

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

кафедра № 403  
«Композитних конструкцій і авіаційного матеріалознавства»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи

В. В. Павліков

(підпис)

(ініціали та прізвище)

\_\_\_\_\_ 2020 р.

Відділ аспірантури і докторантури



## **РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Наукові основи розрахунку композитних авіаційних конструкцій

(шифр і назва навчальної дисципліни)

**Галузь знань:** 13 «Механічна інженерія»

(шифр і назва галузі знань)

**Спеціальність:** 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

**Освітня наукова програма:** Авіаційна та ракетно-космічна техніка

**Рівень вищої освіти:** третій (освітньо-науковий),

**Форма навчання:** денна

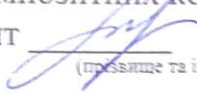
Харків 2020 рік

**РОБОЧА ПРОГРАМА**  
**ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
Наукові основи розрахунку композитних авіаційних конструкцій  
(назва дисципліни)

для здобувачів за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»  
освітньої програми Авіаційна та ракетно-космічна техніка  
«25» серпня 2020 р., – 11 с.

Розробник: доцент кафедри композитних конструкцій і авіаційного матеріалознавства к.т.н., доцент

(підпис)




М.А.Шевцова

(прізвище та ініціали)

Гарант ОНП

(посада, науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

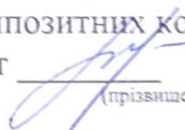


(прізвище та ініціали)

Протокол № 1 від « 31 » серпня 2020 р. засідання кафедри № 403

Завідувач кафедри композитних конструкцій і авіаційного матеріалознавства к.т.н., доцент

(підпис)



М.А.Шевцова

(прізвище та ініціали)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу

аспірантури і докторантури



В. Б. Селевко

Голова наукового товариства

студентів, аспірантів,

докторантів і молодих вчених



Т. П. Старовойт

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		Денна форма навчання
Кількість кредитів – 5	<p style="text-align: center;"><b>Галузь знань</b>  <u>13 Механічна інженерія</u>  <small>(шифр і назва)</small></p> <p style="text-align: center;"><b>Спеціальність</b>  <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u>  <small>(шифр і назва)</small></p> <p style="text-align: center;"><b>Освітня програма</b>  <u>«Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u></p> <p style="text-align: center;"><b>Рівень вищої освіти</b>  <u>третий (освітньо-науковий)</u></p>	Цикл професійної підготовки (за вибором)
Модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Змістових модулів – 2		2020 / 2021
Індивідуальне завдання _____ (назва)		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 150		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання <sup>1)</sup> : - аудиторних –64; - самостійної роботи студента – 86		<b>Лекції</b> <sup>2)</sup>
		32
		<b>Практичні, семінарські</b> <sup>2)</sup>
		32
		<b>Лабораторні</b> <sup>2)</sup>
		-
		<b>Самостійна робота</b>
		86 години
<b>Індивідуальні завдання</b>		
<b>Вид контролю</b>	іспит	

### Примітки:

<sup>1)</sup> Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи для денної форми навчання становить 64 /86.

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

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета** – формування у аспірантів здатності до створення та удосконалення математичних моделей для проектування конструкцій авіаційно-ракетної техніки з композиційних матеріалів на підставі знання аналітичних та прикладних методів визначення напружено-деформованого стану композитних конструктивних елементів.

**Завдання** – ознайомити з аналітичними та прикладними методами визначення напружено-деформованого стану композитних конструктивних елементів при різних способах навантаження, а також з урахуванням технологічної передісторії виготовлення.

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

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у науковому пізнанні, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК09 Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності в авіаційній та ракетно-космічній техніці.

**У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен**

**знати:**

- найбільш поширені моделі КМ, які використовуються для визначення їх фізичних та механічних властивостей з урахуванням технологічної передісторії виготовлення;
- основні математичні моделі, які застосовуються при розрахунках на міцність елементів конструкцій із КМ;
- вимоги, що пред'являються до конструкцій із КМ та їх елементів;
- основні критерії міцності елементів конструкцій із КМ;
- алгоритми отримання висновку про міцність елементів конструкцій із КМ;

**вміти:**

- визначати деформаційні властивості та характеристики міцності односпрямованих і шаруватих КМ при складному навантаженні;
- визначати НДС елементів конструкцій із КМ із застосуванням математичних моделей бруса, пластини, оболонки, тонкостінного підкріпленого стержня;
- отримувати висновки про міцність елементів конструкцій із КМ при технологічних навантаженнях;

**мати уявлення про:**

- ступінь впливу структури та схеми армування на ефективність застосування КМ;
- шляхи підвищення точності обчислення НДС елементів конструкцій із КМ;
- основні напрямки автоматизації розрахунків на міцність елементів конструкцій із КМ.

