

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова

ХЕРСОНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра теплотехніки

T7511



**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Заступник директора  
з навчальної роботи  
к.т.н., професор О.М. Дудченко

***РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ***

**Program of the Discipline**

**ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА**

**Technical Thermodynamics**

рівень вищої освіти      *перший (бакалаврський)*

тип дисципліни          *обов'язкова*

мова викладання        *українська*

Херсон – 2023

Робоча програма навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 13 «Механічна інженерія», спеціальності 135 «Суднобудування» освітньої програми «Суднові енергетичні установки та устаткування».

«25» серпня 2023 року – 34 с.

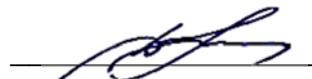
---

Розробники: Коновалов Д.В., д.т.н., професор кафедри теплотехніки  
Кобалава Г.О., к.т.н., доцент кафедри теплотехніки

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» узгоджено з гарантом освітньої програми

Гарант освітньої програми  
«Суднові енергетичні установки та устаткування»

к.т.н., доцент

 Д.О. Шалапко

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» розглянуто на засіданні кафедри теплотехніки

Протокол № 01 від «28» серпня 2023 р.


В.о. завідувача кафедри теплотехніки

 Г.О. Кобалава

Робоча програма навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» затверджена методичною радою ХННІ НУК

Протокол № 01 від «29» серпня 2023 р.

Голова МР ХННІ НУК

 О.М. Дудченко

© Коновалов Д.В., 2023

© Кобалава Г.О., 2023

© ХННІ НУК, 2023

## ЗМІСТ

Вступ	
1. Опис навчальної дисципліни.....	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни .....	6
3. Передумови для вивчення дисципліни.....	6
4. Очікувані результати навчання.....	7
5. Програма навчальної дисципліни.....	8
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування.....	21
7. Форми поточного та підсумкового контролю .....	22
8. Критерії оцінювання результатів навчання .....	27
9. Засоби навчання .....	28
10. Рекомендовані джерела інформації .....	28
Додатки.....	30

## ВСТУП

### Анотація

Дисципліною «Технічна термодинаміка» передбачено набуття студентами знань щодо положень і законів рівноважної термодинаміки, методів аналізу ефективності циклів теплових машин та холодильних установок, фізичної сутності гідродинамічних явищ, що відбуваються з рідинами і газами як енергоносіями енергетичного устаткування.

Програма навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» розрахована на студентів, які вивчили Хімію, Фізику та Вищу математику. Програма передбачає комплексне застосування набутих компетенцій для розв'язання прикладних задач та виконання інженерних розрахунків перетворення теплоти в прямих циклах теплових двигунів і оборотних циклах холодильних машин і установок; дослідження гідродинамічних характеристик процесів, які мають місце в енергетичних установках, системах, що їх забезпечують, і теплоенергетичному устаткуванні.

Дисципліна «Технічна термодинаміка» забезпечує застосування отриманих навичок при проектуванні та розрахунках теплових двигунів та холодильних машин, у тому числі і при розробці відповідних розділів атестаційної випускної роботи бакалавра.

**Ключові слова:** цикли теплових двигунів та холодильних машин, ентропія, водяна пара.

### Annotation

The discipline "Technical Thermodynamics" provides students with knowledge of the principles and laws of equilibrium thermodynamics, methods for analyzing the efficiency of heat engine cycles and refrigeration plants, and the physical nature of hydrodynamic phenomena that occur in liquids and gases as energy carriers in power equipment.

The course "Technical Thermodynamics" is intended for students who have a background in Chemistry, Physics, Mathematics, and Fluid Dynamics. The program emphasizes the integrated application of acquired skills to solve practical problems and perform engineering calculations related to the conversion of heat in direct cycles of heat engines and circulating cycles of refrigerating machines and plants. It also includes the study of hydrodynamic characteristics of processes in power plants, systems that provide heat, and power equipment.

"Technical Thermodynamics" is a multidisciplinary discipline that allows students to apply their skills in the design and calculation of heat engines and refrigeration machines. This includes the development of relevant sections in the bachelor's and graduate certification work.

**Key words:** Heat Engine and Refrigeration Machine Cycles, Entropy, Water Vapor.

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів: 7,0	<b>Галузь знань</b> 13 «Механічна інженерія»	Обов'язкова	
Модулів – 1		<b>Рік підготовки</b>	
Змістовних модулів – 3		2-й	2-й
Електронний адрес на сайті ХННІ НУК: <a href="http://kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/ship-power-plants-b.html">http://kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/ship-power-plants-b.html</a>	Спеціальність 135 «Суднобудування»  Освітня програма «Суднові енергетичні установки та устаткування»	<b>Семестр</b>	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: – курсова робота		4-й	4-й
		<b>Лекції</b>	
Загальна кількість годин: 210		60 годин	26 годин
		<b>Практичні роботи</b>	
		45 годин	8 годин
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 9; самостійної роботи здобувача – 5		<b>Лабораторні роботи</b>	
	30 годин	4 годин	
	<b>Самостійна робота</b>		
	75 годин	172 годин	
	<b>Індивідуальні завдання</b>		
	–	–	
<b>Вид контролю:</b> екзамен, курсова робота			
<b>Форма контролю:</b> комбінована (письмовий контроль, тестовий контроль)			

## **2. Мета вивчення навчальної дисципліни**

Метою вивчення навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» є формування у студентів згідно зі Стандартом вищої освіти України, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 04.10.2018 № 1073 таких компетентностей:

Інтегральна компетентність

– здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми у сфері суднобудування або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів механічної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності:

ЗК07. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

ЗК08. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності

СК01. Здатність розв'язувати широке коло проблем і задач суднобудівної галузі з використанням як теоретичних, так і експериментальних методів.

СК04. Здатність аналізувати ефективність проектних рішень, пов'язаних з розрахунками характеристик суднових енергетичних та електротехнічних установок, суден різних типів, морських плавучих споруд, засобів океанотехніки та інших об'єктів, які належать до сфери професійної діяльності (відповідно до спеціалізації).

СК08. Обізнаність з основними положеннями, методами, принципами фундаментальних та інженерних наук (математики, хімії, механіки твердого тіла, опору матеріалів, термодинаміки, теплофізики, електротехніки і електроніки, механіки рідини і газу) в обсязі, необхідному для досягнення інших результатів програми відповідно до спеціалізації.

СК11. Обізнаність з фізико-хімічними основами використання паливно-мастильних матеріалів та технічних рідин відповідно до освітньо-професійної програми.

СК12. Обізнаність з основними принципами роботи теплових двигунів відповідно до освітньо-професійної програми.

## **3. Передумови для вивчення дисципліни**

Передумовами для вивчення даної дисципліни є дисципліни: Хімія, Фізика та Вища математика.

