

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ  
імені адмірала Макарова  
МАШИНОБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
КАФЕДРА ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ ТА СУДНОВИХ ПАРОВИРОБНИХ  
УСТАНОВОК

Код РПНД Т72613



**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Проректор з науково-педагогічної роботи

 Слободян С.О.

***РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ***

**Program of the Discipline**

**Технічна термодинаміка**

**TECHNICAL THERMODYNAMICS**

рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Робоча програма навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 14 "Електрична інженерія" спеціальності 142 "Енергетичне машинобудування" освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".

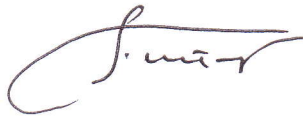
«01» 09 2021 року. – 18 с.

Розробник:

Кузнецов В.В., доцент кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок, канд. техн. наук, доцент.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" узгоджено з гарантом освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".

Гарант освітньої програми  
канд. техн. наук, доцент



Патлайчук В.М.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" розглянуто на засіданні кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок.

Протокол № 9 від «19» 06 2021 р.

Завідувач кафедри



Димо Б.В.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" розглянуто Методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 11 від «24» 06 2021 р.

Голова



Сербін С.І.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу

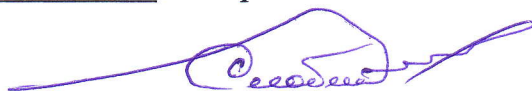


Лабарткава А.В.

Робоча програма навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 7 від «26» 08 2021 р.

Голова НМР НУК



Трушляков Є.І.

## ЗМІСТ

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ.....                                                                                        | 4  |
| 1. Опис навчальної дисципліни .....                                                               | 5  |
| 2. Мета вивчення навчальної дисципліни .....                                                      | 5  |
| 3. Передумови для вивчення дисципліни.....                                                        | 6  |
| 4. Очікувані результати навчання.....                                                             | 6  |
| 5. Програма навчальної дисципліни.....                                                            | 6  |
| 6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методів їх<br>демонстрування ..... | 13 |
| 7. Форми поточного та підсумкового контролю.....                                                  | 13 |
| 8. Критерії оцінювання результатів навчання.....                                                  | 17 |
| 9. Рекомендовані джерела інформації.....                                                          | 17 |

## ВСТУП

### Анотація

Дисципліна «Технічна термодинаміка» вивчає загальні поняття, визначення і закони рівноважної термодинаміки; основні співвідношення для політропних процесів; математичні методи отримання диференціальних рівнянь термодинаміки; методи термодинамічного дослідження прямих і оборотних газових і парових циклів; методи аналізу ефективності циклів теплосилових установок.

Формуються знання для виконання інженерних розрахунків перетворення теплоти в прямих циклах теплових двигунів і оборотних циклах холодильних машин і установок; виконання розрахунків максимальної (межевої) працездатності потоку і теплоти, величини необоротних втрат у реальному циклі з послідовним аналізом; використання для розрахунків відповідних таблиць і діаграм термодинамічних властивостей робочих тіл.

**Ключові слова:** теплота, робота, термодинамічний процес, цикл, діаграма стану

### Abstract

The discipline "Technical Thermodynamics" studies the general concepts, definitions and laws of equilibrium thermodynamics; basic relations for the polytropic processes; mathematical methods for obtaining differential equations of thermodynamics; methods of thermodynamic study of direct and reversible gas and steam cycles; methods of analysis of the efficiency of cycles of heat and power plants.

The knowledge is formed to perform engineering calculations of heat conversion in direct cycles of heat engines and reversible cycles of refrigeration machines and plants; performing calculations of the maximum (limit) work of flow and heat, the value of irreversible losses in a real cycle with a sequential analysis; use for calculations of the relevant tables and diagrams of thermodynamic properties of working bodies.

**Key words:** heat, performance, thermodynamic process, cycle, flow diagram.

## 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                                                                     | Галузь знань: 14 "Електрична інженерія"                                                                                  | Обов'язкова                          |                       |     |
| Модулів – 1                                                                                | Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування"<br><br>Освітня програма: "Газотурбінні установки і компресорні станції" | Рік підготовки:                      |                       |     |
| Змістових модулів – 3                                                                      |                                                                                                                          | 2-й                                  | 2-й                   |     |
| Електронна адреса РПНД на сайті Університету:                                              |                                                                                                                          |                                      |                       |     |
| Загальна кількість годин – 210                                                             |                                                                                                                          | Семестр:                             |                       |     |
| Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5; самостійної роботи студента – 7. | Освітній рівень: перший (бакалаврський)                                                                                  | 4-й                                  |                       | 4-й |
|                                                                                            |                                                                                                                          | Лекції                               |                       |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | 60 год                               | 14 год                |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | Практичні заняття                    |                       |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | 15 год                               | 4 год                 |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | Лабораторні заняття                  |                       |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | 30 год                               | 8 год                 |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | Самостійна робота                    |                       |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | 105 год                              | 184 год               |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | Індивідуальні завдання               |                       |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | –                                    | –                     |     |
|                                                                                            |                                                                                                                          | Вид контролю: екзамен                |                       |     |
| Форма контролю: комбінована                                                                |                                                                                                                          |                                      |                       |     |

