

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

Кафедра Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис)

Сергій ЄПІФАНОВ
(ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2023 р.

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

***СУЧАСНИЙ СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ***

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань

14 «Електрична інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність

142 «Енергетичне машинобудування»

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма

«Енергетичне машинобудування»

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна


Рівень вищої освіти:

третій (освітньо-науковий)

(рівень освіти)

Харків 2023 рік


Розробник Сергій ЄПІФАНОВ, зав. каф. 203, д.т.н., проф.
(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 каф. 203 д.т.н., професор
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Сергій ЄПІФАНОВ
(ім'я та прізвище)

Погоджено:

Завідувач відділу
аспірантури і докторантури


(підпис)

Володимир СЕЛЕВКО
(ім'я та прізвище)

В.о. голови наукового
товариства студентів,
аспірантів, докторантів
і молодих вчених


(підпис)

Семен ЖИЛА
(ім'я та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 5	Галузь знань: <i>14</i> <u>Електрична інженерія</u> (шифр і назва)	Обов'язкова
Кількість модулів – 2	Спеціальність: <i>142</i> <u>Енергетичне машинобудування</u> (шифр і назва)	Навчальний рік <i>2023 / 2024</i>
Кількість змістових модулів – 2		Семестр
Індивідуальне завдання: (назва)		<i>1-й</i>
Загальна кількість годин – <i>64*/150</i>		Лекції* <i>32 год.</i>
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи – 5,375	Рівень вищої освіти <i>Третій</i> <u>(освітньо-науковий)</u>	Практичні, семінарські* <i>32 год.</i>
		Лабораторні* –
		Самостійна робота <i>86 год.</i>
		Вид контролю <i>Модульний контроль, іспит</i>

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 вивчення: скласти системне уявлення про комплексне забезпечення надійності, міцності та ресурсу об'єктів енергетичного машинобудування під час проектування, випробувань, виробництва та експлуатації. Ознайомити з перспективними методичними підходами до встановлення, подовження та експлуатаційної підтримки ресурсів.

Завдання: на підставі узагальнення знань з надійності, міцності, механізмів та моделей довговічності об'єктів енергетичного машинобудування викласти методологію їх ресурсного проектування та управління ресурсами в експлуатації.

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

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

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

Спеціальні (фахові) компетентності:

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері енергетичного машинобудування та дотичних до неї (нього, них) міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з галузі електричної інженерії, та суміжних галузей.

СК03. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних та інші електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

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 у сфері енергетичного машинобудування.

Програмні результати навчання:

ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з енергетичного машинобудування і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідної галузі, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, ...) і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН04. Розробляти, проектувати, модернізувати складні об'єкти енергетичного машинобудування, формувати вимоги до них, аналізувати адекватність методології проектування.

ПРН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН08. Розуміти загальні принципи та методи енергетичного машинобудування, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері енергетичного машинобудування та у викладацькій практиці.

ПРН12. Знати сучасні підходи та засоби моделювання робочих процесів досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати моделі систем та елементів об'єктів енергетичного машинобудування

ПРН13. Знати головні чинники вичерпання міцнісного ресурсу об'єктів енергетичного машинобудування, вміти визначати ресурс головних деталей та формувати системи моніторингу ресурсу в експлуатації.

Міждисциплінарні зв'язки: системи автоматичного управління об'єктів енергетичного машинобудування, конструкція та міцність об'єктів енергетичного машинобудування, системи охолодження, термічна міцність, теплопередача, опір матеріалів.

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 об'єкта енергетичного машинобудування. Узагальнений робочий цикл (УРЦ). Надійність технічних об'єктів. Міцнісні відмови. Міцнісна надійність (МН – як основна характеристика конструкції).

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

ТЕМА 3. Структура моделі МН елементів об'єктів енергетичного машинобудування. 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 та 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 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 – цикловому 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 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. 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. Напряга 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 еквівалентно-циклових випробувань (ЕЦВ) та розрахунковий. Ретроспективний метод КБ «Івченко-Прогрес». Загальні вимоги до ресурсних випробувань АД. Спеціальні випробування. Прискорені еквівалентно-циклові 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 малоциклову втому, 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.

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
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література.	5	1	-	-	4
ТЕМА 2. Показники МН деталі – безвідмовність та довговічність (технічний ресурс) у вірогідній формі.	5	1	-	-	4
ТЕМА 3. Структура моделі МН елементів АД. Моделі (підмоделі) форми, руйнування, виробітку ресурсу та інше. Загальна структура моделі МН деталі.	10	2	2	-	6
ТЕМА 4. Моделі деформаційних властивостей конструкційних матеріалів. Умовна діаграма " σ - ϵ ", основні показники пластичності матеріалів.	10	2	2	-	6