#### 4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у здобувачів таких результатів навчання:

ПР01. Уміти передавати свої знання, рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і неспеціалістам в ясній і однозначній формі.

ПР09. Знати та розуміти предметну область, основні засади професійної діяльності.

ПР10. Уміти виконувати розрахунки характеристик, якостей, напружено-деформованого стану і оцінювати міцність суден різних типів, морських плавучих споруд, засобів океанотехніки, суднових конструкцій, енергетичних, електротехнічних установок, систем, пристроїв та інших об'єктів суднобудування, їх основних конструктивних елементів (відповідно до спеціалізації).

ПР12. Уміти користуватися довідковою та нормативною літературою, технологічною та конструкторською документацією для вирішення інженерних завдань, пов'язаних з професійною діяльністю.

ПР16. Розуміти основні принципи механічної інженерії (механіки твердого тіла, опору матеріалів, термодинаміки, теплофізики, механіки рідини і газу) відповідно до спеціалізації.

ПР20. Уміти поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань, що належать до сфери професійної діяльності.

## 5. Програма навчальної дисципліни

### Модуль 1.

#### Змістовний модуль 1. Термодинамічні властивості робочого тіла

**Тема 1.** Вступ. Мета і задачі курсу. Основні визначення. Предмет і метод технічної термодинаміки. Рекомендована література. Технічна термодинаміка як основа суднової енергетики. Термодинамічна система. Рівноважний, стаціонарний та не рівноважний стан. Термодинамічний процес. Час релаксації в реальному процесі. Параметри стану однорідного робочого тіла. Рівняння стану ідеального газу.

Джерела інформації: [1], с. 6-8; [2], с. 10-13; [3], с. 4-6; [4], с. 18-19.

**Тема 2.** Термодинамічні властивості робочих тіл. Термічні і калоричні параметри стану. Дослідження теплоємності газів. МКТ теплоємності речовин. Теплоємності  $c_p$  і  $c_v$ . Коефіцієнт Пуассона. Рівняння Майєра.

Джерела інформації: [1], с. 13-19; [2], с. 21-23; [3], с. 92-93.

**Тема 3.** Суміші газів в ідеально-газовому стані. Способи завдання складу суміші. Співвідношення між масовими, об'ємними, мольними частками. Газова стала та умовна молярна маса суміші. Парціальний тиск, парціальний об'єм компонентів суміші. Парціальна та приведена густина компонентів та їх зв'язок з густиною суміші. Теплоємність газових сумішей.

Джерела інформації: [2], с. 21-23; [4], с. 106-107.

**Тема 4.** І закон термодинаміки. Диференціальні рівняння та приклади їх використання. Тепло і робота як види передачі енергії. Закон збереження і перетворення енергії. Внутрішня енергія та зовнішня робота. Графічне відображення теплоти і роботи. Діаграми  $v$ - $p$  та  $s$ - $T$ , їх властивості. Ентальпія. Рівняння та формулювання 1-ого закону, приклади їх застосування.

Джерела інформації: [1], с. 13-20; [2], с. 29-34; [5], с. 24-28.

**Тема 5.** Політропний процес (загальний випадок). Рівняння процесу. Розрахунок зміни внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії. Поняття політропного процесу. Методика дослідження. Виведення рівняння політропи. Співвідношення між параметрами  $p$ ,  $V$ ,  $T$ . Розрахунок зміни внутрішньої енергії ентальпії і ентропії.

Джерела інформації: [1], с. 20-32; [3], с. 100-102.

**Тема 6.** Робота процесу, тепло процесу. Визначення показника політропи. Виведення формул роботи деформаційної та можливої. Розрахунок теплоти процесу (дослідження теплоємності політропного процесу). Способи визначення показника політропи.

Джерела інформації: [1], с. 189-195; [3], с. 24-27; [5], с. 15-24.



**Тема 7.** Сумісні діаграми. Групи політроп. Дослідження ізопроцесів. Сумісні діаграми  $p-v$  і  $T-S$  політропних процесів. Групи політроп. Графічне дослідження (розрахунків) політропних процесів.

Джерела інформації: [2], с. 51-56; [6], с. 34-35.

**Тема 8.** Загальні умови роботи теплових двигунів. Повні і неповні диференціали в термодинаміці. Джерела теплоти та умови роботи теплових двигунів і холодильних машин. Оборотні та необоротні кругові процеси (цикли) та їх ефективність.

Джерела інформації: [4], с. 152-155; [6], с. 81-91; [7], с. 82-86.

## **Змістовний модуль 2. Термодинамічні цикли газових двигунів**

**Тема 9.** Цикл Карно та його значення. Узагальнений цикл. Регенерація теплоти. Прямий (силовий) та зворотній (холодильний) цикли Карно. Їх ефективність. Узагальнений цикл Карно. Поняття про регенерацію теплоти.

Джерела інформації: [1], с. 32-45; [2], с. 79-83; [4], с. 233-237; [6], с. 221-225.

**Тема 10.** Формулювання та диференціальні рівняння II-го Закону. Вивід диференціальних рівнянь для оборотних та необоротних циклів.

Джерела інформації: [4], с. 343-344; [7], с. 82-86.

**Тема 11.** Поняття ексергії теплоти і роботи. Рівняння Гюї-Стодоли. Корисна робота, максимальна корисна робота (ексергія). Ексергія теплоти і роботи. Рівняння Гюї-Стодоли.

Джерела інформації: [1], с. 32-45; [3], с. 240-246.

**Тема 12.** Методи порівняння термодинамічної ефективності циклів. Методи порівняння ККД оборотних і необоротних циклів. Середня інтегральна температура та еквівалентний цикл Карно. Приклади порівняння циклів за середньоінтегральними температурами підводу та відводу теплоти. Метод коефіцієнтів корисної дії в аналізі необоротних циклів. Ексергетичний метод аналізу теплосилових установок.

Джерела інформації: [3], с. 249-253; [7], с. 99-100.

**Тема 13.** Основні поняття розділу. Цикл з підводом теплоти при  $v=\text{const}$ . Двотактні і чотиритактні двигуни. Індикаторна діаграма і теоретичний цикл. Метод дослідження. Послідовність розрахунку. Середній цикловий (індикаторний) тиск. Цикл ДВЗ із згорянням пального при сталому об'ємі.

Джерела інформації: [2], с. 98-103; [7], с. 229-235.

**Тема 14.** Цикл з підводом теплоти при  $p=\text{const}$  і з мішаним підводом теплоти. Цикл ДВЗ із згорянням пального при  $p=\text{const}$ . Цикл ДВЗ з мішаним

згорянням палива. Приклади порівняння циклів. Деякі економічні показники роботи.

Джерела інформації: [2], с. 108-113; [7], с. 235-240.

**Тема 15.** Дослідження роботи одноступеневого компресора Дійсна індикаторна діаграма і теоретичний цикл роботи одноступеневого компресора при ізотермічному, адіабатичному і політропному процесі стиснення. "Шкідливий" простір та його вплив на роботу компресора.

