

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

Код РПНД Т83628

ЗАТВЕРДЖЕНО
Проректор з науково-
педагогічної роботи

Сергій СЛОБОДЯН

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

Теорія робочих процесів газотурбінних установок

**THEORY OF WORKING PROCESSES
OF GAS TURBINE POWER PLANTS**

рівень вищої освіти: другий (магістерський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Робоча програма навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" 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 2022 року. – 26 с.

Розробники:

Ващиленко М.В., доцент кафедри турбін, канд. техн. наук, доцент;

Сербін С.І., професор кафедри турбін, д-р техн. наук, професор.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" узгоджено з гарантом освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".

Гарант освітньої програми
канд. техн. наук, доцент



Володимир ПАТЛАЙЧУК

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" розглянуто на засіданні кафедри турбін.

Протокол № 7 від «25» 04 2022р.

Завідувач кафедри

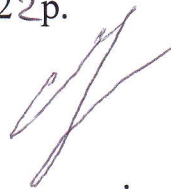


Володимир ПАТЛАЙЧУК

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" розглянуто Методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 10 від «26» 05 2022р.

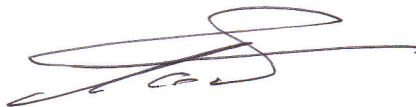
Голова



Сергій СЕРБІН

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу



Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 6 від «29» 06 2022р.

Голова НМР НУК



Євген ТРУШЛЯКОВ

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	22
9. Засоби навчання	24
10. Рекомендовані джерела інформації	24
11. Зміни та доповнення	26

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на засвоєння базових знань і вивчення теоретичних основ проєктування газотурбінних установок і їх елементів, у тому числі багатоступінчастих турбін і камер згоряння, а також отримання практичних навичок в розробці конструкції сучасних газотурбінних установок різного призначення.

Дисципліна повинна ознайомити студентів з сучасними та перспективними методами розрахунку простих і складних теплових схем газотурбінних установок, характеристик робочого процесу багатоступінчастих турбін і камер згоряння та надати теоретичний апарат для проєктування елементів газотурбінних установок.

Внаслідок вивчення дисципліни студент ознайомиться з теоретичними основами робочих процесів в елементах газотурбінного двигуна: багатоступінчастих компресорах, камерах згоряння, турбінах, а також в допоміжному устаткуванні, опанує методики проєктування багатоступінчастих осьових турбін та камер згоряння, основні особливості вибору та оптимізації термодинамічних параметрів простих та складних теплових схем сучасних газотурбінних установок.

Ключові слова: проєктування газотурбінних установок, багатоступінчасті турбіни, камери згоряння газотурбінних двигунів, робочі процеси елементів газотурбінних двигунів.

Abstract

The discipline is aimed at mastering basic knowledge and studying the theoretical foundations of design of gas turbine power plants and their elements, including multistage turbines and combustion chambers, as well as gaining practical skills in developing modern gas turbine power plants for various purposes.

The course should acquaint students with modern and promising methods for calculating simple and complex thermal schemes of gas turbine power plants, the characteristics of the working process of multistage turbines and combustion chambers and provide a theoretical apparatus for designing elements of gas turbine units.

As a result of studying the discipline the student will get acquainted with the theoretical foundations of working processes in the elements of a gas turbine engine: multistage compressors, combustion chambers, turbines, as well as auxiliary equipment, master the techniques of designing multistage schemes of modern gas turbine units.

Keywords: design of gas turbine power plants, multistage turbines, combustion chambers of gas turbine engines, working processes of elements in gas turbine engines.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни			
		Денна форма навчання		Заочна форма навчання	
Кількість кредитів – 10	Галузь знань: 14 "Електрична інженерія"	Обов'язкова			
Модулів – 3	Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування" Освітня програма: "Газотурбінні установки і компресорні станції"	Рік підготовки:			
Змістових модулів – 4		1-й		1-й	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: <i>курсний проєкт</i>					
Загальна кількість годин – 300		Семестри:			
		1-й	2-й	1-й	2-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 та 2; самостійної роботи студента – 5 та 10.	Освітній рівень: другий (магістерський)	Лекції			
		30 год	15 год	14 год	8 год
		Практичні заняття			
		15 год	15 год	6 год	8 год
		Самостійна робота			
		75 год	150 год	100 год	164 год
		Індивідуальні завдання			
		–	КП	–	КП
		Вид контролю: залік (1-й семестр), екзамен та курсовий проєкт (2-й семестр)			
	Форма контролю: комбінована				

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

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

- ІК-1. Здатність розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у галузі енергетичного машинобудування.
- СК 01. Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки в сфері енергетичного машинобудування.