## 2. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни "Технічна термодинаміка" є формування відповідно до освітньо-професійної програми підготовки таких **компетентностей**:

**ЗК3.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

**ЗК4.** Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

**ЗК8.** Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

**ФК2.** Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.

**ФК11.** Здатність використовувати стандартні методики планування експериментальних досліджень, здійснювати обробку та узагальнення результатів експерименту.

### 3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами для вивчення курсу є викладання студентам наступних дисциплін: вища математика, фізика, основи інформаційних технологій та програмування, математичні методи і моделі в інженерних розрахунках, англійська мова за професійним спрямуванням.

### 4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

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

**ПРН1.** Знання і розуміння математики, фізики, тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

**ПРН2.** Знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.

**ПРН3.** Розуміння широкого міждисциплінарного контексту спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

**ПРН10.** Планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.

**ПРН13.** Використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень при вирішенні професійних завдань.

### 5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Змістовий модуль 1. " Термодинамічні властивості робочого тіла ".**

**Тема 1.** Предмет і метод технічної термодинаміки. Рекомендована література. Технічна термодинаміка як основа стаціонарної 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. [1] стор. 4-19; [2] стор. 23-37; [3], стор. 4-10; [5], стор. 9-13.

**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. [1], стор. 36-43; [2], стор. 50-54; [3], стор. 10-15; [5], стор. 79-83

**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. [1], стор. 162-167; [2], стор. 38-40; [3], стор. 10-19; [5], стор. 107-118

**Тема 4.** І закон термодинаміки. Диференціальні рівняння та приклади їх використання. Теплота 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. [1], стор. 21-35; [1], стор. 40-50; [3], стор. 20-36; [5], стор. 15-26

**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. [1], стор. 50-66; [2], стор. 55-61; [3], стор. 185-188; [5], стор. 129-136

**Тема 6.** Робота процесу, теплота процесу. Визначення показника політропи. Виведення формул роботи деформаційної та можливої. Розрахунок теплоти процесу (дослідження теплоємності політропного процесу). Способи визначення показника політропи. [1], стор. 26-33; [3], стор. 189-195; [5], стор. 137-143

**Тема 7.** Сумісні діаграми  $v$ - $p$  і  $s$ - $T$ . Групи політроп. Дослідження ізопроцесів. Сумісні діаграми  $v$ - $p$  і  $s$ - $T$  політропних процесів. Групи політроп. Графічне дослідження (розрахунок) політропних процесів. [3], стор. 195-203; [5], стор. 144-153

**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. [1], стор. 67-70; [3], стор. 40-61; [5], стор. 26-42

## **Змістовий модуль 2. "Термодинамічні цикли газових двигунів".**

**Тема 9.** Прямий (силовий) та зворотний (холодильний) цикли Карно. Їх ефективність. Узагальнений цикл Карно. Поняття про регенерацію теплоти. [1], стор. 70-80; [3], стор. 61-77; [5], стор. 43-65

**Тема 10.** Формулювання та диференціальні рівняння II-го Закону. Вивід диференціальних рівнянь для оборотних та необоротних циклів. [1], стор. 82-91; [2], стор. 61-74; [3], стор. 61-77; [5], стор. 43-65

**Тема 11.** 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. [1], стор. 92-101; [3], стор. 252-258

**Тема 12.** 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. Цикл ДВЗ із згорянням пального при  $p = \text{const}$ . Цикл ДВЗ з мішаним згорянням палива.

Приклади порівняння циклів. Деякі економічні показники роботи. [1], стор. 229-240; [2], стор. 74-85; [3], стор. 264-273

**Тема 13.** 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. Дослідження роботи багатоступеневого компресора. Економічні показники роботи Багатоступеневе стиснення.  $v$ - $p$  і  $s$ - $T$  діаграми. Теплота охолодження компресора. Показники роботи реального компресора. [1], стор. 217-225; [3], стор. 220-229

**Тема 14.** 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. Рівняння Гюгоніо. [1], стор. 182-193; [3], стор. 229-233;

**Тема 15.** Закон обертання впливу: випадки теплового, механічного, витратного і геометричного сопел. Особливості руху газів у вертикальних каналах. Течія газів з тертям. [3], стор. 233-238