**Міждисциплінарні зв'язки:** Наукові принципи проектування і виробництва об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки, Моделювання процесів створення композитних конструкцій авіаційної техніки.

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### *Змістовний модуль №1*

##### ***ТЕМА 1. Елементарні відомості з механіки деформованого твердого тіла.***

Основні принципи, гіпотези і закони механіки деформованого твердого тіла. Напруження і деформації у нелінійної постановки задачі. Диференційні рівняння рівноваги суцільного тіла і умови сумісності деформацій. Перетворення компонентів напружень та деформацій при переході до нових осей координат. Обчислення головних напружень і найбільших дотичних напружень..

##### ***ТЕМА 2. Узагальнений фізичний закон деформування твердого тіла.***

Узагальнений закон Гука, значення його коефіцієнтів. Поняття ізотропного, ортотропного, анізотропного тіла. Пружна симетрія властивостей тіла та основні її випадки.

##### ***ТЕМА 3. Моделі КМ, їх переваги і недоліки, галузі застосування.***

Гетерогенна, гомогенна, стрижнева моделі КМ, модель шаруватого КМ з урахуванням технологічної передісторії виготовлення композита.

##### ***ТЕМА 4. Визначення основних фізико-механічних властивостей односпрямованого КМ у рамках гетерогенної моделі.***

. Визначення меж міцності односпрямованого КМ при розтяганні чи стиску вздовж та поперек напрямку армування та межі міцності при зсуві вздовж волокон з урахуванням технологічної передісторії виготовлення композита. Модуль пружності поперек напрямку армування з урахуванням пуассонових деформацій. Модуль зсуву поперек волокон. Визначення межі міцності односпрямованого КМ при розтяганні чи стиску поперек волокон з урахуванням форми армуючих елементів та . урахуванням технологічної передісторії виготовлення композита.

##### ***ТЕМА 5. Модель шаруватого КМ. Характеристики жорсткості пакету шарів.***

Визначення характеристик жорсткості пакету шарів КМ. Поняття структури, схеми армування та їх вплив на характеристик жорсткості шаруватого КМ. Окремі випадки схем армування. Вплив послідовності укладання шарів по товщині пакета на коефіцієнти матриць жорсткості шаруватих КМ. Значення матриць жорсткості та їх коефіцієнтів. Переваги та недоліки окремих схем армування.

##### ***ТЕМА 6. Визначення пружних і термомеханічних властивостей і характеристик міцності шаруватого КМ.***

Труднощі прогнозування та оцінки міцності армованих неоднорідних матеріалів та основні підходи до рішення цих проблем. Критерії міцності односпрямованого КМ при складному навантаженні. Межі міцності шаруватого КМ при простих випадках навантаження. Критерії міцності шаруватого КМ при складному навантаженні. Визначення властивостей міцності моношару КМ в залежності від кута армування та технологічної передісторії виготовлення композита.

##### ***ТЕМА 7. Розрахунок на міцність пакету шарів КМ при складному навантаженні.***

Оцінка міцності шаруватих КМ для кожного шару і для пакета в цілому. Методи розрахунку граничної несучої здатності КМ з урахуванням руйнування зв'язуючого. Класифікація та причини остаточних напружень у КМ. Вплив температурних напружень на міцність КМ в цілому.

#### *Змістовний модуль №2*

##### ***ТЕМА 8. Розрахунок одномірного композитного силового набору літального апарата.***

Визначення нормальних напружень та дотичних напружень при розтяганні, згині і крученні одномірних елементів.. Втрата стійкості поздовжнього елемента при стисненні з урахуван-

ням міжшарового зсуву. Вплив умов опирання на величину критичних зусиль стиску. Вплив поперечного навантаження на величину критичних зусиль стиску.

**ТЕМА 9. Модель анізотропної пластини для розрахунку плоских композитних панелей ЛА.**

Класифікація панелей. Диференційне рівняння поперечного згину ортотропних панелей. Поперечний згин ортотропних прямокутних панелей. Стійкість ортотропних прямокутних панелей при стисненні. Стійкість ортотропних прямокутних панелей при зсуві. Диференційне рівняння поперечного згину анізотропної пластини з урахуванням зусиль, діючих у площині. Вплив послідовності укладання шарів в пакеті на величину критичних зусиль для панелі.

