

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

Код РПНД Т83620



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Program of the Discipline

Теорія робочих процесів газотурбінних агрегатів

**THEORY OF WORKING PROCESSES
OF GAS TURBINE UNITS**

рівень вищої освіти: другий (магістерський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Миколаїв – 2020

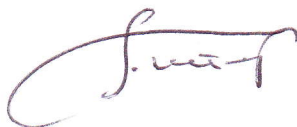
Робоча програма навчальної дисципліни "Теорія робочих процесів газотурбінних агрегатів" є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 14 "Електрична інженерія" спеціальності 142 "Енергетичне машинобудування" освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".
01 вересня 2020 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 агрегатів" узгоджено з гарантом освітньої програми "Газотурбінні установки і компресорні станції".

Гарант освітньої програми
канд. техн. наук, доцент

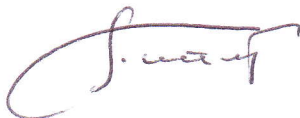


Патлайчук В.М.

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

Протокол № 9 від «26» 05 2020 р.

Завідувач кафедри

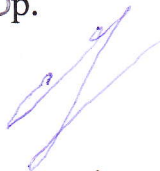


Патлайчук В.М.

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

Протокол № 10 від «28» 05 2020 р.

Голова



Сербін С.І.

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

Начальник відділу



Лабарткава А.В.

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

Протокол № 6 від «27» 08 2020 р.

Голова НМР НУК



Трушляков Є.І.

Зміст

Вступ	4
1. Опис навчальної дисципліни	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	5
3. Передумови для вивчення дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	6
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	17
7. Форми поточного та підсумкового контролю	18
8. Критерії оцінювання результатів навчання	23
9. Засоби навчання	25
10. Рекомендовані джерела інформації	25

ВСТУП

Анотація

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

Дисципліна повинна ознайомити студентів з сучасними та перспективними методами розрахунку простих і складних теплових схем газотурбінних агрегатів, характеристик робочого процесу багатоступінчастих турбін і камер згоряння та надати теоретичний апарат для проектування 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 проектування багатоступінчастих осьових турбін та камер згоряння, основні особливості вибору та оптимізації термодинамічних параметрів простих та складних теплових схем сучасних газотурбінних агрегатів.

Ключові слова: проектування газотурбінних агрегатів, 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 units 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 units, 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 units, 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 – 5		1-й		1-й	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: курсовий проект					
Загальна кількість годин – 300		Семестри:			
		1-й	2-й	1-й	2-й
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 та 3; самостійної роботи студента – 5 та 9.	Освітній рівень: другий (магістерський)	Лекції			
		30 год	30 год	14 год	12 год
		Практичні заняття			
		15 год	15 год	8 год	10 год
		Самостійна робота			
		75 год	135 год	98 год	158 год
		Індивідуальні завдання			
		–	КП	–	КП
		Вид контролю: залік (1-й семестр), екзамен та курсовий проект (2-й семестр)			
		Форма контролю: комбінована			

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

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

- **ФК3.** Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення складних інженерних завдань з використанням спеціальних і загальнонавчаних методів.
- **ФК6.** Здатність розробляти і впроваджувати енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання.

- **ФК12.** Здатність розробляти фізичні й математичні моделі процесів в енергетичному і технологічному обладнанні з аналізом результатів і розробкою методик розрахунку обладнання (шляхом порівняння з результатами експериментальних досліджень).

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**:

- **ПРН1.** Знання і розуміння спеціальних розділів термодинаміки, теорії тепломасообміну, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі спеціальності «Енергетичне машинобудування» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.
- **ПРН2.** Знання і розуміння інженерних наук, що лежать в основі спеціальності «Енергетичне машинобудування», на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки в галузі.
- **ПРН9.** Вміння використовувати передові досягнення та технічні рішення при проектуванні об'єктів енергетичного машинобудування.

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. [4]. стор. 34-37.

