

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

Код РПНД Т73635



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-
педагогічної роботи

 Сергій СЛОБОДЯН

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

**Проектування газотурбінних установок
DESIGN OF GAS TURBINE POWER PLANTS**

рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Миколаїв – 2024

Робоча програма навчальної дисципліни "Проектування 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 2024 року. – 25 с.

Розробник:

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

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

Гарант освітньої програми
канд. техн. наук, доцент

Артем КОЗЛОВСЬКИЙ

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Проектування газотурбінних установок" розглянуто на засіданні кафедри турбін.

Протокол № 8 від «23» 04 2024 р.

Завідувач кафедри

Володимир ПАТЛАЙЧУК

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Проектування газотурбінних установок" розглянуто Навчально-методичною радою Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 2 від «15» 05 2024 р.

Голова

Сергій СЕРБІН

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Проектування газотурбінних установок" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу

Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни "Проектування газотурбінних установок" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 4 від «29» 05 2024 р.

Голова НМР НУК

Сергій СЛОБОДЯН

© НУК, 2024

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	7
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	14
7. Форми поточного та підсумкового контролю	15
8. Критерії оцінювання результатів навчання	22
9. Інструменти, обладнання та програмне забезпечення, використання яких передбачає навчальна дисципліна	24
10. Рекомендовані джерела інформації	24

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на засвоєння базових знань і вивчення теоретичних основ проєктування газотурбінних установок і їх елементів, у тому числі газотурбінних двигунів та їх елементів, а також отримання практичних навичок в інженерних розрахунках та конструюванню сучасних газотурбінних двигунів (ГТД) різного призначення та редукторів у складі приводних газотурбінних агрегатів різноманітного використання.

Дисципліна повинна ознайомити студентів з сучасними та перспективними методами розрахунку термодинамічного циклу та теплової схеми газотурбінних двигунів простого термодинамічного циклу, 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, опанує методики розрахунку та проєктування сучасних високотемпературних ГТД, основні особливості вибору та оптимізації термодинамічних параметрів теплових схем сучасних газотурбінних установок.

Ключові слова: проєктування газотурбінних установок, газотурбінні двигуни, компресори, 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 designing gas turbine power plants and their elements, including gas turbine engines and their elements, as well as obtaining practical skills in engineering calculations and the design of modern gas turbine engines for various purposes and gearboxes as part of gas turbine drives aggregates of various uses.

The discipline should acquaint students with modern and promising methods of calculating the thermodynamic cycle and thermal scheme of gas turbine engines of a simple thermodynamic cycle, and provide a theoretical apparatus for designing elements of gas turbine power plants. As a result of studying the discipline, the student will familiarize himself with the theoretical foundations of work processes in gas turbine engine elements: multi-stage compressors, combustion chambers, turbines, master the methods of calculation and design of modern high-temperature gas turbines, the main features of choosing and optimizing thermodynamic parameters of thermal schemes of modern gas turbine power plants.

Keywords: design of gas turbine power plants, gas turbine engines, compressors, turbines, combustion chambers of gas turbine engines, working processes of elements of 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 – 9	Галузь знань: 14 "Електрична інженерія"	Обов'язкова	
Модулів – 2	Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування" Освітня програма: "Газотурбінні установки і компресорні станції"	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 4		4-й	4-й
Індивідуальне науково-дослідне завдання: <i>курсний проєкт</i>		Семестр:	
Загальна кількість годин – 270		8-й	8-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 7; самостійної роботи студента – 11.	Освітній рівень: перший (бакалаврський)	Лекції	
		60 год	22 год
		Практичні заняття	
		45 год	16 год
		Самостійна робота	
		165 год	232 год
		Індивідуальні завдання	
		КП	КП
		Вид контролю: екзамен та курсовий проєкт	
		Форма контролю: комбінована	

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

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

- **ФК 1.** Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування.
- **ФК 4.** Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання.
- **ФК 5.** Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і

теплотехнологічного обладнання.

