

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
МАШИНОБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТУРБІН

Код РПНД Т73634



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-педагогічної роботи

 Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Теорія турбін

THEORY OF TURBINES

рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

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

01 вересня 2021 року. – 27 с.

Розробники:

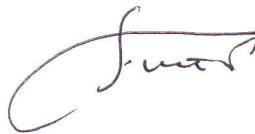
Патлайчук В.М., завідувач кафедри турбін, канд. техн. наук, доцент;

Козловський А.В., доцент кафедри турбін, канд. техн. наук.

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

Гарант освітньої програми

канд. техн. наук, доцент

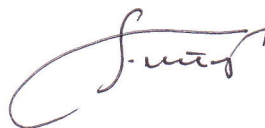


Патлайчук В.М.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія турбін" розглянуто на засіданні кафедри турбін.

Протокол № 9 від «19» 06 2021 р.

Завідувач кафедри



Патлайчук В.М.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія турбін" розглянуто Методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 11 від «24» 06 2021 р.

Голова



Сербін С.І.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія турбін" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу

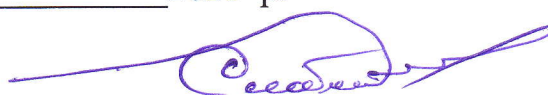


Лабарткава А.В.

Робоча програма навчальної дисципліни "Теорія турбін" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 7 від «26» 08 2021 р.

Голова НМР НУК



Трушляков Є.І.

© НУК, 2021

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 методи їх демонстрування	16
7. Форми поточного та підсумкового контролю	17
8. Критерії оцінювання результатів навчання	23
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна	25
10. Рекомендовані джерела інформації	25

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на одержання базових знань в області теорії, розрахунку та проектування турбін, що забезпечить можливість створення високоефективних турбінних агрегатів різноманітних типів та цільових призначень.

Дисципліна призначена ознайомити студентів із існуючими та перспективними типами турбін та їх конструктивними особливостями; дати необхідний теоретичний апарат для проведення практичних розрахунків та проектування з оптимальними параметрами.

Протягом вивчення даної дисципліни студенти повинні ознайомитися із використанням турбін в енергетиці, їх класифікацією та показниками ефективності, особливостями робочого процесу, методами розрахунку турбінних ступенів різного типу, шляхами підвищення їх ефективності, особливостями проектування багатоступінчастих турбін, вибором основних геометричних і режимних параметрів та методами визначення характеристик осьових та доцентрових турбін.

Ключові слова: турбіна, ефективність, турбінний ступінь, робочий процес, режимні параметри, геометричні параметри.

Abstract

The discipline is aimed at obtaining basic knowledge in the field of theory, calculation and design of turbines, which will provide the possibility of creating highly efficient turbine units of various types and purposes.

The discipline is designed to acquaint students with existing and promising types of turbines and their design features; to give the necessary theoretical apparatus for conducting practical calculations and designing with optimal parameters.

During the study of this discipline, students should become familiar with the use of turbines in energy production, their classification and efficiency indicators, features of the working process, methods of calculating turbine stages of various types, ways of increasing their efficiency, design features of multi-stage turbines, selection of basic geometric and mode parameters and methods of determining characteristics axial and centripetal turbines.

Keywords: turbine, efficiency, turbine stage, working process, mode parameters, geometric parameters.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни			
		Денна форма навчання		Заочна форма навчання	
Кількість кредитів – 9	Газузь знань: 14 "Електрична інженерія"	Обов'язкова			
Модулів – 3	Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування" Освітня програма: "Газотурбінні установки і компресорні станції"	Рік підготовки:			
Змістових модулів – 4		3-й		3-й	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: <i>курсний проєкт</i>					
Загальна кількість годин – 270		Семестри:			
		5-й	6-й	5-й	6-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 та 4; самостійної роботи студента – 3 та 8.	Освітній рівень: перший (бакалаврський)	Лекції			
		15 год	30 год	6 год	24 год
		Практичні заняття			
		15 год	30 год	6 год	24 год
		Лабораторні заняття			
		15 год	–	6 год	–
		Самостійна робота			
		45 год	120 год	72 год	132 год
		Індивідуальні завдання			
		–	КП	–	КП
		Вид контролю: екзамен (5-й семестр), екзамен та курсовий проєкт (6-й семестр)			
		Форма контролю: комбінована			

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни "Теорія турбін" є формування у студентів відповідно до освітньо-професійної програми таких **компетентностей**:

- ІК-1. Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі і практичні проблеми у галузі енергетичного машинобудування або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

- ФК2. Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.
- ФК4. Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проєктуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання.
- ФК5. Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проєктування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення дисципліни є освоєння матеріалу дисциплін "Теоретична механіка", "Деталі машин" та "Технічна термодинаміка", які викладаються у 2-4-му навчальних семестрах.

