

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

ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-
педагогічної роботи



Слободян С.О.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів

Environmental problems of gas turbine units

рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)

тип дисципліни: вибіркова

мова(и) викладання: українська

Миколаїв – 2021

Робоча програма навчальної дисципліни "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" як вибіркового курсу є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 14 "Електрична інженерія" спеціальності 142 "Енергетичне машинобудування".

01 вересня 2021 року. – 15 с.

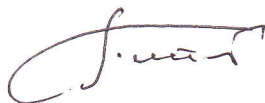
Розробник:

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

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" розглянуто на засіданні кафедри турбін.

Протокол № 9 від «22» 06 2021 р.

Завідувач кафедри



Патлайчук В.М.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" розглянуто Методичною комісією Машинобудівного навчально-наукового інституту.

Протокол № 01 від «26» 08 2021 р.

Голова



Сербін С.І.

Проект робочої програми навчальної дисципліни "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу



Лабарткава А.В.

Робоча програма навчальної дисципліни "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 7 від «26» 08 2021 р.

Голова НМР НУК



Трушляков Є.І.

© НУК, 2021

Зміст

Вступ	4
1. Опис навчальної дисципліни	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	5
3. Передумови для вивчення дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	6
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	10
7. Форми поточного та підсумкового контролю	10
8. Критерії оцінювання результатів навчання	13
9. Засоби навчання	13
10. Рекомендовані джерела інформації	13

ВСТУП

Анотація

Дисципліна спрямована на одержання новітніх знань про сучасні напрямки підвищення екологічної ефективності газотурбінних двигунів та енергетичних установок на їх основі. В дисципліні розглядаються основні механізми утворення забруднюючих речовин в газотурбінних двигунах, методи прогнозування екологічних характеристик та напрямки зменшення викидів шкідливих компонентів.

Дисципліна повинна надати аспірантам глибинні професійні знання та навички стосовно теоретичних засад, які лежать в основі сучасних методів екологічно чистої генерації енергії, виробити у аспірантів здатність до реалізації цих знань у своїй науковій та практичній діяльності.

Матеріал дисципліни містить також питання, необхідні для проєктування екологічно чистих елементів енергетичних установок із газотурбінними агрегатами, а також для самостійного поглиблення знань із спеціальності.

В ході вивчення дисципліни аспірант ознайомиться з сутністю сучасних та перспективних методів генерації енергії в турбоустановках та низькоемісійного спалювання палив, які засновані на екологічно чистих технологіях використання органічних ресурсів, з шляхами реалізації цих технологій при розв'язанні наукових завдань проєктування та виробництва.

Ключові слова: газотурбінний двигун, низькоемісійна камера згоряння, викиди токсичних компонентів, спалювання палив, екологічні проблеми.

Abstract

The aim of the discipline is obtaining the latest knowledge about modern ways to improve the environmental efficiency of gas turbine engines and power plants based on them. The discipline considers the main mechanisms of pollutant formation in gas turbine engines, methods of forecasting environmental characteristics and directions of reducing emissions of harmful components.

The discipline should provide graduate students with in-depth professional knowledge and skills on the theoretical foundations that underlie modern methods of environmentally friendly energy generation, to develop in graduate students the ability to implement this knowledge in their scientific and practical activities.

The material of the discipline also contains questions necessary for the design of environmentally friendly elements of power plants with gas turbine units, as well as for independent deepening of knowledge in the specialty.

During the study of the discipline the graduate student will get acquainted with the essence of modern and promising methods of energy generation in turbines and low emission fuel combustion, which are based on environmentally friendly technologies of organic resources, with ways to implement these technologies in solving scientific problems of design and production.

Keywords: gas turbine engine, low-emission combustion chamber, emissions of toxic components, fuel combustion, environmental problems.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність (освітня програма), освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: 14 "Електрична інженерія" Спеціальність: 142 "Енергетичне машинобудування" (освітня програма "Енергетичне машинобудування")	Вибіркова	
Модулів – 1		Рік підготовки:	
Змістових модулів – 2		2-й	2-й
Електронний адрес РПНД на сайті Університету:			
Загальна кількість годин – 120		Семестри	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3; самостійної роботи студента – 5.	Освітній рівень: третій (освітньо-науковий)	3-й	3-й
		Лекції	
		30 год	30 год
		Практичні заняття	
		15 год	15 год
		Самостійна робота	
		75 год	75 год
		Індивідуальні завдання	
		–	–
		Вид контролю: залік	
Форма контролю: комбінована			

