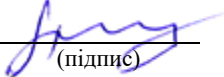


Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Гарант освітньої програми

 Олександр ГРЕБЕНІКОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА *ОБОВ'ЯЗКОВОЇ*  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

*Надійність та ресурс авіаційної та ракетно-космічної техніки*

(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 «Літаки і вертольоти»  
(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)  
(рівень освіти)

**Харків 2023 рік**

Розробник Сергій ЄПІФАНОВ, зав. кафедри, д.т.н., професор  
(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)

  
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри  
Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)  
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 28 » серпня 2023 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор  Сергій ЄПІФАНОВ  
(науковий ступінь і вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 5	<b>Галузь знань:</b> 13 «Механічна інженерія» (шифр і назва)	Обов'язкова
Кількість модулів – 2	<b>Спеціальність:</b> 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (шифр і назва)	<b>Навчальний рік</b> 2023 / 2024
Кількість змістових модулів – 2		<b>Семестр</b>
<b>Індивідуальне завдання:</b> <b>Розрахункова робота за темою:</b> «Оцінка ресурсу диска турбіни ГТД» (назва)	<b>Освітня програма:</b> <i>Літаки і вертольоти</i> (назва)	
<b>Загальна кількість годин – 64*/150</b>	<b>Рівень вищої освіти:</b> <u>другий (магістерський)</u>	<b>Лекції</b> *
<b>Кількість тижневих годин для денної форми навчання:</b> аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 5,375		32 год.
		<b>Практичні, семінарські</b> *
		32 год.
		<b>Лабораторні</b> *
		–
		<b>Самостійна робота</b>
86 год.		
	<b>Вид контролю</b>	Модульний контроль, диференційний залік

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – 64 / 86.

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

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета:** додати до знань студентів в області перевірочних розрахунків елементів конструкції на міцність, які вони одержали під час вивчення дисципліни «Механіка матеріалів та конструкцій», заглиблених знань з міцнісної надійності деталей об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки (АРКТ), їх ресурсного проектування, ресурсних випробувань, встановлення та подовження їх ресурсів згідно з прийнятою в галузі методологією.

**Завдання:** на підставі узагальнення знань з міцнісної надійності, механізмів та моделей довговічності елементів АРКТ викласти методологію їх ресурсного проектування та управління ресурсами в експлуатації.

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

### Загальні компетентності:

**ЗК1.** Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.

**ЗК2.** Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

**ЗК3.** Здатність до проведення досліджень для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності.

**ЗК4.** Здатність генерувати нові ідеї та реалізовувати їх у вигляді інноваційних рішень, працюючи у команді з залученням представників інших професійних груп.

**ЗК5.** Навички використання новітніх інформаційних та комунікаційних технологій.

**ЗК8.** Здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень.

**ЗК9.** Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

### Спеціальні (фахові) компетентності:

**ФК1.** Усвідомлення історії, сучасного стану, проблем та перспектив розвитку авіаційної та ракетно-космічної техніки.

**ФК2.** Здатність обґрунтовувати вибір клас матеріалів для елементів конструкцій авіаційної та ракетно-космічної техніки.

**ФК3.** Здатність обґрунтовувати вибір клас матеріалів для елементів конструкцій авіаційної та ракетно-космічної техніки.

**ФК4.** Усвідомлення робочих процесів у системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки, необхідних для розуміння, опису, вдосконалення об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки та оптимізації їх параметрів.

**ФК5.** Здатність критично осмислювати проблеми авіаційної та/або ракетно-космічної техніки, у тому числі на межі із суміжними галузями, інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою.

**ФК6.** Здатність будувати і досліджувати концептуальні, математичні, що включають останні наукові здобутки, моделі явищ та поведінки об'єктів професійній діяльності.

**ФК7.** Здатність аналізувати характеристики стану агрегатів авіаційної та ракетно-космічної техніки та фактори, що впливають на них.

**ФК8.** Здатність формулювати та розв'язувати науково-технічні задачі проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації конкурентоздатних зразків авіаційної та ракетно-космічної техніки.

### Програмні результати навчання:

**ПРН1.** Знати та розуміти засади фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі авіаційної та/або ракетно-космічної техніки.

**ПРН5.** Використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми.

**ПРН9.** Виявляти навички самостійної та колективної роботи, лідерські якості, організувати роботу за умов обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність.