4. Очікувані результати навчання

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

- ПРН4. Застосовувати інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 Енергетичне машинобудування; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.
- ПРН11. Розуміння застосовуваних методик проєктування і досліджень у сфері енергетичного машинобудування, а також їх обмежень.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1 (семестр №5)

Змістовий модуль 1. Загальні відомості про осьові та радіальні турбіни

Тема 1. Принцип дії та будова найпростішої осьової турбіни. Особливості турбіни як теплового двигуна [4]. стор. 4-8.

Тема 2. Типи осьових турбінних ступенів. Міра реактивності. Графіки швидкостей і тиску. Трикутники швидкостей [4]. стор. 8-12.

Тема 3. Будова та особливості радіальних турбін. Переваги та недоліки, галузі застосування радіальних турбін [4]. стор. 17-20.

Змістовий модуль 2. Теорія турбінного ступеня

Тема 4. Основні рівняння одновимірному газового потоку стосовно турбінних каналів. Рівняння стану, суцільності, енергії, термодинамічного процесу [1]. стор. 6-8, [2]. стор. 20-30.

Тема 5. Ізоентропійний процес розширення газу в соплових та робочих каналах. Визначення теоретичних швидкостей витікання робочого тіла [1]. стор. 8-12, [2]. стор. 30-45.

Тема 6. Структура потоку і аналіз втрат енергії в турбінних каналах. Втрати профільні і кінцеві [1]. стор. 12-18, [2]. стор. 78-109.

Тема 7. Дійсний процес течії робочого тіла в турбінних каналах. Зображення дійсного процесу на h - s діаграмі водяної пари [1]. стор. 18-31, [2]. стор. 45-61.

Модуль 2 (семестр №6)

Змістовий модуль 3. Розрахунок осьового турбінного ступеня

Тема 8. Силова дія потоку на робочі лопатки. Рівняння Ейлера [1]. стор. 32-45, [2]. стор. 67-70.

Тема 9. Колова робота та коловий ККД турбінного ступеня. Залежність ККД від параметрів ступеня та його характеристики [1]. стор. 45-62, [2]. стор. 121-139.

Тема 10. Внутрішні втрати енергії в турбінному ступені. Камерні втрати [1]. стор. 62-75, [2]. стор. 140-176.

Тема 11. Внутрішній ККД та внутрішня потужність турбінного ступеня. Побудова процесу течії робочого тіла в турбінному ступені на h - s діаграмі водяної пари [1]. стор. 75-82, [2]. стор. 176-179.

Тема 12. Особливості проєктування ступенів з відносно довгими лопатками. Віялові втрати [1]. стор. 82-85, [2]. стор. 202-206.

Тема 13. Закручення лопаток за законом $c_1 r^{\cos^2 \alpha_1} = \text{const}$ та за законом сталості циркуляції. Вибір способу закручення лопаток [1]. стор. 85-86, [2]. стор. 208-229.

Тема 14. Профілювання турбінних решіток [2]. стор. 230-244.

Тема 15. Особливості проектування ступенів парових турбін [2]. стор. 191-201.

Тема 16. Особливості проектування ступенів газових турбін [2]. стор. 191-201.

Змістовий модуль 4. Багатоступінчасті турбіни

Тема 17. Методи перетворення великих енергій із високим ККД. Умови застосування багатоступінчастих турбін [1]. стор. 86-87, [2]. стор. 245-248, [3]. стор. 4-20.

Тема 18. Багатоступінчасті турбіни зі ступенями тиску [1]. стор. 87-88, [2]. стор. 14-17, [3]. стор. 21-34, [4]. стор. 3-18.

Тема 19. Багатоступінчасті турбіни зі ступенями швидкості [1]. стор. 89-91, [2]. стор. 12-14, [3]. стор. 35-48, [4]. стор. 19-32.

Тема 20. Використання вихідної енергії проміжних ступенів багатоступінчастих турбін [1]. стор. 91-92, [2]. стор. 248-251.

Тема 21. Повернута теплота в багатоступінчастих турбінах. ККД багатоступінчастої турбіни і його зв'язок із ККД окремих ступенів [1]. стор. 92-94, [2]. стор. 254-259.

Тема 22. Особливості проектування багатоступінчастих турбін [2]. стор. 259-263, [3]. стор. 21-112, [4]. стор. 34-155.

Модуль 3 (курсний проєкт)

Індивідуальне науково-дослідне завдання [1], [4].

