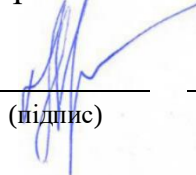


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра **Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

Сергій НИЖНИК

(ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**САЕ АНАЛІЗ ЕЛЕМЕНТІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ
ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

(назва навчальної дисципліни)

MAJOR Проєктування авіаційних двигунів та енергетичних установок

(назва вибіркового блоку)

Галузь знань:

13 «Механічна інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність:

134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма:

«Авіаційні двигуни та енергетичні установки»

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:

Другий (магістерський)

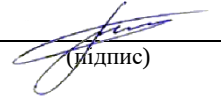
(рівень освіти)

Харків 2024

Розробник

ст. викл. Євген МАРЦЕНЮК

(посада, науковий ступінь і вчене звання, ім'я та прізвище)


(підпис)Робочу програму навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри
(№ 203) Конструкції авіаційних двигунів

(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2024.

Завідувач кафедри

д.т.н, професор

(науковий ступінь і вчене звання)

(підпис)

Сергій ЄПІФАНОВ

(ім'я та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 2	Галузь знань: <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр і найменування) Спеціальність: <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код і найменування) Освітня програма: <u>«Авіаційні двигуни та енергетичні установки»</u> (найменування)	Вибіркова
Кількість модулів – 1		Навчальний рік 2024 / 2025
Кількість змістових модулів – 1		
Індивідуальне завдання: РГР: <u>«Аналіз напружено-деформованого стану ротора ГТД»</u> (назва)		Семестр <u>7</u> -й
		Лекції * -
		Практичні, семінарські * 32 год.
Загальна кількість годин – 32*/60		Лабораторні * -
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 1,75	Рівень вищої освіти: <u>перший (бакалаврський)</u>	Самостійна робота
		28 год.
		Вид контролю
		залік

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 32 / 28

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: набуття знань та умінь, необхідних для виконання розрахунків напружено-деформованого стану тіл обертання на прикладі елементів ротора авіаційного газотурбінного двигуна в програмному пакеті ANSYS.

Завдання: вивчення особливостей виконання розрахунку напружено-деформованого стану тіл обертання в програмному комплексі ANSYS.

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

Загальні компетентності:

Здатність приймати обґрунтовані рішення. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Спеціальні (фахові) компетентності:

Здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.

Програмні результати навчання:

Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності. Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу. Застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проєктування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки. Обчислювати напружено-деформований стан, визначати несійну здатність конструктивних елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Пре-реквізити: Математичний аналіз, Фізика, Теоретична механіка та теорія машин і механізмів, Механіка матеріалів та конструкцій, Геометричне моделювання та графічні інформаційні технології, Конструкція АД та ЕУ.

Ко-реквізити: Динаміка та міцність авіаційних двигунів та енергетичних установок, Комп'ютерні технології розробки та виробництва авіаційних двигунів Конструкція, динаміка та міцність авіаційних двигунів та енергетичних установок (курсний проєкт), Конструкція і динаміка авіаційних двигунів та енергетичних установок.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА

Розрахунково-графічна робота

Розрахунково-графічна робота є самостійною роботою студента. Для керівництва, контролю та допомоги студенту призначається консультант РГР з числа викладачів.

Розрахунково-графічна робота містить у собі створення розрахункової скінчено-елементної моделі ротора високого тиску або газогенератора газотурбінного двигуна, визначення умов закріплення та навантаження, розрахунки напружено-деформованого стану ротора.

За бажанням студента та за згодою викладача завдання на розрахунково-графічну роботу може бути змінено у разі його відповідності до загального змісту даної дисципліни та збереженні обсягу й складності роботи.

Зміст розрахунково-графічної роботи – базове завдання

Числові методи в розрахунках на міцність.

Аналіз конструкції ротора високого тиску (РВТ) або газогенератора (ГГ) авіаційного газотурбінного двигуна.

Створення геометричної моделі РВТ (ГГ).

Створення бібліотеки матеріалів користувача та їх призначення усім компонентам ротора, що входять до розрахункової моделі.

Аналіз умов роботи ротора та визначення закріплення та навантажень на його компоненти.