Джерела інформації: [3], с. 120-125; [7], с. 217-225.

**Тема 16.** Дослідження роботи багатоступеневого компресора. Економічні показники роботи. Багатоступеневе стиснення,  $v$ - $p$  і  $S$ - $T$  діаграми. Теплота охолодження компресора. Показники роботи реального компресора.

Джерела інформації: [7], с. 225-228.

**Тема 17.** Загальні визначення з теорії течії газів та пари. Течія газів і пари. Перший закон термодинаміки для газового потоку. Основні припущення. Швидкість звуку. Число Маха. Сопло і дифузор. Основні співвідношення.

Джерела інформації: [1], с. 64-76; [5], с. 865-866.

**Тема 18.** Закон обертання впливу. Закон обертання впливу: випадки теплового, механічного, витратного і геометричного сопел. Особливості руху газів у вертикальних каналах. Течія газів з тертям.

Джерела інформації: [3], с. 359-366; [4], с. 886-892.

**Тема 19.** Розрахунок геометричних сопел. Розрахунок геометричних сопел. Швидкість потоку та масова витрата. Вплив на витікання внутрішніх опорів. Параметри потоку при повному адіабатичному його гальмуванні. Джерела інформації: [4], с. 886-892; [7], с. 197-200.

**Тема 20.** Основні цикли ГТУ. Регенерація теплоти. Принципова схема, цикл і дослідження циклів з підвищенням теплоти при  $p=\text{const}$ , при  $v=\text{const}$ . Регенерація теплоти та її ефективність. Порівняння циклів.

Джерела інформації: [2], с. 139-141; [4], с. 661-665; [7], с. 241-243.

**Тема 21.** Складні цикли ГТУ, які працюють по замкненому циклі. Особливості роботи АГТУ. Цикли з багатоступеневим стисненням повітря і розширенням робочого тіла. Межовий випадок.

Джерела інформації: [4], с. 674-679; [7], с. 251-255.

### **Змістовний модуль 3. Термодинамічні цикли реального робочого тіла**

**Тема 22.** Термодинамічні властивості реальних газів. Діаграми стану. Термодинамічні властивості реальних газів. Коефіцієнт стисливості. Діаграми поведінки реальних газів. Критичні параметри речовини. Рівняння стану реальних

газів. Принцип відповідних станів (подібність термодинамічних властивостей речовин).

Джерела інформації: [2], с. 172-184; [7], с. 132-141.

**Тема 23.** Дослідження термодинамічних процесів з водяною парою. Водяна пара. Основні визначення. Діаграми стану. Таблиці теплофізичних властивостей води і водяної пари. Розрахунок процесів виробництва перегрітої пари. Дослідження ізобарного процесу. Дослідження термодинамічних ізопроцесів з водяною парою в діаграмах  $v$ - $p$ ,  $S$ - $T$  та  $i$ - $S$ . Дослідження вологих сумішей (на прикладі вологого повітря). Визначення. Можливі стани. Абсолютна і відносна вологість. Точка роси. Вологовміст. Основні співвідношення для вологого повітря. Процеси обробки вологого повітря.

Джерела інформації: [2], с. 327-339; [3], с. 483-486; [7], с. 141-154.

**Тема 24.** Цикл Карно та його значення. Цикл Карно. Можливості реалізації. Переваги і недоліки. Цикл Ренкіна та способи підвищення його ефективності. Цикл Ренкіна з насиченою парою. Цикл Ренкіна з перегрітою парою. Вплив параметрів пари на вході в турбіну і в конденсаторі. Цикл ПСУ з проміжним перегрівом пари. Реальні втрати в процесі розширення пари. Регенеративні цикли

Джерела інформації: [3], с. 171-173; [4], с. 543-557.

**Тема 25.** Теплофікація. Бінарні цикли. Термодинамічні основи теплофікації. Бінарні цикли: вимоги до робочих тіл; схема і цикл ртутно-водяної бінарної установки. Атомні ПСУ. Особливості роботи атомних паросилових установок.

Джерела інформації: [4], с. 584-601; [7], с. 283-286.

**Тема 26.** Парогазові установки. Парогазові установки зі змішанням робочих тіл. Парогазові установки з роздільними потоками газу і пари. Цикли з МГД-генератором. Принцип дії МГД-генератора. Комбіновані ПСУ с МГД-генератором. Схема, цикл і к.к.д. установки розімкнутого і замкнутого циклу. Перспективні методи перетворення теплоти в електричну енергію

Джерела інформації: [2], с. 263-268; [7], с. 286-290.

**Тема 27.** Способи зниження температури робочого тіла. Дроселювання реального і ідеального газів. Фізичні основи. Диференціальний та інтегральний дросель-ефект. Температура та криві інверсії. Дроселювання водяної пари. Адіабатне розширення з виробництвом роботи.

Джерела інформації: [7], с. 203-213.

**Тема 28.** Зворотній цикл Карно. Повітряна холодильна установка. Зворотний оборотний цикл Карно та його ефективність. Схема і цикл повітряної холодильної машини. Парокомпресорна холодильна установка. Схема і цикл парокомпресорної холодильної машини.

Джерела інформації: [4], с. 730-736; [7], с. 299-302.

**Тема 29.** Пароежекторна холодильна установка. Абсорбційна холодильна установка. Схема і цикл пароежекторної холодильної машини. Абсорбційна холодильна машина. Тепловий насос. Каскадні схеми роботи холодильних установок. Тепловий насос та ефективність його роботи.

Джерела інформації: [3], с. 385-386; [7], с. 308-312.

**Тема 30.** Охорона навколишнього середовища від роботи теплових установок. Види забруднень довкілля при роботі теплосилових установок. Засоби зниження шкідливих викидів. Методи боротьби за чистоту навколишнього середовища.

Джерела інформації: [2], с. 113-120.

### Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л.	лаб.	пр.	с.р.		л.	лаб.	пр.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Модуль 1</b>										
<b>Змістовний модуль 1. Термодинамічні властивості робочого тіла</b>										
<b>Тема 1.</b> Вступ. Мета і задачі курсу. Основні визначення. Предмет і метод технічної термодинаміки. Рекомендована література. Технічна термодинаміка як основа суднової енергетики.	2	2	–	–	–	5	–	–	–	5
<b>Тема 2.</b> Термодинамічні властивості робочих тіл Термічні і калоричні параметри стану. Дослідження теплоємності газів. МКТ теплоємності речовин. Теплоємності $c_p$ і $c_v$ . Коефіцієнт Пуассона. Рівняння Майєра	5	2	–	2	1	9	2	–	2	5
<b>Тема 3.</b> Суміш і газів в ідеально-газовому стані. Способи завдання складу суміші. Співвідношення між масовими, об'ємними, мольними частками. Газова стала та умовна молярна маса суміші Теплоємність газових сумішей.	7	2	2	2	1	7	2	–	–	5

<b>Тема 4.</b> І закон термодинаміки. Диференціальні рівняння та приклади їх використання. Графічне відображення теплоти і роботи. Діаграми $v$ - $p$ та $s$ - $T$ , їх властивості. Ентальпія. Рівняння та формулювання І-го закону, приклади їх застосування.	9	4	2	2	1	7	2	–	–	5
<b>Тема 5.</b> Політропний процес (загальний випадок). Рівняння процесу. Розрахунок зміни внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії. Поняття політропного процесу. Методика дослідження. Виведення рівняння політропи. Співвідношення між параметрами $p$ , $V$ , $T$ .	7	2	2	2	1	7	2	–	–	5
<b>Тема 6.</b> Робота процесу, теплота процесу. Визначення показника політропи. Виведення формул роботи деформаційної та можливої. Розрахунок теплоти процесу (дослідження теплоємності політропного процесу).	8	4	1	2	1	5	–	–	–	5
<b>Тема 7.</b> Сумісні діаграми. Групи політроп. Дослідження ізопроцесів. Сумісні діаграми $p$ - $v$ і $T$ - $S$ політропних процесів. Групи політроп.	5	2	1	2	–	7	2	–	–	5
<b>Тема 8.</b> Загальні умови роботи теплових двигунів. Повні і неповні диференціали в термодинаміці. Джерела теплоти та умови роботи теплових двигунів і холодильних машин.	7	2	2	3	–	3	–	–	–	3
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>10</b>	–	<b>2</b>	<b>38</b>

### Змістовний модуль 2. Термодинамічні цикли газових двигунів

<b>Тема 9.</b> Цикл Карно та його значення. Узагальнений цикл. Регенерація теплоти. Прямий (силовий) та зворотний (холодильний) цикли Карно. їх ефективність. Узагальнений цикл Карно.	5	2	–	2	1	4	2	–	–	2
<b>Тема 10.</b> Формулювання та диференціальні рівняння II закону. Формулювання та диференціальні рівняння II-го закону.	2	1	–	–	1	4	2	–	–	2
<b>Тема 11.</b> Поняття ексергії теплоти і роботи. Рівняння Гюї-Стодоли. Корисна робота, максимальна корисна робота (ексергія).	2	1	–	–	1	2	–	–	–	2
<b>Тема 12.</b> Методи порівняння термодинамічної ефективності циклів Методи порівняння ККД оборотних і необоротних циклів. Середня інтегральна температура та еквівалентний цикл Карно.	3	1	–	1	1	2	–	–	–	2
<b>Тема 13.</b> Основні поняття розділу. Цикл з підводом теплоти при $v=\text{const}$ Двотактні і чотиритактні двигуни. Індикаторна діаграма і теоретичний цикл. Середній цикловий (індикаторний) тиск. Цикл ДВЗ із згорянням пального при сталому об'ємі.	4	1	–	2	1	2	–	–	–	2
<b>Тема 14.</b> Цикл з підводом теплоти при $p=\text{const}$ і з мішаним підводом теплоти. Цикл ДВЗ із згорянням пального при $p=\text{const}$ . Цикл ДВЗ з мішаним згорянням палива.	4	1	2	1	–	6	2	–	2	2

<b>Тема 15.</b> Дослідження роботи одноступеневого компресора Дійсна індикаторна діаграма і теоретичний цикл роботи одноступеневого компресора при ізотермічному, адіабатичному і політропному процесі стиснення.	7	2	4	1	–	4	–	–	–	4
<b>Тема 16.</b> Дослідження роботи багатоступеневого компресора. Економічні показники роботи Багатоступеневе стиснення, $v$ - $p$ і $S$ - $T$ діаграми. Теплота охолодження компресора.	4	2	–	2	–	8	2	–	2	4
<b>Тема 17.</b> Загальні визначення з теорії течії газів та пари. Течія газів і пари. Перший закон термодинаміки для газового потоку.	3	1	2	–	–	2	–	–	–	2
<b>Тема 18.</b> Закон обертання впливу. Закон обертання впливу: випадки теплового, механічного, витратного і геометричного сопел.	4	2	–	2	–	2	–	–	–	2
<b>Тема 19.</b> Розрахунок геометричних сопел. Розрахунок геометричних сопел. Швидкість потоку та масова витрата. Вплив на витікання внутрішніх опорів. Параметри потоку при повному адіабатичному його гальмуванні.	6	2	2	2	–	6	–	2	–	4
<b>Тема 20.</b> Основні цикли ГТУ. Регенерація теплоти. Принципова схема, цикл і дослідження циклів з підвищенням теплоти при $p=\text{const}$ , при $v=\text{const}$	3	2	–	1	–	4	–	–	–	4



<b>Тема 21.</b> Складні цикли ГТУ, які працюють по замкнутому циклу. Особливості роботи АГТУ. Цикли з багатоступеневим стисненням повітря і розширенням робочого тіла.	3	2	–	1	–	4	–	–	–	4
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>36</b>
<b>Змістовний модуль 3. Термодинамічні цикли реального робочого тіла</b>										
<b>Тема 22.</b> Термодинамічні властивості реальних газів. Діаграми стану. Термодинамічні властивості реальних газів. Коефіцієнт стисливості. Діаграми поведінки реальних газів. Критичні параметри речовини. Рівняння стану реальних газів.	7	2	2	2	1	4	–	–	–	4
<b>Тема 23.</b> Дослідження термодинамічних процесів з водяною парою. Водяна пара. Основні визначення. Діаграми стану. Таблиці теплофізичних властивостей води і водяної пари. Розрахунок процесів виробництва перегрітої пари. Дослідження вологих сумішей (на прикладі вологого повітря). Визначення. Можливі стани. Абсолютна і відносна вологість. Точка роси. Вологовміст. Основні співвідношення для вологого повітря.	6	2	2	2	–	12	2	2	2	6

<b>Тема 24.</b> Цикл Карно та його значення. Цикл Карно. Можливості реалізації. Переваги і недоліки. Цикл Ренкіна та способи підвищення його ефективності. Цикл Ренкіна з насиченою парою. Цикл Ренкіна з перегрітою парою. Вплив параметрів пари на вході в турбіну і в конденсаторі.	7	2	2	2	1	6	2	–	–	4
<b>Тема 25.</b> Теплофікація. Бінарні цикли. Термодинамічні основи теплофікації. Бінарні цикли: вимоги до робочих тіл; схема і цикл ртутно-водяної бінарної установки. Атомні ПСУ. Особливості роботи атомних паросилових установок.	5	2	–	2	1	4	–	–	–	4
<b>Тема 26.</b> Парогазові установки. Парогазові установки зі змішанням робочих тіл. Парогазові установки з розділними потоками газу і пари. Цикли з МГД-генератором. Принцип дії МГД-генератора. Комбіновані ПСУ с МГД-генератором.	5	2	2	–	1	6	2	–	–	4
<b>Тема 27.</b> Способи зниження температури робочого тіла. Дроселювання реального і ідеального газів. Фізичні основи. Диференціальний та інтегральний дросель-ефект.	7	2	2	2	1	4	–	–	–	4
<b>Тема 28.</b> Зворотній цикл Карно. Повітряна холодильна установка. Зворотний оборотний цикл Карно та його ефективність. Парокомпресорна холодильна установка. Схема і цикл парокомпресорної холодильної машини.	5	2	–	3	–	6	2	–	–	4