Тема 17. Типи камер згоряння ГТД та їх основні вузли. [4]. стор. 38-42.

Тема 18. Основні положення організації робочого процесу в трубчато-кільцевій камері згоряння з лопатковим завихрювачем. [4]. стор. 43-51.

Тема 19. Основні положення організації робочого процесу в трубчато-кільцевій камері згоряння з напівсферичним фронтним пристроєм. [4]. стор. 43-51.

Тема 20. Методи стабілізації полум'я в камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 52-55.

Тема 21. Загальна характеристика процесу теплообміну в камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 56-61.

Тема 22. Основи теорії розпилювання рідких палив в камерах згоряння ГТД.. [4]. стор. 62-66.

Тема 23. Інтенсифікація процесів горіння важких палив у камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 67-73.

Тема 24. Організація чистого вихлопу газотурбінних агрегатів. Робочий процес в малотоксичних камерах згоряння ГТД. [4]. стор. 74-88.

Змістовий модуль 5. Підвищення експлуатаційної надійності та технічне діагностування камер згоряння газотурбінних агрегатів

Тема 25. Причини виникнення дефектів камер згоряння ГТД. [4]. стор. 153-154.

Тема 26. Дефекти жарових труб та паливних форсунок камер згоряння. [4]. стор. 154-168.

Тема 27. Проектування камер згоряння з метою виключення можливих дефектів в експлуатації. [4] стор. 169-178.

Тема 28. Особливості діагностування камер згоряння газотурбінних двигунів. [4]. стор. 181-187.

Тема 29. Засоби технічного діагностування камери згоряння газотурбінних двигунів. [4]. стор. 188-196.

Тема 30. Особливості стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів. [4]. стор. 205-219.

Модуль 3 (курсний проект)

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	1	–	8
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	2	–	25

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.
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
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	1	–	6
Разом за змістовим модулем 2	75	20	10	–	45	75	10	5	–	60
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

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 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	8	–	98
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.	7	2	2	–	3	7	1	1	–	5
Тема 17. Типи камер згоряння ГТД та їх основні вузли.	7	2	–	–	5	7	1	–	–	6
Тема 18. Основні положення організації робочого процесу в трубчато-кільцевій камері згоряння з лопатковим завихрювачем.	7	2	2	–	3	7	1	2	–	4
Тема 19. Основні положення організації робочого процесу в трубчато-кільцевій камері згоряння з напівсферичним фронтним пристроєм.	6	2	–	–	4	6	1	–	–	5
Тема 20. Методи стабілізації полум'я в камерах згоряння ГТД.	7	2	2	–	3	7	–	1	–	6
Тема 21. Загальна характеристика процесу теплообміну в камерах згоряння ГТД.	6	2	–	–	4	6	1	–	–	5
Тема 22. Основи теорії розпилювання рідких палив в камерах згоряння ГТД..	7	2	2	–	3	7	1	2	–	4
Тема 23. Інтенсифікація процесів горіння важких палив у камерах згоряння ГТД.	6	2	–	–	4	6	1	–	–	5
Тема 24. Організація чистого вихлопу газотурбінних агрегатів. Робочий процес в малотоксичних камерах згоряння ГТД.	7	2	2	–	3	7	–	1	–	6
Разом за змістовим модулем 4	60	18	10	-	32	60	7	7	-	46

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.
Змістовий модуль 5. Підвищення експлуатаційної надійності та технічне діагностування камер згоряння газотурбінних агрегатів										
Тема 25. Причини виникнення дефектів камер згоряння ГТД.	5	2	–	–	3	5	1	–	–	4
Тема 26. Дефекти жарових труб та паливних форсунок камер згоряння.	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 27. Проектування камер згоряння з метою виключення можливих дефектів в експлуатації.	5	2	–	–	3	5	1	–	–	4
Тема 28. Особливості діагностування камер згоряння газотурбінних двигунів.	5	2	2	–	1	5	1	1	–	3
Тема 29. Засоби технічного діагностування камери згоряння газотурбінних двигунів.	5	2	–	–	3	5	1	–	–	4
Тема 30. Особливості стендових випробувань камер згоряння газотурбінних двигунів.	5	2	1	–	2	5	–	1	–	4
Разом за змістовим модулем 5	30	12	5	–	13	30	5	3	–	22
Усього годин за модулем 2	90	30	15	–	45	90	12	10	–	68
Модуль 3 (курсовий проект)										
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
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