- СК 06. Здатність проєктувати та експлуатувати енергетичне і теплотехнологічне обладнання.
- СК 09. Здатність розробляти фізичні й математичні моделі процесів в газотурбінних установках, а також в системах та механізмах, які їх обслуговують, з аналізом результатів і розробкою методик розрахунку.
- СК 11. Здатність розробляти і впроваджувати енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проєктування та експлуатації газотурбінного та компресорного обладнання.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумови для вивчення дисципліни відсутні.

4. Очікувані результати навчання

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

- РН3. Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проєктування, виготовлення і експлуатації енергетичного обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проєктах.
- РН6. Використовувати методи моделювання, а також методи експериментальних досліджень з метою детального вивчення тепло- і масообмінних, гідравлічних та інших процесів, які відбуваються в технологічному обладнанні та об'єктах енергетичного машинобудування.
- РН8. Розробляти, обирати та застосовувати ефективні розрахункові методи розв'язання складних задач енергетичного машинобудування.
- РН 15. Використовувати енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проєктування та експлуатації газотурбінного та компресорного обладнання.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1 (перший семестр)

Змістовий модуль 1. Параметричні дослідження циклу ГТА простої схеми

Тема 1. Зовнішні і внутрішні фактори, які впливають на показники ефективності й оптимальні параметри циклу і схеми ГТА [2]. стор. 167-189.

Тема 2. Одержання математичної моделі для параметричного аналізу циклу ГТА [2]. стор. 30-46.

Тема 3. Аналіз впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на оптимальні параметри, ККД і питому потужність циклу ГТА [2]. стор. 77-92.

Змістовий модуль 2. Теорія і розрахунок ГТА складних теплових схем

Тема 4. Термодинамічні розрахунки циклу ГТА з регенерацією теплоти випускних газів [2]. стор. 47-68.

Тема 5. Термодинамічні розрахунки циклу ГТА з проміжним охолодженням повітря в процесі підвищення тиску [2]. стор. 125-146.

Тема 6. Термодинамічні розрахунки циклу ГТА з проміжним підігрівом газу в процесі розширення [2]. стор. 21-43.

Тема 7. Вибір параметрів циклу і схеми ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром одного тиску [2] стор. 57-69.

Тема 8. Розрахунок циклу ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром одного тиску [2]. стор. 70-89, 98-127.

Тема 9. Способи підвищення ефективності циклів та схем комбінованих ГТА [2]. стор. 47-68.

Тема 10. Схема та цикл ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром двох тисків. Вибір параметрів циклу [1] стор. 125-146.

Тема 11. Тепловий розрахунок схеми ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром двох тисків [2] стор. 21-43.

Тема 12. Схеми та цикли контактних ГТА з ТУК і впорскуванням пари в камеру згоряння двигуна [2] стор. 57-69.

Тема 13. Розрахунок циклу контактного ГТА з ТУК і впорскуванням пари в камеру згоряння двигуна [2] стор. 57-69.

Змістовий модуль 3. Термогазодинамічні розрахунки багатоступінчастих газових турбін

Тема 14. Задачі і методи термогазодинамічних розрахунків багатоступінчастих турбін ГТА. Вихідні положення [1]. стор. 70-89, [2]. стор. 98-127.

Тема 15. Методи розподілу теплоперепаду по ступеням газовой турбіни. Визначення основних геометричних характеристик проточної частини турбіни. Побудова ескізу проточної частини турбіни [1]. стор. 70-89, [2]. стор. 98-127.