- ФК 12. Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи методи дослідницької діяльності.
- ФК 14. Здатність виконувати роботи з проєктування газотурбінних установок з урахуванням особливостей їх конкретної галузі застосування.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Дисципліна "Проєктування газотурбінних установок" базується на попередньому вивченні студентами дисциплін "Технічна термодинаміка", "Тепломасообмін", "Теорія турбін", "Осьові та відцентрові компресори", "Конструкції та міцність турбомашин", "Утилізаційні котли", які викладаються у 4-7-му навчальних семестрах.

4. Очікувані результати навчання

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

- ПР 6. Розробляти і проєктувати вироби в галузі енергетичного машинобудування, процеси і системи, що задовольняють конкретні вимоги, які можуть включати обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосовування адекватної методології проєктування.
- ПР 7. Проєктувати об'єкти енергетичного машинобудування, застосувати сучасні комерційні та авторські програмні продукти на основі розуміння передових досягнень галузі.
- ПР 21. Аналізувати розвиток науки і техніки.
- ПР 22. Уміння виконувати теплові розрахунки процесів, що відбуваються в газотурбінних установках, оцінювати їх теплову та енергетичну ефективність.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Термодинамічні розрахунки циклу та теплової схеми газотурбінного агрегату

Тема 1. Основні типи газотурбінних двигунів (ГТД). Галузі техніки, де вони знаходять застосування, їх класифікація. [3]. с. 9-12.

Тема 2. Особливості конструювання авіаційних, суднових, енергетичних, транспортних газотурбінних двигунів. [3]. с. 12-17.

Тема 3. Газотурбінна установка з двигуном простої схеми, та її термодинамічний цикл. [1]. с. 5-12, [2]. с. 201-214, [3]. с. 48-49.

Тема 4. Обчислення втрат повного тиску по тракту газотурбінного двигуна в розрахунках його термодинамічного циклу і теплової схеми. [3]. с. 49-51.

Тема 5. Математичне моделювання процесу підвищення тиску повітря в компресорі та камері згоряння газотурбінного двигуна. [3]. с. 50-52.

Тема 6. Математичне моделювання процесу розширення газу в турбінах ГТД. Визначення ККД і питомої потужності циклу ГТД. [3]. с. 53-59.

Тема 7. Основні положення детального теплового розрахунку газотурбінного агрегату простої схеми на режимі повної потужності. [3]. с. 62-64.

Тема 8. Розрахунки термодинамічних параметрів багатокаскадного компресорного блоку ГТД. [3]. с. 64-67.

Тема 9. Математичне моделювання термодинамічних процесів у камери згоряння та розрахунки коефіцієнтів витрат по газоповітряному тракту ГТД. [3]. с. 67-69.

Тема 10. Розрахунок параметрів турбін ГТД. Розрахунок витрат робочого тіла через агрегати ГТД. [3]. с. 70-74.

Змістовий модуль 2. Визначення габаритних розмірів та конструювання ГТД

Тема 11. Габаритні розрахунки ГТД. Можливі варіанти компоновання суднових та енергетичних ГТД. [2]. с. 228-241, [3]. с. 159-160.

Тема 12. Початкові дані і параметри для габаритного розрахунку осьового

компресора ГТД, особливості конструювання. [3]. с. 160-161.

Тема 13. Розрахунок габаритів вхідного перетину осьового компресора ГТД. [3]. с. 162-164.

Тема 14. Розрахунок габаритів вихідного перетину осьового компресора ГТД, варіанти конструювання. [3]. с. 164-166.

Тема 15. Оцінка числа ступенів і осьового габариту компресора, побудова ескізу його меридіанного перетину. [3]. с. 166-169.

Тема 16. Габаритні розрахунки трубчасто-кільцевої камери згоряння суднового та енергетичного ГТД. [3]. с. 169-173.

Тема 17. Загальні положення габаритних розрахунків осьових турбін ГТД. [3]. с. 173-174.

Тема 18. Оцінка параметрів першого ступеня і габаритів вхідного перетину осьової турбіни ГТД. [3]. с. 175-179.

Тема 19. Розрахунок діаметральних габаритів вихідного перетину осьової турбіни ГТД, а також її осьового габариту. [3]. с. 179-184.