**ТЕМА 10. Модель анізотропної оболонки для розрахунку циліндричних композитних панелей ЛА.**

Класифікація циліндричних панелей. Варіанти теорій оболонок. Вісьосиметрична та невісьосиметрична деформації оболонок. Вісьосиметричне навантаження ортотропних кругових циліндричних оболонок. Крайовий ефект. Стійкість ортотропних циліндричних оболонок при зовнішньому тиску. Стійкість ортотропних циліндричних оболонок при стисненні. Стійкість ортотропних циліндричних оболонок при крутінні. Напівбезмоментна теорія анізотропної оболонки. Загальний випадок навантаження ортотропних циліндричних оболонок. Потік дотичних зусиль у тонкостінній оболонці з відкритим, однозамкнутим та багатозамкнутим контурами поперечного перетину

**ТЕМА 11. Раціональні підходи до розрахунку елементів конструкцій ЛА із КМ.**

Сучасні концепції розрахунку на міцність конструкцій із КМ. Аналіз НДС та міцності конструкцій із КМ. Обґрунтування та вибір конструктивно-технологічного рішення композитної конструкцій.

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Змістовний модуль 1</b>						
ТЕМА 1. Елементарні відомості з механіки деформованого твердого тіла.	6	2	2			2
ТЕМА 2. Узагальнений фізичний закон деформування твердого тіла.	9	2	2			5
ТЕМА 3. Моделі КМ, їх переваги і недоліки, галузі застосування.	9	2	2			5
ТЕМА 4. Визначення основних фізико-механічних властивостей односпрямованого КМ у рамках гетерогенної моделі.	9	2	2			5
ТЕМА 5. Модель шаруватого КМ. Характеристики жорсткості пакету шарів.	11	4	2			5
ТЕМА 6. Визначення пружних і термомеханічних властивостей і характеристик міцності шаруватого КМ.	9	2	2			5
ТЕМА 7. Розрахунок на міцність пакету шарів КМ при складному навантаженні.	9	2	2			5

Модульний контроль	10		2			8
<b>Усього годин</b>	72	16	16			40
<b>Змістовний модуль 2</b>						
ТЕМА 8. Розрахунок одномірного композитного силового набору літального апарата.	18	4	4			10
ТЕМА 9. Модель анізотропної пластини для розрахунку плоских композитних панелей ЛА.	18	4	4			10
ТЕМА 10. Модель анізотропної оболонки для розрахунку циліндричних композитних панелей ЛА.	18	4	4			10
ТЕМА 11. Раціональні підходи до розрахунку елементів конструкцій ЛА із КМ.	16	4	2			10
Модульний контроль	8		2			6
<b>Усього годин</b>	78	16	16			46
<b>Разом</b>	150	32	32			86

## 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовний модуль 1</b>		
1	Визначення модулів пружності, коефіцієнтів Пуассона та КЛТР односпрямованого КМ по характеристиках компонентів і їхньому об'ємному змісту у процесі формування композитного матеріалу	2
2	Визначення меж міцності односпрямованого КМ по характеристиках компонентів і їхньому об'ємному змісту в залежності від технологічного процесу виготовлення	2
3	Розрахунок матриць жорсткості шаруватого КМ. Вплив температурного режиму формування на коефіцієнти жорсткості.	2
4	Визначення пружних властивостей перехресно армованого КМ в залежності від кута армування у процесі формування композитного матеріалу.	2
5	Визначення характеристик міцності перехресно армованого КМ в залежності від кута армування в залежності від технологічного процесу виготовлення	2
6	Розрахунок на міцність шаруватих КМ при термомеханічному навантаженні.	2
7	Аналіз розрахунку на міцність шаруватих КМ при термомеханічному навантаженні в залежності від параметрів процесу та матеріалів.	2
8	Модульний контроль	2
<b>Усього годин</b>		<b>16</b>
<b>Змістовний модуль 2</b>		
1	Визначення нормальних та дотичних напружень у одномірному силовому елементі із КМ.	4
2	Розрахунок трьох шаруватої плоскої панелі з урахуванням міжшарового зсуву. Вплив умов обпирання на величину критичних зусиль стиску.	4

3	Стійкість анізотропних прямокутних панелей при стисненні та при зсуві крутінні з урахуванням технологічної переісторії.	4
4	Розрахунок ортотропних циліндричних панелей при зовнішньому тиску, стисненні та крутінні з урахуванням технологічної переісторії	2
5	Модульний контроль	2
		<b>16</b>

