

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

« »

2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Механіка та міцність конструкцій з композитів

(назва навчальної дисципліни)

Мажор. Дисципліна 6.2. Проектування та виробництво авіаційної та
ракетно-космічної техніки із композитів

(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

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2023 рік

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


(підпис)

Федір ГАГАУЗ

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри композиційних конструкцій і авіаційного матеріалознавства (№403), протокол № 1 від 29.08.2023 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 (денна форма навчання)	
Кількість кредитів – 4.5	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 перший (бакалаврський)	Вибіркова	
Модулів – 2		Навчальний рік	
Змістових модулів – 4		2023 / 2024	
Індивідуальне завдання		Семестр	
		5-й	6-й
		Лекції ²⁾	
		-	32 год.
		Практичні, семінарські ²⁾	
Загальна кількість годин – 72 / 135		-	32 год.
		Лабораторні ²⁾	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання ¹⁾ : - аудиторних – 4.50 - самостійної роботи студента – 3.94		—	8 год.
		Самостійна робота	
		-	63 год.
		Індивідуальні завдання	
		—	—
		Вид контролю	
	-	іспит	

Примітка:

¹⁾ Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи для денної форми навчання становить 72/63.

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 студентів професійно-профільних знань і практичних навичок для прогнозування ефективних пружних властивостей композитів, аналізу напружено-деформованого стану (НДС) та розрахунку міцності конструкцій із композиційних матеріалів.

Завдання: вивчення методів розрахунку НДС конструкцій з композитів на основі класичних моделей стержня, балки, пластини і оболонки для набуття необхідних фахових компетенцій.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач повинен

знати:

- найбільш поширені моделі КМ, які використовуються для визначення їх фізичних та механічних властивостей;
- основні теорії та критерії міцності ортотропних матеріалів, які використовуються у розрахунку КМ на міцність;
- основні математичні моделі, які застосовуються при розрахунках на міцність елементів конструкцій з КМ;
- методи розрахунку напружено-деформованого стану шаруватих КМ та композитних конструкцій;
- вимоги, що пред'являються до конструкцій з КМ та їх елементів;

вміти:

- визначати деформаційні властивості та характеристики міцності односпрямованих і шаруватих КМ при простому навантаженні;
- оцінювати міцність шаруватих КМ при складному механічному та термомеханічному навантаженні;
- використовувати в інженерній практиці комп'ютерне забезпечення для програмування розрахунку шаруватих КМ;
- визначати напружено-деформований стан елементів конструкцій з КМ із застосуванням конкретних математичних моделей.
- застосовувати на практиці основні математичні моделі для синтезу методик визначення напружено-деформованого стану елементів конструкцій з КМ;

мати уявлення про:

- методи побудови основних математичних моделей для визначення напружено-деформованого стану елементів конструкцій з КМ;
- шляхи підвищення ефективності розподілу матеріалу в елементах конструкцій.

Пререквізити – «Матеріалознавство», «Механіка матеріалів та конструкцій», «Будівельна механіка конструкцій АРКТ».

Кореквізити – «Проектування композитних конструкцій РКТ», «Конструювання і проектування виробів з композитів», «Розрахунок і проектування з'єднань композитних конструкцій», курсовий проект з дисципліни «Механіка та міцність конструкцій з композитів», кваліфікаційна робота бакалавра.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1. Одномірні задачі теорії пружності.

Змістовий модуль 1. Розрахунок композитних балок, брусів.

Тема 1. Модель анізотропного бруса.

Галузь застосування та основні поняття. Гіпотези і припущення, які приймаються при постановці та розв'язку задач визначення напружено-деформованого стану балок із КМ. Метод перерізів, внутрішні силові фактори як інтегральні характеристики напруженого стану. Геометричне та математичне формулювання гіпотез Бернуллі – Ейлера. Формулювання основних геометричних (механічних) характеристик поперечного перерізу, методика і приклади їх визначення. Центр жорсткості поперечного перерізу. Обчислення нормальних напружень при згині відносно довільно обраної системи координат і відносно головних центральних осей. Визначення дотичних напружень при згині балки. Механічний момент відсіченої частини поперечного перерізу. Формула Журавського і її поширення на композитні балки. Визначення дотичних напружень при крутінні балки. Розрахунок рам. Криволінійні брус.

Тема 2. Переміщення і деформації балки.

Диференціальне рівняння зігнутої осі балки, приклади його розв'язку. Жорсткість, як величина, що зв'язує навантаження та переміщення (осьова, згинальна, крутильна жорсткості). Урахування міжшарового зсуву при розрахунку композитних балок. Геометрична та математична інтерпретація гіпотез Тимошенко. Зсувна жорсткість поперечного перерізу. Застосування початку можливих переміщень до пружних балок. Метод фіктивного навантаження (метод Мора) для визначення переміщень при згині композитних балок. Випадки статично-невизначених задач. Формулювання рівнянь сумісності деформацій. Урахування сумісності деформацій як загальний метод розв'язання статичної невизначеності системи.

