



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 25**  
**Навчальна дисципліна - Теплофізика**

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	4 кредитів ECTS (120 академічних годин)	
Види аудиторних занять	Лекції, практичні заняття	
Індивідуальні та (або) групові завдання	Курсова робота	
Форми семестрового контролю	іспит	

**Викладач:**

Хлієва Ольга Яківна, д.т.н., професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції,  
[khlyev@ukr.net](mailto:khlyev@ukr.net)

В процесі вивчення даної дисципліни студент отримує знання про теплофізичні властивості різних речовин та матеріалів, а також про взаємозв'язок між теплофізичними властивостями та характеристиками теплоенергетичних процесів, у яких застосовуються розглянуті речовини та матеріали.

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

- Вища математика;
- Фізика;
- Термодинаміка;
- Технічна механіка рідини та газу.

**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.
- 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.
- ПРН7.** Розробляти і проектувати складні вироби в теплоенергетичній галузі, процеси і системи, що задовольняють встановлені вимоги, які можуть включати обізнаність про технічні й нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти.
- ПРН9.** Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.
- 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.
- ПРН14.** Мати навички розв'язання складних задач і практичних проблем, що передбачають реалізацію інженерних проектів і проведення досліджень відповідно до спеціалізації.
- ПРН17.** Аргументувати і доносити судження, які відбивають інженерні рішення в сфері теплоенергетики та відповідні соціальні, екологічні та етичні проблеми до фахівців і нефахівців.
- ПРН18.** Вміти керувати професійною діяльністю, участі у роботі над проектами, відповідальності за прийняття рішень у сфері теплоенергетики

### **Диференційовані результати навчання:**

#### **знати:**

- класифікацію теплофізичних властивостей твердих, рідких та газоподібних речовин та їх сумішей, їх зв'язок зі структурою речовини і взаємодією молекул;
- залежність теплофізичних властивостей речовин від параметрів стану, складу сумішей, внутрішньої структури; взаємозв'язок теплофізичних властивостей речовин й матеріалів та параметрів процесів й характеристик теплоенергетичного обладнання у якому вони використовуються;
- методи розрахунку теплофізичних властивостей речовин та матеріалів, а також їх сумішей;
- методи вимірювання теплофізичних властивостей, прибори та схемні рішення експериментальних установок.

#### **вміти:**

- проводити літературний пошук експериментальної довідникової інформації з теплофізичних властивостей речовин та матеріалів;
- проводити розрахунки термодинамічних властивостей речовин та матеріалів на основі фундаментальних і інших рівнянь стану речовин;
- проводити прогностичні розрахунки теплофізичних властивостей при мінімумі вхідної інформації про властивості речовини та матеріалів, використовуючи сучасні узагальнені методи і можливості обчислювальної техніки;
- проводити обґрунтований вибір методики експериментального вимірювання теплофізичних властивостей речовин та матеріалів з урахуванням їх агрегатного стану, складу, структури.

**володіти:**

- термінологією в галузі теплофізики;
- навичками пошуку інформації про теплофізичні властивості речовин, матеріалів та їх сумішей, методики їх розрахунку;
- навичкам використання сучасного комп'ютерного програмного забезпечення для визначення теплофізичні властивості речовин.

### ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

		Кількість годин		
		лекції	практичні	самостійна
1.1	Тема 1. Класифікація теплофізичних властивостей речовин: термодинамічні, калоричні, транспортні, поверхневі, електрофізичні властивості речовин. Чисті речовини, суміші речовин, розчини.	2	2	5
1.2	Тема 2. Методи розрахунку теплофізичних властивостей. Класифікація методів розрахунку. Методи, засновані на фундаментальних рівняннях стану речовини. Методи, засновані на емпіричних рівняннях. Методи теорії подібності. Способи представлення інформації з теплофізичних властивостей речовин	4	2	5
1.3	Тема 3. Рівняння стану чистих речовин. Термодинамічні властивості ідеального газу. Віріальне рівняння. Фундаментальні багатоконстантні рівняння стану. Термодинамічні властивості. Функції відхилення від ідеального стану. Діаграми стану чистих речовин і сумішей. Комбінаційні правила для сумішей.	2	2	5
1.4	Тема 4. Властивості переносу. Поняття в'язкості. Методи розрахунку в'язкості в рідкій і газовій фазах. Методи розрахунку в'язкості сумішей. Теплопровідність. Методи розрахунку теплопровідності газів і рідин. Методи розрахунку теплопровідності сумішей.	2	2	5
1.5	Тема 5. Аналіз впливу параметрів стану на теплофізичні властивості рідин та газів, а також на параметри гідродинамічних процесів та процесів теплообміну за участю цих рідин та газів	2	2	20