<b>Тема 29.</b> Пароелекторна холодильна установка. Абсорбційна холодильна установка. Схема і цикл пароелекторної холодильної машини. Абсорбційна холодильна машина. Тепловий насос. Каскадні схеми роботи холодильних установок. Тепловий насос та ефективність його роботи	6	4	–	2	–	4	–	–	–	4
<b>Тема 30.</b> Охорона навколишнього середовища від роботи теплових установок. Види забруднень довкілля при роботі теплосилового установок.	2	2	–	–	–	4	–	–	–	4
<b>Разом за змістовим модулем 3</b>	<b>50</b>	<b>20</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>38</b>
<b>Курсова робота</b>										
Розділ 1. Розрахунок складу і параметрів суміші ідеальних газів.	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Розділ 2. Розрахунок циклу газового двигуна.	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Розділ 3. Розрахунок циклу паросилової установки.	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Побудова циклу теплового двигуна на p-v та T-s діаграмах.	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
Побудова циклу паросилової установки.	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Оформлення пояснювальної записки.	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Захист курсової роботи.	5	–	–	–	5	5	–	–	–	5
<b>Разом за курсовою роботою</b>	<b>60</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>60</b>	<b>60</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>60</b>
<b>Разом</b>	<b>210</b>	<b>60</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>75</b>	<b>210</b>	<b>26</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>172</b>

### Теми лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Визначення густини і коефіцієнта стисливості повітря методом витікання через отвір.	2	2
2	Визначення питомої теплоємності газу при сталому тиску методом потоку.	2	–
3	Визначення питомих теплоємностей $c_{рт}$ та $c_{ут}$ реальних газів методом адіабатичного розширення.	4	–
4	Дослідження процесів адіабатичного процесу витікання повітря через сопло, що звужується.	4	–
5	Експериментально-теоретичне дослідження фазових переходів рідина-насичена пара.	4	–
6	Дослідження ізохоричного процесу для води і водяної пари.	4	–
7	Дослідження процесів підігріву, охолодження і осушення вологого повітря.	2	2
8	Дослідження циклу паросилової установки.	4	–
9	Дослідження циклу парокомпресорної холодильної машини.	4	–
<b>Разом:</b>		<b>30</b>	<b>4</b>

### Теми практичних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Параметри стану. Рівняння стану. Суміші ідеальних газів. Розв'язання типових задач.	4	–
2	Теплоємність однорідного робочого тіла. Таблиці теплоємностей. Розв'язання типових задач.	2	–
3	Теплоємність суміші. Розв'язання типових задач.	2	2
4	Перший закон термодинаміки. Розв'язання типових задач.	2	–
5	Практичні приклади побудови циклу газового двигуна з відомими значеннями показників політроп.	4	–
6	Розрахунок циклу з чотирьох процесів на конкретному прикладі. Перевірка результатів.	4	2
7	Реальний та ідеальний цикли. Вплив необоротності реальних процесів. Розв'язання типових задач.	2	–
8	Способи підвищення ККД циклу. Умови реалізації та ефективність застосування регенерації теплоти.	2	–
9	Розрахунок засобів підвищення ККД циклів ДВЗ	2	–
10	Реальні та ідеальні гази. Водяна пара. Діаграми стану водяної пари. Приклади використання діаграм стану.	4	2

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
11	Розрахунок процесів з водяною парою за допомогою діаграм стану.	4	–
12	Розрахунок основного циклу паросилових установок.	2	–
13	Вивчення засобів підвищення ККД циклу паросилової установки.	2	2
14	Розрахунок втрат працездатності реальних циклів паросилових установок. Розрахунок ефективності застосування регенерації теплоти у паросилових установках.	6	–
15	Розрахунок циклу парокompресійної холодильної машини	3	–
<b>Разом</b>		<b>45</b>	<b>8</b>

### Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Розрахунок параметрів ідеально-газової суміші.	2	10
2	Теплоємності компонентів і суміші.	2	10
3	Зміна калоричних параметрів компонентів і суміші.	2	10
4	Якісна побудова та аналіз процесів, що складають цикл.	2	10
5	Розрахунок довільного циклу.	2	10
6	Оптимізація циклу газового двигуна.	1	10
7	Детальний розрахунок оптимального циклу.	1	16
8	Графічна масштабна побудова оптимального циклу у $v$ - $p$ та $s$ - $T$ координатах.	1	10
9	Втрати працездатності в оптимальному циклі.	1	10
10	Регенерація теплоти в циклах теплових двигунів. Порівнювальний аналіз циклів.	1	16
<b>Курсова робота</b>		<b>60</b>	<b>60</b>
<b>Разом</b>		<b>75</b>	<b>172</b>

## 6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Методи навчання:

для всіх видів занять:

- робота з літературою – опрацювання різних видів джерел, спрямоване на формування нових знань, їх закріплення, вироблення вмій і навичок та реалізацію контрольної-корекційної функції в умовах формальної освіти;

- пояснення – словесне розкриття причинно-наслідкових зв'язків і закономірностей у розвитку природи, людського суспільства і людського мислення;

- дискусія – обмін поглядами щодо конкретної проблеми з метою набуття нових знань, зміцнення власної думки, формування вміння її обстоювати; для лекційних занять:

- відеометод – використання відеоматеріалів для активізації наочно-чуттєвого сприймання; забезпечує більш легке і міцне засвоєння знань в їх образно-понятійній цілісності та емоційній забарвленості;

для лабораторних та практичних занять:

- лабораторна робота – метод поглиблення і закріплення теоретичних знань шляхом виконання вимірювань та досліджень при виконанні лабораторних завдань;

- практична робота – метод поглиблення і закріплення теоретичних знань шляхом виконання вимірювань та досліджень при виконанні практичних завдань;

- інструктаж – ознайомлення зі способами виконання завдань, інструментами, матеріалами, технікою безпеки, показ операцій та організацію робочого місця.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- звіти з виконання лабораторної роботи та письмовий контроль результатів;

- усні відповіді на практичних і лабораторних заняттях;

- поточні модульні контрольні роботи у формі тестування (тестовий контроль);

- іспит, курсова робота.