Розрахунок напружено-деформованого стану ротора.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с.р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовий модуль 2 (ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ)					
Індивідуальне завдання	58	-	30	-	28
Розрахунково-графічна робота: “Аналіз напружено-деформованого стану ротора ГТД”					
Контрольний захід	2	-	2	-	-
Разом за змістовим модулем 2	60	-	32	-	28
Усього годин	60	-	32	-	28

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1		
Змістовий модуль 2 (ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ)		
1	Аналіз конструкції ротора високого тиску (або газогенератора) авіаційного газотурбінного двигуна. Створення геометричної моделі ротора.	12
2	Створення власної бібліотеки матеріалів. Призначення матеріалів деталей ротора, визначення їх фізичних властивостей.	2
3	Створення скінчено-елементної розрахункової сітки ротора	6
3	Визначення умов закріплення та силового навантаження ротора.	4
4	Розрахунок напружено-деформованого стану ротора за різних умов навантаження та аналіз отриманих результатів.	6
6	Контрольний захід	2
	Разом	32

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
Модуль 1		
Змістовий модуль 2 (ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН ЕЛЕМЕНТІВ АД ТА ЕУ)		
6	Виконання розрахунково-графічної роботи	28
	Разом	28

7. Індивідуальне завдання

1. Розрахунково-графічна робота на тему: *«Аналіз напружено-деформованого стану ротора ГТД».*

Розділи роботи:

1. Аналіз конструкції ротора високого тиску (або газогенератора) авіаційного газотурбінного двигуна.
2. Створення геометричної моделі ротора.
3. Створення власної бібліотеки матеріалів. Призначення матеріалів деталей ротора, визначення їх фізичних властивостей.
4. Створення скінчено-елементної розрахункової сітки ротора.
5. Визначення умов закріплення та силового навантаження ротора.
6. Розрахунок напружено-деформованого стану ротора за різних умов навантаження.
7. Аналіз отриманих результатів.
8. Складання розрахунково-пояснювальної записки.

8. Методи навчання

Основні форми навчання:

- практичні заняття;
- розрахунково-графічна робота;
- самостійна робота студента;
- залік.

Проведення практичних занять базується на індивідуальній роботі студентами зі створення геометричної моделі складання ротора, вибору матеріалів окремих деталей та створення власної бібліотеки обраних матеріалів, визначення умов силового навантаження елементів ротора та розрахунків його напружено-деформованого стану з подальшим аналізом і поясненням отриманих результатів.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються в рамках попередніх дисциплін. Під час самостійної роботи студенти виконують розрахунково-графічну роботу.

9. Методи контролю

9.1. Тестування

Матеріал дисципліни складається з одного змістового модуля – розрахунково-графічна робота на тему: *«Аналіз напружено-деформованого стану ротора ГТД».*

Складання модуля – на 16-му тижні 7-го семестру (один раз).

До складання модуля студент допускається за умови виконання всіх видів обов'язкових робіт, передбачених у модулі.

Строк здачі розрахунково-графічної роботи – 16-й тиждень. Затримка здачі РГР на тиждень – мінус 4 бали, на 2 тижні – мінус 8 балів.

Семестр 7 – залік.

9.2. Питання для контролю та самостійної роботи студентів

Модуль 1

Змістовий модуль 1

1. Спрощення геометрії під час створення розрахункових моделей.
2. Можливі припущення у міцнісному аналізі роторів ГТД.
3. Особливості побудови розрахункової моделі тіла обертання у тривимірній постановці:

типи елементів, геометрія, орієнтація відносно системи координат.

4. Особливості побудови розрахункової моделі тіла обертання у пласкій постановці: типи елементів, геометрія, орієнтація відносно системи координат.

5. Особливості побудови та підготовки розрахункової моделі тіла обертання у циклосиметричній постановці: типи елементів, геометрія, орієнтація відносно системи координат.

6. Відмінності умов кріплення для різних типів розрахункових моделей тіл обертання (на прикладі диска).

7. Тип елементів, що застосовують для пласкій моделі у міцнісному аналізі конструкції.

8. Призначення залежності фізичних властивостей матеріалу від температури у програмному комплексі ANSYS – як програма розуміє та використовує подібну залежність?

9. Особливості підготовки та проведення розрахунку напружено-деформованого стану конструкції у стаціонарній постановці.

10. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

10.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 2			
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	0	0
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...1,5	12	6...18
Модульний контроль	30...42	1	30...42
Виконання і захист РГР	24...40	1	24...40
Усього за семестр 2			60...100

Семестровий контроль (диференційний залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку. Допуск до заліку надається за умови виконання та успішного захисту розрахунково-графічної роботи.

Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліків складається з трьох теоретичних запитань та одного практичного завдання. Питання по білетах розподілені таким чином:

10.2. Розподіл питань у білетах заліку

Семестр	1-й
Тип контролю	Диференційний залік
Теоретичні питання (<i>перше, друге, третє</i>)	Змістовий модуль 1
Четверте питання	Тематика РГР

Розрахунково-графічна робота стосується аналізу напружено-деформованого стану ротора авіаційного ГТД і надається у вигляді розподілу напружень у різних перетинах ротора та його окремих деталей. Наведені результати необхідно проаналізувати з точки зору найслабшого місця (деталі) ротора та сформулювати пропозиції щодо поліпшення напружено-деформованого стану конструкції.

Максимальна кількість балів за кожне теоретичне питання – 20, за практичне завдання – 40.

10.3. Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- основи методу кінцевих елементів;
- рекомендації щодо побудови якісної сітки скінчених елементів;
- основні правила обмеження ступенів свободи та/або навантаження розрахункової моделі;
- принципи та порядок виконання міцнісних розрахунків методом скінчених елементів в програмному комплексі ANSYS;

вміти:

- створювати розрахункові моделі деталей і вузлів АД та ЕУ на базі балочних, оболонкових, об'ємних елементів або їх комбінації для виконання інженерних розрахунків у програмному пакеті ANSYS;
- виконувати розрахунки двовимірного та тривимірного напруженого стану деталей із використанням відповідних програмних засобів;
- виконувати критичний аналіз отриманих результатів щодо їх достовірності, тобто теорії або реального фізичного експерименту;
- самостійно визначати в складній конструкції зони «інтересу» для проведення подальшого аналізу відповідно до поставленої задачі.

10.4. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні заняття. Виконати та захистити індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати, які типи інженерних задач можуть бути вирішені програмними продуктами на базі методу скінчених елементів. Знати основну ідею методу кінцевих елементів. Розуміти різницю між елементами та вузлами. Орієнтуватися у інтерфейсі програмного продукту ANSYS та вміти пояснити, для чого призначені різні вікна та різні процесори програми. Бути спроможним виконувати прості міцнісні та теплові розрахунки окремих деталей типу балка або пластина за допомогою рекомендацій з навчальних посібників.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі практичні заняття. Виконати та добре захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати хто або що сприяв розвиненню метода кінцевих елементів. Знати чим відрізняються елементи першого та другого порядків. Вміти самостійно налагоджувати прості моделі (типу балки, пластини тощо) до виконання стаціонарних розрахунків, розглянутих у змістових модулях. Бути спроможним надавати оцінку вірності отриманих результатів – чи не протирічають вони теорії. Знати, що призводить до появи помилок у результатах розрахунків та розуміти їхнє чисельне співвідношення.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре» і кількістю балів не менше 80). Повно знати основний та додатковий матеріал. Вміти робити вибір між елементами першого та другого порядків в залежності від отриманої задачі. Вміти самостійно налагоджувати складні моделі, у тому числі і складових вузлів з декількох окремих деталей, до виконання розрахунків, розглянутих у змістових модулях. Вміти пояснювати та аналізувати отримані результати, розрізняти у них механічні та методологічні помилки підготовки розрахункової моделі. Пояснювати фізику симульованих процесів.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	Для іспиту	Для заліку
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
01-59	Незадовільно	Не зараховано

11. Методичне забезпечення

1. <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=9317>.

12. Рекомендована література

Базова

1. ANSYS Mechanical User's Guide

Допоміжна

2. Опір матеріалів: підручник / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський [та інші]. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К. : Вища шк., 2004. – 655 с.

13. Інформаційні ресурси

1. Розрахункові та контрольні програми ПЕОМ: ANSYS STUDENT (<https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>).
2. Файли та інтернет ресурси довідкової системи програмного комплексу ANSYS.