		Кількість годин		
		лекції	практичні	самостійна
1.6	Тема 6. Вимірювання температури, рідинні термометри розширення, термоелектричні термометри, електричні термометри опору, безконтактне вимірювання температур, похибки вимірювання температури	2	2	4
1.7	Тема 7. Вимірювання тиску та різниці тиску, фізичні основи первинних перетворювачів тиску, методи вимірювання тиску та методичні похибки. Вимірювання витрати газу та рідини.	2	2	4
1.8	Тема 8. Методи вимірювання вологості твердих тіл і сипких речовин. Аналіз складу газу та рідини.	2	2	3
1.9	Тема 9. Методи експериментального дослідження фазових рівноваг (тиску насиченої пари, температури плавлення, фазові рівноваги в розчинах). Методи експериментального дослідження калоричних властивостей речовин (теплоємність та параметри фазових переходів)	4	2	4
1.10	Тема 10. Методи експериментального дослідження термічних властивостей речовин (густина речовин у широкому інтервалі параметрів стану)	4	2	3
1.11	Тема 11. Методи експериментального дослідження в'язкості речовин (типи візкозіметрів)	2	2	3
1.12	Тема 12. Методи експериментального дослідження теплопровідності речовин (стаціонарні та нестаціонарні методи вимірювання теплопровідності), пористих, волокнистих матеріалів	4	2	3
	Всього	32	24	64

## Критерії оцінювання та засоби діагностики

Мінімальний та максимальний рівень оцінювання щодо "іспиту" за навчальною дисципліною "Теплофізика" 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)	2	20	30
- виконання розрахунково-графічної роботи	1	10	30
Підсумковий (семестровий) контроль знань - іспит	1	30	40
<b>Разом</b>		<b>60</b>	<b>100</b>

З дисципліни передбачено виконання **курсної роботи**.

Робота складається з двох частин: розрахункової та графічної і виконується у вигляді пояснювальної записки та графічної частини (формат А-3 схема з позначеннями, А-3 гідравлічні характеристики мережі).

За індивідуальним завданням в розрахунковій частині необхідно виконати гідравлічний розрахунок контуру циркуляції теплоносія (схема та параметри задані: насос - трубопроводи - місцеві гідравлічні опори - теплообмінник), побудувати гідравлічні характеристики мережі, підібрати насос (з заданих викладачем та наведених у методичних рекомендаціях), визначити витрату теплоносія, визначити температуру теплоносія на виході з теплообмінника (теплоносій рухається по трубному простору, коефіцієнт тепловіддачі та температура у затрубному просторі задані). В якості теплоносія задається водний розчин певної речовини та певної концентрації. Розрахунок виконується для двох температурних режимів (відповідно завданню). Після розрахунків виконати аналіз впливу температурного режиму на теплофізичні властивості теплоносія, на гідравлічні втрати, подачу насоса та інтенсивність процесу тепловіддачі при його течії.

Розроблено 15 варіантів завдань. Методичні рекомендації щодо виконання курсової роботи [6].

### Перелік засобів оцінювання курсової роботи

Засоби оцінювання	Максимальна кількість балів
Активність роботи над курсовим проектом	30
Якість графічної частини	30
Захист курсового проекту	40

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

1. Термічними параметрами стану речовини називають (декілька відповідей)

а) абсолютний тиск; б) абсолютна температура; в) питомий об'єм; г) питома ізобарна теплоємність; д) питома ентальпія; е) питома ентропія; ж) густина; з) питома ізохорна теплоємність

3. Крива на термодинамічних діаграмах стану речовин, яка характеризує стан рідини, нагрітої до температури насичення, та відповідна ступень сухості, має назву:

- а) верхня погранична, ступень сухості  $x=1$ ;  
 б) нижня погранична, ступень сухості  $x=1$ ;  
 в) верхня погранична, ступень сухості  $x=0$ ;  
 г) нижня погранична, ступень сухості  $x=0$

3. Вказати одиниці вимірювання величин

Величина	Одиниця вимірювання
1) Густина	а) К
2) Тепловий потік	б) Вт
3) Температурний напор	в) кг/с
4) Масова питома теплоємність	г) $\text{м}^3/\text{с}$
5) Об'ємна питома теплоємність	д) $\text{кг}/\text{м}^3$
6) Масова витрата	е) $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
7) Об'ємна витрата	ж) $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{К})$

4. Вказати кількість величин, які потрібно знати для характеристики стану робочого тіла

Робоче тіло	Кількість величин
1) Вода, яка кипить	а) Одна
2) Суха насичена пара	б) Дві
3) Волога водяна пара	в) Три
4) Перегріта водяна пара	

5. Вказати одиниці вимірювання величин

Величина	Одиниця вимірювання
1) Кінематична в'язкість	а) безрозмірна величина
2) Коефіцієнт дифузії	б) $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$
3) Коефіцієнт теплопровідності	в) $\text{м}^2/\text{с}$
4) Коефіцієнт температуропровідності	
5) Число Прандтля	