Змістовий модуль 3. Конструювання та габаритні розрахунки окремих вузлів та агрегатів газотурбінних установок

Тема 20. Задачі та методи термогазодинамічних розрахунків багатоступінчастих турбін ГТД. Методи розподілення теплоперепаду по ступенях газової турбіни ГТД. [3]. с. 230-234.

Тема 21. Знаходження висоти соплових лопаток першого ступеня и корегування геометрії проточної частини. Розрахунок термодинамічних параметрів потоку газу та елементів трикутників швидкості по ступенях турбіни. [3]. с. 234-236, [4]. с. 191-201.

Тема 22. Оцінка міцності робочих лопаток газової турбіни ГТД. [3]. с. 237-240.

Тема 23. Знаходження вихідних характеристик осьового ступеня, а також турбіни в цілому. Побудова міжлопаткових каналів та профілів соплових і робочих решіток турбіни. [3]. с. 242-248, [4]. с. 230-244.

Тема 24. Основні типи суднових редукторів морських газотурбінних агрегатів. [2]. с. 230-232.

Тема 25. Особливості проєктування реверсивних редукторів суднових газотурбінних агрегатів. [2]. с. 232-234.

Тема 26. Основні положення габаритного розрахунку суднового двоступінчастого редуктора переборного типу з роздвоєнням потужності. [2]. с. 234-236.

Змістовий модуль 4. Газотурбінні установки складних термодинамічних циклів та теплових схем

Тема 27. Способи ускладнення схем і циклів ГТУ. Установки з проміжним підігрівом газу в процесі розширення. Установки з перерозширенням за ГТД. [1]. с. 18-20, [2]. с. 215-227, [3]. с. 83-84.

Тема 28. ГТУ з проміжним охолодженням повітря. ГТУ з регенерацією теплоти газів, що відходять з двигуна. [1]. с. 12-17, [3]. с. 84-86.

Тема 29. Комбіновані газопаротурбінні установки з паротурбінним теплоутилізаційним контуром. [1]. с. 21-22, [3]. с. 86-88.

Тема 30. Комбіновані газопаротурбінні установки з термодинамічним циклом STIG. [1]. с. 23-26, [3]. с. 89-91.

Модуль 2 (курсний проєкт)

Індивідуальне науково-дослідне завдання [1], [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										
Змістовий модуль 1. Термодинамічні розрахунки циклу та теплової схеми газотурбінного агрегату										
Тема 1. Основні типи газотурбінних двигунів (ГТД). Галузі техніки, де вони знаходять застосування, їх класифікація	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4
Тема 2. Особливості конструювання авіаційних, суднових, енергетичних, транспортних газотурбінних двигунів	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4

