

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

Кафедра композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства (№ 403)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова НМК-1

 Сергій НИЖНИК

«» _____ 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Міцність та надійність композитних конструкцій АРКТ

(назва навчальної дисципліни)

Мажор. “Інженерія композитних конструкцій авіаційної
та ракетно-космічної техніки”

(вибірковий блок)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: Ракетно-космічна техніка

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна/заочна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2024 рік

Розробник:
доцент кафедри композиційних конструкцій
і авіаційного матеріалознавства (№ 403)
к.т.н., доцент


(підпис)

Федір ГАГАУЗ

Робочу програму навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства (№403), протокол № 1 від 27.08.2024 р.

В.о. завідувача кафедри 403
к.т.н., доцент


(підпис)

Федір ГАГАУЗ

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
Кількість кредитів – 2	Галузь знань 13 Механічна інженерія (шифр і найменування) Спеціальність 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка (код і найменування) Освітня програма Ракетно-космічна техніка (найменування) Рівень вищої освіти другий (магістерський)	Вибіркова	
		Форма навчання	
Денна		Заочна	
Навчальний рік			
2024 / 2025			
Семестр			
2-й		2-й	
Лекції ²⁾			
24		2	
Практичні, семінарські ²⁾			
24		4	
Лабораторні ²⁾			
—		—	
Самостійна робота			
72		114	
Індивідуальні завдання			
—		—	
Вид контролю			
іспит		іспит	
Модулів – 2			
Змістових модулів – 4			
Індивідуальне завдання			
(назва)			
Загальна кількість годин:			
денна – 48 / 120			
заочна – 6 / 120			
Кількість тижневих годин для денної форми навчання ¹⁾ :			
- аудиторних – 3.0			
- самостійної роботи студента – 4.5			

Примітка:

¹⁾ Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи для денної форми навчання становить 48/56, для заочної форми – 6/114.

²⁾ Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: формування у здобувачів необхідних знань у застосуванні фізичних і математичних моделей у спеціальних задачах механіки композиційних матеріалів і композитних конструкцій; ознайомлення студентів з моделями визначення граничної несучої здатності композитних конструкцій, а також з основами лінійної механіки руйнування.

Завдання: вивчення методів розрахунку фізико-механічних властивостей для композитів з несиметричною структурою пакету по товщині, існуючих моделей деградації властивостей КМ для дослідження поступового руйнування композитних конструкцій, основ проектування конструкцій на тривалу міцність та методів експериментального дослідження процесу руйнування.

Компетентності, які набуваються:

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- ЗК2. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ЗК3. Здатність проводити дослідження на відповідному рівні.
- ЗК5. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.
- ЗК9. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- СК5. Здатність будувати і досліджувати концептуальні, математичні, що включають останні наукові здобутки моделі явищ та поведінки об'єктів професійній діяльності.
- СК6. Здатність аналізувати характеристики стану агрегатів авіаційної та ракетно-космічної техніки та фактори, що впливають на них.

Очікувані результати навчання:

РН5. Використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми.

РН12. Розробляти та досліджувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі при розв'язанні складних професійних (науково-технічних) задач, пов'язаних з етапами життєвого циклу авіаційної та ракетно-космічної техніки.

РН15. Розробляти розрахункові моделі об'єктів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки і здійснювати оптимізацію їх параметрів за різними критеріями ефективності.

Пререквізити – Інженерний аналіз композитних конструкцій.

Кореквізити – Проектування та виробництво агрегатів АРКТ із композитів (КП).

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Спеціальні задачі механіки композитних конструкцій.

Тема 1. Механіка КМ з несиметричною укладкою шарів по товщині пакету.

Фізичний закон для шаруватих КМ з довільною структурою пакету. Визначення характеристик жорсткості пакету шарів КМ. Поняття структури, схеми армування та їх вплив на характеристики жорсткості шаруватого КМ. Окремі випадки схем армування. Визначення ефективних пружних характеристик. Вплив температурного навантаження на деформування КМ з довільною структурою пакету, ефективні коефіцієнти температурного розширення.

Тема 2. Міцність КМ з несиметричною укладкою шарів по товщині пакету.