**Тема 16.** Розрахунок геометричних сопел. Швидкість потоку та масова витрата. Вплив на витікання внутрішніх опорів. Параметри потоку при повному адіабатичному його гальмуванні. [1], стор. 197-200; [3], стор. 238-252

**Тема 17.** Основні цикли ГТУ. Регенерація теплоти. Принципова схема, цикл і дослідження циклів з підведенням теплоти при  $p = \text{const}$ , при  $v = \text{const}$ . Регенерація теплоти та її ефективність. Порівняння циклів. [1], стор. 241-248; [2], стор. 85-98 [3], стор. 273-293; [5], стор. 207-225

**Тема 18.** Складні цикли ГТУ. ГТУ, які працюють по замкненому циклу. Особливості роботи АГТУ. Цикли з багатоступеневим стисненням повітря і розширенням робочого тіла. Межовий випадок. [3], стор. 273-293; [5], стор. 207-225

### **Змістовий модуль 3. "Термодинамічні цикли реального робочого тіла".**

**Тема 19.** Термодинамічні властивості реальних газів. Коефіцієнт стисливості. Діаграми поведінки реальних газів. Критичні параметри речовини. Рівняння стану реальних газів. Принцип відповідних станів (подібність термодинамічних властивостей речовин). [1], стор. 132-141; [3], стор. 138-160; [5], стор. 231-243

**Тема 20.** Дослідження термодинамічних процесів з водяною парою. Водяна пара. Основні визначення.  $v$ - $p$ ,  $s$ - $T$  і  $s$ - $h$  діаграми стану. Таблиці теплофізичних властивостей води і водяної пари. Розрахунок процесів виробництва перегрітої пари. Дослідження ізобарного процесу у  $v$ - $p$ ,  $s$ - $T$  і  $s$ - $h$  діаграмах. Дослідження термодинамічних ізопроцесів з водяною парою в діаграмах  $v$ - $p$ ,  $s$ - $T$  та  $s$ - $h$ . [1], стор. 141-151; [5], стор. 243-270

**Тема 21.** Дослідження вологих сумішей (на прикладі вологого повітря). Визначення. Можливі стани. Абсолютна і відносна вологість. Точка роси.

Вологовміст. Основні співвідношення для вологого повітря. Діаграма  $H-d$  Рамзіна. Процеси обробки вологого повітря. [1], стор. 167-181; [5], стор. 334-350

**Тема 22.** Цикл Карно з водяною парою. Можливості реалізації. Переваги і недоліки. [1], стор. 266-268; [3], стор. 293-300; [5], стор. 277-279

**Тема 23.** 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 [1], стор. 268-283; [3], стор. 293-312; [5], стор. 277-289

**Тема 24.** Термодинамічні основи теплофікації. Бінарні цикли: вимоги до робочих тіл; схема і цикл ртутно-водяної бінарної установки. Особливості роботи атомних паросилових установок. [1], стор. 286-286; [3], стор. 321-326; [5], стор. 292-295

**Тема 25.** 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. Схема, цикл і к.к.д. установки розімкнутого і замкнутого циклу. Перспективні методи перетворення теплоти в електричну енергію [1], стор. 286-294; [3], стор. 292-295; [5], стор. 326-328

**Тема 26.** 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. [3], стор. 203-215

**Тема 27.** Зворотний оборотний цикл Карно та його ефективність. Схема і цикл повітряної холодильної машини. [1], стор. 299-304; [3], стор. 334-341; [5], стор. 295-298

**Тема 28.** Схема і цикл парокомпресійної холодильної машини. [1], стор. 304-308; [3], стор. 334-341; [5], стор. 295-298

**Тема 29.** Схема і цикл пароежекторної холодильної машини. Абсорбційна холодильна машина. [1], стор. 308-312; [3], стор. 358-360; [5], стор. 304-308

**Тема 30.** Тепловий насос та ефективність його роботи. Каскадні схеми роботи холодильних установок. [1], стор. 312-313; [3], стор. 360-365; [5], стор. 309-312