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" є дослідження новітніх напрямків підвищення екологічної ефективності газотурбінних двигунів та енергетичних установок на їх основі. Дисципліна розглядає сучасні та перспективні методи низькоемісійного спалювання палив в газотурбінних установках, які засновані на екологічно чистих технологіях використання органічних ресурсів, а також шляхи реалізації таких технологій при розв'язанні наукових завдань проєктування та виробництва.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовою для вивчення дисципліни є дисципліни: "Методологія наукових досліджень та педагогічної діяльності" та "Раціональні та екологічно чисті методи перетворення енергії в енергомашинобудуванні".

4. Очікувані результати навчання

Дисципліна "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" навчає аспірантів аналізувати перспективи розвитку низькоемісійних технологій в газотурбінній техніці, можливості застосування систем знешкодження пірогенних забруднень в суднових та стаціонарних турбінних агрегатах, вибирати ефективну схему зменшення шкідливої дії продуктів згоряння вуглеводневих палив на навколишнє середовище.

Майбутній фахівець с цього напрямку вчиться творчо використовувати одержані знання з екологічних проблем газотурбінних установок у своїй матеріально-практичній діяльності, грамотно формулювати власну думку професійного характеру, впевнено й аргументовано захищати власну позицію.

5. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Вплив робочого процесу газотурбінного двигуна на викиди екологічно шкідливих компонентів

Тема 1. Тенденції розвитку газотурбінобудування [1], стор. 4-6.

Тема 2. Викиди токсичних речовин в атмосферу [1], стор. 7-9, [2], стор. 74-89, [3], стор. 9-10.

Тема 3. Екологічна оцінка газотурбінного двигуна як джерела забруднення повітря [1], стор. 9-20, [3], стор. 11-13.

Тема 4. Виміри викидів ГТУ [1], стор. 14-20.

Тема 5. Вплив режиму роботи ГТУ на викиди забруднюючих речовин [1], стор. 20-22.

Тема 6. Особливості робочого процесу камери згоряння ГТУ [1], стор. 22-25, [2], стор. 43-52.

Тема 7. Утворення забруднюючих речовин у камері згоряння [1], стор. 26-28, [3], стор. 14-15.

Змістовий модуль 2. Методи зменшення емісії токсичних компонентів

Тема 8. Газоподібні продукти неповного згоряння палива і заходи для їх зменшення [1]. стор. 25-33, [3]. стор. 15-17.

Тема 9. Утворення бензпірену в продуктах згоряння [1]. стор. 32-34, [3]. стор. 18.

Тема 10. Димність і заходи для її зменшення [1]. стор. 33-37, [3]. стор. 19-21.

Тема 11. Утворення в ГТУ оксидів азоту [1]. стор. 38-46, [3]. стор. 22-24.

Тема 12. Способи зниження викидів оксидів азоту [1]. стор. 46-53.

Тема 13. Малотоксичні камери згоряння. Зонні і гібридні камери згоряння [1]. стор. 53-59, [3]. стор. 25-47.

Тема 14. Малотоксичні камери згоряння. Гомогенні камери згоряння, камери зі змінюваною геометрією та каталітичні камери згоряння [1]. стор. 59-67, [3]. стор. 25-47.

Тема 15. Моделі утворення забруднюючих речовин [1]. стор. 67-79, [3]. стор. 51-73.