**ПРН11.** Знати і розуміти робочі процеси у системах та елементах авіаційної та/або ракетно-космічної техніки, необхідні для розуміння, опису, вдосконалення та оптимізації їх параметрів.

**ПРН12.** Обґрунтовано призначати клас матеріалів для елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки, обирати і застосовувати ефективні методи модифікації їх властивостей.

**ПРН15.** 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.

**ПРН17.** Розуміти та застосовувати при розв'язанні складних професійних (науково-технічних) задач принципи та методи системного аналізу.

**ПРН19.** Вміння обчислювати напружено-деформований стан, визначати несну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки та засобів промислового виробництва з використанням новітнього програмного забезпечення, яке використовується в галузі.

**ПРН24.** Розробляти розрахункові моделі об'єктів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки і здійснювати оптимізацію їх параметрів за різними критеріями ефективності.

#### **Міждисциплінарні зв'язки:**

**Пререквізити:** проектування, випробування та сертифікація об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки, інженерний аналіз елементів авіаційної техніки, аеродинаміка, механіка матеріалів і конструкцій, деталі машин, теоретична механіка, матеріалознавство, термодинаміка, газодинаміка, теплопередача, прикладна математика.

**Кореквізити:** ефективність та надійність авіаційної техніки, надійність та ресурс авіаційної та ракетно-космічної техніки, дипломне проектування.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Модуль 1**

##### **Змістовий модуль 1**

**ТЕМА 1.** Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Основні поняття та визначення. Характеристика АД як об'єкта проектування. Узагальнений польотний цикл (УПЦ). Надійність АД. Міцнісні відмови. Міцнісна надійність (МН – як основна характеристика конструкції саме АД.

**ТЕМА 2.** Показники МН деталі – безвідмовність та довговічність (технічний ресурс) у вірогідній формі. Приклад: безвідмовність деталі за критерієм тривалої міцності (ТМ). Поняття експлуатаційних ресурсів АД.

**ТЕМА 3.** Структура моделі МН елементів АД. Моделі (підмоделі) форми, руйнування, виробітку ресурсу та інше. Загальна структура моделі МН деталі.

**ТЕМА 4.** Моделі деформаційних властивостей конструкційних матеріалів. Умовна діаграма "σ-ε", основні показники пластичності матеріалів. Вплив температури на деформаційні властивості матеріалів. Дійсна діаграма "σ-ε". Дійсні напруження та залишкова деформація при руйнуванні.

**ТЕМА 5.** Загальна структура моделі НДС: пружність, пластичність та врахування повзучості. Тензори напружень і деформацій. Пластичність. Деформаційна теорія пластичності. Основні припущення. Метод змінних параметрів пружності. Метод гіперболи Нейбера.

**ТЕМА 6.** Поведінка матеріалу при тривалому сталому навантаженні в умовах підвищених температур. Моделі ТМ матеріалу: базова, Ларсона-Мілера на інші. Статистичні властивості моделей. Явище високотемпературної тривалої міцності та повзучості при сталому навантаженні, основні закономірності. Моделі повзучості: базова, ізохронна та узагальнена, їх особливості, засоби побудови та призначення. Взаємодії повзучості та ТМ. Вплив попередньої пластичної деформації на повзучість. Вплив тривалого статичного навантаження на пластичність та ТМ.

**ТЕМА 7.** Релаксація напружень внаслідок високотемпературної повзучості матеріалу в локальних частинах деталі з жорсткими зв'язками. Основні кількісні закономірності та приклади.

ди виникнення явища. Повзучість в деталях АД. Основні положення деформаційної теорії повзучості (старіння). Алгоритм розрахунків повзучості за теорією старіння. Її обмеження для умов навантаження деталей АД та ЕУ.

**ТЕМА 8.** Моделі руйнування зразків матеріалу при циклічному навантаженні. Загальні відомості: форма циклів та їх параметри. Основні типи руйнування. Малоциклова втома (МЦВ). Багатоциклова втома (БЦВ) чи витривалість. МЦВ та БЦВ – спільне та різниці. БЦВ - моделі довговічності матеріалів деталей АД та ЕУ при багато-циклового навантаженні (криві втоми або витривалості). Фізичні основи втоми. Механізм та особливості руйнування. Детерміновані моделі втоми при симетричному циклі. Симетричний цикл. Асиметричний цикл. Вплив стану поверхневого шару.