### Тематичний план навчальної дисципліни

| Назви змістових модулів і тем                                                                                                                               | Кількість годин |              |           |          |           |              |              |          |          |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|-----------|----------|-----------|--------------|--------------|----------|----------|-----------|
|                                                                                                                                                             | Денна форма     |              |           |          |           | Заочна форма |              |          |          |           |
|                                                                                                                                                             | усього          | у тому числі |           |          |           | усього       | у тому числі |          |          |           |
|                                                                                                                                                             |                 | л            | лр.       | пр.      | с.р.      |              | л            | лр.      | пр.      | с.р.      |
| 1                                                                                                                                                           | 2               | 3            | 4         | 5        | 6         | 7            | 8            | 9        | 10       | 11        |
| <b>Змістовий модуль 1. Термодинаміка робочого тіла в ідеально-газовому стані</b>                                                                            |                 |              |           |          |           |              |              |          |          |           |
| Тема 1. Вступ. Мета і задачі курсу. Основні визначення.                                                                                                     | 6               | 2            | 2         | 1        | 1         | 4            | –            | –        | –        | 4         |
| Тема 2. Термодинамічні властивості робочих тіл                                                                                                              | 15              | 2            | 8         | 1        | 4         | 10           | 2            | 2        | 2        | 4         |
| Тема 3. Суміші газів в ідеально-газовому стані.                                                                                                             | 5               | 2            | –         | 1        | 2         | 6            | –            | –        | –        | 6         |
| Тема 4. І закон термодинаміки. Диференціальні рівняння та приклади її використання.                                                                         | 4               | 2            | –         | 1        | 1         | 6            | 1            | –        | –        | 5         |
| Тема 5. Політропний процес (загальний випадок). Рівняння процесу. Розрахунок зміни внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії.                                | 6               | 2            | –         | 2        | 2         | 4            | –            | –        | –        | 4         |
| Тема 6. Робота процесу, теплота процесу. Визначення показника політропи.                                                                                    | 3               | 2            | –         | –        | 1         | 5            | –            | –        | –        | 5         |
| Тема 7. Сумісні діаграми $v$ – $p$ і $s$ – $T$ . Групи політроп.                                                                                            | 4               | 2            | –         | –        | 2         | 4            | –            | –        | –        | 4         |
| Тема 8. Загальні умови роботи теплових двигунів                                                                                                             | 2               | 2            | –         | –        | –         | 6            | 1            | –        | –        | 5         |
| <b>Разом за змістовим модулем 1</b>                                                                                                                         | <b>45</b>       | <b>16</b>    | <b>10</b> | <b>6</b> | <b>13</b> | <b>45</b>    | <b>4</b>     | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>37</b> |
| <b>Змістовий модуль 2. Термодинамічні цикли газових двигунів</b>                                                                                            |                 |              |           |          |           |              |              |          |          |           |
| Тема 9. Цикл Карно та його значення. Узагальнений цикл. Регенерація теплоти                                                                                 | 8               | 2            | –         | 1        | 5         | 10           | 2            | –        | –        | 8         |
| Тема 10. Формулювання та диференціальні рівняння II закону                                                                                                  | 9               | 2            | –         | 2        | 5         | 10           | –            | –        | 2        | 8         |
| Тема 11. Методи порівняння термодинамічної ефективності циклів.                                                                                             | 7               | 2            | –         | –        | 5         | 8            | –            | –        | –        | 8         |
| Тема 12. Цикли ДВЗ. Основні визначення. Цикл ДВЗ з підводом теплоти при $v=const$ . Цикл ДВЗ з підводом теплоти при $p=const$ і з мішаним підводом теплоти. | 10              | 2            | –         | –        | 8         | 10           | 2            | –        | –        | 8         |
| Тема 13. Дослідження роботи одноступеневого компресора. Дослідження роботи багатоступеневого компресора. Економічні показники роботи                        | 7               | 2            | –         | –        | 5         | 5            | –            | –        | –        | 5         |