## 7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного іспиту.

Питома вага заключного іспиту в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний іспит надається студенту, який з урахуванням максимальних балів проміжних оцінок набирає не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заключного іспиту.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час виконання завдань практичних робіт та надання відповідей по тематичним тестам.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

## Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

### Критерії оцінювання практичних робіт

Бал	Критерії оцінювання
2	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, розв'язано всі задачі для самостійного опрацювання за варіантом без помилок.
1,5	Студент розв'язує задачі після консультації викладача; відповідає на запитання; в цілому правильно вирішує задачі для самостійного опрацювання за варіантом.
1,0	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу згідно з інструкцією, відповідає на запитання; виконує графічні завдання з незначними помилками.
0,5	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу під керівництвом викладача; дає відповіді не на всі запитання.
0	Робота не виконувалася.

### Критерії оцінювання лабораторних робіт

Бал	Критерії оцінювання
2	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, відпрацьовано відповіді на запитання наприкінці роботи.
1,5	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; відповідає на запитання; в цілому правильно виконує завдання.
1,0	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, відповідає на запитання; виконує завдання з незначними помилками.
0,5	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу під керівництвом викладача; дає відповіді не на всі запитання; виконує завдання зі значними помилками.
0	Робота не виконувалася

### Критерії оцінювання поточного модульного контролю знань у формі тестування

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
<b>Бал</b>	4,0	3,7	3,3	3,0	2,3	2,0	1,6	1,3	1,0	0,5

## Критерії оцінювання підсумкового контролю та екзамену

Бал	Критерії оцінювання
40	Студент вільно володіє теоретичним матеріалом дисципліни, самостійно розв'язує задачі без помилок, будує цикли теплових двигунів, паросилових установок, холодильних машин.
30	Студент добре володіє теоретичним матеріалом дисципліни, самостійно розв'язує задачі, за допомогою викладача будує цикли теплових двигунів, паросилових установок, холодильних машин.
20	Студент володіє теоретичним матеріалом дисципліни, за допомогою викладача розв'язує задачі, будує цикли теплових двигунів, паросилових установок, холодильних машин, допускає незначні помилки.
10	Студент достатньо володіє теоретичним матеріалом дисципліни, за допомогою викладача розв'язує задачі, допускає помилки.
0	Студент не володіє теоретичним матеріалом дисципліни, не розв'язує задачі.

## Критерії оцінювання курсової роботи

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання
Пояснювальна записка	40	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність дослідження предметної галузі; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; дотримання методики розрахунку та адекватність отриманих результатів, наявність посилань на використану літературу та відповідність стандартам оформлення роботи; відповідність висновків меті та завданням курсової роботи. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку керівнику у відповідності із планом виконання курсової роботи.
	35	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність дослідження предметної галузі; дотримання методики розрахунку та адекватність отриманих результатів, наявність посилань на використану літературу та відповідність стандартам оформлення роботи; відповідність висновків меті та завданням курсової роботи. Робота виконувалась систематично, але подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	30	Зміст роботи відповідає обраній темі, але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано; не дотримано методики розрахунку, наявність посилань на використану літературу та відповідність стандартам оформлення роботи; відповідність висновків меті та завданням курсової роботи.



		Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	20	Робота, оформлена за вимогами, які пред'являються до курсових робіт, але має недостатньо критичний аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Основні тези роботи розкриті, але недостатньо обґрунтовані, нечітко сформульовано висновки, пропозиції і рекомендації. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	10	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень, але лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих. В роботі немає конкретних висновків. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку керівнику з порушенням плану виконання курсової роботи.
	0	Робота не виконувалась.
Графічна частина	20	Побудовано цикли ДВЗ та паросилової установки відповідно до завдань роботи без помилок. Графічна частина роботи виконана у відповідності до вимог ЄСКД.
	15	Побудовано цикли ДВЗ та паросилової установки відповідно до завдань роботи з незначними помилками. Графічна частина роботи виконана з незначними невідповідностями до вимог ЄСКД.
	10	Цикли ДВЗ та паросилової установки побудовано з помилками. Графічна частина роботи виконана з незначними невідповідностями до вимог ЄСКД.
	5	Цикли ДВЗ та паросилової установки побудовані з помилками. Графічна частина роботи виконана на низькому рівні та не відповідає вимогам ЄСКД.
	0	Робота не виконувалась.
Захист роботи	40	Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати виконання роботи, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі роботи, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.
	30	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати виконання роботи, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює.
	20	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати виконання роботи але допускає суттєві

		неточності у відповідях на запитання, не завжди належно обґрунтовує положення роботи.
	10	Студент невпорядковано викладає основні результати виконання роботи, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.
	5	Студент демонструє задовільні знання з теми виконання роботи, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії, та належно обґрунтувати положення роботи.

### Критерії оцінювання контрольної роботи

Бал	Критерії оцінювання
16	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено у достатньому обсязі, аргументовано і у правильній послідовності. Використані не тільки рекомендовані джерела інформації, а й новітні, самостійно знайдені у періодичних виданнях і в інтернет-ресурсах. Правильно сформульовані узагальнюючі висновки. Робота достатньо ілюстрована, оформлена акуратно, з дотриманням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи здобувач вільно орієнтується в матеріалах.
12	Робота виконана у встановлений термін. Матеріал викладено у достатньому обсязі, логічно. Використані рекомендовані джерела інформації. Правильно сформульовані узагальнюючі висновки. Робота оформлена акуратно, з дотриманням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО орієнтується в матеріалах, у відповідях є неточності.
8	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Матеріал викладено у правильній послідовності, але недостатньо повно. Недостатньо використані рекомендовані джерела інформації. Висновки сформульовані формально або не зв'язані з матеріалами роботи. В оформленні роботи є порушення вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО в цілому орієнтується в матеріалах, у відповідях є помилки та неточності
4	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Матеріал викладено безсистемно, висновки сформульовані формально або відсутні. Робота оформлена неохайно, з порушенням вимог до технічної документації. Під час захисту роботи ЗВО слабо орієнтується в матеріалах, у відповідях є помилки
0	Роботу не виконано

### Узагальнюючі результати поточного контролю знань

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання практичних робіт	15 роб. × 2 бали = 30 балів	4 роб. × 2 бали = 8 балів
Виконання лабораторних робіт	9 роб. × 2 бали = 18 балів	2 роб. × 2 бали = 4 бали
Поточний модульний контроль	3 МКР × 4 бали = 12 балів	–
Виконання контрольних робіт	–	3 КР × 16 балів = 48 балів
<b>Всього</b>	<b>60</b>	<b>60</b>

