

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

Кафедра композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства(№ 403)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



О.Г. Гребенніков

«___» _____ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ із КМ
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Комп'ютерно-інтегральне проектування
та конструювання авіаційної техніки
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

Розробник: Кривенда С.П., доцент каф. №403, к.т.н.


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства (№403)

Протокол № 1 від 28.08.2021 р.

Завідувач кафедри 403 к.т.н., професор


(підпис)

М. А. Шевцова

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4	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>«Комп’ютерно-інтегральне проектування та конструювання авіаційної техніки»</u> (найменування) Рівень вищої освіти: <u>перший (бакалаврський)</u>	Цикл професійної підготовки (за вибором)
Кількість модулів – 1		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2020/2021
Індивідуальне завдання <u>РГР</u> (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 54 / 120		<u>8</u> -й
		Лекції*
Кількість тижневих годин для денної форми навчання ¹⁾ : аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 6		<u>18</u> години
		Практичні, семінарські*
		12 годин
		Лабораторні*
	<u>24</u> години	
	Самостійна робота	
	<u>66</u> годин	
	Вид контролю	
	модульний контроль, іспит	

Примітка:

¹⁾ Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи для денної форми навчання становить: 54/66.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: оволодіння достатніми знаннями і практичними навичками для вирішення задач проектування і конструювання елементів авіаційної техніки із композитних матеріалів (КМ) на базі типових елементів, таких як стержень, балка, оболонка, панель та з'єднань між ними з урахуванням специфічних властивостей композиційних матеріалів.

Завдання: вивчення базових методів розрахунку властивостей композиту за його структурою, а також проектування типових елементів конструкції (стержнів, балок, оболонок, тощо) на основі композиту та їх з'єднань.

Компетентності, які набуваються:

- здатність прогнозувати термомеханічні та міцнісні властивості ортотропного пакету композиту в залежності від його структури;
- здатність креслити креслення композитних конструкцій середньої складності у залежності від обраного варіанту конструктивно-технологічного рішення (КТР) типових конструктивних елементів;
- здатність розрахунку та проектування типових композитних елементів конструкції: стержнів, балок, оболонок, тощо;
- здатність розрахунку та проектування адгезійних та механічних з'єднань композитних деталей.

Очікувані результати навчання: засвоєння матеріалу курсу дає можливість:

знати:

- загальні характеристики компонентів КМ та рекомендації з використання матеріалу;
- принципи конструювання, що використовуються при проектуванні виробів із КМ;
- методики проектування типових елементів конструкції із КМ;
- принципи конструювання та методики проектування з'єднань деталей із КМ;

вміти:

- обґрунтовувати вибір компонентів КМ;
- визначати пружні константи шаруватих ортотропних КМ;
- прогнозувати міцність пакету КМ;
- обґрунтувати вибір типу з'єднань;
- проектувати базові елементи із КМ;
- відображати в кресленнях всю необхідну для виготовлення композитного елементу інформацію з урахуванням особливостей виготовлення;

мати уявлення:

- про обмеження використання моделей для розрахунку та

проектування типових елементів композитної конструкції та їх з'єднань;

- про вплив вибору КТР композитних елементів на ефективність їх використання.

Пререквізити – «Інженерні основи авіаційної та ракетно-космічної техніки», «Інженерна та комп'ютерна графіка», «Деталі машин та основи конструювання», «Механіка матеріалів та конструкцій».

Кореквізити – дипломний проект бакалавра.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Основи механіки шаруватих КМ. Правила формування пакету КМ.

Тема 1. Вступ до курсу «Конструювання елементів авіаційної техніки із КМ». Переваги та недоліки КМ. Формулювання задачі проектування конструкцій із КМ та її складові частини. Класифікація КМ. Питомі характеристики композиційного матеріалу. Принципи та правила формування пакету КМ.

Тема 2. Моделі для оцінки пружних параметрів та параметрів міцності КМ. Їх взаємозв'язок та порядок використання.

Тема 3. Моделювання матеріалу з використанням гетерогенної моделі. Основні пружні властивості односпрямованого КМ. Коефіцієнти Пуассона односпрямованого КМ. Оцінка міцності односпрямованого КМ у напрямку армування.

Тема 4. Моделювання пакету за допомогою шаруватої моделі. Розрахунок пружних констант шаруватого пакету КМ. Оцінка міцності пакету КМ за критерієм максимальних напружень. Оцінка міцності пакету КМ за критерієм Мізеса-Хілла.