Змістовий модуль 2. Розрахунок композитних стержнів.

Тема 3. Модель анізотропного стержня.

Поняття стійкості конструкцій. Втрата стійкості, як одна з форм вичерпання несучої здатності. Критерії стійкості. Стійкість композитного стержня при стисненні, формула Ейлера. Вплив граничних умов (умов обпирання) на величину критичного навантаження. Врахування міжшарового зсуву при визначенні критичних зусиль стиснення композитного стержня. Вплив поперечного навантаження і початкових неправильностей (недосконалостей) на стійкість композитного стержня.

Тема 4. Фермові конструкції.

Методи розрахунку фермових конструкцій. Леми о нульових стержнях. Використання теореми Кастильяно для розрахунку переміщень елементів ферми.

Модульний контроль №1.

Модуль 2. Двомірні задачі теорії пружності.

Змістовий модуль 3. Розрахунок підкріплених оболонок.

Тема 5. Модель тонкостінного підкріпленого стержня.

Модель тонкостінного підкріпленого стержня (ТПС), основні гіпотези та припущення. Одноплощинний закон розподілу деформацій у поперечному перерізі ТПС. Поняття депланації поперечного перерізу, випадки вільної і стиснутої депланації. Припущення про абсолютну жорсткість і абсолютну податливість контуру поперечного перерізу. Особливості розрахунку механічних характеристик поперечного перерізу і визначення нормальних напружень при згині ТПС. Обчислення потоку дотичних зусиль (ПДЗ) при згині ТПС з відкритим контуром поперечного перерізу. Центр згину, його визначення.

Тема 6. Згин та крутіння тонкостінних підкріплених стержнів.

Розрахунок ПДЗ при згині та крутінні ТПС з однозамкнутим контуром поперечного перерізу. Формула Бредта. Умови рівноваги та спільності деформацій. Приклади розрахунку ПДЗ і положення центра згину в підкріплених оболонках з однозамкнутим контуром поперечного перерізу.

Змістовий модуль 4. Розрахунок анізотропних пластин.

Тема 7. Модель анізотропної пластини.

Класична теорія тонких пластин. Внутрішні силові фактори, лінійні та кутові переміщення. Основні гіпотези і припущення. Геометрична та математична інтерпретація класичних гіпотез Кірхгофа. Фізичні та геометричні співвідношення, рівняння рівноваги, граничні умови. Окремі випадки схем армування. Визначення згинальної жорсткості пластини. Наближені формули для розрахунку жорсткості композитної обшивки. Диференціальне рівняння поперечного згину пластини з урахуванням зусиль, що діють у площині. Задача про поперечний згин вільно обпертої композитної пластини, розв'язок Нав'є в подвійних тригонометричних рядах. Інші випадки граничних умов. Вплив на прогин пластини зусиль розтягнення або стиснення, що розподілені по контуру. Визначення нормальних і дотичних напруг у шарі та міжшарових дотичних напруг.

Тема 8. Стійкість композитних пластин.

Диференціальне рівняння стійкості композитної пластини. Стійкість вільно обпертої пластини при одноосьовому стисненні. Стійкість пластини при двохосьовому навантаженні. Стійкість вільно обпертої ортотропної пластини при чистому зсуві. Наближені співвідношення для розрахунку критичного зсувного навантаження. Критерій стійкості пластини при комбінованому навантаженні. Врахування міжшарового зсуву. Гіпотези Рейснера. Особливості розрахунку трьохшарових пластин. Наближені методи розрахунку підкріплених пластин.

Модульний контроль №2.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	усього	у тому числі				
		лек	пр	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
Модуль 1. Одномірні задачі теорії пружності.						
Змістовий модуль 1. Розрахунок композитних балок, брусів.						
Тема 1. Модель анізотропного бруса.	18	6	4	2	–	6
Тема 2. Переміщення і деформації балки.	18	4	4	2	–	8
Разом за змістовим модулем 1	36	10	8	4	–	14
Змістовий модуль 2. Розрахунок композитних стержнів.						
Тема 3. Модель анізотропного стержня.	14	4	2	4	–	4
Тема 4. Фермові конструкції.	6	2	–	–	–	4
Разом за змістовим модулем 2	20	6	2	4	–	8
Модуль 2. Двомірні задачі теорії пружності.						
Змістовий модуль 3. Розрахунок підкріплених оболонок.						
Тема 5. Модель підкріпленого тонкостінного стержня.	15	4	2	–	–	9
Тема 6. Згін та крутіння підкріплених тонкостінних стержнів.	18	4	2	–	–	12
Разом за змістовим модулем 3	33	8	4	–	–	21
Змістовий модуль 4. Розрахунок анізотропних пластин.						
Тема 7. Модель анізотропної пластини.	20	4	6	–	–	10
Тема 8. Стійкість композитних пластин.	26	4	12	–	–	10
Разом за змістовим модулем 4	46	8	18	–	–	20
Разом з дисципліни	135	32	32	8	–	63