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пр.	лаб	с.р.		л	пр.	лаб	с.р.
Модуль 1 (семестр №5)										
Змістовий модуль 1. Загальні відомості про осьові та радіальні турбіни										
Тема 1. Принцип дії та будова найпростішої осьової турбіни. Особливості турбіни як теплового двигуна	10	2	2	2	4	10	1	1	1	7
Тема 2. Типи осьових турбінних ступенів. Міра реактивності. Графіки швидкостей і тиску. Трикутники швидкостей	10	2	2	2	4	10	1	1	1	7
Тема 3. Будова та особливості радіальних турбін. Переваги та недоліки, галузі застосування радіальних турбін	10	2	2	2	4	10	1	1	1	7
Разом за змістовим модулем 1	30	6	6	6	12	30	3	3	3	21
Змістовий модуль 2. Теорія турбінного ступеня										
Тема 4. Основні рівняння одновимірного газового потоку стосовно турбінних каналів. Рівняння стану, суцільності, енергії, термодинамічного процесу	15	2	3	2	8	15	1	–	1	13
Тема 5. Ізоентропійний процес розширення газу в соплових та робочих каналах. Визначення теоретичних швидкостей витікання робочого тіла	15	2	2	3	8	15	1	1	1	12
Тема 6. Структура потоку і аналіз втрат енергії в турбінних каналах. Втрати профільні і кінцеві	15	2	2	2	9	15	–	1	1	13
Тема 7. Дійсний процес течії робочого тіла в турбінних каналах. Зображення дійсного процесу на <i>h-s</i> діаграмі водяної пари	15	3	2	2	8	15	1	1	–	13
Разом за змістовим модулем 2	60	9	9	9	33	60	3	3	3	51
Усього годин за модулем 1	90	15	15	15	45	90	6	6	6	72

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пр.	лаб	с.р.		л	пр.	лаб	с.р.
Модуль 2 (семестр №6)										
Змістовий модуль 3. Розрахунок осьового турбінного ступеня										
Тема 8. Силова дія потоку на робочі лопатки. Рівняння Ейлера	7	2	2	–	3	7	2	2	–	3
Тема 9. Колова робота та коловий ККД турбінного ступеня. Залежність ККД від параметрів ступеня та його характеристики	7	2	2	–	3	7	2	2	–	3
Тема 10. Внутрішні втрати енергії в турбінному ступені. Камерні втрати	6	2	2	–	2	6	2	2	–	2
Тема 11. Внутрішній ККД та внутрішня потужність турбінного ступеня. Побудова процесу течії робочого тіла в турбінному ступені на $h-s$ діаграмі водяної пари	7	2	2	–	3	7	2	2	–	3
Тема 12. Особливості проектування ступенів з відносно довгими лопатками. Віялові втрати	7	2	2	–	3	7	2	2	–	3
Тема 13. Закручення лопаток за законом $c_1 r^{\cos^2 \alpha_1} = \text{const}$ та за законом сталості циркуляції. Вибір способу закручення лопаток	6	2	2	–	2	6	2	2	–	2
Тема 14. Профілювання турбінних решіток	7	2	2	–	3	7	2	2	–	3
Тема 15. Особливості проектування ступенів парових турбін	7	2	2	–	3	7	2	2	–	3
Тема 16. Особливості проектування ступенів газових турбін	6	2	2	–	2	6	2	2	–	2
Разом за змістовим модулем 3	60	18	18	–	24	60	18	18	–	24
Змістовий модуль 4. Багатоступінчасті турбіни										
Тема 17. Методи перетворення великих енергій із високим ККД. Умови застосування багатоступінчастих турбін	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 18. Багатоступінчасті турбіни зі ступенями тиску	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л	пр.	лаб	с.р.		л	пр.	лаб	с.р.
Тема 19. Багатоступінчасті турбіни зі ступеннями швидкості	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 20. Використання вихідної енергії проміжних ступенів багатоступінчастих турбін	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 21. Повернута теплота в багатоступінчастих турбінах. ККД багатоступінчастої турбіни і його зв'язок із ККД окремих ступенів	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 22. Особливості проектування багатоступінчастих турбін	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Разом за змістовим модулем 4	30	12	12	–	6	30	6	6	–	18
Усього годин за модулем 2	90	30	30	–	30	90	24	24	–	42
Модуль 3 (курсовий проєкт)										
Інформаційний пошук	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Термогазодинамічний розрахунок ступеня турбіни на середньому діаметрі	40	–	–	–	40	40	–	–	–	40
Розрахунок закручення лопаток	8	–	–	–	8	8	–	–	–	8
Виконання ескізу проточної частини, побудова трикутників швидкості	8	–	–	–	8	8	–	–	–	8
Розробка креслення поздовжнього перерізу ступеня турбіни	14	–	–	–	14	14	–	–	–	14
Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	8	–	–	–	8	8	–	–	–	8
Захист проєкту	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Усього годин за модулем 3	90	–	–	–	90	90	–	–	–	90
Разом за курсом	270	45	45	15	165	270	30	30	6	204