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.
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	60	30	–	210	300	26	18	–	256

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	1
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	1
8	Термодинамічний розрахунок схеми контактної ГТА з ТУК і впорскуванням пари в КЗ ГТД (закінчення)	1	1
	Усього годин за модулем 1	15	8
9	Проведення габаритного розрахунку трубчасто-кільцевої протитокової камери згоряння	2	1

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
10	Розрахунок ступінчастого-кільцевого дифузора камери згоряння ГТД	2	2
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	2
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	10
	Разом за курсом	30	18

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 15 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	8
3	Виконання розрахункових завдань	22	22
4	Написання реферату	–	24
5	Підготовка до заліку	30	30
	Усього годин за модулем 1	75	98
Модуль 2 (другий семестр)			
1	Підготовка до практичних занять	10	8
2	Виконання розрахункових завдань	15	12
3	Написання реферату	–	28
4	Підготовка до екзамену	20	20
	Усього годин за модулем 2	45	68
Модуль 3 (курсовий проект)			
1	Виконання курсового проекту	90	90
	Усього годин за модулем 3	90	90
Разом за курсом		210	256

Індивідуальне науково-дослідне завдання (курсовий проект)

В індивідуальному науково-дослідному завданні (курсовому проекті) виконується проектування 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 проектних 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 проектувального 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 проектування турбінної частини може бути замінене на проектування іншої частини установки.

Графічна частина проекту містить габаритно-компоновочне креслення газотурбінного двигуна та креслення проектуємої турбіни двигуна.

Приклади тем індивідуальних завдань курсового проекту:

- «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 агрегатів" є:

- усні та письмові відповіді на практичних заняттях;
- виконання розрахункових завдань;
- підготовка рефератів;
- виконання курсового проекту;
- 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 проект)		
Пояснювальна записка	40 балів	40 балів
Графічна частина	20 балів	20 балів
Захист проекту	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 проекту

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 проекту.

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 (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	—	—
	T18	Практичне заняття №2	2	—	—
	T20	Практичне заняття №3	2	—	—
	T22	Практичне заняття №4	2	—	—
	T24	Практичне заняття №5	2	—	—
	T16-T24	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
	T16-T24	—	—	Підготовка реферату	16
ЗМ5	T26	Практичне заняття №6	2	—	—
	T28	Практичне заняття №7	2	—	—
	T30	Практичне заняття №8	2	—	—
	T25-T30	Виконання розрахункового завдання	22	Виконання розрахункового завдання	22
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Сума			100		100
Модуль 3 (курсний проект)					
		Пояснювальна записка	40	Пояснювальна записка	40
		Графічна частина	20	Графічна частина	20
		Захист проекту	40	Захист проекту	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 проектування: навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2003. 44 с.
2. Романовський Г.Ф., Ващиленко М.В., Сербін С.І. Теоретичні основи проектування 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 проектування 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. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов / Г.С. Жирицкий, В.И. Локай, М.К. МаксUTOва, В.А. Струнkin. М. : Машиностроение, 1971.
5. Лефевр А. Процессы в камерах сгорания ГТД. М.: Мир, 1986. 566 с.
6. Пчелкин Ю.М. Камеры сгорания газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.
7. Романовский Г.Ф., Сербин С.И. Выбор параметров и расчет элементов камеры сгорания судового ГТД : Учебное пособие. Николаев: НКИ, 1988. 52 с.

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. Kozlovskyi, 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, 2020. 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.