| <b>1</b>                                                                        | <b>2</b>   | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>   | <b>7</b>   | <b>8</b>  | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b>  |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----------|-----------|------------|
| Тема 14. Загальні визначення з теорії течії газів та пари.                      | 11         | 2         | 4         | –         | 5          | 7          | –         | 2        | –         | 5          |
| Тема 15. Закон обертання впливу                                                 | 4          | 2         | –         | –         | 2          | 5          | –         | –        | –         | 5          |
| Тема 16. Розрахунок геометричних сопел                                          | 6          | 2         | –         | –         | 4          | 5          | –         | –        | –         | 5          |
| Тема 17. Основні цикли ГТУ. Регенерація теплоти.                                | 6          | 2         | –         | 1         | 3          | 10         | –         | –        | –         | 10         |
| Тема 18. Складні цикли ГТУ                                                      | 7          | 2         | –         | 5         | 2          | 5          | –         | –        | –         | 5          |
| <b>Разом за змістовим модулем 2</b>                                             | <b>75</b>  | <b>20</b> | <b>4</b>  | <b>4</b>  | <b>47</b>  | <b>75</b>  | <b>4</b>  | <b>2</b> | <b>2</b>  | <b>67</b>  |
| <b>Змістовий модуль 3. Термодинамічні цикли реального робочого тіла</b>         |            |           |           |           |            |            |           |          |           |            |
| Тема 19. Термодинамічні властивості реальних газів. Діаграми стану.             | 9          | 2         | –         | –         | 7          | 8          | –         | –        | –         | 8          |
| Тема 20. Дослідження термодинамічних процесів з водяною парою                   | 13         | 2         | 4         | 1         | 6          | 8          | –         | –        | –         | 8          |
| Тема 21. Дослідження вологих сумішей (на прикладі вологого повітря)             | 11         | 2         | 4         | –         | 5          | 10         | –         | 2        | –         | 8          |
| Тема 22. Цикл Карно з водяною парою та його значення.                           | 7          | 2         | –         | –         | 5          | 10         | 2         | –        | –         | 8          |
| Тема 23. Цикл Ренкіна та способи підвищення його ефективності.                  | 14         | 2         | 4         | 3         | 5          | 13         | 2         | 2        | –         | 7          |
| Тема 24. Теплофікація. Бінарні цикли. Атомні ПСУ.                               | 7          | 2         | –         | –         | 5          | 6          | –         | –        | –         | 6          |
| Тема 25. Парогазові установки. Цикли з МГД-генератором.                         | 4          | 2         | –         | –         | 2          | 8          | –         | –        | –         | 8          |
| Тема 26. Способи зниження температури робочого тіла.                            | 4          | 2         | –         | –         | 2          | 5          | –         | –        | –         | 5          |
| Тема 27. Зворотній цикл Карно. Повітряна холодильна установка.                  | 4          | 2         | –         | –         | 2          | 5          | –         | –        | –         | 5          |
| Тема 28. Парокомпресійна холодильна установка.                                  | 11         | 2         | 4         | 1         | 4          | 8          | 2         | –        | –         | 6          |
| Тема 29. Пароелектрична холодильна установка. Абсорбційна холодильна установка. | 2          | 2         | –         | –         | –          | 5          | –         | –        | –         | 5          |
| Тема 30. Тепловий насос. Каскадні схеми роботи холодильних установок.           | 4          | 2         | –         | –         | 2          | 6          | –         | –        | –         | 6          |
| <b>Разом за змістовим модулем 3</b>                                             | <b>90</b>  | <b>24</b> | <b>16</b> | <b>5</b>  | <b>45</b>  | <b>90</b>  | <b>6</b>  | <b>4</b> | <b>–</b>  | <b>80</b>  |
| <b>Усього годин</b>                                                             | <b>210</b> | <b>60</b> | <b>30</b> | <b>15</b> | <b>105</b> | <b>210</b> | <b>14</b> | <b>8</b> | <b>4</b>  | <b>184</b> |

\* Змістовий модуль кратний 15 годинам.

\*\* За заочної формою проводяться оглядові лекції.

### Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми                                                                  | Кількість годин |              |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|
|       |                                                                             | Денна форма     | Заочна форма |
| 1     | Розрахунок параметрів ідеально - газової суміші                             | 2               | 2            |
| 2     | Теплоємності компонентів та суміші                                          | 2               | –            |
| 3     | Розрахунок довільного циклу, що складається з чотирьох політроп             | 2               | 2            |
| 4     | Оптимізація циклу газового двигуна                                          | 2               | –            |
| 5     | Детальний розрахунок оптимального циклу                                     | 2               | –            |
| 6     | Графічна масштабна побудова оптимального циклу в $v-p$ та $s-T$ координатах | 2               | –            |
| 7     | Втрати працездатності в оптимальному циклі                                  | 2               | –            |
| 8     | Регенерація теплоти в циклах теплових двигунів                              | 1               | –            |
|       | Разом                                                                       | 15              | 4            |

### Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми                                                                                            | Кількість годин |              |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|
|       |                                                                                                       | Денна форма     | Заочна форма |
| 1     | Визначення густини і коефіцієнта стисливості повітря методом витікання через отвір                    | 2               |              |
| 2     | Визначення питомої теплоємності газу при сталому тиску методом потоку                                 | 4               |              |
| 3     | Визначення питомих теплоємностей $c_{pm}$ та $c_{vm}$ реальних газів методом адіабатичного розширення | 4               | 2            |
| 4     | Експериментально-теоретичне дослідження фазових переходів рідина-насичена пара                        | 4               |              |
| 5     | Дослідження процесів адіабатичного процесу витікання повітря через сопло, що звужується               | 4               | 2            |
| 6     | Дослідження циклу паросилової установки                                                               | 4               | 2            |
| 7     | Дослідження циклу парокомпресорної холодильної машини                                                 | 4               |              |
| 8     | Дослідження процесів підігріву, охолодження і осушення вологого повітря                               | 4               | 2            |
|       | Разом                                                                                                 | 30              | 8            |