Модульний контроль

Змістовний модуль 2. Основи розрахунку та проектування типових елементів конструкції.

Тема 5. Проектування стержнів із КМ. Область використання стержнів, особливості конструкції та розрахункові схеми. Цільова функція, параметри, що визначаються, обмеження. Алгоритм проектування стержня із КМ з круговим перерізом. Сутність крайових ефектів в стержні та засоби боротьби з ними. КТР кінцівок стержнів із КМ.

Тема 6. Проектування композитних оболонок, які функціонують при вісесиметричному навантаженні. Особливості розрахунку та проектування намотаних тканиною оболонок, що навантажені вісесиметричним навантаженням. Особливості розрахунку та проектування оболонок намотаних джгутом або ниткою, які навантажені вісесиметричним навантаженням.

Тема 7. Розрахунок і проектування циліндричних оболонок, виготовлених намотуванням, які знаходяться під довільним навантаженням.

Тема 8. Проектування композитних балок. Особливості навантаження балок, обґрунтування структури елементів балки. Розрахункова модель балки. Постановка задачі на проектування балки. КТР балок із КМ. Вплив на формування КТР балок особливостей ув'язування з іншими елементами

конструкції, методами компенсації відхилень розмірів та вибору технології виготовлення. Особливості навантаження балки із КМ в місцях зосередженого навантаження та правила формування елементів конструкції балки в зонах навантаження.

Тема 9. З'єднання деталей із КМ. Класифікація з'єднань. Область використання адгезійних, механічних та комбінованих з'єднань деталей із КМ. Принципи проектування з'єднань для композитних елементів конструкції та варіанти їх реалізації.

Тема 10. Методика розрахунку напружень в елементах адгезійного з'єднання з постійними параметрами при осьовому навантаженні з урахуванням температури. Моделі з'єднувального шару. Визначення конструктивних параметрів та КТР адгезійних з'єднань. Засоби підвищення несучої здатності адгезійних з'єднань.

Тема 11. Розрахунок механічних з'єднань композитних деталей. Особливості взаємодії матеріалу КМ з тілом кріпильного елемента. Особливості формування системи умовного розрахунку. Розрахунок на міцність та проектування механічних з'єднань деталей із КМ.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назва змістовного модуля і тем	Кількість годин				
	Усьо го	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1. Основи механіки шаруватих КМ. Правила формування пакету КМ.					
Тема 1. Вступ до курсу	1	1			
Тема 2. Моделі для оцінки пружних параметрів та параметрів міцності КМ	8	2			6
Тема 3. Моделювання матеріалу з використанням гетерогенної моделі	6	2		4	
Тема 4. Моделювання пакету за допомогою шаруватої моделі	12	2	4		6
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 1	27	7	4	4	12
Змістовний модуль 2. Основи розрахунку та проектування типових елементів конструкції.					
Тема 5. Проектування стержнів із КМ	20	2	2	4	12
Тема 6. Проектування композитних оболонок, які функціонують при вісесиметричному навантаженні	19	1	2	4	12
Тема 7. Розрахунок і проектування циліндричних оболонок, виготовлених намотуванням, які знаходяться під довільним навантаженням	8	2	2	4	
Тема 8. Проектування композитних балок.	20	2	4	4	12
Тема 9. З'єднання деталей із КМ	13	1			12
Тема 10. Методика розрахунку напружень в елементах адгезійного з'єднання з постійними параметрами при осьовому навантаженні з урахуванням температури	8	2	2	4	
Тема 11. Розрахунок механічних з'єднань композитних деталей	9	1	2		6
Модульний контроль					
Разом за змістовним модулем 2	97	11	12	20	54
Контрольний захід					
Усього годин	120	18	18	24	66

5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

6. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Проектування композитного пакету за умовою міцності	4
2	Особливості анкерування композитного стержня	2
3	Структура пакету балону із односпрямованого матеріалу	2
4	Постановка задачі розрахунку циліндричних відсіків	2
5	Підбір обмежень на припустимий рівень деформації балки	4
6	Особливості навантаження з'єднувального шару	2
7	Постановка задачі розрахунку механічного з'єднання деталі з КМ	2
	Разом	18

7. Теми лабораторних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Оцінка модуля пружності та міцності односпрямованого КМ	4
2	Конструкція стержнів та тяг із КМ	4
3	Конструкції балонів тиску і корпусів РДТП із КМ	4
4	Конструкція оболонок із КМ	4
5	Балки і лонжерони із КМ	4
6	Адгезійні (клейові) з'єднання	4
	Разом	24