Модуль 2 (другий семестр)

Змістовий модуль 4. Робочий процес у камерах згоряння газотурбінних агрегатів

Тема 16. Призначення камери згоряння ГТД й основні вимоги до неї. Типи камер згоряння ГТД та їх основні вузли. [4]. стор. 34-42.

Тема 17. Основні положення організації робочого процесу в трубчато-кільцевій камері згоряння з лопатковим завихрювачем та з напівсферичним фронтним пристроєм. [4]. стор. 43-51.

Тема 18. Методи стабілізації полум'я в камерах згоряння ГТД. Загальна характеристика процесу теплообміну в камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 52-61.

Тема 19. Основи теорії розпилювання рідких палив в камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 62-66.

Тема 20. Організація чистого вихлопу газотурбінних агрегатів. Робочий процес в малотоксичних камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 74-88.

Тема 21. Причини виникнення дефектів камер згоряння ГТД. Дефекти жарових труб та паливних форсунок камер згоряння. [4]. стор. 153-168.

Тема 22. Особливості діагностування камер згоряння газотурбінних двигунів. Засоби технічного діагностування камери згоряння газотурбінних двигунів. [4]. стор. 181-196.

Тема 23. Особливості стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів. [4]. стор. 205-219.

Модуль 3 (курсний проєкт)

Індивідуальне науково-дослідне завдання [1], [2], [3].

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 (перший семестр)										
Змістовий модуль 1. Параметричні дослідження циклу ГТА простої схеми										
Тема 1. Зовнішні і внутрішні фактори, які впливають на показники ефективності й оптимальні параметри циклу і схеми ГТА	10	2	2	–	6	10	1	–	–	9
Тема 2. Одержання математичної моделі для параметричного аналізу циклу ГТА	10	2	–	–	8	10	1	–	–	9
Тема 3. Аналіз впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на оптимальні параметри, ККД і питому потужність циклу ГТА	10	2	2	–	6	10	1	1	–	8
Разом за змістовим модулем 1	30	6	4	–	20	30	3	1	–	26
Змістовий модуль 2. Теорія і розрахунок ГТА складних теплових схем										
Тема 4. Термодинамічні розрахунки циклу ГТА з регенерацією теплоти випускних газів	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 5. Термодинамічні розрахунки циклу ГТА з проміжним охолодженням повітря в процесі підвищення тиску	8	2	2	–	4	8	1	1	–	6
Тема 6. Термодинамічні розрахунки циклу ГТА з проміжним підігрівом газу в процесі розширення	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 7. Вибір параметрів циклу і схеми ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром одного тиску	8	2	2	–	4	8	1	1	–	6
Тема 8. Розрахунок циклу ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром одного тиску	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6

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 9. Способи підвищення ефективності циклів та схем комбінованих	8	2	2	–	4	8	1	1	–	6
Тема 10. Схема та цикл ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром двох тисків. Вибір параметрів циклу	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 11. Тепловий розрахунок схеми ГТА з пароводяним теплоутилізаційним контуром двох тисків	8	2	2	–	4	8	1	1	–	6
Тема 12. Схеми та цикли контактних ГТА з ТУК і впорскуванням пари в камеру згоряння двигуна	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 13. Розрахунок циклу контактного ГТА з ТУК і впорскуванням пари в камеру згоряння двигуна	8	2	2	–	4	8	1	–	–	7
Разом за змістовим модулем 2	75	20	10	–	45	75	10	4	–	61
Змістовий модуль 3. Термогазодинамічні розрахунки багатоступінчастих газових турбін										
Тема 14. Задачі і методи термогазодинамічних розрахунків багатоступінчастих турбін ГТА. Вихідні положення	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 15. Методи розподілу теплоперепаду по ступенях газової турбіни. Визначення основних геометричних характеристик проточної частини турбіни. Побудова ескізу проточної частини турбіни	8	2	1	–	5	8	–	1	–	7
Разом за змістовим модулем 3	15	4	1	–	10	15	1	1	–	13
Усього годин за модулем 1	120	30	15	–	75	120	14	6	–	100
Модуль 2 (другий семестр)										
Змістовий модуль 4. Робочий процес у камерах згоряння газотурбінних агрегатів										
Тема 16. Призначення камери згоряння ГТД й основні вимоги до неї. Типи камер згоряння ГТД та їх основні вузли.	12	2	2	–	8	12	1	1	–	10
Тема 17. Основні положення організації робочого процесу в трубчато-кільцевій	11	2	2	–	7	11	1	1	–	9