### Завдання для самостійної роботи

| № з/п | Вид роботи                     | Кількість годин |              |
|-------|--------------------------------|-----------------|--------------|
|       |                                | Денна форма     | Заочна форма |
| 1     | Підготовка до лекцій           | 45              | 90           |
| 2     | Підготовка до практичних робіт | 60              | 94           |
|       | Разом                          | 105             | 184          |

## 6. МЕТОДИ НАВЧАННЯ, ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ТА МЕТОДІВ ЇХ ДЕМОНСТРУВАННЯ

Під час проведення занять використовуються наступні методи навчання:

- для лекційних занять: пояснювально-ілюстративний метод, що включає повідомлення готової інформації різними засобами, а саме словесним, наочним, практичним та усвідомлення і запам'ятовування цієї інформації здобувачами при написанні конспекту;
- для практичних занять крім пояснювально-ілюстративного методу також застосовується і проблемне викладання, що включає постановку викладачем перед здобувачами проблеми і визначення шляхів її розв'язання з приховуванням можливих пізнавальних суперечностей;
- для самостійної роботи застосовується як проблемний так і частково-пошуковий методи, що при визначеній проблемі за рахунок отриманих знань на лекційних та практичних заняттях, дозволяє їм розв'язувати, а приховані пізнавальні моменти вони вирішують самі з отриманням консультації від викладача.

Контроль та самоконтроль здійснюється оцінюванням якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни за результатами використання матеріалу вивченого під час лекційних та практичних занять при виконанні поточного модульного контролю (ПМК), що передбачено робочим навчальним планом згідно робочій навчальній програмі під час проведення поточного контролю, самостійної роботи та підсумкової атестації.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання за дисципліною "Технічна термодинаміка / Technical thermodynamics " є: ПМК та екзамен.

## 7. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного модульного контролю (тестування) і оцінки заключного етапу – екзамену.

Поточний модульний контроль проводиться у формі тестування: ПМК1 – 10 питань, ПМК2 – 10 та ПМК3 – 10. Сумарна кількість балів поточного модульного контролю – 36 (сумарно ПМК1  $0,8 \cdot 10 = 8$  балів, ПМК2 та ПМК3 по  $1,4 \cdot 10 = 14$  балів). Виконання та захист лабораторних робіт – 24 бала. Виконання практичних завдань – 24 бала. Питома вага поточного контролю в загальній системі оцінок складає – **84 бали**.

Питома вага заключного підсумкового контролю тестування (10 питань) в загальній системі оцінок – **16 балів** ( $1,6 \cdot 10 = 16$  балів). Право здавати екзамен надається студенту, якій з урахуванням максимальних балів проміжних оцінок та заключного тестування набирає не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок, оцінки заключного тестування на екзамені.

Поточний контроль проводиться на лекційних заняттях шляхом опитування студентів щодо засвоєння матеріалів лекційних, практичних занять, а також самостійної підготовки. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти зі зазначених у програмі тем (у тому числі, самостійно

опрацьованого матеріалу) під час роботи на лекційних заняттях та набутих практичних навичок під час виконання завдань практичних робіт.

## Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

### Критерії оцінювання практичних занять

| № з/п | Назва теми                                                                  | Кількість годин |              |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|
|       |                                                                             | Денна форма     | Заочна форма |
| 1     | Розрахунок параметрів ідеально - газової суміші                             | 3               | 12           |
| 2     | Теплоємності компонентів та суміші                                          | 3               | –            |
| 3     | Розрахунок довільного циклу, що складається з чотирьох політроп             | 3               | 12           |
| 4     | Оптимізація циклу газового двигуна                                          | 3               | –            |
| 5     | Детальний розрахунок оптимального циклу                                     | 3               | –            |
| 6     | Графічна масштабна побудова оптимального циклу в $v-p$ та $s-T$ координатах | 3               | –            |
| 7     | Втрати працездатності в оптимальному циклі                                  | 3               | –            |
| 8     | Регенерація теплоти в циклах теплових двигунів                              | 3               | –            |
|       | <b>Разом</b>                                                                | <b>24</b>       | <b>24</b>    |

| Кількість балів, денне/заочне | Критерії оцінювання                                                                                                                   |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3/12                          | Результат правильний, повний, логічний; містить аналіз та додаткову інформацію, систематизацію, узагальнення, аргументовані висновки. |
| 2/8...11                      | Результат здебільшого правильний; містить аналіз, узагальнення, та допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу    |
| 1/3...7                       | Результат частково правильний, містить неточності, недостатньо обґрунтований.                                                         |
| 0/0...2                       | Результат має суттєві помилки, використовуються невірна термінологія або студент не показує результат взагалі                         |