Розрахунок характеристик міцності композитів з несиметричною укладкою шарів. Задачі поперечного згину та стійкості пластин з несиметричною структурою.

Змістовий модуль 2. Моделі поступового руйнування композитних конструкцій.

Тема 3. Несуча здатності композитних конструкцій при статичному навантаженні.

Труднощі прогнозування та оцінки міцності армованих неоднорідних матеріалів та основні підходи до рішення цих проблем. Форми руйнування КМ. Теорії міцності ортотропних матеріалів. Феноменологічні критерії міцності КМ, їх класифікація, найбільш поширені критерії міцності для розрахунку композитних конструкцій. Деградація властивостей КМ при поступовому руйнуванні. Вплив руйнування окремого шару на загальну жорсткість і міцність пакету шарів. Моделі фіксованого напруженого стану, поступового і миттєвого розвантаження, їх варіації. Інші моделі поступового руйнування (модель Брінсона, модель зміщених тріщин). Методи розрахунку граничної несучої здатності КМ без урахуванням руйнування матриці. Критерій Харт-Сміта (усічених максимальних деформацій).

Тема 4. Несуча здатності композитних конструкцій при втомному навантаженні.

Основні поняття механіки втомного руйнування. Амплітуда і розмах циклу навантаження, частота циклу, коефіцієнт асиметрії циклу, межа витривалості матеріалу. Їх взаємозв'язок. Особливості втомного деформування і руйнування КМ. Деградація властивостей КМ при втомному навантаженні. Оцінка опору композитної конструкції втомному навантаженню за критерієм Хашіна. Експериментальне визначення коефіцієнтів втомної міцності.

Модульний контроль №1.

Модуль 2.

Змістовий модуль 3. Концентрація напружень в конструкціях.

Тема 5. Коефіцієнти концентрація напружень в ізотропних пластинах.

Пертурбація поля напружень навколо локальних змін у геометрії та жорсткості конструкції: вирізів, отворів, посилень, потовщень, тощо. Поняття концентрація напружень. Теоретичний та ефективний коефіцієнти концентрації напружень, чутливість матеріалу до концентрації напружень. Рішення Кірша для розподілу напружень навколо круглого отвору в ізотропній пластині. Рішення Колосова – Інгліса для еліптичного отвору в ізотропній пластині.

Тема 6. Коефіцієнти концентрація напружень в композитних пластинах.

Формула Лехницького для ортотропної пластини з циліндричним отвором. Рішення Вітні і Ньюсмера для розподілу напружень навколо циліндричного отвору в композитній пластині та для визначення меж міцності пластини з отвором. Критерій оцінки напружень в точці та критерій осереднених напружень. Вплив розмірів отвору на коефіцієнт концентрації напружень, масштабний коефіцієнт. Використання критеріїв Вітні і Ньюсмера для розрахунку композитних пластин з тріщиною.

Змістовий модуль 4. Основи лінійної механіки руйнування.

Тема 7. Основні поняття механіки руйнування.

Предмет та об'єкт механіки руйнування. Теоретична і реальна міцності твердих тел. Перша модель тіла з тріщиною (тріщина Гриффітса). Напружений стан у вершини тріщини. Принцип «мікроскопа». Три типи (форми) тріщин. Коефіцієнти інтенсивності напружень. Методи розрахунків коефіцієнтів інтенсивності напружень в пружних тілах при різних умовах навантаження. Принцип суперпозиції рішень. Коефіцієнт інтенсивності напружень у ДКБ – зразку. Силовий критерій локального руйнування. Потік енергії у вершину тріщини. Енергетичний критерій локального руйнування. Еквівалентність силового і енергетичного критеріїв. Стійкість і нестійкість росту тріщин.

Тема 8. Механіка пружно-пластичного руйнування.

Структура кінця напівнескінченної пружно-пластичної тріщини. Концепція квазикрихкого руйнування. Поправка Ірвіна на пластичну деформацію. Інші критерії локального руйнування. Сили зчеплення. Модель тріщини Христіановича – Баренблата. Модель Леонова – Панасюка – Дагдейла. Модифікація в моделі Дагдейла. Інваріантний J-інтеграл Ешелби – Черепанова – Райса. Експериментальні методи визначення в'язкості руйнування (тріщиностійкості) матеріалу.

