Національна академія наук України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

_____

“____” _____ 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНА
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ ІМ.А.М.ПІДГОРНОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ №03534570

Робоча програма навчальної дисципліни

Термодинаміка енергетичних систем

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Термодинаміка енергетичних систем» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Теплоенергетика» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика).

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Зіпунніков Микола Миколайович, к.т.н., старший дослідник, старший науковий співробітник

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 25 вересня 2025 року, протокол № 9.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні.

Протокол № 4 від 22.09.2025 р.

В.о. завідувача відділу

_____ Орлова Н. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою «Енергомашинобудування. Теплова та відновлювальна енергетика. Екологія».

Протокол № 6 від 25.09.2025 р.

Заступник голови НТПР _____

_____ Костіков А. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння концептуально-методологічної бази виконання термодинамічного аналізу процесів енергоперетворення в енергетичних установках та оцінки ефективності трансформації теплоти в ідеальних та реальних термодинамічних циклах.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

Компетентності загальні

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК3. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

Компетентності фахові

ФК1. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямах.

ФК3. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті з теплоенергетики.

ФК4. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

ФК5. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

ФК7. Здатність застосовувати сучасні методи і програмні засоби для розв'язання задач тепломасообміну і термодинаміки в об'єктах отримання, перетворення та споживання теплової енергії.

ФК8. Здатність проводити обчислювальні експерименти з обробкою розрахункових даних, аналізувати та інтерпретувати теплофізичні дані, які отримано розрахунковим та/або експериментальним шляхом.

Програмні результати навчання

ПРН1. Мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН5. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН8. Створювати методичне забезпечення, організовувати та проводити викладання професійно-орієнтованих дисциплін теплоенергетики на рівні, що відповідає вимогам вищої школи.

Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова освітня компонента	
Кількість кредитів	3
Рік підготовки	1-й
Семестр	2-й
Загальна кількість годин	90
Лекції	22 год.
Практичні, семінарські заняття	8 год.
Індивідуальні заняття	год.
Самостійна робота	60 год.
Вид підсумкового контролю	екзамен

2. Зв'язок з іншими освітніми компонентами

Освітні компоненти, що передують вивченню:
ОК6. Тепломасообмін в енергетичному обладнанні.
ОК7. Сучасні засоби комп'ютерного моделювання в енергетиці.
Освітні компоненти, які розвивають результати навчання за цією дисципліною: немає.

3. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу студенти повинні:

Знати: основні положення термодинамічного аналізу процесів енергоперетворення в енергетичних установках та оцінки ефективності трансформації теплоти в ідеальних та реальних термодинамічних циклах.

Вміти: реалізовувати можливості термодинамічних процесів за допомогою розрахунково-теоретичного апарату, який ґрунтується на основних постулатах термодинаміки.

Розуміти: основні закони і принципи термодинаміки при аналізуванні основних процесів енергоперетворення в енергетичних установках.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні поняття термодинаміки енергетичних систем.

Тема 1. Основні поняття та визначення

Термодинамічна система. Термодинамічний процес. Робоче тіло. Ентропія. Ентальпія. Ексергія. Гази ідеальні та реальні. Параметри стану. Закони ідеальних газів. Рівняння стану ідеального газу.

Тема 2. Суміші ідеальних газів

Парціальний тиск, об'єм компонентів та уявна молекулярна маса суміші газів. Теплоємність газів.

Розділ 2. Перший закон термодинаміки.

Тема 1. Рівняння першого закону термодинаміки.

Перший закон термодинаміки. Калоричні параметри. Енергетичні характеристики процесу.

Тема 2. Термодинамічні процеси ідеального газу

Ізобарний, ізохорний, ізотермічний, адіабатний та політропний процеси ідеальних газів. Визначення показника політропи.

Тема 3. Перший закон термодинаміки для потоку газу

Рівняння першого закону термодинаміки для потоку газу. Стиснення газів. Робота стиску у компресорі. Потужність компресора. Багатоступеневе стиснення.

Розділ 3. Другий закон термодинаміки.

Тема 1. Термодинамічні цикли та їх характеристики.

Термодинамічний ККД і холодильний коефіцієнт. Цикл Карно. Теплові характеристики термодинамічних процесів.

