

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

Л.Г.Бойко
(підпис) (ініціали та прізвище)

« 31 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Газодинамічна нестійкість турбокомпресорів

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»
(цифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Газотурбінні установки і компресорні станції»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2023 рік

Розробник: Герасименко В.П., проф. каф. 201, д.т.н., проф.

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Теорії авіаційних двигунів (201)

(назва кафедри)

Протокол № 1 від «24» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Л.Г. Бойко

(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни. (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4	<p>Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування)</p> <p>Спеціальність <u>142 «Енергетичне машинобудування»</u> (код та найменування)</p> <p>Освітня програма <u>«Газотурбінні установки і компресорні станції»</u> (найменування)</p> <p>Рівень вищої освіти: <u>другий (магістерський)</u></p>	Обов'язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2023/2024
Індивідуальне завдання <i>не передбачено</i>		Семестр
Загальна кількість годин – 120		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 год. самостійної роботи студента – 5,5 год.		Лекції¹⁾
		24 год.
	Практичні¹⁾	
	Лабораторні¹⁾	
	24	
	Самостійна робота	
	72 год.	
	Вид контролю	
	Модульний контроль, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 1/3.

¹⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до аналізу стійкості роботи турбокомпресорів.

Завдання: надання знань про порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і газотурбінних двигунів, типи нестійких режимів та методи їх дослідження і математичного моделювання. А також про заходи щодо його прогнозування запобігання та ліквідації нестійкої роботи турбокомпресорів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей:**

Загальні:

ЗК – здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Фахові:

СК – Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки в сфері енергетичного машинобудування.

СК – Здатність критично осмислювати проблем і перспектив розвитку у сфері енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних проблем

СК – Здатність аналізувати та комплексно інтегрувати сучасні знання з природничих, інженерних, суспільно-економічних та інших наук для розв'язання складних задач і проблем, пов'язаних з проектуванням та експлуатацією енергетичного і теплотехнологічного обладнання.

СК – Здатність аналізувати, оцінювати та застосовувати науково-технічну інформацію в галузі енергетичного машинобудування.

СК – Здатність розробляти та впроваджувати інноваційні проекти і програми, забезпечувати конкурентоздатність продукції, здійснювати техніко-економічне обґрунтування проєктів у галузі енергетичного машинобудування.

СК – Здатність приймати ефективні рішення з виробництва і експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентоздатності та охорони праці.

Програмні результати навчання:

РН – Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у галузі енергетичного машинобудування для розв'язування складних задач професійної діяльності.

РН – Здійснювати пошук необхідної інформації у науково-технічній і патентній літературі, базах даних, інших джерелах з технологій і процесів у галузі енергетичного машинобудування, на їх основі, систематизувати, аналізувати та оцінювати відповідну інформацію.

РН – Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проектування, виготовлення і експлуатації газотурбінних установок, іншого енергетичного обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проєктах.

РН – Створювати новітні технології та процеси і обґрунтовувати вибір обладнання та інструментів, з урахуванням обмежень в енергетичному машинобудуванні на основі сучасних знань в енергетичній та суміжних галузях.

РН – Приймати ефективні рішення з інженерних та управлінських питань у галузі енергетичного машинобудування в складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням сучасних методів та засобів оптимізації, прогнозування та прийняття рішень.

РН – Формулювати та вирішувати інноваційні задачі галузі енергетичного машинобудування з урахуванням вимог до результатів, технічних стандартів, а також нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, інтелектуальна власність, навколишнє середовище, економіка і виробництво) аспектів.

Пререквізити: Теорія та розрахунок лопаточних машин, Теорія ГТД і У.

Кореквізити: Переддипломна практика, дипломне проектування

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і ГТД.

Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни "Газодинамічна нестійкість турбокомпресорів".

Проблема порушення газодинамічної стійкості ГТД та інших систем. Наслідки, до яких вона призводить.

Тема 2. Нестійкі режими роботи турбомашин.

Типи та форми нестійких режимів роботи та області їх виникнення. Взаємозв'язок між цими формами. Напрямки досліджень порушення стійкості і нестійких режимів роботи різних газодинамічних систем.

Тема 3. Зрив течії у решітках турбомашин.

Зрив течії – як першопричина виникнення нестійких режимів роботи турбомашин. Критерії зриву у компресорних решітках, лопатевих вінцях та ступенях.

Тема 4. Обертовий зрив у компресорах.

Моделі обертового зриву: малих збурень, двовимірні, тривимірні, ступеневі. Особливості обертового зриву у відцентрових компресорах і нагнітачах природного газу, у тому числі з назад загнутими лопатками робочих колес.

Тема 5. Помпаж у гідравлічних системах з компресором.

Статична та динамічна нестійкість роботи компресора в гідравлічній мережі. Помпаж в системах з компресорами. Система рівнянь газової динаміки для опису помпажу. Математичне моделювання порушення газодинамічної стійкості газотурбінних двигунів та установок. Вплив акустичного імпедансу на порушення стійкості. Помпаж в газопроводах.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовий модуль №2. Прогнозування порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і ГТД та заходи щодо її усунення та попередження.

Тема 6. Регулювання ГТД та локальні пристрої із забезпечення стійкої роботи турбокомпресорів і ГТД в цілому.

Відновлення беззривних режимів роботи компресорів у системі ГТД чи ГТУ. Щілинні пристрої та методи регулювання для захисту від нестійких режимів роботи компресора. Щілинні пристрої у відцентрових компресорах наддуву дизелів.