## 8. Критерії оцінювання результатів навчання

№ змістового модуля і теми		Вид роботи	Кількість балів	
			денна форма	заочна форма
ЗМ 1	T2, 3	ПрР № 1 + ЛР № 1	2+2	2
	T4	ПрР № 2 + ЛР № 2	2+2	
	T5	ПрР № 3 + ЛР № 3	2+2	
	T6, 7	ПрР № 4 + ЛР № 4	2+2	
	T8	Практична робота № 5	2	
	T1-T8	Поточний модульний контроль	4	
Контрольна робота			16	
ЗМ 2	T9	Практична робота № 6	2	
	T12, 13	ПрР № 7 + ЛР № 5	2+2	
	T14, 15	ПрР № 8 + ЛР № 6	2+2	2
	T16, 18	Практична робота № 9	2	2
	T19-21	ПрР № 10 + ЛР № 7	2+2	
	T9-T21	Поточний модульний контроль	4	
Контрольна робота			16	
ЗМ 3	T22	ПрР № 11 + ЛР № 8	2+2	
	T23	Практична робота № 12	2	
	T24	Практична робота № 13	2	
	T25, 26	Практична робота № 14	2	
	T27, 28	ПрР № 15 + ЛР № 9	2+2	
	T22-T28	Поточний модульний контроль	4	
Контрольна робота			16	
Підсумковий контроль		Екзамен	40	
<b>Разом</b>			<b>100</b>	

### Критерії оцінювання курсової роботи

Пояснювальна записка	Графічна частина	Захист роботи	Кількість балів разом
до 40	до 20	до 40	<b>100</b>

## 9. Засоби навчання

Засобами навчання є бібліотечні фонди (підручники, навчальні посібники, в т.ч. електронні з електронної бібліотеки кафедри), а також мультимедійні засоби (персональні комп'ютери, апаратура звуковідтворення, підсилювачі звуку).

При проведенні занять за дистанційною формою навчання (у період карантину) використовуються дистанційні платформи й інформаційно-комунікаційні технології (Google Classroom, Google Meet, ZOOM Cloud Meetings, Skype, Viber тощо). Технічні засоби навчання: мультимедійний проєктор, персональні комп'ютери з підключенням до мережі Інтернет.

## 10. Рекомендовані джерела інформації

1. Димо Б. В. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна термодинаміка та теплопередача» / Б. В. Димо, П. А. Пацурковський, О. А. Єпіфанов, О. К. Чередніченко. Миколаїв : НУК, 2022. 169 с.
2. Вассерман, О. А. Технічна термодинаміка і теплообмін: підручник / О. А. Вассерман, О. Г. Слинко. Одеса : Фенікс, 2019. 496 с.
3. Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., Bailey, M. B. Fundamentals of engineering thermodynamics. 9th edition. The Ohio State University, Rochester Institute of Technology: Wiley, 2018. 875 p.
4. Rajput R.K. Engineering thermodynamics. Boston, USA: Laxmi Publications (P) LTD, 2007. 966 p.
5. Дубровська В.В. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. / В.В. Дубровська, В.І. Шкляр. К.: НТУУ«КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. 152 с.
6. Powers J. M. Lecture notes on thermodynamics. Notre Dame, Indiana: Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Notre Dame, 2023. 429 p.
7. Буляндра О. Ф. Технічна термодинаміка: підруч. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів. Київ: Техніка, 2001. 320 с.
8. Технічна термодинаміка та теплопередача / В. Малишев, В. Кретов, Т. Гладка, Університет "Україна", 2015. 258с.
9. Алабовський А. Н., Недужий І. А. Технічна термодинаміка і теплопередача. Київ: Вища школа, 1990.
10. Беляєв Н.М. Основи теплопередачі. К.: Вища школа, 2014. 344 с.
11. Коновалов Д.В., Кобалава Г.О. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з Технічної термодинаміки. Херсон: ХФ НУК, 2017.
12. Кузнецов В. Г., Фордуй С. Г. Розрахунок газових сумішей. Навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003.
13. Кузнецов В. Г., Кузнецов В.В. Розрахунок і термодинамічний аналіз газових циклів теплових двигунів: Навч. посібник. Миколаїв: НУК, 2006. 44с.

14. Кардашев Ю. Д., Кузнецов В. Г., Фордуй С. Г., Кузнецов В. В. Збірник лабораторних робіт з дисципліни "Технічна термодинаміка". Миколаїв: УДМТУ, 2000.

15. Кузнецов В. Г., Кузнецов В. В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з «Технічної термодинаміки». Миколаїв: УДМТУ, 2003.

16. Василенко І. А., Куманьов С. О., Півоваров О. А. Збірник задач та вправ для вивчення термодинамічних процесів. Навч. посіб. / І. А. Василенко, С. О. Куманьов, О. А. Півоваров / Д.: Акцент ПП, 2014. 249 с.

17. Теоретичні основи теплотехніки. Визначення ефективності термодинамічних циклів теплових двигунів: розрахункова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. / В.В. Дубровська, В.І Шкляр; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 31 с.

18. Ривкін С. Л., Олександров А. А. Термодинамічні властивості води та водяної пари. Довідник 2-ге вид. перероб. та дод. М: Енергоатоміздат, 1984.

19. Рабінович О.М. Збірник завдань із технічної термодинаміки. М: Машинобудування, 1973. 343 с.

### Інформаційні ресурси

1. Сайт ХННІ НУК: <http://kb.nuos.edu.ua>
2. Електронні інформаційні ресурси НБУВ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
3. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua>.
4. Херсонська обласна універсальна наукова бібліотека ім. Олесь Гончара [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.lib.kherson.ua>.
5. Теплофізичні властивості води і водяної пари [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/navcalnij-posibnik-teplofizicni-vlastivosti-vodi-i-vodanoi-pari-543267.html>

Розробники:

д.т.н., професор

кафедри теплотехніки ХННІ НУК



Д.В. Коновалов

к.т.н., доцент

кафедри теплотехніки ХННІ НУК



Г.О. Кобалава

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра теплотехніки

## КУРСОВА РОБОТА

з дисципліни «Технічна термодинаміка»

Здобувача (ки) \_\_\_\_\_ курсу \_\_\_\_\_ групи  
спеціальності 135 «Суднобудування»

освітня програма «Суднові енергетичні  
установки та устаткування»

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії:

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра теплотехніки

**Завдання**  
**на виконання курсової роботи з дисципліни**  
**«Технічна термодинаміка»**  
Спеціальність: 135 «Суднобудування»  
Освітня програма «Суднові енергетичні установки та устаткування»

Виконавець: здобувач \_\_\_\_\_ групи \_\_\_\_\_.

Варіант № \_\_\_\_\_

Тема: Розрахунок і термодинамічний аналіз циклів теплових двигунів і паросилових установок**Зміст курсової роботи**

## I. Розрахунково-пояснювальна записка

## 1. Розрахунок суміші ідеальних газів.

Масовий склад суміші газів:

Компонент	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
g, %						

1.1. Визначення об'ємного складу суміші.

1.2. Газові постійні компонентів суміші.