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 3. Газотурбінна установка з двигуном простої схеми, та її термодинамічний цикл	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4
Тема 4. Обчислення втрат повного тиску по тракту газотурбінного двигуна в розрахунках його термодинамічного циклу і теплової схеми	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4
Тема 5. Математичне моделювання процесу підвищення тиску повітря в компресорі та камері згоряння газотурбінного двигуна	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4
Тема 6. Математичне моделювання процесу розширення газу в турбінах ГТД. Визначення ККД і питомої потужності циклу ГТД	6	2	2	–	2	6	–	1	–	5
Тема 7. Основні положення детального теплового розрахунку газотурбінного агрегата простої схеми на режимі повної потужності	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4
Тема 8. Розрахунки термодинамічних параметрів багатокаскадного компресорного блоку ГТД	6	2	2	–	2	6	–	1	–	5
Тема 9. Математичне моделювання термодинамічних процесів у камери згоряння та розрахунки коефіцієнтів витрат по газоповітряному тракту ГТД	6	2	2	–	2	6	1	1	–	4
Тема 10. Розрахунок параметрів турбін ГТД. Розрахунок витрат робочого тіла через агрегати ГТД	6	2	2	–	2	6	1	–	–	5
Разом за змістовим модулем 1	60	20	20	–	20	60	8	9	–	43
Змістовий модуль 2. Визначення габаритних розмірів та конструювання ГТД										
Тема 11. Габаритні розрахунки ГТД. Можливі варіанти компоновання судових та енергетичних ГТД	7	2	2	–	3	7	1	–	–	6
Тема 12. Початкові дані і параметри для габаритного розрахунку осьового компресора ГТД, особливості конструювання	7	2	2	–	3	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 13. Розрахунок габаритів вхідного перетину осевого компресора ГТД	6	2	2	–	2	6	1	–	–	5
Тема 14. Розрахунок габаритів вихідного перетину осевого компресора ГТД, варіанти конструювання	7	2	2	–	3	7	–	1	–	6
Тема 15. Оцінка числа ступенів і осевого габариту компресора, побудова ескізу його меридіанного перетину	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 16. Габаритні розрахунки трубчасто-кільцевої камери згоряння суднового та енергетичного ГТД	6	2	2	–	2	6	–	1	–	5
Тема 17. Загальні положення габаритних розрахунків осевих турбін ГТД	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 18. Оцінка параметрів першого ступеня і габаритів вхідного перетину осевої турбіни ГТД	7	2	2	–	3	7	–	1	–	6
Тема 19. Розрахунок діаметральних габаритів вихідного перетину осевої турбіни ГТД. а також її осевого габариту	6	2	1	–	3	6	1	–	–	5
Разом за змістовим модулем 2	60	18	13	–	29	60	5	4	–	51
Змістовий модуль 3. Конструювання та габаритні розрахунки окремих вузлів та агрегатів газотурбінних установок										
Тема 20. Задачі та методи термогазодинамічних розрахунків багатоступінчастих турбін ГТД. Методи розподілення теплоперепаду по ступенях газової турбіни ГТД	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 21. Знаходження висоти соплових лопаток першого ступеня и корегування геометрії проточної частини. Розрахунок термодинамічних параметрів та елементів трикутників швидкості по ступенях турбіни	4	2	–	–	2	4	1	–	–	3
Тема 22. Оцінка міцності робочих лопаток газової турбіни ГТД	5	2	2	–	1	5	1	–	–	4

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 23. Знаходження вихідних характеристик осевого ступеня, а також турбіни в цілому. Побудова міжлопаткових каналів та профілів соплових і робочих решіток турбіни	3	2	–	–	1	3	1	–	–	2
Тема 24. Основні типи судових редукторів морських ГТА	5	2	2	–	1	5	–	1	–	4
Тема 25. Особливості проектування реверсивних редукторів судових ГТА	3	2	–	–	1	3	1	–	–	2
Тема 26. Основні положення габаритного розрахунку судового двоступінчастого редуктора переборного типу з роздвоєнням потужності	5	2	2	–	1	5	1	–	–	4
Разом за змістовим модулем 3	30	14	8	–	8	30	6	2	–	22
Змістовий модуль 4. Газотурбінні установки складних термодинамічних циклів та теплових схем										
Тема 27. Способи ускладнення схем і циклів ГТУ. Установки з проміжним підігрівом газу в процесі розширення. Установки з перерозширенням за ГТД	8	2	–	–	6	8	1	–	–	7
Тема 28. ГТУ з проміжним охолодженням повітря. ГТУ з регенерацією теплоти газів, що відходять з ГТД	7	2	2	–	3	7	–	1	–	6
Тема 29. Комбіновані газопаротурбінні установки з паротурбінним теплоутилізаційним контуром	8	2	–	–	6	8	1	–	–	7
Тема 30. Комбіновані газопаротурбінні установки з термодинамічним циклом STIG	7	2	2	–	3	7	1	–	–	6
Разом за змістовим модулем 4	30	8	4	–	18	30	3	1	–	26
Усього годин за модулем 1	180	60	45	–	75	180	22	16	–	142
Модуль 2 (курсний проєкт)										
Патентно-інформаційний пошук	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Оптимізаційний розрахунок термодинамічних параметрів циклу ГТД	18	–	–	–	18	18	–	–	–	18

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.
Детальний тепловий розрахунок теплової схеми ГТД на режимі повної потужності.	20	–	–	–	20	20	–	–	–	20
Габаритний розрахунок та компонування ГТД	20				20	20				20
Розробка креслення конструктивно - кінематичної схеми ГТД	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	10	–	–	–	10	10	–	–	–	10
Захист проєкту	6	–	–	–	6	6	–	–	–	6
Усього годин за модулем 2	90	–	–	–	90	90	–	–	–	90
Разом за курсом	270	60	45	–	165	270	22	16	–	232