**Модульний контроль**

## Модуль 2

### Змістовий модуль 2

**ТЕМА 9.** Малоциклова втома матеріалу деталей АД та ЕУ. Криві деформування при малоциклового навантаженні для матеріалів з різними властивостями. Універсальні моделі малоциклової втоми (МЦВ). Моделі МЦВ при «жорсткому» режимі навантаження. Моделі при «м'якому» режимі навантаження. Моделі Коффіна та Менсона. Врахування асиметрії циклу та концентрації напруг при «м'якому» навантаженні. Експериментальні моделі МЦВ. Статистичні моделі малоциклової втоми. Логнормальний розподіл.

**ТЕМА 10.** Основи механіки руйнування. Історичні аспекти та сучасні галузеві проблеми. Об'єкт та задачі механіки руйнування. Напруга при вершині тріщини. Типи розтріскування. Рішення Ірвіна. Коефіцієнт інтенсивності напруг. Зона пластичності при вершині тріщини. В'язкість руйнування. Порівняльні приклади (за типами матеріалу). Критерії руйнування з причини зросту тріщини: межового розкриття тріщини та енергетичний. Вплив форми та особливостей розташування тріщини на деталі. Розрахунок циклічної довговічності з урахуванням періоду розвитку тріщини. Рівняння Періса. Критичний розмір тріщини. Рішення рівняння Періса та його практичне використання.

**ТЕМА 11.** Моделі руйнування деталей АД та ЕУ. Еквівалентні напруження. Запаси міцності в просторі факторів, що пошкоджують. Співвідношення запасів міцності та довговічності. Показники ПН міцності та імовірність руйнування деталей АД. Основні фактори виробітку ресурсів: тривала міцність та малоциклова втома. Многоциклова втома, її урахування. Лінійна теорія підсумовування пошкоджень. Ресурсне проектування з урахуванням багаторежимної роботи деталей АД. Поняття пошкодження. Лінійна теорія підсумовування пошкоджень. Поняття нелінійної теорії підсумовування. Однорідні та різнорідні пошкодження при комплексному навантаженні деталі. Крайня поверхня у просторі факторів, що пошкоджують. Взаємний вплив факторів, що пошкоджують: МЦВ та повзучість, МЦВ та втома.

**ТЕМА 12.** Методи встановлення ресурсів АД: прямої наробітки, на підставі еквівалентноциклового випробувань (ЕЦВ) та розрахунковий. Ретроспективний метод КБ «Івченко-Прогрес». Загальні вимоги до ресурсних випробувань АД. Спеціальні випробування. Прискорені еквівалентно-циклового випробування (ЕЦВ). Формування типових, узагальнених та випробувальних циклів. Особливості випробувань та інженерні показники ПН на прикладі двоконтурних АГТД для транспортної авіації. Випробування та доведення АД. Теорія доведення акад. Муравченка Ф.М. Поле доведення. Стратегія доведення.

**ТЕМА 13.** Основні положення та нормативи встановлення та подовження ресурсів газотурбінних двигунів цивільної авіації. Три стратегії управління ресурсами СУР. Основні деталі, що випробуються на малоциклового втоми, та інші. Реалізація концепцій безпечної працездатності та безпечного зростання тріщин.

**ТЕМА 14.** Забезпечення МН деталей АД на етапі експлуатації. Експлуатація за регламентом та за технічним станом. Системи діагностування стану АД на підставі цифрового аналізу. Система моніторингу виробітку ресурсу МВР АД, розроблена кафедрою 203 ХАІ.