### Критерії оцінювання лабораторних робіт

| № з/п    | Назва теми                                                                                            | Максимальна кількість балів |              |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|
|          |                                                                                                       | Денна форма                 | Заочна форма |
| <b>1</b> | <b>2</b>                                                                                              | <b>3</b>                    | <b>4</b>     |
| 1        | Визначення густини і коефіцієнта стисливості повітря методом витікання через отвір                    | 3                           |              |
| 2        | Визначення питомої теплоємності газу при сталому тиску методом потоку                                 | 3                           |              |
| 3        | Визначення питомих теплоємностей $c_{pm}$ та $c_{vm}$ реальних газів методом адіабатичного розширення | 3                           | 6            |

| 1 | 2                                                                                       | 3         | 4         |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| 4 | Експериментально-теоретичне дослідження фазових переходів рідина-насичена пара          | 3         |           |
| 5 | Дослідження процесів адіабатичного процесу витікання повітря через сопло, що звужується | 3         | 6         |
| 6 | Дослідження циклу паросилової установки                                                 | 3         | 6         |
| 7 | Дослідження циклу парокомпресорної холодильної машини                                   | 3         |           |
| 8 | Дослідження процесів підігріву, охолодження і осушення вологого повітря                 | 3         | 6         |
|   | <b>Разом</b>                                                                            | <b>24</b> | <b>24</b> |

| Кількість балів, денне/заочне | Критерії оцінювання лабораторних робіт                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3/6                           | Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу самостійно згідно методичних вказівок; чітко формулює мету роботи та основні положення теорії; застосовує коректні методи обробки отриманих результатів та комп'ютерні програми; у висновках надає коректну інтерпретацію результатів; звіт відповідає вимогам до оформлення лабораторних робіт. Студент правильно відповідає на 90...100 % контрольних запитань. |
| 2/4...5                       | Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно методичних вказівок, іноді після консультацій викладача; правильно формулює мету роботи та основні положення теорії; в цілому правильно складає звіт та робить висновки; відповідає на 74...89 % контрольних запитань.                                                                                                                                     |
| 1/2...3                       | Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно методичних вказівок, складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки; відповідає на 60...73 % контрольних запитань.                                                                                                                                                                                                                             |
| 0/1...2                       | Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу після консультацій викладача; складає звіт, що містить значні неточності у висновках та помилки; відповідає на 35...59 % контрольних запитань.                                                                                                                                                                                                       |

| Кількість балів | Критерії оцінювання ПМК 1                                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1               | 2                                                                                                                                                                                      |
| 0,8             | Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки.                                                 |
| 0,7...0,6       | Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок. |
| 0,5...0,4       | Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок.                              |

| 1         | 2                                                                                                                                                                  |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,3...0,2 | Відповідь на питання неповна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.        |
| 0...0,1   | Відповідь на питання неповна або відсутня, не підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок. |

| Кількість балів | Критерії оцінювання ПМК 2, 3                                                                                                                                                           |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,14            | Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки.                                                 |
| 0,11...0,13     | Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок. |
| 0,8...0,10      | Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок.                              |
| 0,4...0,7       | Відповідь на питання неповна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.                            |
| 0...0,3         | Відповідь на питання неповна або відсутня, не підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.                     |

| Кількість балів | Критерії оцінювання заключного тестування                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,16            | Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки.                                                 |
| 0,14...0,15     | Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок. |
| 0,11...0,13     | Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок.                              |
| 0,5...0,10      | Відповідь на питання неповна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.                            |
| 0...0,5         | Відповідь на питання неповна або відсутня, не підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість грубих та дрібних помилок.                     |

| Форма контролю               | Максимальна кількість балів |                  |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|
|                              | Денна форма                 | Заочна форма     |
| Виконання практичних завдань | 24 бала                     | 24 бала          |
| Поточний модульних контроль  | 36 балів                    | 36 балів         |
| Захист лабораторних робіт    | 24балів                     | 24балів          |
| Підсумковий контроль         | 16 балів                    | 16 балів         |
| <b>Всього</b>                | <b>100 балів</b>            | <b>100 балів</b> |

### Розподіл балів, які отримують студенти

| Поточне тестування та самостійна робота |                    |                    |                    |                     |      |
|-----------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|------|
| Змістовий модуль 1                      | Змістовий модуль 2 | Змістовий модуль 3 | Лабораторні роботи | Заключне тестування | Сума |
| ПМК 1                                   | ПМК 2              | ПМК 3              |                    |                     |      |
| Пр. 1, 2, 3                             | Пр. 4, 5           | Пр. 6, 7, 8        |                    |                     |      |
| 8+9=17                                  | 6+14=20            | 9+14=23            | 24                 | 16                  | 100  |

Пр1– Пр 8 – практичні заняття змістовних модулів.