1.3. Молекулярна маса суміші.

1.4. Маса і парціальний тиск компонентів суміші по параметрам газу в точці початку розширення циклу теплового двигуна.

1.5. Густина і питомий об'єм компонентів суміші при розрахункових і нормальних умовах.

1.6. Істинні (дійсні) теплоємності суміші (масові, мольні, об'ємні) при постійному тиску і об'ємі.

1.7. Середні теплоємності суміші (масова, мольна, об'ємна) в процесі розширення газу циклу теплового двигуна.

## 2. Розрахунок і термодинамічний аналіз циклу теплового газового двигуна.

Цикл	$T_1$ , К	$P_1$ , МПа	$n_1$	$n_2$	$\varepsilon$	$\lambda$	$\rho$	$\pi$

2.1. Визначення основних термодинамічних параметрів циклу в характерних точках ( $P, v, T, u, h$ ).2.2. Визначення значень  $s, \Delta u, \Delta h, q, l$  для термодинамічних процесів, що входять в цикл теплового двигуна.

- 2.3. Розрахунок роботи циклу, термічного ККД і середньоіндикаторного тиску циклу теплового двигуна.
- 2.4. Середньоінтегральні температури процесів. Втрата працездатності системи.
- 2.5. Побудова циклу теплового двигуна на  $P(v)$  і  $T(s)$  діаграмах.
3. Розрахунок і термодинамічний аналіз циклу паросилової установки:

---

---

---

---

Висновки.

Список використаної літератури.

## II. Графічна частина

1. Цикл теплового двигуна на  $P(v)$ –діаграмі (1 аркуш, формат А4, міліметрова).
2. Цикл теплового двигуна на  $T(s)$ –діаграмі (1 аркуш, формат А4, міліметрова).
3. Цикл паросилової установки на  $T(s)$ –діаграмі води і водяної пари (1 аркуш, формат А4, діаграма стану).
4. Процеси розширення пари на  $h(s)$ –діаграмі води і водяної пари (1 аркуш, формат А4, діаграма стану).

Завдання видано «    » \_\_\_\_\_ 20    р.

Термін захисту «    » \_\_\_\_\_ 20    р.

Виконав студент гр.

---

Керівник проекту

---

**Завідувач кафедри  
теплотехніки**

---



**Перелік питання до поточного модульного контролю  
з дисципліни «Технічна термодинаміка»  
Змістовий модуль 1**

1. Які існують основні параметри стану робочого тіла та рівняння стану ідеальних газів?
2. Що таке термодинамічний процес: рівноважний, нерівноважний?
3. Які термодинамічні процеси називають зворотніми та незворотніми? Наведіть приклади.
4. Що таке робота процесу, теплота процесу? Їх графічне відображення на діаграмах.
5. З чого складається якісна різниця понять роботи і теплоти.
6. Яка з робіт більша: у зворотньому чи в незворотньому процесі і чому.
7. Формулювання та диференційні рівняння першого закону термодинаміки
8. Які існують принципи класифікації теплоємностей ідеальних газів?
9. Які з теплоємностей більші: ізохорні чи ізобарні і чому.
10. Записати аналітичні вирази питомої, об'ємної і молярної теплоємностей суміші ідеальних газів.
11. Як визначити кількість теплоти в термодинамічному процесі, якщо є табличні значення середніх теплоємностей?
12. Що таке політропний процес? Дати узагальнюючу  $p$ - $V$   $T$ - $S$  діаграми політропних процесів.
13. В яких межах змінюється показник політропи.
14. Що входить до завдання аналізу термодинамічного процесу.
15. Які аналітичні вирази для визначення зміни калоричних параметрів є загальними для всіх термодинамічних процесів з ідеальним газом?
16. Що таке ізопроцеси? Дати їх загальну характеристику.
17. В яких політропних процесах і чому питома теплоємність ідеального газу буде негативною?
18. Чому дорівнює зміна внутрішньої енергії в круговому процесі.
19. Чому в адіабатному процесі розширення ідеального газу температура зменшується, а при стисненні підвищується?
20. Як змінюється температура в ізохорному процесі?

**Змістовий модуль 2**

21. Які існують формулювання та диференційні рівняння другого закону термодинаміки?
22. Які умови необхідні для здійснення безперервного перетворення теплоти в роботи.
23. У чому сутність принципу зростання ентропії ізольованої термодинамічної системи?
24. Яке значення має в термодинаміці цикл Карно?

25. Що називається термічним ККД теплового двигуна?
26. Чому термічний ККД не може дорівнювати 100%?
27. Що таке холодильний коефіцієнт і як він визначається.
28. Що називають ексергією джерела теплоти?
29. За яким виразом визначають втрату максимально можливої роботи через незворотність термодинамічних процесів?
30. Які існують методи зрівняння ефективності циклів теплових двигунів?
31. Яка існує методика розрахунку одноступінчастого та багаступінчастого компресора?
32. Методика розрахунку циклів теплових двигунів.
33. Дати приклад розрахунку циклу ДВЗ з підведенням теплоти при  $v = \text{const}$ .
34. Дати приклад розрахунку циклу ДВЗ з підведенням теплоти при  $p = \text{const}$ .
35. Дати приклад розрахунку циклу ДВЗ зі змішаним підведенням теплоти.
36. Перший закон термодинаміки для газового потоку.
37. Закон обертання впливу. Види сопел.
38. Дати приклад розрахунку циклу ГТУ.
39. В чому суть ускладнення циклів реальних ГТУ?
40. В чому є особливості роботи реактивних і ракетних двигунів?

### Змістовий модуль 3

41. Які існують відмінності у властивостях ідеальних та реальних газів? Дати приклади рівнянь стану реальних газів.
42.  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$  діаграми стану водяної пари.
43. Які існують особливості розрахунків процесів з водяною парою?
44. Вологе повітря, основні параметри стану. Як визначити відносну вологість за допомогою аспіраційного психрометра?
45. Цикл Карно на вологій парі. Особливості реалізації.
46. Які існують цикли паросилових установок? Дати їх характеристику.
47. Як впливають необоротності на ефективність циклу Ренкіна?
48. Як виконується регенерація теплоти в паросилових установках?
49. В чому є особливість теплофікаційних циклів?
50. Бінарні цикли. В чому їх термодинамічні переваги.
51. Особливості роботи АЕУ.
52. В чому особливості реалізації термодинамічних циклів комбінованих установок?
53. Складні термодинамічні цикли з МГД-генератором.
54. Що таке дроселювання реальних газів? Вивід рівняння диференціального дросель-ефекту.
55. Ідеальна холодильна установка за циклом Карно.
56. Повітряна холодильна установка.
57. Парокомпресійна холодильна установка.
58. Абсорбційна холодильна установка.
59. Тепловий насос. Що це таке?
60. Охорона навколишнього середовища від роботи теплосилових установок.