**Модульний контроль**

## 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
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовий модуль 1</b>					
<b>ТЕМА 1.</b> Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література.	3	1	-	-	2
<b>ТЕМА 2.</b> Показники МН деталі – безвідмовність та довговічність (технічний ресурс) у вірогідній формі.	3	1	-	-	2
<b>ТЕМА 3.</b> Структура моделі МН елементів АД. Моделі (підмоделі) форми, руйнування, виробітку ресурсу та інше. Загальна структура моделі МН деталі.	8	2	2	-	4
<b>ТЕМА 4.</b> Моделі деформаційних властивостей конструкційних матеріалів. Умовна діаграма "σ-ε", основні показники пластичності матеріалів.	8	2	2	-	4
<b>ТЕМА 5.</b> Загальна структура моделі НДС. Тензори напружень і деформацій. Пластичність. Деформаційна теорія пластичності. Метод змінних параметрів пружності. Метод гіперболи Нейбера.	8	2	2	-	4
<b>ТЕМА 6.</b> Поведінка матеріалу при тривалому сталому навантаженні в умовах підвищених температур. Моделі ТМ матеріалу: базова, Ларсона-Міллера на інші. Статистичні властивості моделей.	10	2	4	-	4
<b>ТЕМА 7.</b> Релаксація напружень внаслідок високотемпературної повзучості матеріалу в локальних частинах деталі з жорсткими зв'язками. Основні кількісні закономірності та приклади виникнення явища.	7	2	2	-	3
<b>ТЕМА 8.</b> Моделі руйнування зразків матеріалу при циклічному навантаженні. Загальні відомості: форма циклів та їх параметри. Основні типи руйнування. Малоциклова втома (МЦВ). Багатоциклова втома (БЦВ) чи витривалість. МЦВ та БЦВ – спільне та різниці.	12	4	4	-	4
<b>Модульний контроль</b>	1	-	-	-	1
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>60</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>28</b>
<b>Модуль 2</b>					
<b>Змістовий модуль 2</b>					
<b>ТЕМА 9.</b> Малоциклова втома матеріалу деталей АД та ЕУ. Криві деформування при малоцикловому навантаженні для матеріалів з різними властивостями. Універсальні моделі малоциклової втоми (МЦВ). Моделі МЦВ при «жорсткому» режимі навантаження. Моделі при «м'якому» режимі навантаження. Моделі Коффіна та Менсона.	16	4	6	-	6
<b>ТЕМА 10.</b> Основи механіки руйнування. Історичні аспекти та сучасні галузеві проблеми. Об'єкт та задачі механіки руйнування.	14	4	4	-	6
<b>ТЕМА 11.</b> Моделі руйнування деталей АД та ЕУ. Еквівалентні напруження. Запаси міцності в просторі факторів, що пошкоджують. Співвідношення запасів міцності та довговічності.	9	2	2	-	5

<b>ТЕМА 12.</b> Методи встановлення ресурсів АД: прямої нароби-тки, на підставі еквівалентно-циклових випробувань (ЕЦВ) та розрахунковий. Ретроспективний метод КБ «Івченко-Прогрес»	7	2	2	-	3
<b>ТЕМА 13.</b> Основні положення та нормативи встановлення та подовження ресурсів газотурбінних двигунів цивільної авіації.	6	2	-	-	4
<b>ТЕМА 14.</b> Забезпечення МН деталей АД на етапі експлуатації. Експлуатація за регламентом та за технічним станом. Системи діагностування стану АД на підставі цифрового аналізу. Система моніторингу виробітку ресурсу МВР АД, розроблена кафедрою 203 ХАІ.	7	2	2	-	3
<b>Модульний контроль</b>	1	-	-	-	1
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>60</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>28</b>
<b>Індивідуальне завдання</b> <b>Розрахункова робота на тему: «Оцінка ресурсу диска турбіни ГТД»</b>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>30</b>
<b>Усього годин</b>	<b>150</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>86</b>

### 7. Темі практичних занять

Темі змістових модулів	№	Назви занять	Кількість годин
<b>Тема 3</b>	1	Розрахунки пружно-пластичного стану диска на типових режимах узагальненого польотного циклу	2
<b>Тема 4</b>	2	Дослідження основних моделей тривалої міцності жароміцних конструкційних матеріалів	2
<b>Тема 5</b>	3	Визначення робочої точки на характеристиці матеріалу в умовах пружно-пластичної деформації за допомогою методу сікучих модулів	2
<b>Тема 6</b>	4	Побудова моделі Ларсона-Міллера за відомими експериментальними характеристиками тривалої міцності матеріалу	4
<b>Тема 7</b>	5	Дослідження релаксації напружень та накопичення пластичних деформацій в наслідок високотемпературної повзучості	2
<b>Темі 8-11</b>	6	Пружно-пластичний розрахунок диска турбіни методом гіперболи Нейбера	2
	7	Розрахунки показників МН робочої лопатки турбіни АГТД на підставі її УПЦ	4
	7.1	Частина 1. Розрахунки пошкоджень лопатки за один УПЦ за критеріями ТМ та МЦВ	4
	7.2	Частина 2. Оцінки детермінованих показників безвідмовності та довговічності (ресурсу) лопатки	2
<b>Тема 10</b>	8	Визначення ресурсу деталі за динамікою зростання тріщин	2
<b>Тема 12</b>	9	Визначення коефіцієнтів еквівалентності та прискорення випробувань за програмою еквівалентно-циклічних випробувань	4
<b>Тема 14</b>	10	Планування еквівалентно-циклічних випробувань АГТД	2
<b>Разом</b>			<b>32</b>