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.
камері згоряння з лопатковим завихрювачем та з напівсферичним фронтним пристроєм.										
Тема 18. Методи стабілізації полум'я в камерах згоряння ГТД. Загальна характеристика процесу теплообміну в камерах згоряння ГТД.	11	2	2	–	7	11	1	1	–	9
Тема 19. Основи теорії розпилювання рідких палив в камерах згоряння ГТД.	11	2	2	–	7	11	1	1	–	9
Тема 20. Організація чистого вихлопу газотурбінних агрегатів. Робочий процес в малотоксичних камерах згоряння ГТД.	12	2	2	–	8	12	1	1	–	10
Тема 21. Причини виникнення дефектів камер згоряння ГТД. Дефекти жарових труб та паливних форсунок камер згоряння.	11	2	2	–	7	11	1	1	–	9
Тема 22. Особливості діагностування камер згоряння газотурбінних двигунів. Засоби технічного діагностування камери згоряння газотурбінних двигунів.	11	2	2	–	7	11	1	1	–	9
Тема 23. Особливості стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів.	11	1	1	–	9	11	1	1	–	9
Разом за змістовим модулем 4	90	15	15	–	60	90	8	8	–	74
Усього годин за модулем 2	90	15	15	–	60	90	8	8	–	74
Модуль 3 (курсний проєкт)										
Інформаційний пошук	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Оптимізація параметрів циклу газотурбінної установки	8	–	–	–	8	8	–	–	–	8
Детальний тепловий розрахунок газотурбінної установки	12	–	–	–	12	12	–	–	–	12
Габаритний розрахунок газотурбінного двигуна та його компонування	16	–	–	–	16	16	–	–	–	16
Термогазодинамічний розрахунок турбіни двигуна та побудова ескізу її проточної частини	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10

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.
Розрахунок закручення лопаток турбіни газотурбінного двигуна	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Розрахунок на міцність робочих лопаток турбіни ГТА	7	–	–	–	7	7	–	–	–	7
Розробка креслення конструктивно-кінематичної схеми двигуна	7	–	–	–	7	7	–	–	–	7
Розробка креслення загального виду турбіни ГТА	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Захист проекту	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Усього годин за модулем 3	90	–	–	–	90	90	–	–	–	90
Разом за курсом	300	45	30	–	225	300	22	14	–	264

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Термодинамічний розрахунок циклу ГТА з регенерацією теплоти відхідних газів ГТД	2	–
2	Термодинамічний розрахунок циклу ГТА з проміжним охолодженням повітря в процесі підвищення тиску	2	1
3	Термодинамічний розрахунок циклу ГТА з проміжним підігрівом газу в процесі розширення	2	1
4	Термодинамічний розрахунок циклу ГТА з проміжним охолодженням повітря та пароводяним ТУК одного тиску	2	1
5	Термодинамічний розрахунок циклу комбінованого ГТА з проміжним підігрівом газу в процесі розширення та пароводяним ТУК двох тисків	2	1
6	Термодинамічний розрахунок циклу комбінованого ГТА з проміжним підігрівом газу в процесі розширення та пароводяним ТУК двох тисків (закінчення)	2	1
7	Термодинамічний розрахунок схеми контактної ГТА з ТУК і впорскуванням пари в КЗ ГТД	2	–