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Принцип дії та будова найпростішої осьової турбіни. Особливості турбіни як теплового двигуна	2	1
2	Особливості будови осьових турбін газо- та паротурбінних установок	2	1
3	Будова та особливості радіальних турбін. Переваги та недоліки, галузі застосування радіальних турбін	2	1
4	Типи турбінних решіток. Характеристики турбінних профілів	2	–
5	Використання основних рівнянь одновимірного газового потоку при визначенні геометричних і газодинамічних характеристик турбінних ступенів	3	1
6	Аналіз впливу геометричних та режимних параметрів на профільні і кінцеві втрати в турбінних каналах	2	1
7	Визначення параметрів водяної пари за допомогою $h-s$ діаграми та термодинамічних таблиць	2	1
8	Принципи використання одновимірної моделі для розрахунку осьових турбінних ступенів	2	2
9	Термогазодинамічний розрахунок ступеня осьової турбіни на середньому діаметрі (частина 1)	2	2
10	Термогазодинамічний розрахунок ступеня осьової турбіни на середньому діаметрі (частина 2)	2	2
11	Побудова процесу течії робочого тіла в турбінному ступені на $h-s$ діаграмі водяної пари	2	2
12	Особливості проектування ступенів з відносно довгими лопатками	2	2
13	Закручення лопаток за законом $c_1 r^{\cos^2 \alpha_1} = \text{const}$ та за законом сталості циркуляції. Вибір способу закручення лопаток	2	2
14	Профілювання турбінних решіток	2	2
15	Особливості проектування ступенів парових турбін	2	2
16	Особливості проектування ступенів газових турбін	2	2
17	Багатоступінчасті турбіни активні, реактивні та змішані. Їх особливості конструкції, переваги і недоліки, галузі застосування	2	1
18	Багатоступінчасті турбіни одно- та багатокорпусні (одно- та багатоциліндрові). Їх особливості конструкції, переваги і недоліки, галузі застосування	2	1
19	Турбіни перегрітої пари та вологопарові. Їх переваги і недоліки, галузі застосування	2	1

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
20	Класифікація парових турбін за характером теплового процесу	2	1
21	Принципи регулювання потужності парових турбін	2	1
22	Особливості проектування багатоступінчастих турбін	2	1
РАЗОМ		45	30

Теми лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Дослідження плоского потенціального обтікання нестисливою рідиною одиничного профіля методом електрогідродинамічної аналогії. Частина 1 – Вибір вихідних даних, розрахунок та виготовлення експериментальної моделі.	2	1
2	Дослідження плоского потенціального обтікання нестисливою рідиною одиничного профіля методом електрогідродинамічної аналогії. Частина 2 – Експериментальне дослідження обтікання профіля за аналогією А.	2	1
3	Дослідження динаміки потоку газу в плоскій турбінній решітці. Частина 1 – Проведення дослідів.	2	1
4	Дослідження динаміки потоку газу в плоскій турбінній решітці. Частина 2 – Обробка результатів досліджень. Аналіз одержаних результатів.	2	1
5	Визначення втрат в плоскій турбінній решітці та кута виходу потоку. Частина 1 – Перша серія дослідів.	3	1
6	Визначення втрат в плоскій турбінній решітці та кута виходу потоку. Частина 2 – Друга серія дослідів.	2	1
7	Визначення втрат в плоскій турбінній решітці та кута виходу потоку. Частина 3 – Обробка результатів досліджень. Аналіз одержаних результатів.	2	–
РАЗОМ		15	6

Розподіл часу самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
Модуль 1 (семестр №5)			
1	Підготовка до лабораторних робіт	30	30
2	Підготовка реферату	–	27
3	Підготовка до екзамену	15	15
	Усього годин за модулем 1	45	72
Модуль 2 (семестр №6)			
1	Підготовка рефератів	15	27
2	Підготовка до екзамену	15	15
	Усього годин за модулем 2	30	42
Модуль 3 (курсовий проєкт)			
1	Виконання курсового проєкту	90	90
	Усього годин за модулем 3	90	90
Разом за курсом		165	204

Індивідуальне науково-дослідне завдання (курсовий проєкт)

В індивідуальному науково-дослідному завданні (курсовому проєкті) виконується проєктування одноступінчастої осьової турбіни газотурбінного двигуна під певні вихідні параметри та умови експлуатації.

Протягом інформаційного пошуку проводиться аналіз конструкції одноступінчастої турбіни газотурбінного двигуна, який оговорено у завданні у ролі базового. Як правило, у ролі базових використовуються турбіни високого або низького тиску газотурбінних двигунів вітчизняних виробників, зокрема, підприємства ДП НВКГ "Зоря"- "Машпроект" (м. Миколаїв).