### 8. Самостійна робота

Тема змістових модулів	Назва теми	Кількість годин
<b>Тема 1</b>	Огляд рекомендованої літератури	2



<b>Тема 2</b>	Перегляд конспекту лекцій з надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок	2
<b>Тема 3</b>	Модель міцнісної надійності	4
<b>Тема 4</b>	Справжня діаграма деформування " $\sigma$ - $\epsilon$ "	4
<b>Тема 5</b>	Характеристики тривалої міцності конструкційних матеріалів	4
<b>Тема 6</b>	Поведінка матеріалу при тривалому сталому навантаженні в умовах підвищених температур Властивості матеріалу при підвищеній температурі	4
<b>Тема 7</b>	Релаксація напружень внаслідок високотемпературної повзучості матеріалу	3
<b>Тема 8</b>	Багатоциклова втома матеріалів	4
<b>Тема 9</b>	Малоциклова втома матеріалу деталей АРКТ	6
<b>Тема 10</b>	Основи механіки руйнування	6
<b>Тема 11</b>	Механізм зростання тріщини та руйнування елементів конструкції	5
<b>Тема 12</b>	Накопичення пошкоджень та оцінки довговічності деталей АГТД та етапі проектування	3
<b>Тема 13</b>	Перегляд конспекту лекцій з ресурсного проектування. Перегляд розділів Авіаційних правил АП-21, АП-25, АП-33.	4
<b>Тема 14</b>	Перегляд конспекту лекцій з ресурсного проектування. Перегляд розділів Авіаційних правил АП-21, АП-25, АП-33.	3
	Модульний контроль	2
	Виконання розрахункової роботи	30
	<b>Разом</b>	<b>86</b>

## 9. Індивідуальне завдання

**Розрахункова робота за темою: «Оцінки ресурсу диска турбіни АГТД».**

### Розділи роботи:

1. Розрахунки пружно-пластичного стану диска на типових режимах узагальненого польотного циклу (УПЦ).
2. Розрахунки довговічності диску на сталих та перехідних режимах УПЦ.
3. Розрахунок пошкодження диску за один УПЦ за критеріями ТМ та МЦУ.
4. Оцінювання загальних експлуатаційних показників міцнісної надійності диску – безвідмовності та довговічності (ресурсу).

## 10. Методи навчання

### Основні форми навчання:

- лекційна;
- практичні роботи;
- лабораторні роботи;
- розрахунково-графічна робота;
- індивідуальна самостійна робота студента;
- диф. залік.

На лекціях студентів даються основні поняття, основи теорії, закономірності, необхідні для підготовки до виконання практичних та лабораторних робіт, самостійної роботи, а також виконання індивідуального завдання.

Лекція, розв'язує тільки одну дидактичну задачу – дає первісне знайомство з темою, організовує первісне сприйняття матеріалу, формулює основні проблеми.

Проведення лабораторних робіт базується на словесному (аналітичному) описанні об'єкта (системи охолодження та охолоджуваних деталей), а також й на матеріальному його відображенні за допомогою спеціальних дидактичних матеріалів (розрізні макети, плакати та ін.). Під час проведення лабораторних робіт використовується бригадний характер праці студентів.

Проведення практичних робіт базується на виконанні студентами розрахунків параметрів систем охолодження деталей.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції. Під час самостійної роботи студенті поглиблено вивчають лекційний матеріал, готуються до проведення лабораторних робіт, виконують домашню розрахунково-графічну роботу.