Тема 2. Ентропія та ексергія

Математичне формулювання другого закону термодинаміки. Ентропія та термодинамічна вірогідність. Максимальна робота. Ексергія.

Тема 3. Диференційні рівняння термодинаміки

Диференційні рівняння термодинаміки. Рівновага термодинамічних систем.

Розділ 4. Термодинамічні цикли енергетичних установок

Тема 1. Термодинамічні цикли двигунів внутрішнього згоряння та газотурбінних установок

Цикли двигунів внутрішнього згоряння з підведенням теплоти при постійному об'ємі, тиску та зі змішаним циклом. Цикли газотурбінних установок з підведенням теплоти при постійному тиску. Цикли газотурбінних установок з підведенням теплоти при постійному об'єму.

Тема 2. Реальні гази та водяна пара

Реальні гази. Водяна пара. Цикли паросилових установок. Паросиловий цикл з регенеративними нагрівачами.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього						
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
1	2	3	4	5		6	7
Розділ 1. Основні поняття термодинаміки енергетичних систем							
Тема 1. Основні поняття та визначення	9	2					7
Тема 2. Суміші ідеальних газів	11	2					9
Разом за розділом 1	**20**	**4**					**16**
Розділ 2. Перший закон термодинаміки							
Тема 1. Рівняння першого закону термодинаміки	9	2	2				5
Тема 2. Термодинамічні процеси ідеального газу	7	2					5
Тема 3. Перший закон термодинаміки для потоку газу	13	2	2				9
Разом за розділом 2	**29**	**6**	**4**				**19**
Розділ 3. Другий закон термодинаміки							
Тема 1. Термодинамічні цикли та їх характеристики	5	2					3
Тема 2. Ентропія та ексергія	5	2					3
Тема 3. Диференційні рівняння термодинаміки	11	2					9
Разом за розділом 3	**21**	**6**					**15**
Розділ 4. Термодинамічні цикли енергетичних установок							
Тема 1. Термодинамічні цикли двигунів внутрішнього згоряння та газотурбінних установок	11	2	4				5
Тема 2. Реальні гази та водяна пара	9	4					5
Разом за розділом 4	**20**	**6**	**4**				**12**
Усього годин	**90**	**22**	**8**				**60**

6. Самостійна робота

Метою самостійної роботи є навчитися користуватися навчально-методичними матеріалами, бібліотечними фондами, базами даних наукової літератури і інформаційними джерелами і іншими інформаційними джерелами, складати конспекти, аналізувати матеріал, порівнювати різні наукові концепції та робити висновки. Види самостійної роботи студента: опрацювання лекційного матеріалу; опрацювання тем курсу, які виносяться на самостійне

вивчення; виконання завдань для самостійної роботи, відвідування консультацій; підготовка до підсумкового контролю.

Теми для самостійного вивчення

№ з/п	Зміст роботи	Кількість годин
1	Термодинамічні параметри робочих тіл	4
2	Дослідження політропних процесів	6
3	Внутрішня енергія системи	2
4	Ентропія	2
5	Ентропія адіабатних процесів	6
6	Основні термодинамічні параметри водяної пари	4
7	Диференціальні співвідношення для теплоємностей. Термічні коефіцієнти	4
8	Визначення термічного ККД циклу через середньоінтегральні температури	2
	Разом	30

Завдання для самостійної роботи

1. При яких умовах витікання газу можна вважати адіабатним процесом?
2. Опішить ідеальний термодинамічний цикл з підводом теплоти при постійному тиску і зрівняйте його з ідеальним термодинамічним циклом з підводом теплоти при постійному об’ємі.
3. Зробіть опис ідеального термодинамічного циклу з підводом теплоти при постійному об’ємі, виведіть рівняння для термічного ККД і дайте йому аналіз.
4. Дайте опис ідеальному термодинамічному циклу з підводом теплоти, виведіть рівняння для термічного ККД, покажіть його на діаграмі T-s і дайте аналіз к. к. д. циклу.
5. Що відбувається з парою при її дроселюванні?
6. Як здійснюється процес у ДВЗ при постійному тиску та які засоби подачі палива використовують?