## 6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>Змістовний модуль 1</b>		
1	ТЕМА 1. Елементарні відомості з механіки деформованого твердого тіла.	2
2	ТЕМА 2. Узагальнений фізичний закон деформування твердого тіла.	5
5	ТЕМА 3. Моделі КМ, їх переваги і недоліки, галузі застосування.	5
5	ТЕМА 4. Визначення основних фізико-механічних властивостей односпрямованого КМ у рамках гетерогенної моделі.	5
5	ТЕМА 5. Модель шаруватого КМ. Характеристики жорсткості пакету шарів.	5
5	ТЕМА 6. Визначення пружних і термомеханічних властивостей і характеристик міцності шаруватого КМ.	5
5	ТЕМА 7. Розрахунок на міцність пакету шарів КМ при складному навантаженні.	5
5	Модульний контроль	8
<b>Змістовний модуль 2</b>		
	ТЕМА 8. Розрахунок одномірного композитного силового набору літального апарата.	10
	ТЕМА 9. Модель анізотропної пластини для розрахунку плоских композитних панелей ЛА.	10
	ТЕМА 10. Модель анізотропної оболонки для розрахунку циліндричних композитних панелей ЛА.	10
	ТЕМА 11. Раціональні підходи до розрахунку елементів конструкцій ЛА із КМ.	10
	Модульний контроль	6
<b>Усього годин</b>		<b>86</b>

## 7. Індивідуальні завдання

Індивідуальна робота по курсу не передбачена.

## 8. Методи навчання

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



## 9. Методи контролю

Поточний контроль здійснюють під час проведення практичних занять, метою яких є перевірка рівня підготовки студента до виконання окремих видів роботи у вигляді опитування. Підсумковий контроль складається з балів, що студенти отримали під час проведення практичних занять та результатів письмового опитування та захисту курсової роботи.

## 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
<b>Модуль 1</b>			
Робота на практичних заняттях	0...5	7	0...35
Модульний контроль	0..15	1	0...15
<b>Модуль 2</b>			
Робота на практичних заняттях	0...5	7	0...35
Модульний контроль	0..15	1	0...15
<b>Усього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування. Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів. Білет для заліку складається з чотирьох теоретичних питань. За кожне теоретичне питання максимальна кількість 25 балів. Загальна сума – 100 балів.

### 10.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- моделі КМ, які використовуються для визначення їх фізичних та механічних властивостей з урахуванням технологічної передісторії виготовлення;
- вимоги, що пред'являються до конструкцій із КМ та їх елементів;
- критерії міцності елементів конструкцій із КМ;

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- визначати деформаційні властивості та характеристики міцності односпрямованих і шаруватих КМ при складному навантаженні;
- визначати НДС елементів конструкцій із КМ із застосуванням математичних моделей брусу, пластини, оболонки, тонкостінного підкріпленого стержня;
- отримувати висновки про міцність елементів конструкцій із КМ при технологічних навантаженнях

### 10.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Показати мінімум знань та умінь. Знати характеристику моделей КМ, вміння знаходити НДС елементів конструкцій із КМ із застосуванням математичних моделей брусу, пластини, оболонки, тонкостінного підкріпленого стержня.

**Добре (75-89).** Твердо знати мінімум знань, виконати усі завдання. Показати вміння виконувати завдання в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах, застосовувати методики досліджень, висувати гіпотези і складати плани досліджень. Отримувати висновки про міцність елементів конструкцій із КМ при технологічних навантаженнях

**Відмінно (90-100).** Повно знати основний та додатковий матеріал. Безпомилково виконувати та захищати всі завдання в обумовлений викладачем строк з докладним обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботі на практичних заняттях.

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	A	відмінно
83 – 89	B	добре
75 – 82	C	
68 – 74	D	задовільно
60 – 67	E	
1 – 59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання

### 11. Методичне забезпечення

#### Базова

1. Карпов Я.С. Механика композиционных материалов. – Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т, 2001 – 122 с.

2. Карпов Я.С. Проектирование и конструирование стержней из композиционных материалов: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1996. – 40 с.

3. Бычков С.А., Карпов Я.С., Мудрый А.А. Проектирование и конструктивно-технологические решения балок и лонжеронов из композиционных материалов: Учеб. пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 85 с.

4. Карпов Я.С., Гагауз Ф.М., Гагауз П.М. Проектирование и конструктивно-технологические решения лонжеронного крыла из композиционных материалов: Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2004. – 143 с.

5. Проектирование оболочек вращения из композиционных материалов: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию/ Я.С. Карпов, О.С. Муравицкий. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 88 с.

6. Карпов Я.С., Кривенда С.П., Рябков В.И. Проектирование и конструирование соединений деталей из композиционных материалов: Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1997. – 201 с.

#### Допоміжна

1. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
2. Доннелл Л.Г. Балки, пластины и оболочки. – М.: Наука, 1982. – 568 с.
3. Малмейстер А.К., Тамуж В.П., Тетерс Г.А. Сопротивление жестких полимерных материалов. – Рига: Зинатне, 1967. – 390 с.
4. Лизин В.Г., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. – М.: Машиностроение, 1985. – 366 с.

**Рекомендована література**

Сайт кафедри [k403.khai.edu](http://k403.khai.edu)