## Питання для самостійної роботи студентів

### Змістовий модуль 1

1. Загальна характеристика АГТД як об'єкту розробки та експлуатації. Життєвий цикл АГТД.
2. Міцнісна надійність деталей АГТД та її показники. Що вона характеризує в складі поняття надійність АГТД?
3. Ймовірнісні показники міцнісної деталей АГТД – їх безвідмовності й довговічності (технічного ресурсу).
4. Основні різновиди поняття «ресурс деталі АГТД».
5. Ресурсне проектування АД: поняття, особливості, цілі й задачі.
6. Структура моделі міцнісної надійності АГТД (показати по її структурній схемі).
7. Міцнісна надійність (МН) деталей АД, основні поняття й структура моделі ПН.
8. Вихідні підмоделі моделі міцнісної надійності деталей АГТД.
9. Моделі навантаження деталей АД за характером дії.
10. Короткочасне статичне навантаження. Характеристики пластичності матеріалів.
11. Істинна діаграма деформування матеріалу та її зв'язок з умовною діаграмою.
12. Істинні руйнуюче напруження  $S_k$  і кінцева деформація  $\epsilon_{i,k}$  при руйнуванні.
13. Апроксимація кривих деформування « $\sigma$ - $\epsilon$ » пластичних матеріалів.
14. Основні положення та види пружних моделей НДС деталі (заснованих на законі Гука).
15. Моделі НДС деталі, призначення, склад і різновиди.
16. Алгоритм методу змінних параметрів пружності (січних модулів) для урахування пластичності НДС деталі.
17. Урахування пластичних деформацій із використанням гіперболи Нейбера та область застосування цього методу.
18. Особливості тривалого статичного навантаження матеріалу при підвищених температурах і моделі його тривалої міцності.
19. Моделі тривалої міцності матеріалів: «криві ДМ» і Ларсена-Миллера та області їх використання.
20. Статичні моделі тривалої міцності матеріалу.
21. Межі тривалої міцності матеріалів АГТД при розтягуванні та стисканні.
22. Повзучість конструкційних матеріалів. Три фази та швидкості повзучості.
23. Моделі усталеної повзучості матеріалу деталей АГТД.
24. Зв'язок між повзучістю та тривалою міцністю. Узагальнені криві повзучості та їх побудова.
25. Релаксація напружень у болтовому сполученні внаслідок повзучості матеріалу.
26. Моделі росту тріщин при циклічному навантаженні. Рівнянні Періса.
27. Моделі матеріалів при циклічних навантаженнях, основні поняття, характеристики циклів і фактори, що впливають.
28. Багатоциклова втома матеріалу та її моделі при симетричному навантаженні.
29. Багатоциклова втома матеріалу, основні фактори, що впливають. Урахування асиметрії циклу.
30. Багатоциклова втома матеріалу. Вплив концентрації напружень.

## Змістовий модуль 2

1. Малоциклова втома. Циклічно стабільні та нестабільні матеріали при «жорсткому» та «м'якому» навантаженнях.
2. Універсальні моделі малоциклової втоми Коффіна та Менсона.
3. Модель малоциклової втоми матеріалу Менсона, її різновиди в області використання.
4. Експериментальні моделі малоциклової термічної втоми матеріалу.
5. Вплив витримки в циклі на максимальній температурі на малоциклову втому матеріалу.
6. Моделі МЦВ матеріалу при «м'якому» навантаженні.
7. Допустимі області використання універсальних моделей МЦУ.
8. Мета й завдання механіки руйнування.
9. Напруження при вершині тріщини та типи розтрощення. Коефіцієнт інтенсивності напружень.
10. Роль і розмір зони пластичності при вершині тріщини.
11. В'язкість руйнування та методи її визначення. Основний показник тріщиностійкості матеріалу.
12. В'язкість руйнування матеріалу  $K_{1C}$  і критичний розмір тріщини.
13. Поняття та види еквівалентних напружень в деталях АГТД.
14. Моделі руйнування деталей при однорідних навантаженнях за критерієм довговічності.
15. Моделі руйнування деталей при однорідних навантаженнях за критеріями їх міцності.
16. Запаси міцності й довговічності деталей за ДМ і МЦВ.
17. Співвідношення між запасами міцності й довговічності деталей АД за критерієм ДМ.
18. Поняття пошкоджень і пошкоженості деталей за ДМ і МЦВ.
19. Моделі руйнування деталі при багаторежимних однорідних навантаженнях.
20. Поняття еквівалентних режимів.
21. Детерміновані показники безвідмовності та довговічності деталі при багаторежимних однорідних навантаженнях за критеріями ДМ і МЦВ.
22. Лінійне підсумовування пошкоджень деталей при багаторежимних пошкодженнях.
23. Підсумовування неоднорідних пошкоджень, можливості та проблеми.
24. Види спеціальних випробувань АГТД. Їх класифікація (чотири групи).
25. Випробування та доведення АГТД. Основні положення.
26. Методи встановлення ресурсів АГТД, їх достоїнства та недоліки.
27. Еквівалентно-циклічні ресурсні випробування АД, призначення та обґрунтування. Коефіцієнти відповідності узагальнених польотних і випробувальних циклів.
28. Еквівалентно-циклічні випробування деталей АД. Вибір параметрів випробувального циклу, коефіцієнт прискорення випробувань.
29. Розрахунковий метод встановлення ресурсів АГТД. Засади появи та умови використання.
30. Види систем управління ресурсами (СУР) АГТД, їх основні відмінності та особливості використання в експлуатації АГТД.
31. Концепції безпечної довговічності та безпечного росту тріщин при призначенні та продовженні ресурсів АГТД. Дві групи основних деталей за видом ресурсних випробувань.