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Врахування зміни теплофізичних властивостей робочих газів у проєктувальних розрахунках схем та циклів ГТУ	2	1
2	Оптимізаційний розрахунок параметрів термодинамічного циклу ГТД простої схеми на етапі передескізного проєктування – розробка математичної моделі	2	1
3	Оптимізаційний розрахунок параметрів термодинамічного циклу ГТД простої схеми на етапі передескізного проєктування – розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
4	Параметричне дослідження термодинамічного циклу ГТД простої схеми. Аналіз результатів розрахунків	2	1
5	Тепловий проєктувальний розрахунок схеми ГТД на режимі повної потужності – розробка математичної моделі	2	1
6	Тепловий проєктувальний розрахунок схеми ГТД на режимі повної потужності – розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
7	Розрахунки габаритів осьового компресора ГТД – розробка математичної моделі	2	1

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
8	Розрахунки габаритів осевого компресора ГТД– розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
9	Розрахунки габаритів кільцевої камери згоряння ГТД – розробка математичної моделі	2	1
10	Розрахунки габаритів кільцевої камери згоряння ГТД – розробка розрахункової таблиці Excel	2	–
11	Розрахунки габаритів трубчасто-кільцевої камери згоряння ГТД – розробка математичної моделі	2	–
12	Розрахунки габаритів трубчасто-кільцевої камери згоряння ГТД – розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
13	Розрахунки габаритів секційної камери згоряння ГТД – розробка математичної моделі	2	–
14	Розрахунки габаритів секційної камери згоряння ГТД – розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
15	Розрахунки габаритів осевої турбіни ГТД – розробка математичної моделі	2	1
16	Розрахунки габаритів осевої турбіни ГТД – розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
17	Компонування турбокомпресорного блоку низького тиску ГТД авіаційного типу по результатах проведених розрахунків	1	–
18	Компонування турбокомпресорного блоку високого тиску ГТД авіаційного типу по результатах проведених розрахунків	2	1
19	Визначення основних масогабаритних характеристик головної двоступінчастої зубчастої передачі суднового ГТА – розробка математичної моделі	2	–
20	Визначення основних масогабаритних характеристик головної двоступінчастої зубчастої передачі суднового ГТА – розробка розрахункової таблиці Excel	2	1
21	Способи ускладнення схем і циклів ГТУ	2	–
22	ГТУ з проміжним охолодженням повітря. ГТУ з регенерацією теплоти випускних газів	2	1
23	Комбіновані установки з паротурбінним теплоутилізаційним контуром	2	–
РАЗОМ		45	16

Розподіл часу самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
Модуль 1			
1	Підготовка до практичних занять	15	42
2	Виконання розрахункового завдання	30	70
3	Підготовка до екзамену	30	30
	Усього годин за модулем 1	75	142
Модуль 2 (курсовий проєкт)			
1	Виконання курсового проєкту	90	90
	Усього годин за модулем 2	90	90
Разом за курсом		165	232

Індивідуальне науково-дослідне завдання (курсовий проєкт)

В індивідуальному науково-дослідному завданні (курсовому проєкті) виконується проєктування та дослідження параметрів газотурбінні установки заданого призначення із певними вихідними параметрами та умовами експлуатації.

В першому розділі проєкту виконується патентно-інформаційний пошук з аналізом стану газотурбобудування в певній галузі техніки, аналізом характеристик та конструкції ГТУ даного типу і призначення, серійно виготовляємих провідними компаніями світу.

Використовую методику, розроблені на кафедрі турбін НУК ім. адм. Макарова, виконується оптимізаційний розрахунок термодинамічних параметрів циклу ГТД, приймається проєктне рішення по вибору проєктного значення міри підвищення тиску в компресорі ГТД, а потім проводиться детальний тепловий розрахунок теплової схеми ГТД на режимі повної потужності.

З метою визначення основних розмірів ГТД виконується його габаритний розрахунок та компоновання. В процесі цих розрахунків визначаються радіальні й осьові розміри компресорів, камери згоряння, турбін. Оцінюється число ступенів

компресорів і турбін, частоти обертання їх роторів, число жарових труб у камері згоряння. За результатами цих розрахунків одержують дані для виконання компоновання ГТД і креслення меридіанного перетину його проточної частини.