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.
Змістовий модуль 1. Вплив робочого процесу газотурбінного двигуна на викиди екологічно шкідливих компонентів										
Тема 1. Тенденції розвитку газотурбінобудування	8	2	–	–	6	8	2	–	–	6
Тема 2. Викиди токсичних речовин в атмосферу	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Тема 3. Екологічна оцінка газотурбінного двигуна як джерела забруднення повітря	9	2	2	–	5	9	2	2	–	5
Тема 4. Виміри викидів ГТУ	9	2	–	–	7	9	2	–	–	7
Тема 5. Вплив режиму роботи ГТУ на викиди забруднюючих речовин	9	2	–	–	7	9	2	–	–	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.
Тема 6. Особливості робочого процесу камери згоряння ГТУ	9	2	2	–	5	9	2	2	–	5
Тема 7. Утворення забруднюючих речовин у камері згоряння	8	2	–	–	6	8	2	–	–	6
Разом за змістовим модулем 1	60	14	6	–	40	60	14	6	–	40
Змістовий модуль 2. Методи зменшення емісії токсичних компонентів										
Тема 8. Газоподібні продукти неповного згоряння палива і заходи для їх зменшення	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Тема 9. Утворення бензпірену в продуктах згоряння	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Тема 10. Димність і заходи для її зменшення	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Тема 11. Утворення в ГТУ оксидів азоту	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Тема 12. Способи зниження викидів оксидів азоту	8	2	3	–	3	8	2	3	–	3
Тема 13. Малотоксичні камери згоряння. Зонні і гібридні камери згоряння	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Тема 14. Малотоксичні камери згоряння. Гомогенні камери згоряння, камери зі змінюваною геометрією та каталітичні камери згоряння	8	2	2	–	4	8	2	2	–	4
Тема 15. Моделі утворення забруднюючих речовин	7	2	–	–	5	7	2	–	–	5
Разом за змістовим модулем 2	60	16	9	–	35	60	16	9	–	35
Усього годин	120	30	15	–	75	120	30	15	–	75

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Аналіз екологічних характеристик сучасних газотурбінних двигунів і установок.	2	2
2	Особливості показників токсичності суднових та стаціонарних газотурбінних двигунів.	2	2
3	Аналіз залежностей фактора токсичності вихлопних газів ГТУ від режиму роботи установки	2	2
4	Особливості методики габаритного розрахунку камери згоряння ГТД при роботі на газоподібному паливі	2	2
5	Особливості конструкцій малотоксичних камер згоряння з впорскуванням води та водяної пари.	3	3
6	Особливості конструкцій малотоксичних камер згоряння зі змінною геометрією.	2	2
7	Особливості конструкцій малотоксичних камер згоряння з зовнішнім сумішоутворенням.	2	2
РАЗОМ		15	15

Самостійна робота

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

- підготовка до лекційних занять – 0,5 год/1 год. занять (1 година на 1 лекцію);
- підготовка до практичних занять – 2 год/1 заняття;
- написання рефератів, 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
1	Підготовка до лекцій	15	15
2	Підготовка до практичних занять	14	14
3	Підготовка рефератів/аналітичних оглядів	16	16
4	Підготовка до заліку	30	30
РАЗОМ		75	75

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

Набуття здобувачами компетенцій забезпечується через засвоєння навчального матеріалу у вигляді лекційних, практичних занять 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.

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 "Екологічні проблеми газотурбінних агрегатів" є:

- усні відповіді на практичних заняттях;
- підготовка реферату/аналітичного огляду;

– залік.

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 заліку. У кожного компонента своя частка в загальній системі оцінок. У проміжних оцінках аспірант може набрати максимум **60 балів**. Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (активність, участь в дискусіях; виконання завдань та інше).

Питома вага заключного заліку в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний залік надається аспіранту, якій з урахуванням отриманих балів проміжних оцінок і заключного заліку може набрати разом не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заліку.

Залік відбувається у усній формі шляхом відповіді на питання залікового білету. За відповіді на всі питання аспірант може отримати максимум 40 балів.

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.

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
Відповіді на практичних заняттях	7 x 5 бали = 35 балів	7 x 5 бали = 35 балів
Підготовка реферату/аналітичного огляду	1 x 25 балів = 25 балів	1 x 25 балів = 25 балів
Залік	4 x 10 балів = 40 балів	4 x 10 балів = 40 балів
Всього	100	100

Відповіді на практичних заняттях	Критерії оцінювання
5	Відповідь правильна, повна, логічна, містить аналіз, систематизацію, узагальнення, використані міжпредметні зв'язки, містить аргументовані висновки.
4	Відповідь в цілому правильна, достатньо повна, логічна; допущені несуттєві помилки та неточності у викладенні матеріалу
3	Відповідь частково правильна, містить неточності, недостатньо обґрунтована.
2	Відповідь має суттєві помилки, аргументи несформульовані, використовуються невірна термінологія.
1	Відповідь містить значну кількість суттєвих помилок.
0	Студент не дає відповіді.

Підготовка реферату/аналітичного огляду	Критерії оцінювання
25	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.
20	Зміст роботи відповідає обраній темі; але має поверхневий аналіз, матеріал викладено непослідовно та необґрунтовано.
15	Зміст роботи відповідає обраній темі; але вона виконувалась не систематично та подана на перевірку науковому керівнику з порушенням плану виконання.
10	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.
5	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 вимогам, що пред'являються. У роботі немає висновків або вони носять декларативний характер.