### 11. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Модель міцнісної надійності, аналіз конструкції в умовах тривалого статичного навантаження та багатоциклової втоми.
2. Аналіз конструкцій в умовах малоциклової втоми. Основи механіки руйнування. Призначення, експериментальне підтвердження та експлуатаційний моніторинг ресурсу.

**Складання модуля 1 – на 8-му тижні (один раз), складання модуля 2 – на 16-му тижні (один раз).**

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

Оформлення лабораторних робіт – *письмово*, захист – *усно*.

Строк захисту домашнього завдання – 15-й тиждень. Затримка захисту домашнього завдання на тиждень – мінус 2 бали, на 2 тижні – мінус 4 бали.

Семестр 3 – *диф. залік*.

## 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
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...0,5	8	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...2	8	8...16
Модульний контроль	15...20	1	15...20
<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на лекціях	0...0,5	8	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...2	8	8...16
Модульний контроль	15...20	1	15...20
Виконання і захист РР	14...20	1	14...20
<b>Усього за семестр</b>			<b>60...100</b>

Семестровий контроль (диф. залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до нього. Допуск до диф. заліку надається за умов відпрацювання та здачі усіх лабораторних робіт, а також виконання та успішного захисту домашнього завдання.

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

Білет для диф. заліку складається з двох теоретичних запитань та двох практичних завдань. Теоретичні запитання розподілено таким чином:

Перше запитання - змістовий модуль 1;

Друге запитання – змістовий модуль 2;

Перше практичне завдання містить 8 тестів за тематикою модулю 1. На кожний тест наведено можливі відповіді. Студент повинен обрати вірні відповіді.

Друге практичне завдання містить 8 тестів за тематикою модулю 2. На кожний тест наведено можливі відповіді. Студент повинен обрати вірні відповіді.

Максимальна кількість балів за кожне запитання білету – 25.

### 12.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

**знати:**

- зв'язок між показниками міцності та надійності;
- структуру ресурсного проектування та види необхідних моделей;
- основи опору матеріалів;
- основні моделі, що визначають здатність матеріалів опиратися довготривалому статичному навантаженню;
- явище повзучості та модель Нортонна;
- модель довговічності при багатоцикловій втоми;
- фактори, що впливають на здатність матеріалів опиратись багатоцикловій втоми;
- природу малоциклової втоми та її відмінність від багатоциклової втоми;
- моделі малоциклової втоми;
- основні положення механіки руйнування, модель зростання тріщин Періса;
- зміст стратегій керування ресурсами;

- види ресурсних випробувань;
- головні принципи експлуатаційного моніторингу ресурсів.

**вміти:**

- визначати ресурс деталей, що працюють в умовах сталого довготривалого навантаження та високих температур;
- визначати ресурс деталей, що працюють в умовах малоциклової втоми;
- оцінювати коефіцієнти відповідності еквівалентних випробувальних циклів.