В процесі термогазодинамічного розрахунку ступеня турбіни на середньому діаметрі шляхом послідовного дослідження процесів у сопловому апараті і в робочій решітці визначаються абсолютні та відносні швидкості руху потоку в

характерних перерізах ступеня, кути входу та виходу потоку, а також колові втрати енергії в соплових та робочих каналах. В кінці розрахунку мають бути визначені камерні втрати, колова та внутрішня роботи ступеня, коловий та внутрішній ККД, а також довжина та кількість соплових і робочих лопаток та потужність ступеня.

При розрахунку камерних втрат в ступені необхідно враховувати особливості його конструктивного виконання: наявність або відсутність бандажу, наявність та місце розташування зазорів, їхній тип (відкритий чи закритий зазор) і величину та ін.

Слід зазначити, що використовуєма методика розрахунку ступеня осьової турбіни на середньому діаметрі передбачає, що геометричні характеристики турбінних каналів і параметри робочого тіла за довжиною лопаток залишаються незмінними, тобто вважається, що потік у соплових і робочих каналах є плоскорівнобіжним. В ступенях газових турбін потік в каналах, як правило, має явно виражений просторовий характер, а отже, дійсні показники таких ступенів будуть істотно відрізнятися від розрахункових.

З метою урахування просторового характеру потоку і скорочення віялових втрат лопатковий апарат турбінного ступеня за довжиною закручують. Відповідний розрахунок головних геометричних параметрів ступеня на трьох характерних його перерізах виконується у 3-й частині курсового проєкту.

За результатами розрахунку будуються ескіз проточної частини турбінного ступеня та трикутники швидкостей на середньому діаметрі.

Отримані протягом розрахунків параметри використовуються як вихідні для розробки конструкції та побудови креслення поздовжнього перерізу одноступінчастої осьової турбіни газотурбінного двигуна.

Приклади тем індивідуальних завдань курсового проєкту:

- "Проектування одноступінчастої турбіни низького тиску енергетичного газотурбінного двигуна UGT 25000 (модифікація ДГ80)";
- "Проектування одноступінчастої турбіни високого тиску газотурбінного двигуна UGT 10000 (модифікація ДИ70)";
- "Проектування одноступінчастої турбіни низького тиску суднового газотурбінного двигуна UGT 6000 (модифікація ДП71)";
- "Проектування одноступінчастої турбіни високого тиску енергетичного

газотурбінного двигуна UGT 3000 (модифікація ДЕ76)";

- "Проектування 1-го ступеня силової турбіни газотурбінного двигуна UGT 15000 (модифікація ДГ90)";
- "Проектування 4-го ступеня турбіни нагнітача газотурбінного двигуна UGT 10000 (модифікація ДН70)";
- "Проектування 3-го ступеня турбіни газотурбінного двигуна ГТД 110";
- "Проектування одноступінчастої турбіни високого тиску газотурбінного двигуна UGT 25000 (модифікація ДН80)";
- "Проектування 2-го ступеня турбіни енергетичного газотурбінного двигуна UGT 2500";
- "Проектування одноступінчастої турбіни високого тиску газотурбінного двигуна UGT 6000 (модифікація ДТ71)";
- "Проектування одноступінчастої турбіни низького тиску суднового газотурбінного двигуна UGT 3000 (модифікація ДС76)".

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

Набуття здобувачами компетенцій забезпечується через засвоєння навчального матеріалу у вигляді лекційних, практичних, лабораторних занять, виконання науково-дослідного завдання та самостійної роботи студентів.

Основними методами навчання з дисципліни є:

1. Пояснювально-ілюстративний метод, за допомогою повідомлення та засвоєння інформації на лекційних, практичних та лабораторних заняттях словесними й наочними засобами.

2. Проблемний метод, коли на практичних та лабораторних заняттях створюються пошукові ситуації, розвивається активність, самостійність, творчі здібності здобувачів освіти.

3. Дослідницький – творче застосування знань, оволодіння методами наукового пізнання, формування досвіду самостійного наукового пошуку.

Як наочний матеріал на лекціях застосовуються мультимедійні слайди та лекційні демонстрації.

Для зручної та ефективної організації навчального процесу використовується Google Classroom з навчальної дисципліни, де розташовані конспекти лекцій, завдання до індивідуальних робіт та супроводжувальні матеріали.

З метою роз'яснення найбільш складних питань дисципліни та підвищення якості виконання завдань практичних та лабораторних робіт проводяться групові та індивідуальні консультації за розкладом кафедри.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з дисципліни "Теорія турбін" є:

- усні та письмові відповіді на практичних заняттях;
- виконання лабораторних робіт;
- підготовка рефератів;
- виконання курсового проєкту;
- екзамени.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова семестрова оцінка включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного екзамену. У кожного компонента своя частка в загальній системі оцінок. У проміжних оцінках студент може набрати максимум **60 балів**. Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (активність, участь в дискусіях; виконання завдань та інше).