У графічній частині проєкту виконується розробка конструктивно - кінематичної схеми ГТД.

Приклади тем індивідуальних завдань курсового проєкту:

- "Проєктування суднового ГТД простої схеми потужністю 18500 кВт з параметрами термодинамічного циклу: $T_3 = 1480 \text{ K}$; $T_a = 288 \text{ K}$ ";
- "Проєктування ГТД простої схеми потужністю 16000 кВт для газоперекачувального агрегату з параметрами термодинамічного циклу: $T_3 = 1510 \text{ K}$; $T_a = 293 \text{ K}$ ";
- "Проєктування корабельного ГТД простої схеми потужністю 25000 кВт з параметрами термодинамічного циклу: $T_3 = 1560 \text{ K}$; $T_a = 288 \text{ K}$ ";
- "Проєктування однокаскадного енергетичного ГТД простої схеми потужністю 115 МВт з параметрами термодинамічного циклу: $T_3 = 1520 \text{ K}$; $T_a = 288 \text{ K}$ ";
- "Проєктування автономного газотурбогенератора простої схеми потужністю 6000 кВт з параметрами термодинамічного циклу: $T_3 = 1490 \text{ K}$; $T_a = 293 \text{ K}$ ".

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 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.

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 та надзвичайних ситуацій заняття проводяться дистанційно за допомогою онлайн-сервісу Zoom.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з дисципліни "Проектування газотурбінних установок" є:

- усні та письмові відповіді на практичних заняттях;
- виконання розрахункових завдань;
- виконання курсового проєкту;
- 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 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 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 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 оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки екзамену.

Екзамен проводиться 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 проєкту) 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		
Відповіді на практичних заняттях	23 x 1 бал = 23 бали	16 x 1 бал = 16 балів
Виконання розрахункового завдання № 1	1 x 10 балів = 10 балів	1 x 11 балів = 11 балів
Виконання розрахункових завдань № 2, 3 та 4	3 x 9 балів = 27 балів	3 x 11 балів = 33 балів
Екзамен	40 балів	40 балів
Всього	100	100
Модуль 2 (курсний проєкт)		
Пояснювальна записка	40 балів	40 балів
Графічна частина	20 балів	20 балів
Захист проєкту	40 балів	40 балів
Всього	100	100

Відповідь на практичному занятті	Критерії оцінювання
1	Відповідь в цілому правильна, достатньо повна, логічна.
0	Студент не дає відповіді або відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовуються невірна термінологія.
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 23 для денної форми навчання та 16 для заочної форми навчання (відповідно 23 та 16 занять по 1 балу).	

Виконання розрахункового завдання №1		Критерії оцінювання
денна форма	заочна форма	
9-10	9-11	Завдання виконане у встановлений термін. Студент самостійно проаналізував задачу і раціонально розв'язав її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
6-8	6-8	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.
3-5	3-5	Завдання виконане з порушенням встановлених термінів. Студент навів потрібні формули та розв'язав задачу користуючись алгоритмом. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1-2	1-2	Студент виконав завдання, але розрахунок містить деякі помилки. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	0	Студент не виконав завдання.
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 10 для денної форми навчання та 11 для заочної форми (1 розрахункове завдання, відповідно, по 10 та 11 балів)		

Виконання розрахункових завдань №№ 2, 3 та 4		Критерії оцінювання
денна форма	заочна форма	
7-9	9-11	Завдання виконане у встановлений термін. Студент самостійно проаналізував задачу і раціонально розв'язав її. Може розв'язувати комбіновані задачі. Звіт відповідає встановленим вимогам.
5-6	6-8	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.
3-4	3-5	Завдання виконане з порушенням встановлених термінів. Студент навів потрібні формули та розв'язав задачу користуючись алгоритмом. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
1-2	1-2	Студент виконав завдання, але розрахунок містить деякі помилки. Підготовлений звіт містить неточності у висновках та помилки.
0	0	Студент не виконав завдання.
Максимальна кількість балів за даною формою контролю становить 27 для денної форми навчання та 33 для заочної форми (3 розрахункових завдання, відповідно, по 9 та 11 балів)		