**12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру**

**Задовільно (60-74).** Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та захистити індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати показники міцнісної надійності та їх зв'язок з ресурсом. Пояснювати структуру та складові етапи ресурсного проектування. Визначати ресурс за відомим напруженням та температурою в умовах довготривалого навантаження. Пояснювати порядок аналізу конструкцій в умовах дії повзучості. Визначати границю витривалості за заданій характеристиці багатоциклової втоми матеріалу. Знати, які вихідні дані необхідні для визначення ресурсу за малоцикловою втомою. Знати зміст стратегій керування ресурсами. Пояснювати сенс та порядок визначення еквівалентно-циклічних випробувань.

**Добре (75-89).** Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати зв'язки між показниками надійності та ресурсу, між запасами міцності та довготривалості. Знати моделі довготривалої міцності у вигляді діаграм та формули Ларсона-Міллера. Вміти визначати запас довготривалої міцності. Знати моделі багатоциклової втоми та фактори, що впливають на здатність матеріалів опиратися циклічному навантаженню. Пояснювати сенс складових моделі Менсона. Вміти визначати запас довготривалості в умовах малоциклового навантаження. Знати основні положення механіки руйнування, формулу Періса для аналізу зростання тріщин. Знати стратегії керування ресурсами та порядок призначення ресурсу. Пояснювати програму еквівалентно-циклічного випробування та її походження на основі заданого узагальненого польотного циклу. Знати основні положення експлуатаційного моніторингу ресурсу.

**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. Знати структуру ресурсного проектування та детально пояснювати усі моделі, необхідні для її реалізації. Знати основні параметри діаграми деформування, а також показники матеріалу, що характеризують його пружні властивості та пластичне деформування. Знати, як виконується аналіз міцності в умовах багатовимірного напружено-деформованого стану. Володіти моделями довготривалої міцності, вміти перейти від однієї моделі до іншої. Вміти розраховувати збірні конструкції в умовах повзучості. Знати основи багатоциклової втоми, уміти визначати запас довготривалості в умовах асиметричного циклічного навантаження. Знати моделі малоциклової втоми, пояснювати та використовувати формулу Менсона. Вміти розраховувати ресурс конструкції з тріщиною. Знати основи призначення та експериментального підтвердження ресурсу. Знати основні види ресурсів. Пояснювати головні положення та порядок експлуатаційного моніторингу ресурсу.

**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

### 13. Методичне забезпечення

1. Методичні посібники до кожної з лабораторних робіт, перелік яких дано в розділі 7 програми.
2. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи за темою «Оцінки ресурсу диска турбіни АГТД».
3. Методичні посібники кафедри 203 до суміжних дисциплін.

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Основні концепції розвитку сучасної аерокосмічної техніки [Текст] : інноваційний підручник для неавіаційних спеціальностей аерокосмічного університету / В. А. Богуслаєв, В. С. Кривцов, О. І. Риженко [та ін.]. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ». – 2017. – 672 с.
2. Єпіфанов, С. В. Конструкція авіаційних газотурбінних двигунів : підручник / С. В. Єпіфанов, В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 320 с.
3. Єпіфанов, С. В. Проектування охолоджуваних деталей [Текст] : Навчальний посібник / С. В. Єпіфанов, Є. В. Марценюк, І. Ф. Кравченко. – Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 20212. – 88 с.
4. Єпіфанов, С.В. Міцність і ресурс деталей авіаційних газотурбінних двигунів / С.В. Єпіфанов, Д.Ф. Симбірський, Є.В. Марценюк. – Харків: ХАІ. – 2017. – 75 с.

#### Допоміжна

1. Писаренко, Г.С. Опір матеріалів: Підручник [Текст] / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; за ред. Г. С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища школа, 2004. – 655 с.
2. Han, J.C. Gas turbine heat transfer and cooling technology. 2-nd edition [Text] / J.C. Han, S. Dutta, S. Ekkad. – CRC Press, Boca Raton, London. New York, 2013. – 843 p.
3. Олейник А.В. Температурные напряжения в деталях газотурбинных двигателей. Конспект лекций [Текст] / А.В. Олейник. – Харьков: Нац. Аэрокосмический ун-т «Харьк. авіац. ін-т», 2002. – 65 с.
4. Броек, Д. Основы механики разрушения / Д. Броек – М.: Высш. школа, 1980. – 368 с.
5. Коллинз, Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, подтверждение / Дж. Коллинз. – М.: Мир, 1984. – 624 с.

**13. Інформаційні ресурси** – вивчені попередньо навчальні дисципліни, конспект лекцій, джерела з Інтернету.