Поточний контроль проводиться на кожному практичному та лабораторному 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 роботи на практичних та лабораторних заняттях.

Питома вага заключного екзамену в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний екзамен надається студенту, який з урахуванням отриманих балів проміжних оцінок і заключного екзамену може набрати разом не

менше **60 балів**. Підсумкова семестрова оцінка є сумою проміжних оцінок і оцінки екзамену.

Екзамени проводяться у комбінованій формі (письмові відповіді та усний захист). До екзаменаційного білету входить чотири питання. Кожне питання оцінюється у 10 балів.

Виконання індивідуального науково-дослідного завдання (курсового проекту) оцінюється окремо.

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

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Модуль 1 (семестр №5)		
Відповіді на практичних заняттях	7 x 2 бали = 14 балів	6 x 2 бали = 12 балів
Виконання лабораторних робіт №№1-4	4 x 7 балів = 28 балів	4 x 6 балів = 24 бали
Виконання лабораторних робіт №№5-7	3 x 6 балів = 18 балів	2 x 6 балів = 12 балів
Підготовка реферату	–	1 x 12 балів = 12 балів
Екзамен	40 балів	40 балів
Всього	100	100
Модуль 2 (семестр №6)		
Відповіді на практичних заняттях	15 x 2 бали = 30 балів	15 x 2 бали = 30 балів
Підготовка рефератів	2 x 15 балів = 30 балів	2 x 15 балів = 30 балів
Екзамен	40 балів	40 балів
Всього	100	100
Модуль 3 (курсовий проєкт)		
Пояснювальна записка	40 балів	40 балів
Графічна частина	20 балів	20 балів
Захист проєкту	40 балів	40 балів
Всього	100	100

Відповіді на практичних заняттях	Критерії оцінювання
2	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки.
1	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована.
0	Студент не дає відповіді або відповідь містить значну кількість суттєвих помилок.
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить:</i> <i>в семестрі № 5 – 14 за денною формою навчання (7 занять по 2 бали) та 12 за заочною формою (6 занять по 2 бали);</i> <i>в семестрі № 6 – 30 (15 занять по 2 бали) як за денною, так і за заочною формою</i>	

Виконання лабораторних робіт №№1-4		Критерії оцінювання
денна форма	заочна форма	
7	6	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, чітко сформульовані цілі, завдання та гіпотеза досліджень. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
6	5	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, в цілому правильно складає звіт та робить висновки.
5	4	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; в цілому правильно складає звіт та робить висновки
4	3	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки.
3	2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією; складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1-2	1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	0	Робота не виконувалася
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 28 для денної форми навчання (4 роботи по 7 балів) та 24 для заочної форми (4 роботи по 6 балів)</i>		

Виконання лабораторних робіт №№5-7		Критерії оцінювання
6		Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, чітко сформульовані цілі, завдання та гіпотеза досліджень. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
5		Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, в цілому правильно складає звіт та робить висновки.
4		Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; в цілому правильно складає звіт та робить висновки
3		Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; складає звіт, що містить неточності у висновках та помилки.
2		Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією; складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1		Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Складений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0		Робота не виконувалася
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 18 для денної форми навчання (3 роботи по 6 балів) та 12 для заочної форми (2 роботи по 6 балів)</i>		

Підготовка реферату		Критерії оцінювання
в семестрі №5	в семестрі №6	
11-12	13-15	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку науковому керівнику у відповідності із планом виконання.
8-10	10-12	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання.
5-7	7-9	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
3-4	4-6	Студент виявляє знання і розуміння більшості положень, але лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.

Підготовка реферату		
0-2	0-3	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає пред'являємим вимогам. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить: в семестрі № 5 – 12 за заочною формою навчання (1 реферат по 12 балів); в семестрі № 6 – 30 (2 реферати по 15 балів) як за денною, так і за заочною формою		

Відповідь на питання екзамена	Критерії оцінювання
9-10	Відповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає матеріал, показує глибокі знання з питання білету, під час доповіді впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.
7-8	Студент спроможний чітко та стисло зробити доповідь, дає правильну відповідь на запитання білету, але не завжди упевнений в аргументації, чи не завжди коректно її формулює.
5-6	Студент спроможний чітко та стисло відповісти на питання білету, належно обґрунтовує матеріал, але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання.
3-4	Студент невпорядковано дає відповіді на питання білету, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати свою позицію, але надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання.
1-2	Студент невпорядковано дає відповідь на питання білету, не спроможний аргументувати свою позицію, не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії.
0	Студент не дає відповіді на питання білету.
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 40 (4 питання по 10 балів)	

Оцінювання виконання курсового проєкту

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання за бальною шкалою
Пояснювальна записка	36-40	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); використання методів математичної статистики; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась систематично та вчасно подана на перевірку науковому керівнику у відповідності із планом виконання курсового проєкту.