**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.

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

#### **Питання до іспиту**

1. Поняття чиста речовина, суміш, розчин.
2. Поняття термодинамічні параметри.
3. Головні термодинамічні параметри, що характеризують стан робочого тіла.
4. Термодинамічні властивості речовин та властивості переносу.
5. Абсолютний, надлишковий та атмосферний тиск, зв'язок між ними.
6. Температура, абсолютна температура, шкали температур.
7. Що називають станом термодинамічної рівноваги? Наведіть приклади рівноважного та нерівноважного станів.
8. Поняття ідеальний та реальний газ.
9. Рівняння стану ідеального газу.
10. Поняття середньої та дійсної теплоємності.
11. Калоричні властивості реальних газів.
12. Поняття термодинамічної шкали температур.
13. Рівняння Ван-дер-Ваальса. За яких умов це рівняння перетворюється у рівняння стану ідеального газу Клапейрона-Менделєєва?
14. Поняття насиченої пари речовини, вологої насиченої пари, перегрітої пари та ступеня перегріву.
15. Поняття нижня та верхня пригранична криві на термодинамічній діаграмі речовини.
16. Поняття ступеня сухості та ступеня вологості речовини.
17. Поняття критична точка. Термодинамічні параметри речовини у критичній точці.
18. Методи розрахунку теплофізичних властивостей. Класифікація методів розрахунку.
19. Методи розрахунку теплофізичних властивостей, засновані на фундаментальних рівняннях стану речовини.
20. Методи розрахунку теплофізичних властивостей, засновані на емпіричних рівняннях.
21. Способи представлення інформації з теплофізичних властивостей речовин.
22. Властивості переносу.
23. Поняття в'язкості. Методи розрахунку в'язкості в рідкій і газовій фазах.
24. Методи розрахунку в'язкості сумішей.
25. Теплопровідність. Методи розрахунку теплопровідності газів і рідин.
26. Методи розрахунку теплопровідності сумішей.
27. Аналіз впливу зміни температури рідини на її теплофізичні властивості.
28. Аналіз впливу зміни температури газу на його теплофізичні властивості.
29. Аналіз впливу зміни температури рідини на її теплофізичні властивості та параметри гідродинамічних процесів

30. Аналіз впливу зміни температури рідини на її теплофізичні властивості та параметри процесів теплообміну
31. Методи вимірювання вологості твердих тіл і сипких речовин.
32. Аналіз складу газу та рідини.
33. Методи експериментального дослідження термічних властивостей речовин (густина речовин у широкому інтервалі параметрів стану)
34. Методи експериментального дослідження в'язкості речовин (типи візкозіметрів)
35. Вимірювання витрати газу та рідини.
36. Вимірювання температури за допомогою термопар.
37. Термометри розширення: дилатометричні термометри. Біметалічні термометри.
38. Особливості вимірювання температур безконтактним способом.
39. Рідинні термометри.
40. Вимірювання тиску за допомогою мембранних та сильфонних манометрів.
41. Вимірювання втрати рідин, газів та пари за перепадом тиску у звужуючому пристрою.
42. Безконтактні методи вимірювання витрат. Електромагнітні витратоміри з перемінним магнітним полем.
43. Класифікація пружинних манометрів. Манометри з трубчатими пружинами. Область використання.
44. Тахометричні витратоміри.
45. Мембранні манометри для дистанційної передачі показань.
46. Величина і закономірності зміни теплопровідності газів, рідин, твердих тіл.
47. Дослідження теплопровідності - метод плаского шару.
48. Визначення теплопровідності методом циліндра.
49. Визначення теплопровідності за допомогою регулярного режиму.
50. Метод регулярного режиму. Установка  $\alpha$ -калориметр. Установка  $\lambda$ -калориметр.
51. Визначення теплопровідності методом миттєвого джерела теплоти.
52. Особливості дослідження теплопровідності рідин та газів.
53. Визначення теплопровідності за методом нагрітої ниті.



## Інформаційне забезпечення

### Основна література

1. Железний В. П., Геллер В.З., Семенюк Ю.В. Експериментальна теплофізика. Методи дослідження теплофізичних властивостей речовин. Феникс. 2016. 320 с.
2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. Підручник. Київ: Техніка, 2001. 320 с.
3. 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.
4. Курилов А. Ф. Теплотехнічні вимірювання і прилади: навч. посіб. / А. Ф. Курилов, В. М. Козін. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.
5. Денісов А. К. Теплотехнічні вимірювання та прилади: навчальний посібник / А. К. Денісов, С. А. Денісов. – Рівне : НУВГП, 2013. – 184 с.
6. Хлісва О.Я. Теплофізика: методичні вказівки до виконання курсової роботи. Одеса ОДАБА. 2022. 42 с.
7. 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/>

### 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.