8. Самостійна робота

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методика визначення пружних констант шаруватого ортотропного КМ.	12
2	Прогнозування міцності шаруватого ортотропного КМ. Критерії міцності шаруватого ортотропного КМ.	12
3	Стержні та тяги із КМ. Конструктивно-технологічні рішення кінцівок стержнів.	12
4	Оболонки обертання із КМ.	12
5	Балки та лонжерони крила із КМ. Конструктивно-технологічні рішення балок.	12

6	З'єднання деталей із КМ. КТР з'єднань.	6
	Разом	66

9. Індивідуальні завдання

10. Методи навчання

Очні лекційні заняття, лабораторні роботи та самостійна робота студента.

11. Методи контролю

Поточний контроль модульний, по одному питанню за модуль (письмово-усний). Усього за курс два модулі. За результатами модульного контролю вираховують середнє арифметичне значення. Якщо загальний результат модульного контролю незадовільний (менше 60 балів), то студенту зараховується заборгованість за курс, яку треба погасити під час іспиту. Якщо студента не влаштовує отримана кількість балів, то він може спробувати отримати більше під час іспиту. Для підвищення результатів допускається одна спроба (у разі невдалої спроби як остаточний фіксується результат модульного контролю).

Остаточний контроль – іспит (письмово-усний).

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

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

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів*
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання лабораторних робіт	0...2	1	0...2
Модульний контроль	0...100	1	0...100
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	7	0...7
Виконання лабораторних робіт	0...2	5	0...10
Модульний контроль	0...100	1	0...100
Усього за семестр**			0...100

* – поточні бали (крім модульного контролю) використовуються для прийняття рішення про допуск до модульного контролю (або іспиту); добравши за лекції більше 75%, а за лабораторні роботи всі 100% від максимально можливого поточного результату студент формально може бути допущеним до контрольних процедур;

** – підсумкові бали за семестр розраховані як середнє арифметичне результатів модульного контролю змістовних модулів.

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі незадоволення студента балами поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Білет для іспиту/заліку складається з двох теоретичних питань. Кожне питання оцінюється за 100 бальною системою. Оцінка за іспит визначається за середнім арифметичним значенням.

Остаточна оцінка за курс обирається за максимальним результатом підсумку модульного контролю та іспиту (у конкурсі балів використовується підсумковий бал модульного контролю).

12.2. Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки необхідно знати:

- загальні характеристики компонентів КМ;
- рекомендації з використання матеріалу;
- методику розрахунку параметрів односпрямованого композиту;
- методику розрахунку параметрів ортотропного пакету;
- вимоги до раціональної структури пакету;
- методику проектування стержнів, тяг та підкосів із КМ;
- методику проектування балонів із КМ;
- методику проектування намотаної оболонки із КМ;
- методику проектування балок та лонжеронів із КМ;
- принципи конструювання з'єднань деталей із КМ;
- методику розрахунку клейового з'єднання;
- основні моделі для з'єднувального шару клейового з'єднання;
- методику проектування механічних з'єднань деталей із КМ;
- методику формування комбінованого з'єднання.

Для одержання позитивної оцінки необхідно вміти:

- обґрунтовувати вибір компонентів КМ;
- визначати пружні константи односпрямованих матеріалів;
- визначати міцність односпрямованих матеріалів;
- визначати пружні константи шаруватих ортотропних КМ;
- прогнозувати міцність пакету КМ;
- проектувати композитний стержень;
- проектувати балон, що виготовляється намотуванням ниток (джгутів);
- проектувати балон, що виготовляється намотуванням тканинної стрічки;
- проектувати за міцністю композитну оболонку;
- проектувати композитні балки та лонжерони;
- обґрунтовувати вибір типу з'єднань;
- проектувати клейове з'єднання;
- розраховувати несучу здатність механічної силової точки;

- відображати в кресленнях всю необхідну для виготовлення композитного елементу інформацію з урахуванням особливостей виготовлення.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Вміти підбирати матеріали за вимогою фізичної сумісності компонентів. Вміти використовувати правило суміші для визначення пружних характеристик односпрямованого композиту вздовж волокна. Вміти оцінювати міцність односпрямованого композиту вздовж волокна. Не вміти проводити оцінку мінімального допустимого об'ємного вмісту волокна. Вміти розраховувати параметри ортотропного пакету та не вміти формулювати спрощену задачу для розрахунку. Знати розрахункові схеми композитних стержня, балона, оболонки, балки та мати труднощі із використанням їх при проектуванні. Вміти розраховувати несучу здатність силової точки за традиційною системою умовних розрахунків. Не вміти формулювати задачі для розрахунку клейових, механічних та комбінованих з'єднань, як елемента силової конструкції.