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.
<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 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					
ЗМ1	T1	Практичне заняття №1	1	Практичне заняття №1	1
	T2	Практичне заняття №2	1	Практичне заняття №2	1
	T3	Практичне заняття №3	1	Практичне заняття №3	1
	T4	Практичне заняття №4	1	Практичне заняття №4	1
	T5	Практичне заняття №5	1	Практичне заняття №5	1
	T6	Практичне заняття №6	1	Практичне заняття №6	1
	T7	Практичне заняття №7	1	Практичне заняття №7	1
	T8	Практичне заняття №8	1	Практичне заняття №8	1
	T9	Практичне заняття №9	1	Практичне заняття №9	1
	T10	Практичне заняття №10	1	—	—
ЗМ2	T11	Практичне заняття №11	1	—	—

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
	T12	Практичне заняття №12	1	Практичне заняття №10	1
	T13	Практичне заняття №13	1	—	—
	T14	Практичне заняття №14	1	Практичне заняття №11	1
	T16	Практичне заняття №15	1	Практичне заняття №12	1
	T18	Практичне заняття №16	1	Практичне заняття №13	1
	T19	Практичне заняття №17	1	—	—
ЗМЗ	T20	Практичне заняття №18	1	Практичне заняття №14	1
	T22	Практичне заняття №19	1	—	—
	T24	Практичне заняття №20	1	Практичне заняття №15	1
	T26	Практичне заняття №21	1	—	—
ЗМ4	T28	Практичне заняття №22	1	Практичне заняття №16	1
	T30	Практичне заняття №23	1	—	—
T1-T30		Виконання розрахункового завдання №1	10	Виконання розрахункового завдання №1	11
		Виконання розрахункового завдання №2	9	Виконання розрахункового завдання №2	11
		Виконання розрахункового завдання №3	9	Виконання розрахункового завдання №3	11
		Виконання розрахункового завдання №4	9	Виконання розрахункового завдання №4	11
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100
Модуль 2 (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.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Ващиленко М.В. Оптимізаційні розрахунки термодинамічних циклів суднових і енергетичних ГТА в задачах автоматизованого проектування : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 44 с.
2. Збірник завдань та вправ з теорії і проектування турбінних агрегатів: навч. посібник / Г.Ф. Романовський, С.І. Сербін, М.В. Ващиленко, М.П. Седько, В.М. Патлайчук, В.І. Харченко. Миколаїв: НУК, 2012. 248 с.
3. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування суднових газотурбінних агрегатів: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 304 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., Ващиленко М.В., Седько М.П. Основи проектування компресорів суднових газотурбінних двигунів: навч. посібник. Миколаїв: НУК, 2008. 282 с.
2. Романовський Г.Ф., Сербін С.І. Екологічно чисті камери згоряння ГТУ: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 88 с.
3. Романовський Г.Ф., Сербін С.І. Камери згоряння суднових газотурбінних двигунів : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2000. 259 с.
4. 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.
5. Романовський Г. Ф., Сербін С. І., Патлайчук В. М. Газотурбінні агрегати: у 2-х ч. Ч. 2: Елементи конструкцій. Миколаїв: НУК, 2017. 196 с.
6. 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.
7. Романовський Г.Ф., Сербін С.І., Патлайчук В.М. Сучасні газотурбінні агрегати: у 2 т. Т. 2: Агрегати виробництва країн Західної Європи,

- Амери́ки та Азі́ї. Миколаїв: НУК, 2008. 420 с.
8. Сербін С.І., Седько М.П. Газодинамічний розрахунок осьового компресора з використанням ПЕОМ: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 1999. 51 с.
 9. Liu K., Chen D., Serbin S., Patlaichuk V. Gas Turbines Structural Properties, Operation Principles and Design Features. Shanghai: Springer Nature Singapore Pte Ltd, 2023. 256 p.
 10. 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.urau.ua/vestnikpgtu_tech.
14. Сайт журналу "Техніка та енергетика". URL: <https://technicalscience.com.ua/uk>.