Тема 7. Вібраційне горіння у камерах згоряння ГТД ГПА та боротьба з ним.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	лаб	п	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовий модуль 1. Порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і ГТД					
Тема 1. Вступ до навчальній дисципліни	2	1	–	–	1
Теми 2-3. Зрив течії в каналах і решітках	28	5	6	–	17
Теми 4-5. Обертний зрив та помпаж як нестійкі явища	30	6	6	–	18
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	60	12	12	–	36
Модуль 2					
Змістовий модуль 2. Прогнозування порушення газодинамічної стійкості і вібраційного горіння ГТД та заходи щодо їх усунення					
Тема 6. Регулювання ГТД та локальні пристрої із забезпечення стійкості ГТД, ВЦН і дизелів	30	6	6	–	18
Тема 7. Вібраційне горіння та боротьба з ним	30	6	6	–	18
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 2	60	12	12	–	36
Усього годин за семестр	120	24	24	–	72

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Обертвий зрив в ступені осьового компресора	12
2	Межа помпажу з електроною реєстрацією на стенді ВЦК	12
	Разом	24

7. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Не передбачено навчальним планом		

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Проблема порушення газодинамічної стійкості ГТД та інших систем з компресорами чи насосами	1
2	Нестійкий режим роботи турбомашини	10
3	Зрив течії у решітках турбомашин і флатер лопаток	10
4	Обертвий зрив у компресорах	15
5	Помпаж у гідравлічних системах з компресором	12
6	Регулювання ГТД та локальні пристрої із забезпечення стійкої роботи турбокомпресорів і ГТД в цілому	12
7	Вібраційне горіння у камерах згоряння та боротьба з ним	12
	Разом	72

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми
Не передбачено навчальним планом	

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних занять, індивідуальні консультації (за необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники), а також використання в літературних джерелах та Internet з проблемних питань газодинамічної нестійкості ТКР та ГТД в цілому.

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, виконання і оформлення НДР магістрів з подальшим опублікуванням у періодичних виданнях окремими студентами. Підсумковий контроль у вигляді іспиту.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання) під час модульного контролю.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

№ з/п	Елемент модуля	Бали	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	Виконання лабораторних робіт	0 – 8	2	0 – 16
2	Захист лабораторних робіт	0 – 8	2	0 – 16
5	Складання модульного контролю	0 – 18	1	0 – 18
Разом за модуль 1				0...50
Модуль 2				
1	Виконання лабораторних робіт	0 – 4	2	0 – 8
2	Захист лабораторних робіт	0 – 4	2	0 – 8
3	Конспект лекцій	0 – 14	1	0 – 14
4	Складання модульного контролю	0 – 20	1	0 – 20
Разом за модуль 2				0...50
Всього за семестр				0...100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит. диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Незараховано

13. Методичне Забезпечення

1. Базові підручники та навчально-методичні посібники наведені в п. 14 Рекомендована література.

Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням:

2.

3. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2674>

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання) під час модульного контролю.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

№ з/п	Елемент модуля	Бали	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	Виконання лабораторних робіт	0 – 8	2	0 – 16
2	Захист лабораторних робіт	0 – 8	2	0 – 16
5	Складання модульного контролю	0 – 18	1	0 – 18
Разом за модуль 1				0...50
Модуль 2				
1	Виконання лабораторних робіт	0 – 4	2	0 – 8
2	Захист лабораторних робіт	0 – 4	2	0 – 8
3	Конспект лекцій	0 – 14	1	0 – 14
4	Складання модульного контролю	0 – 20	1	0 – 20
Разом за модуль 2				0...50
Всього за семестр				0...100

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Незараховано

13. Методичне забезпечення

1. Базові підручники та навчально-методичні посібники наведені в п. 14 Рекомендована література.
2. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1896>

14. Рекомендована література

Базова

1. Герасименко В.П. Налісний М.Б. Механізми вібраційного горіння в камерах згорання ІТД //Авіац.-косм. техніка и технологія. – 2006. – №3/29. – С. 48-52.
<https://library.khai.edu/library/fulltexts/doc/Geras.pdf>
2. Кампсті Н. Аеродинаміка компресорів: пер. з англ. – М.: Мир. – 2000. – 688 с.
3. Письменний І.Л. Багаточастотні нелінійні коливання в газотурбінному двигуні. – М.: Машинобудування, 1987. – 128 с.
4. Натанзон М.С. Нестійкість горіння. – М.: Машинобудування, 1986.– 248 с.
https://library.khai.edu/catalog?clear_all_params=0&mode=DocBibRecord&lang=ukr&caller_mode=BookList&themes_basket=&ttp_themes_basket=&ext=no&theme_path=0&author_fld=&docname_fld=%D0%9D%D0%B5%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B9%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&docname_cond=beginwith&year_fld1=&year_fld2=&udc_fld=&isbn_fld=&lang_list=0&pubplace_fld=&publisher_fld=&bhc_fld=&issn_fld=&annotation_fld=&volume_fld=&part_fld=&responsibility_fld=&theme_cond=all_theme&littype_list=0&theme_list=0&disciplinesearch=&discipline_list=&tpage=1&step=20&faculty_list=0&department_list=&speciality_list=0&knmz_doctype_list=0&speciality_knmz_list=&sillabus_list=&knowledgearea_list=&qualificationlevel_list=&initiator_mode=SearchDocForm&full_searchfld=&ecopy=4&combiningAND=0&is_ttp=0&print_basket=%2C&docid=510366120&doctype_list=0&doctoselect=0&doctoselect=0

Допоміжна

1. Публікації за різними напрямками з проблеми газодинамічної нестійкості.
2. Рязанцев М.К. Мотори і судьби – Харків: ХПІ – 2003 р.
3. Кривошеєв І.О., Осіпов Є.В., Герасименко В.П. ІТД з нетрадиційним підводом повітря. М.: Машинобудування, 2013 р.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>