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Характеристики жорсткості поперечного перерізу композитної балки	2
2	Визначення нормальних та дотичних напружень при згині бруса з КМ	2
3	Визначення прогину балки	2
4	Вплив зсувної жорсткості на прогин балки	2
5	Стійкість стержнів з композиційних матеріалів	2
6	Поперечний згин композитного підкріпленого стержня з відкритим контуром поперечного перерізу	2
7	Згин та крутіння композитного підкріпленого стержня з замкнутим контуром поперечного перерізу	2
8	Обчислення коефіцієнтів жорсткості шаруватих КМ	2
9	Обчислення межі міцності шаруватих КМ	2
10	Визначення напружено-деформованого стану при поперечному згині композитної пластини	2
11	Визначення критичних зусиль та форми втрати стійкості для композитної пластини	2
12	Розрахунок несучої здатності композитної пластини	2
13	Вплив структурних параметрів на несучу здатність композитної пластини	2
14	Розрахунок трьохшарової панелі на міцність, стійкість та жорсткість	2
15	Наближений розрахунок підкріпленої панелі	2
16	Вплив структурних параметрів підкріпленої панелі на її несучу здатність	2
	Разом	32

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Структурні параметри КМ. Вплив кута армування на згинальну жорсткість композитної балки	2
2	Структурні параметри КМ. Вплив порядку укладання шарів в пакеті на згинальну жорсткість композитної балки	2
3	Дослідження стійкості композитних стержнів	2
4	Вплив граничних умов на стійкість композитних стержнів	2
	Разом	8

7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Модель анізотропного бруса (Тема 1)	6
2	Переміщення і деформації балки (Тема 2)	8
3	Модель анізотропного стержня (Тема 3)	4
4	Фермові конструкції (Тема 4)	4
5	Модель підкріпленого тонкостінного стержня (Тема 5)	9
6	Згин та крутіння підкріплених тонкостінних стержнів (Тема 6)	12
7	Модель анізотропної пластини (Тема 7)	10
8	Стійкість композитних пластин (Тема 8)	10
	Разом	63

8. Методи навчання

Проведення лекцій, практичних та лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

9. Методи контролю

Проведення поточного контролю у вигляді виконання практичних робіт, письмового модульного контролю, контролю виконання розрахунково-графічної роботи, фінальний контроль (іспит).

10. Критерії оцінювання та розподіл балів

Кількісні критерії оцінювання (розподіл балів).

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)		Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів	
	min	max		min	max
Модуль 1					
Практичні роботи	3	5	5	15	25
Модульний контроль №1	6	10	1	6	10
Всього за змістовим модулем				21	35
Модуль 2					
Практичні роботи	3	5	11	33	55
Модульний контроль №2	6	10	1	6	10
Всього за змістовим модулем				39	65
Всього за семестр				60	100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. 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 (по 10 питань з кожного модуля). Максимальна кількість балів за кожну правильну відповідь на питання тестового завдання – 5 балів.

Якісні критерії оцінювання (необхідний обсяг знань і вмінь).

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- області застосування та перспективи використання композиційних матеріалів (КМ) в конструкціях літальних апаратів;
- вимоги, що пред'являються до конструкцій з КМ та їх елементів;
- основні закони механіки деформівного твердого тіла;
- основні математичні моделі, які застосовуються при розрахунках на міцність елементів конструкцій з КМ;
- методи розрахунку напружено-деформованого стану композитних конструкцій;
- можливі форми втрати несучої здатності композитних конструкцій.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- визначення напружено-деформованого стану елементів конструкцій з КМ із застосуванням математичних моделей анізотропних бруса, пластини, оболонки;
- визначення рівнів критичного навантаження для елементів конструкцій з КМ із застосуванням синтезу математичних моделей;
- застосовування на практиці основних математичних моделей для побудови методик визначення напружено-деформованого стану елементів конструкцій з КМ.

Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру.

Задовільно (60...74). Показати мінімум знань та вмінь. Здати всі модульні завдання. Вміти самостійно розраховувати напруження і переміщення композитних конструкцій.

Добре (75...89). Твердо знати мінімум, здати всі модульні завдання та додаткову поза аудиторну самостійну роботу. Розв'язувати прикладні інженерні задачі з розрахунку на міцність композитних конструкцій з врахуванням умов міцності та жорсткості.

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

11. Методичне забезпечення

Методичні вказівки до виконання та завдання на практичні роботи.

12. 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 І: 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.