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
8	Термодинамічний розрахунок схеми контактного ГТА з ТУК і впорскуванням пари в КЗ ГТД (закінчення)	1	1
	Усього годин за модулем 1	15	6
9	Проведення габаритного розрахунку трубчасто-кільцевої протитокової камери згоряння	2	1
10	Розрахунок ступінчастого-кільцевого дифузора камери згоряння ГТД	2	1
11	Габаритний розрахунок жарової труби трубчасто-кільцевої камери згоряння ГТД та теоретичної температури горіння при різних коефіцієнтах надлишку повітря	2	1
12	Розрахунок кількості повітря та вигорання палива повздовж жарової труби трубчасто-кільцевої камери згоряння ГТД	2	1
13	Розрахунок коефіцієнту повноти згоряння палива в перерізах жарової труби	2	1
14	Розрахунок двосоплової паливної форсунки для камери згоряння ГТД	2	1
15	Розрахунок одно соплової паливної форсунки для камери згоряння ГТД	2	1
16	Розрахунок повітряного каналу паливоповітряної форсунки камери згоряння ГТД	1	1
	Усього годин за модулем 2	15	8
	Разом за курсом	30	14

Самостійна робота

Розподіл годин самостійної роботи для студентів денної та заочної форм навчання:

- підготовка до лекційних занять – 1 година на 1 лекцію;
- підготовка до практичних занять – 1 год/1 заняття;
- написання рефератів, есе, виконання розрахункових, розрахунково-графічних або графічних робіт, домашньої контрольної роботи, перекладу, аналітичний огляд, аналіз практичних, проблемних ситуацій (обсяг однієї роботи 10-20 аркушів А4) – мінімум 10 годин на 1 роботу;
- підготовка до контрольних заходів – (15-30) год. на 1 захід.

Розподіл часу самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
Модуль 1 (перший семестр)			
1	Підготовка до лекцій	15	14
2	Підготовка до практичних занять	8	6
3	Виконання розрахункових завдань	22	22
4	Написання реферату	–	28
5	Підготовка до заліку	30	30
	Усього годин за модулем 1	75	100
Модуль 2 (другий семестр)			
1	Підготовка до практичних занять	8	8
2	Виконання розрахункових завдань	32	32
3	Написання реферату	–	14
4	Підготовка до екзамену	20	20
	Усього годин за модулем 2	60	74
Модуль 3 (курсовий проєкт)			
1	Виконання курсового проєкту	90	90
	Усього годин за модулем 3	90	90
Разом за курсом		225	264

Індивідуальне науково-дослідне завдання (курсовий проєкт)

В індивідуальному науково-дослідному завданні (курсовому проєкті) виконується проєктування та дослідження параметрів газотурбінної установки заданої структурної схеми та заданого призначення під певні вихідні параметри та умови експлуатації.

З використанням методик розрахунку, розроблених на кафедрі турбін НУК ім. адм. Макарова, виконується оптимізація термодинамічного циклу газотурбінної установки та вибір її проєктних параметрів. Результати оптимізації використовуються для детального теплового розрахунку газотурбінної установки

на режимі повної потужності. Проводиться габаритний розрахунок та компоновання газотурбінного двигуна з побудовою ескізу поздовжнього перерізу його проточної частини.

Одержані дані є основою для проведення проєктувального термогазодинамічного розрахунку турбіни двигуна, яка визначена у завданні. Для цієї турбіни виконується розрахунок закручення лопаток та оцінюється їх міцність.

Параметри газотурбінної установки, які потребують детального дослідження, оговорюються в завданні додатково. В деяких випадках проєктування турбінної частини може бути замінене на проєктування іншої частини установки.

Графічна частина проєкту містить габаритно-компоновочне креслення газотурбінного двигуна та креслення проєктуємої турбіни двигуна.

Приклади тем індивідуальних завдань курсового проєкту:

- «Проект газотурбінної установки з теплоутилізаційним контуром потужністю 110 МВт»;
- «Проект енергетичної газотурбінної установки на основі двигуна потужністю 60 МВт»;
- «Проект енергетичного газотурбінного агрегату потужністю 25 МВт з ежекційним перерозширенням газу в турбіні»;
- «Проект газотурбінного двигуна потужністю 7,64 МВт для катера на повітряній подушці»;
- «Проект газотурбінної ТЕЦ на основі агрегата потужністю 45 МВт»;
- «Проект парогазової установки за схемою дубль-блок на основі газотурбінного двигуна потужністю 110 МВт»;
- «Проект парогазової установки із висконапорним парогенератором при фіксованій потужності газового контуру 60 МВт»;
- «Проект парогазової установки із низьконапорним парогенератором при фіксованій потужності газотурбінного агрегата 25 МВт»;
- «Проект одновального газотурбінного двигуна потужністю 2,85 МВт з осевідцентровим компресором»;
- «Проект парогазової установки одного тиску на основі газотурбінного двигуна потужністю 25 МВт».