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання за бальною шкалою
	31-35	Зміст роботи відповідає обраній темі; наявність чітко сформульованої проблеми; адекватність формулювання об'єкта, предмета, мети та задач дослідження; визначення ступеню розробленості проблеми дослідження; наявність посилань на використану літературу та відповідність оформлення роботи стандарту; адекватність обраних методів предмету дослідження, грамотне використання методів (процедура, обробка, інтерпретація результатів); використання методів математичної статистики; відповідність висновків меті та завданням дослідження. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсового проекту.
	21-30	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Робота виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання курсового проекту.
	16-20	Робота, оформлена за вимогами, які пред'являються до курсових проектів, але має недостатньо критичний аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано. Основні тези роботи розкриті, але недостатньо обґрунтовані, нечітко сформульовано висновки, пропозиції і рекомендації.
	6-15	Студент відтворює значну частину теоретичного матеріалу, виявляє знання і розуміння основних положень і лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
	0-5	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає вимогам, які пред'являються до курсових проектів. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.
Графічна частина	16-20	Графічна частина якісно виконана, елементи креслень підготовлені відповідно до вимог, що висуваються.
	11-15	Графічна частина якісно виконана, елементи креслень оформлені з незначними зауваженнями.
	6-10	Графічна частина низької якості, елементи креслень виконані із порушеннями.
	0-5	Графічна частина низької якості, елементи креслень виконані із суттєвими порушеннями.
Захист роботи	36-40	Доповідь логічно побудована, студент чітко та стисло викладає основні результати дослідження, показує глибокі знання з питань теми, оперує даними дослідження, вносить пропозиції по темі дослідження, під час доповіді вміло використовує графічну частину, впевнено і докладно відповідає на поставлені запитання.
	31-35	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, дає правильні відповіді на всі запитання, але не завжди упевнений в аргументації або не завжди коректно її формулює.
	26-30	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, належно обґрунтовує положення роботи, але допускає неточності у відповідях на запитання.

Параметри оцінювання	Кількість балів	Критерії оцінювання за бальною шкалою
	21-25	Студент спроможний чітко та стисло викласти основні результати дослідження, але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання, не завжди належно обґрунтовує положення роботи.
	16-20	Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.
	11-15	Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, робить спроби аргументувати положення роботи, надає неповні, поверхові, необґрунтовані відповіді на поставлені питання.
	6-10	Студент демонструє задовільні знання з теми дослідження, але не може впевнено й чітко відповісти на додаткові запитання членів комісії, та належно обґрунтувати положення роботи.
	0-5	Студент невпорядковано викладає основні результати дослідження, не спроможний дати відповідь на запитання, відстоювати свою позицію.

8. Критерії оцінювання результатів навчання

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
Модуль 1 (семестр №5)					
ЗМ1	Т1	Практичне заняття №1	2	Практичне заняття №1	2
		Лабораторна робота №1	7	Лабораторна робота №1	6
	Т2	Практичне заняття №2	2	Практичне заняття №2	2
		Лабораторна робота №2	7	Лабораторна робота №2	6
	Т3	Практичне заняття №3	2	Практичне заняття №3	2
		Лабораторна робота №3	7	Лабораторна робота №3	6
	T1-T3	–	–	Підготовка реферату	12
ЗМ2	Т4	Практичне заняття №4	2	–	–
		Лабораторна робота №4	7	Лабораторна робота №4	6
	Т5	Практичне заняття №5	2	Практичне заняття №4	2
		Лабораторна робота №5	6	–	–
	T6	Практичне заняття №6	2	Практичне заняття №5	2