Тема 9. Механіка втомного руйнування.

Особливості втомного деформування і руйнування. Багатоциклова і малоциклова втома. Зростання тріщин при циклічному навантаженні. Емпірична формула Париса. Теоретичні залежності росту втомних тріщин. Втомна довговічність. Пластичні зони в околі вершини тріщини при перевантаженні і частковому розвантаженні. Прискорення і гальмування зростання втомних тріщин. Конструктивні і технологічні методи гальмування тріщин.

Модульний контроль №2.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	У тому числі				Усього	У тому числі			
		Л	ПР	ЛР	СР		Л	ПР	ЛР	СР
Модуль 1.										
Змістовий модуль 1. Спеціальні задачі механіки композитних конструкцій.										
Тема 1. Механіка КМ з несиметричною укладкою шарів по товщині пакету.	16	2	6	-	8	12	-	-	-	12
Тема 2. Міцність КМ з несиметричною укладкою шарів по товщині пакету.	12	2	2	-	8	13	0.5	0.5	-	12
Змістовий модуль 2. Моделі поступового руйнування композитних конструкцій.										
Тема 3. Несуча здатності композитних конструкцій при статичному навантаженні.	16	4	4	-	8	14	-	-	-	14
Тема 4. Несуча здатності композитних конструкцій при втомному навантаженні.	14	4	2	-	8	17	0.5	0.5	-	16
Модуль 2.										
Змістовий модуль 3. Концентрація напружень в конструкціях.										
Тема 5. Коефіцієнти концентрація напружень в ізотропних пластинах.	10	2	-	-	8	8	-	-	-	8

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	У тому числі				Усього	У тому числі			
		Л	ПР	ЛР	СР		Л	ПР	ЛР	СР
Тема 6. Коефіцієнти концентрація напружень в композитних пластинах.	16	2	6	-	8	13	0.5	1.5	-	12
Змістовий модуль 4. Основи лінійної механіки руйнування.										
Тема 7. Основні поняття механіки руйнування.	10	2	-	-	8	17	-	-	-	16
Тема 8. Механіка пружно-пластичного руйнування.	12	2	2	-	8	13	-	1	-	12
Тема 9. Механіка втомного руйнування.	14	4	2	-	8	13	0.5	0.5	-	12
Разом з дисципліни	120	24	24	0	72	120	2	4	0	114

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин, год.	
		Форма навчання	
		Денна	Заочна
1	Обчислення коефіцієнтів жорсткості пакету шарів КМ	2	—
2	Визначення ефективних пружних характеристик пакету з несиметричним укладанням	2	—
3	Визначення КЛТР та форми вигину композитної пластини після температурного навантаження	2	—
4	Розрахунок на міцність несиметричних пакетів	2	0,5
5	Розрахунок шаруватих КМ на міцність за моделлю миттєвого розвантаження зруйнованого шару	2	—
6	Розрахунок шаруватих КМ за критерієм усічених максимальних деформацій	2	—
7	Розрахунок шаруватих КМ на втому за критерієм Хашіна	2	0,5
8	Дослідження розподілу напружень навколо циліндричного отвору у композитній панелі	2	0,5
9	Вплив анізотропії композита на коефіцієнт концентрації напружень і несучу здатність композитної панелі	2	0,5
10	Розрахунок коефіцієнта концентрації напружень з урахуванням масштабного ефекту	2	0,5
11	Визначення критичних навантажень та критичного розміру дефекту з урахуванням локальної пластичної деформації	2	1
12	Оцінка довговічності конструкції за формулою Париса	2	0,5
	Разом	24	4

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин, год.	
		Форма навчання	
		Денна	Заочна
1	Механіка КМ з несиметричною укладкою шарів по товщині пакету (Тема 1)	8	12

№ з/п	Назва теми	Кількість годин, год.	
		Форма навчання	
		Денна	Заочна
2	Міцність КМ з несиметричною укладкою шарів по товщині пакету (Тема 2)	8	12
3	Несуча здатності композитних конструкцій при статичному навантаженні (Тема 3)	8	14
4	Несуча здатності композитних конструкцій при втомному навантаженні (Тема 4)	8	16
5	Коефіцієнти концентрація напружень в ізотропних пластинах (Тема 5)	8	8
6	Коефіцієнти концентрація напружень в композитних пластинах (Тема 6)	8	12
7	Основні поняття механіки руйнування (Тема 7)	8	16
8	Механіка пружно-пластичного руйнування (Тема 8)	8	12
9	Механіка втомного руйнування (Тема 9)	8	12
	Разом	72	114

7. Методи навчання

Проведення лекцій та практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота здобувачів.