* за бажанням здобувача він може сам скласти перелік завдань для самостійної роботи, адаптувавши їх під своє наукове дослідження, за умови узгодження переліку і змісту завдань з викладачем і науковим керівником

Індивідуальні завдання

1. Знаходження температурного стану потрійної точки водню.
2. Вибір термодинамічних параметрів при замерзанні 1 моль переохолодженої води.
3. Визначення середньої кінетичної енергії молекул.
4. Тепловий розрахунок генератора-сорбера при сорбції та десорбції водню.
5. Аналіз роботи двигуна, що працює по циклу ідеальної теплової машини.

* за бажанням здобувача він може сам запропоновувати тему і зміст індивідуального завдання, виходячи із змісту навчальної дисципліни і тематики свого наукового дослідження, за умови узгодження їх з викладачем і науковим керівником

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни застосовуються словесні, наочні та практичні методи навчання. Словесні та наочні методи навчання використовуються під час лекцій, самостійної роботи, консультацій, практичні – при здійсненні студентами самостійної роботи. Під час проведення лекцій використовуються такі словесні методи як розповідь і пояснення. До числа наочних методів, які застосовуються при викладанні дисципліни, належать: ілюстрація, демонстрація, робота із програмними продуктами для розв’язання задач з термодинаміки.

8. Методи контролю

Поточний контроль теоретичних знань, що отримані здобувачем вищої освіти ступеня доктора філософії здійснюється методом усного опитування. На індивідуальних заняттях оцінюється здатність здобувача вищої освіти приймати участь у науковій дискусії. Підсумкова семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота						Разом	Екзамен	Сума
Розділ 1			Розділ 2					
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5		100	–	100
20	20	20	20	20				

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

Бали поточного контролю за кожною темою складаються з оцінювання відповідей під час усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу (1 – розуміння окремих положень, 2 – розуміння окремих математичних методів, 3 – досконале засвоєння математичних методів, 4 – вміння адаптувати засвоєні методи для розв'язання комплексних задач теплообміну), оцінювання ступені опрацювання матеріалу тем для самостійного вивчення (1 – часткове розуміння матеріалу, 2 – досконале розуміння матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – вміння вибрати математичний метод для розв'язання поставленої задачі; 2 – розробка методики розв'язання поставленої задачі, 3 – часткове застосування розробленої методики; 4 – повне застосування методики з отриманням частково помилкових результатів, 5 – вирішення поставленої задачі в цілому, 6 – повне вирішення поставленої задачі з творчим аналізом отриманих результатів)

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50–100	Зараховано
1–49	не зараховано

10. Рекомендоване методичне забезпечення

Конспект лекцій.

Перелік завдань і методичні матеріали для самостійної роботи.

Основна література

1. Андреєв В.О., Пінкевич І.П. Термодинаміка та статистична фізика. Конспект лекцій. Частина 1. - Київ, 2023. – 82 с.

2. Дудик М.В. Термодинаміка і статистична фізика (курс лекцій): навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізико-математичних спеціальностей. – Умань: ПП «Жовтий», 2015. – 132 с.

3. Роїк О.С., Усенко Н.І. Фізична хімія, термодинаміка та електрохімія. – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2022. – 308.

4. Вассерман, О. А. Технічна термодинаміка і теплообмін : підручник / О. А. Вассерман, О. Г. Слинько. - Одеса : Фенікс, 2019. - 496 с.

5. Чепурний М.М., Ткаченко С.Й. Основи технічної термодинаміки. – Вінниця: "Поділля-2000". – 2004. – 352 с.

Допоміжна література

6. Методи термодинамічного аналізу термомеханічних систем: основи теорії, приклади та завдання: навчальний посібник / В. М. Арсеньєв, С. О. Шарапов. – Суми: Сумський державний університет, 2022. – 322 с.

7. Термодинаміка та теплопередача. Навчальний посібник / М.А. Приходько, Г.Г. Герасимов. – Рівне: НУВГП, 2008. – 250 с.

8. Технічна термодинаміка; Підруч. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів / О.Ф. Буляндра. – К.: Техніка, 2001. – 320 с.

Інформаційні ресурси

1. Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни у сховищі Google Drive.
2. Мережа Internet.
3. Бібліотека ІЕМС НАН України.