ПМК1 – ПМК3 – поточний модульний контроль змістовних модулів.

### 8. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

|                      |        | Денне відділення         |                 | Заочне відділення        |                 |
|----------------------|--------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|
|                      |        | Вид роботи               | Кількість балів | Вид роботи               | Кількість балів |
| ЗМ 1                 | T1, T2 | Практичне заняття №1     | 3               | Практичне заняття №1     | 12              |
|                      | T3, T4 | Практичне заняття №2     | 3               |                          |                 |
|                      | T5     | Практичне заняття №3     | 3               |                          |                 |
|                      | ПМК1   | Тестування за темами ЗМ1 | 8               | Тестування за темами ЗМ1 | 8               |
| ЗМ2                  | T9     | Практичне заняття №4     | 3               |                          |                 |
|                      | T10    | Практичне заняття №5     | 3               | Практичне заняття №2     | 12              |
|                      | ПМК2   | Тестування за темами ЗМ2 | 14              | Тестування за темами ЗМ2 | 14              |
| ЗМ3                  | T20    | Практичне заняття №6     | 3               |                          |                 |
|                      | T23    | Практичне заняття №7     | 3               |                          |                 |
|                      | T28    | Практичне заняття №8     | 3               |                          |                 |
|                      | ПМК3   | Тестування за темами ЗМ3 | 14              | Тестування за темами ЗМ3 | 14              |
| Лабораторні роботи   |        |                          | 24              |                          | 24              |
| Підсумковий контроль |        | Тестування               | 16              | Тестування               | 16              |
| Всього               |        |                          | 100             |                          | 100             |

### 9. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

#### Основна література:

1. Буляндра, О. Ф. Технічна термодинаміка [Текст] / О. Ф. Буляндра – К.: Техніка, 2006. – 320 с.
2. Енергетичні об'єкти морської інфраструктури: теплофізичні процеси і екологічні показники [Текст] / В.В. Кузнецов, С.С. Рижков, А.П. Шевцов. – Миколаїв: видавець Торубара В.В., 2016. – 288 с.
3. Константинов С.М. Теоретичні основи теплотехніки [Текст] / С.М.Константинов, Є.М.Панов – К.: «Золоті Ворота», 2012. – 592 с.
4. Пеньков В. І. Технічна термодинаміка : навч. посібник [Текст] / В. І. Пеньков. – Рівне : НУВГП, 2010. – 209 с.
5. Обертюх Р. Р. Теоретичні основи теплотехніки: навч. посібник [Текст] / Р. Р. Обертюх. - Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. - 165 с

6. **Федоров В.Г.** Теплотехніка. Курс лекцій [Текст] / В.Г. Федоров, В.О. Виноградов-Салтиков, О.І. Кепко– Умань, Вид-во УНУС., 2010. 127 с
7. **Подушко Л.О.** Теплофізичні властивості води і водяної пари. Довідкові матеріали. Навчальний посібник [Текст] / Л.О. Подушко, Л.О.Синенко . – К. КЕФК, 2022. – 32 с.
8. **Кузнецов, В. Г.** Розрахунок газових сумішів [Текст] / В. Г. Кузнецов, С. Г. Фордуй – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 39 с.
9. **Кузнецов, В. Г.** Розрахунок і термодинамічний аналіз газових циклів теплових двигунів [Текст] / В. Г. Кузнецов, В.В. Кузнецов – Миколаїв: НУК, 2006. – 44с.
- 10.Збірник лабораторних робіт з дисципліни “Технічна термодинаміка” [Текст] / Ю. Д. Кардашев, В. Г. Кузнецов, С. Г. Фордуй, В. В. Кузнецов. – Миколаїв: УДМТУ, 2000. – 88с
- 11.**Кузнецов, В. Г.** Методичні вказівки до виконання курсової роботи з «Технічної термодинаміки» [Текст] / Кузнецов В. Г., Кузнецов В. В. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 40с
- 12.**Кузнецов, В.Г.** Збірник лабораторних робіт з курсу «Технічна термодинаміка» [Електронне видання] / В. Г. Кузнецов, В. В. Кузнецов. Електронне видання комбінованого використання на DWD-ROM. Миколаїв, НУК, 2012

#### **Допоміжна література:**

- 13.Теплотехніка. Підручник. [Текст] / Б.Х. Драганов, О.С. Бесараб, А.А. Долінський, В.О., Лазоренко. За ред. Б.Х. Драганова. – 2-е вид. перероб. і доп. –К.: Фірма „ІНКОС”, 2005. – 400 с.
- 14.**Дубровська В.В.** Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. [Текст] / В.В. Дубровська, В.І.Шкляр.- К.: НТУУ «КПІ», Вид-во «Політехніка», 2016. – 152 с