8. Методи контролю

Проведення поточного контролю на лекціях та практичних заняттях, модульного контролю, семестровий контроль у вигляді іспиту.

9. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

Кількісні критерії оцінювання (розподіл балів).

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)		Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів	
	min	max		min	max
Змістовний модуль 1					
Практичні роботи	3	5	7	21	35
Модульний контроль №1	12	20	1	12	20
Всього за змістовим модулем				33	55
Змістовний модуль 2					
Практичні роботи	3	5	5	15	25
Модульний контроль №2	12	20	1	12	20
Всього за змістовим модулем				27	45
Всього за семестр				60	100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів. Іспит проводиться у вигляді тестування на ЕОМ. Комплекс контрольних завдань складається з 20 питань за наведеними вище темами. Максимальна кількість балів за кожну правильну відповідь на питання тестового завдання – 5 бали.

Якісні критерії оцінювання (необхідний обсяг знань і вмінь).

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- методи прогнозування фізико-механічних характеристик композитів з несиметричною структурою пакету;
- методи визначення напружено-деформованого стану у пластинах з несиметричною структурою пакету;
- критерії міцності і методи розрахунку меж міцності композитних конструкції за моделями поступового руйнування;
- методи дослідження опору композитних конструкції втомному навантаженню;
- методи визначення критичних розмірів дефектів і ресурсу елементів конструкцій.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- визначення деформаційних властивостей та характеристик міцності композитів з довільною структурою пакету;
- оцінювання граничної несучої здатності композитних конструкції при статичному і втомному навантаженнях;
- застосування математичних методів механіки руйнування при вирішенні прикладних інженерних задач, а саме для оцінювання величини критичних навантажень, допустимого розміру дефекту, кількості циклів навантаження до руйнування, тощо.

Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру.

Задовільно (60...74). Показати мінімум знань та вмінь. Здати всі модульні завдання. Вміти самостійно розраховувати характеристики жорсткості композитів з довільною структурою пакету та визначати граничну несучу здатність шаруватих КМ.

Добре (75...89). Твердо знати мінімум, здати всі модульні завдання та додаткову поза аудиторну самостійну роботу. Розв'язувати прикладні інженерні задачі з розрахунку на статичну і тривалу міцність шаруватих КМ при складному навантаженні із застосуванням ЕОМ.

Відмінно (90...100). Здати всі контрольні заходи та додаткову поза аудиторну самостійну роботу з оцінкою «відмінно». Досконально володіти інформацією за всіма темами та вміти застосовувати її.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

10. Методичне забезпечення

Методичні вказівки до виконання та завдання на практичні роботи.

11. Рекомендована література

Базова

1. Верещака С. М. Механіка композиційних матеріалів: навч. посібник / С.М. Верещака. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 160 с.
2. Ever J. Barbero. Introduction to Composite Materials Design, 3rd Edition, 2017. – 570.
3. Корнілов О.А. Опір матеріалів. – Київ: Лотос. 2000. – 551 с.
4. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів. – К.: Вища школа. 2004. – 655с.

Допоміжна

1. Полімерні матеріали в ракетно-космічній техніці: підручник / Є.О. Джур та ін. – К.: Вища освіта, 2003.
2. Корнілов О.А. Опір матеріалів. – Київ: Лотос. 2000. – 551 с.
3. Нові матеріали. Частина I: Міцність і деформування полімерних та композиційних матеріалів при короткочасному навантаженні: лабор. практикум. [Електронний ресурс] / М. С. Шидловський, О. П. Заховайко, О. В. Тимошенко, О. С. Мусієнко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 81 с.