Відповіді на питання заліку	Критерії оцінювання
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.

Відповіді на питання заліку	Критерії оцінювання
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.
6	Студент спроможний чітко та стисло відповісти на питання білету, належно обґрунтовує матеріал, але допускає суттєві неточності у відповідях на запитання.
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.
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.

8. Критерії оцінювання результатів навчання

		Денне відділення		Заочне відділення	
		Вид роботи	Бали	Вид роботи	Бали
ЗМ1	T2	Практичне заняття №1	5	Практичне заняття №1	5
	T3	Практичне заняття №2	5	Практичне заняття №2	5
	T6	Практичне заняття №3	5	Практичне заняття №3	5
ЗМ2	T8	Практичне заняття №4	5	Практичне заняття №4	5
	T12	Практичне заняття №5	5	Практичне заняття №5	5
	T13	Практичне заняття №6	5	Практичне заняття №6	5
	T14	Практичне заняття №7	5	Практичне заняття №7	5
ЗМ1, ЗМ2		Підготовка реферату / аналітичного огляду	25	Підготовка реферату / аналітичного огляду	25
Підсумковий контроль		Залік	40	Залік	40
Сума			100		100

9. Засоби навчання

У спеціальних засобах навчання потреби немає.

10. Рекомендовані джерела інформації

Основна література

1. Романовський Г.Ф., Сербін С.І. Екологічно чисті камери згоряння ГТУ : навч. посібник. Миколаїв: УДМТУ, 2002. 88 с.
2. Романовський Г.Ф., Сербін С.І. Камери згоряння суднових газотурбінних двигунів. Миколаїв: УДМТУ, 2000. 259 с.
3. Сербін С.І., Мостіпаненко Г.Б., Гончарова Н.О. Низькоемісійні камери згоряння ГТД. Миколаїв: видавець Торубара В.В., 2016. 216 с.

Допоміжна література

1. Yang X., Yang Z., Wen H., Gorbov V., Mitienkova V., Serbin S. Alternative Fuels in Ship Power Plants. Springer Nature Singapore Pte Ltd. jointly published with Shanghai Scientific and Technical Publishers, China, 2021, 168 p., ISBN 978-981-33-4849-3, ISBN 978-981-33-4850-9 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4850-9>.
2. Yang Z., Wen H., Yang X., Gorbov V., Mitienkova V., Serbin S. Marine Power Plant. Springer Nature Singapore Pte Ltd. jointly published with Shanghai Scientific and Technical Publishers, China, 2021, 335 p., ISBN 978-981-33-4934-6, ISBN 978-981-33-4935-3 (eBook), <https://doi.org/10.1007/978-981-33-4935-3>.
3. Serbin S. Chapter 1. Mathematical Modeling and Theoretical Investigations of Plasma-Chemical Combustion Processes. In: Plasma Assisted Combustion, Gasification, and Pollution Control. Volume 2. Combustion and Gasification. – Printed in the USA: Outskirts Press, Inc., ISBN: 978-1-4787-6920-0, Library of Congress Control Number 2015909359, 2016. – P.10-89.
4. J. Warnatz, U. Maas, and R. W. Dibble, Combustion: Physical and chemical fundamentals, modeling and simulation, experiments, pollutant formation, 3rd ed. Berlin, Germany: Springer, 2013.

Інформаційні ресурси в Інтернет

1. 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>.

2. Nelson, A.: Quick and economical power augmentation and emission control using new advancements in combustion turbine steam injection. Cheng Power Systems. [http://www.intpower.com/cln/PowerGen\(6B\)Paper.pdf](http://www.intpower.com/cln/PowerGen(6B)Paper.pdf) (2001). Accessed 04 July 2018.
3. Mitsubishi Power. Smart-AHAT (Advanced Humid Air Turbine). <https://power.mhi.com/products/gasturbines/technology/smart-ahat> (2021). Accessed 29 August 2021.
4. 6B.03 gas turbine. <https://www.ge.com/gas-power/products/gas-turbines/6b> (2021). Accessed 29 August 2021.
5. 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>.
6. Applied Plasma Technologies. The new millennium tools, Available: http://www.plasmacombustion.com/product-tornado_combustor.html.