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

Набуття здобувачами компетенцій забезпечується через засвоєння навчального матеріалу у вигляді лекційних і практичних 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 та практичних заняттях словесними й наочними засобами.

2. Проблемний метод, коли на практичних заняттях утворюються 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.

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

Під час карантину заняття повністю проводяться дистанційно в режимі відеоконференцій за допомогою онлайн-платформи Zoom.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних установок" є:

- усні та письмові відповіді на практичних заняттях;
- виконання розрахункових завдань;
- підготовка рефератів;
- виконання курсового проєкту;
- залік (перший семестр);
- екзамен (другий семестр).

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 заліку (у першому семестрі) або екзамену (у другому семестрі). 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 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 заняттях.

Питома вага заключного екзамену (заліку) в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний екзамен (залік) надається студенту, який з урахуванням отриманих балів проміжних оцінок і заключного екзамену (заліку) може набрати разом не менше **60 балів**. Підсумкова семестрова оцінка є сумою проміжних оцінок і оцінки екзамену (заліку).

Екзамен (залік) проводиться у комбінованій формі (письмові відповіді та усний захист). До 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 (перший семестр)		
Відповіді на практичних заняттях	8 x 2 бали = 16 балів	–
Виконання розрахункових завдань	2 x 22 бали = 44 бали	2 x 22 бали = 44 бали
Підготовка реферату	–	1 x 16 балів = 16 балів
Залік	40 балів	40 балів
Всього	100	100
Модуль 2 (другий семестр)		
Відповіді на практичних заняттях	8 x 2 бали = 16 балів	–
Виконання розрахункових завдань	2 x 22 бали = 44 бали	2 x 22 бали = 44 бали
Підготовка реферату	–	1 x 16 балів = 16 балів
Екзамен	40 балів	40 балів
Всього	100	100
Модуль 3 (курсний 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 у кожному семестрі становить 16 (8 занять по 2 бали)</i>

Виконання розрахункового завдання	Критерії оцінювання
17-22	Завдання виконане у встановлений термін. Студент самостійно проаналізував задачу і раціонально розв'язав її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
11-16	Завдання виконане самостійно, але з порушенням встановлених термінів. Студент самостійно проаналізував задачу і раціонально розв'язав її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
6-10	Завдання виконане з порушенням встановлених термінів. Студент навів потрібні формули та розв'язав задачу користуючись алгоритмом. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1-5	Студент виконав завдання, але розрахунок містить деякі помилки. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	Студент не виконав завдання.
	<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю у кожному семестрі становить 44 (2 розрахункових завдання по 22 бали)</i>

Підготовка реферату	Критерії оцінювання
13-16	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.
9-12	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.
5-8	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.
1-4	Студент виявляє знання і розуміння більшості положень, але лише за допомогою викладача може виправляти помилки, серед яких є значна кількість суттєвих.
0	Робота не носить дослідницького характеру, не має аналізу і не відповідає пред'являємим вимогам. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.
	<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю у кожному семестрі становить 16 (1 реферат)</i>

Відповідь на питання екзамену (заліку)	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.
<i>Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 40 (4 питання по 10 балів)</i>	

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 невіпорядковано викладає основні результати дослідження, намагається дати відповідь на поставлені запитання і робить спроби аргументувати положення роботи.
	11-15	Студент невіпорядковано 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 невіпорядковано 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 (перший семестр)					
ЗМ1	T1	Практичне заняття №1	2	—	—
	T3	Практичне заняття №2	2	—	—
	T1-T3	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
ЗМ2	T5	Практичне заняття №3	2	—	—
	T7	Практичне заняття №4	2	—	—
	T9	Практичне заняття №5	2	—	—
	T11	Практичне заняття №6	2	—	—
	T13	Практичне заняття №7	2	—	—
	T4-T13	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
ЗМ3	T15	Практичне заняття №8	2	Підготовка реферату	16

