.

### **Інформаційне забезпечення**

1. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. Підручник. Київ: Техніка, 2001. 320 с.
2. Мінаковський В.М., Соломаха А.С. Технічна термодинаміка. Приклади, задачі та типові розрахунки. Частина перша. Навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського, 2017. 172 с.
3. Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В. та ін. Теплотехніка Підручник. 2-е вид., перероб. і доп. Київ: Фірма «ІНККОС», 2005. 400 с.
4. RefProp: Reference fluid thermodynamic and transport properties, NIST standard reference database. Version 9.1 mini (teaching tool for the introduction of thermodynamics to students). <https://refprop-mini.software.informer.com/9.1/>
5. Хлієва О.Я. Термодинаміка: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи. Одеса ОДАБА. 2022. 52 с.

### **Допоміжні джерела інформації**

1. Stephan P., Kabelac S., Kind M., Martin H., Mewes D., Schaber K. VDI Heat Atlas, Springer, 2010. 1585 p.
2. ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineering, Inc. Atlanta: ASHRAE. 2017. 1013 p.
3. Пеньков В.І. Технічна термодинаміка Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 209 с.