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
		Лабораторна робота №6	6	Лабораторна робота №5	6
Т7	Практичне заняття №7	2	Практичне заняття №6	2	
	Лабораторна робота №7	6	Лабораторна робота №6	6	
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100
Модуль 2 (семестр №6)					
ЗМ3	Т8	Практичне заняття №8	2	Практичне заняття №7	2
	Т9	Практичне заняття №9	2	Практичне заняття №8	2
	Т10	Практичне заняття №10	2	Практичне заняття №9	2
	Т11	Практичне заняття №11	2	Практичне заняття №10	2
	Т12	Практичне заняття №12	2	Практичне заняття №11	2
	Т13	Практичне заняття №13	2	Практичне заняття №12	2
	Т14	Практичне заняття №14	2	Практичне заняття №13	2
	Т15	Практичне заняття №15	2	Практичне заняття №14	2
	Т16	Практичне заняття №16	2	Практичне заняття №15	2
	Т8-Т16	Підготовка реферату №1	15	Підготовка реферату №1	15
ЗМ4	Т17	Практичне заняття №17	2	Практичне заняття №16	2
	Т18	Практичне заняття №18	2	Практичне заняття №17	2
	Т19	Практичне заняття №19	2	Практичне заняття №18	2
	Т20	Практичне заняття №20	2	Практичне заняття №19	2
	Т21	Практичне заняття №21	2	Практичне заняття №20	2
	Т22	Практичне заняття №22	2	Практичне заняття №21	2
	Т17-Т22	Підготовка реферату №2	15	Підготовка реферату №2	15
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100

	Денне відділення		Заочне відділення	
	Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
Модуль 3 (курсний проєкт)				
	Пояснювальна записка	40	Пояснювальна записка	40
	Графічна частина	20	Графічна частина	20
	Захист проєкту	40	Захист проєкту	40
Сума		100		100

9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна

1. Мультимедійне обладнання.

2. Лабораторний стенд для дослідження плоского потенціального обтікання нестисливою рідиною одиничного профіля методом електрогідродинамічної аналогії.

3. Лабораторний стенд для дослідження динаміки потоку газу в плоскій турбінній решітці.

4. Лабораторний стенд для визначення втрат в плоскій турбінній решітці та кута виходу потоку.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Збірник завдань та вправ з теорії і проєктування турбінних агрегатів: навч. посібник / Г.Ф. Романовський, С.І. Сербін, М.В. Ващилєнко, М.П. Седько, В.М. Патлайчук, В.І. Харченко. Миколаїв: НУК, 2012. 248 с.
2. Патлайчук В.М. Проєктування стаціонарних парових турбін: у 2 ч. Ч.1: Розрахунок одноциліндрових турбін. Миколаїв: НУК, 2020. 120 с.

3. Патлайчук В.М. Проектування стаціонарних парових турбін: у 2 ч. Ч.2: Розрахунок багатоциліндрових турбін. Миколаїв: НУК, 2020. 160 с.
4. Романовський Г.Ф., Іпатенко О.Я., Патлайчук В.М. Теорія та розрахунок парових і газових турбін : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 292 с.

Допоміжна література

1. Романовський Г.Ф., Ващилєнко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 304 с.
2. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Газотурбінні агрегати: у 2-х ч. Ч. 1: Загальна будова та класифікація. Миколаїв: НУК, 2016. 215 с.
3. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Газотурбінні агрегати: у 2-х ч. Ч. 2: Елементи конструкцій. Миколаїв: НУК, 2017. 196 с.
4. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 1: Агрегати виробництва України та Росії. Миколаїв: НУК, 2005. 344 с.
5. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 2: Агрегати виробництва країн Західної Європи, Америки та Азії. Миколаїв: НУК, 2008. 420 с.
6. Patlaichuk V.M., Vaschilenko M.V. Design of gas turbine units. Миколаїв: НУК, 2020. 88 с.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. Google Академія: пошукова система і некомерційна бібліометрична база даних, що індексує наукові публікації та наводить дані про їх цитування. URL: <https://scholar.google.com.ua/>.
2. Каталог нормативних документів України. URL: <http://csm.kiev.ua>.
3. Сайт International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/>.

4. Сайт World Nuclear Association. URL: <https://www.world-nuclear.org/>.
5. Сайт науково-технічного журналу "Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова". URL: <http://znp.nuos.mk.ua/>.
6. Сайт науково-технічного журналу "Turbomachinery International". URL: <https://www.turbomachinerymag.com/>.
7. Сайт науково-технічного журналу "Power Technology". URL: <https://www.power-technology.com/?cf-view>.
8. Сайт науково-технічного журналу "Gas Turbine World". URL: <http://gasturbineworld.com>.
9. Сайт журналу "Компресорне і енергетичне машинобудування". URL: <http://mikem.com.ua/zhurnal.html>.
10. Сайт журналу "Проблеми машинобудування". URL: <https://journal-me.com>.
11. Сайт журналу "Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія: "Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування". URL: <http://etpo.khpi.edu.ua>.
12. Сайт журналу "Вісник Вінницького політехнічного інституту". URL: <https://journals.vntu.edu.ua/uk.html#visnyk>.
13. Сайт журналу "Вісник Приазовського державного технічного університету". Серія: "Технічні науки". URL: http://journals.uran.ua/vestnikpgtu_tech.
14. Сайт журналу "Техніка та енергетика". URL: <https://technicalscience.com.ua/uk>.