Добре (75 - 89). Вміти підбирати матеріали за вимогою фізичної сумісності компонентів. Вміти використовувати гетерогенну модель для визначення пружних характеристик односпрямованого композиту у різних напрямках. Вміти оцінювати міцність односпрямованого композиту вздовж волокна. Вміти проводити оцінку мінімального допустимого об'ємного вмісту волокна. Вміти розраховувати параметри ортотропного пакету та формулювати спрощену задачу для розрахунку. Вміти використовувати розрахункові схеми композитних стержня, балона, оболонки, балки їх при проектуванні у регулярних зонах. Вміти розраховувати несучу здатність силової точки за традиційною системою умовних розрахунків. Вміти формулювати задачі для розрахунку клейових, механічних та комбінованих з'єднань, як елемента силової конструкції.

Відмінно (90 - 100). Вміти підбирати матеріали за вимогою фізичної сумісності компонентів. Вміти використовувати гетерогенну модель для визначення пружних характеристик односпрямованого композиту у різних напрямках та на зсув. Вміти оцінювати міцність односпрямованого композиту вздовж волокна. Вміти проводити оцінку мінімального допустимого об'ємного вмісту волокна. Вміти розраховувати параметри ортотропного пакету та формулювати спрощену задачу для розрахунку. Вміти використовувати розрахункові схеми композитних стержня, балона, оболонки, балки їх при проектуванні як у регулярних зонах, так і в місцях конструктивної неоднорідності. Вміти розраховувати несучу здатність силової точки за традиційною системою умовних розрахунків. Вміти формулювати задачі для розрахунку клейових, механічних та комбінованих з'єднань, як елемента силової конструкції з урахуванням впливу температурного поля.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

13. Методичне забезпечення

Вказати електронний ресурс, на якому розміщено навчально-методичний комплекс дисципліни, який включає в себе:

Обов'язкові складові:

- робоча програма дисципліни;
- конспект лекцій, підручники (навчальні посібники), в тому числі в електронному вигляді, які за змістом повністю відповідають робочій програмі дисципліни;
- методичні вказівки та рекомендації для виконання курсових робіт та проектів, розрахункових та розрахунково-графічних робіт, лабораторних та практичних робіт, а також рекомендації для самостійної підготовки;
- приклади розв'язування типових задач чи виконання типових завдань;
- питання, тести для контрольних заходів.

14. Рекомендована література

Базова

1. Карпов Я.С. Механика композиционных материалов. – Харьков: Нац. аэрокосмич. ун-т, 2001 – 122 с.
2. Карпов Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т». – 2010. – 768 с.
3. Карпов Я.С. Проектирование и конструктивно-технологические решения стержней из композиционных материалов: учеб. пособие / Я.С. Карпов, Ф.М. Гагауз, А.Ю. Воробьев. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 70 с.
4. Карпов Я.С. Проектирование и конструктивно-технологические решения балок и лонжеронов из композиционных материалов: учеб. пособие / Я.С. Карпов, Ф.М. Гагауз, И.В. Лялюхина. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 124 с.
5. Карпов Я.С. Проектирование оболочек вращения из КМ: учеб. пособие / Я.С. Карпов, П.М. Гагауз. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2010. – 64 с. – Электронный ресурс.
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.
7. Проектирование и конструирование изделий из композиционных материалов. Теория и практика [Текст]: учебник / П.М. Гагауз, Ф.М. Гагауз, Я.С. Карпов, С.П. Кривенда; под общ. ред. Я.С. Карпова. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – 672 с.

Допоміжна

1. Строительная механика летательных аппаратов: Учебник для авиац. спец-тей вузов/ Образцов И.Ф., Булычев Л.А., Васильев В.В. и др./ Под ред. И.Ф. Образцова. – М.: Машиностроение, 1986. – 536 с.
2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
3. Гайдачук В.Е., Карпов Я.С. Основы конструкторской подготовки производства агрегатов летательных аппаратов из композиционных материалов: Учеб. пособие. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 67 с.
4. Гайдачук В.Е., Карпов Я.С. Композиционные материалы в конструкциях летательных аппаратов. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1986. – 131с.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k403.khai.edu>