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
Підсумковий контроль		Залік	40	Залік	40
Сума			100		100
Модуль 2 (другий семестр)					
ЗМ4	T16	Практичне заняття №1	2	—	—
	T17	Практичне заняття №2	2	—	—
	T18	Практичне заняття №3	2	—	—
	T19	Практичне заняття №4	2	—	—
	T16-T19	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
	T20	Практичне заняття №5	2	—	—
	T21	Практичне заняття №5	2	—	—
	T22	Практичне заняття №5	2	—	—
	T23	Практичне заняття №5	2	—	—
	T20-T23	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
	T16-T23	—	—	Підготовка реферату	16
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100
Модуль 3 (курсовий проєкт)					
		Пояснювальна записка	40	Пояснювальна записка	40
		Графічна частина	20	Графічна частина	20
		Захист проєкту	40	Захист проєкту	40
Сума			100		100

9. Засоби навчання

1. Мультимедійне обладнання.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Ващиленко М.В. Оптимізаційні розрахунки термодинамічних циклів суднових і енергетичних ГТА в задачах автоматизованого проєктування : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 44 с.
2. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проєктування суднових газотурбінних агрегатів : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 304 с.
3. Романовський Г.Ф., Іпатенко О.Я., Патлайчук В.М. Теорія та розрахунок парових і газових турбін : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 292 с.
4. Романовський Г.Ф., Сербін С.І. Камери згоряння суднових газотурбінних двигунів : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2000. 259 с.

Допоміжна література

1. Ващиленко Н.В. Выбор оптимальных термодинамических параметров судовых ГТД с использованием ЕС ЭВМ : учебное пособие. Николаев: НКИ, 1985. 42 с.
2. Ващиленко Н.В. Тепловые расчеты судовых газотурбинных и газопаротурбинных агрегатов с использованием ЕС ЭВМ : учебное пособие. Николаев: НКИ, 1987. 46 с.
3. Збірник завдань та вправ з теорії і проєктування турбінних агрегатів : навч. посібник / Г.Ф. Романовський, С.І. Сербін, М.В. Ващиленко, М.П. Седько, В.М. Патлайчук, В.І. Харченко. Миколаїв: Вид-во НУК, 2012. 248 с.

4. Романовский Г.Ф., Сербин С.И. Выбор параметров и расчет элементов камеры сгорания судового ГТД : Учебное пособие. Николаев: НКИ, 1988. 52 с.
5. Романовський Г.Ф., Сербін С.І. Екологічно чисті камери згоряння ГТУ: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 88 с.
6. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Седько М.П. Основи проектування компресорів суднових газотурбінних двигунів: навч. посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 292 с.
7. Gorbov V. M., Serbin S. I., Mitienkova V. S. Marine Engineering Encyclopedia: Study Guide. Mykolaiv: publisher Torubara V.V., 2017. 200 p.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. Turbine Engine Combustor Design. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=VyLM3x4qdcI>.
2. Combustor Liners 3 - Turbine Engines : A Closer Look. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=QPK_eiNng7Q.
3. Combustion chamber: Types. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=HjqJCkxLLQQ>.
4. S. Serbin, K. Burunsuz, "Numerical study of the parameters of a gas turbine combustion chamber with steam injection operating on distillate fuel," International Journal of Turbo and Jet Engines 2020. Available from: <https://doi.org/10.1515/tjeng-2020-0029>.
5. S. Serbin., A. Kozlovskiy, K. Burunsuz, 'Influence of plasma-chemical products on process stability in a low-emission gas turbine combustion chamber', International Journal of Turbo and Jet Engines, 2021. Available from: <https://doi.org/10.1515/tjeng-2020-0046>.
6. Applied Plasma Technologies. The new millennium tools, Available: http://www.plasmacombustion.com/product-tornado_combustor.html.

11. Зміни та доповнення