ТЕМА 5. Загальна структура моделі НДС. Тензори напружень і деформацій. Пластичність. Деформаційна теорія пластичності. Метод змінних параметрів пружності. Метод гіперболи Нейбера.	10	2	2	-	6
ТЕМА 6. Поведінка матеріалу при тривалому сталому навантаженні в умовах підвищених температур. Моделі ТМ матеріалу: базова, Ларсона-Міллера на інші. Статистичні властивості моделей.	12	2	4	-	6
ТЕМА 7. Релаксація напружень внаслідок високотемпературної повзучості матеріалу в локальних частинах деталі з жорсткими зв'язками. Основні кількісні закономірності та приклади виникнення явища.	9	2	2	-	5
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.	14	4	4	-	6
Модульний контроль	1	-	-	-	1
Разом за змістовим модулем 1	76	16	16	-	44
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 9. 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.	18	4	6	-	8
ТЕМА 10. Основи механіки руйнування. Історичні аспекти та сучасні галузеві проблеми. Об'єкт та задачі механіки руйнування.	16	4	4	-	8
ТЕМА 11. Моделі руйнування деталей АД та ЕУ. Еквівалентні напруження. Запаси міцності в просторі факторів, що пошкоджують. Співвідношення запасів міцності та довговічності.	12	2	2	-	8
ТЕМА 12. Методи встановлення ресурсів АД: прямої наробітки, на підставі еквівалентно-циклових випробувань (ЕЦВ) та розрахунковий. Ретроспективний метод КБ «Івченко-Прогрес»	9	2	2	-	5
ТЕМА 13. Основні положення та нормативи встановлення та подовження ресурсів газотурбінних двигунів цивільної авіації.	8	2	-	-	6
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.	10	2	2	-	6
Модульний контроль	1	-	-	-	1
Разом за змістовим модулем 2	74	16	16	-	42
Усього годин	150	32	32	-	86

7. Теми практичних робіт

Теми змістових модулів	№	Назви занять	Кількість годин
Тема 2	1	Дослідження зв'язків між ресурсом та вірогідністю	2
Тема 3	2	Розрахунки пружно-пластичного стану диска на типових режимах узагальненого польотного циклу	3
Тема 4	3	Умовна та дійсна діаграми деформування	2
Тема 5	4	Дослідження основних моделей тривалої міцності жароміцних конструкційних матеріалів	2
Тема 6	5	Дослідження релаксації напружень та накопичення пластичних деформацій внаслідок високотемпературної повзучості	6
Тема 8	6	Пружно-пластичний розрахунок диску турбіни методом гіперболи Нейбера та методом сікучих модулів	3
Тема 10	7	Дослідження тріщиностійкості лопаток компресора та турбіни, а також корпусних деталей	4
Тема 11	8	Розрахунки показників МН робочої лопатки турбіни на підставі його УПЦ	3
	8.1	Частина 1. Розрахунки пошкоджень лопатки за один УПЦ за критеріями ТМ та МЦВ	
	8.2	Частина 2. Оцінки детермінованих показників безвідмовності та довговічності (ресурсу) лопатки	
	9	Розрахунок пошкодження диску за один УПЦ за критеріями ТМ та МЦ	
Тема 12	10	Планування еквівалентно-циклічних випробувань	2
Тема 13	11	Оцінювання загальних експлуатаційних показників міцнісної надійності диску – безвідмовності та довговічності	-
Тема 14	12	Наземний програмний комплекс для експлуатаційного моніторингу ресурсу авіаційних двигунів	2
Разом			32

8. Самостійна робота

Теми змістових модулів	Назва теми	Кількість годин
Тема 1	Предмет вивчення та задачі дисципліни. Загальні проблеми забезпечення надійності технічних об'єктів ([4], вступ; [5], вступ)	4
Тема 2	Міцнісна надійність. Вірогіднісний характер запасів міцності конструкційних матеріалів	4
Тема 3	Структурні складові моделі міцнісної надійності: модель робочого процесу, модель силового навантаження, модель температурного стану, модель напруженого стану	6
Тема 4	Справжня діаграма деформування "σ-ε" ([1], розділ 14, с. 82-87)	6
Тема 5	Характеристики тривалої міцності конструкційних матеріалів ([7], розділ 1.1.1, с. 6-11)	6
Тема 6	Релаксація напруг при високотемпературній повзучості матеріалу ([8], розділ 8, с. 110-124)	6
Тема 7	Багатоциклова втома матеріалів при циклічному навантаженні ([1], розділ 16, с. 92-100; [7], розділ 2.2., с. 27-35)	5
Тема 8	Малоциклова втома матеріалів при циклічному навантаженні ([1], розділ)	6
Тема 9	Загальна структура моделі НДС: пружність, пластичність та врахування повзучості ([1], розділ)	8
Тема 10	Механізм зростання тріщини та руйнування елементів конструкції ([4], розділ 2, с. 30-65)	8
Тема 11	Моделі руйнування деталей	8

Тема 12	Еквівалентно-циклічні випробування	5
Тема 13	Нормативні документи щодо встановлення ресурсів	6
Тема 14	Система експлуатаційного моніторингу виробітку ресурсів	6
	Разом	86

9. Методи навчання

Основні форми навчання:

- лекційна;
- практичні роботи;
- індивідуальна самостійна робота докторанта;
- іспит.

На лекціях докторантові даються основні поняття, основи теорії, закономірності, необхідні для підготовки до виконання практичних робіт, а також самостійної роботи.

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

Проведення практичних робіт базується на виконанні докторантами розрахунків параметрів міцності та ресурсу деталей.

Основною формою навчання є самостійна робота. До неї не можна приступати без певного багажу знань, які даються на лекції. Під час самостійної роботи докторанти поглиблено вивчають лекційний матеріал, готуються до проведення практичних робіт.

Питання для самостійної роботи

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 « σ - ϵ » 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_{IC} 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.

4 семестр – *іспит*.

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...0,5	8	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...2	6	6...12
Модульний контроль	15...25	1	15...25
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	8	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...2	6	6...12
Модульний контроль	33...43	1	33...43
Усього за семестр			60...100

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

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

Білет для іспиту 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 Нортона;
- 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. 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 вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. 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. 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, вміти 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 практичних робіт, перелік яких дано в розділі 7 програми.
2. 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», 2021. – 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. авиац. ин-т», 2002. – 65 с.
4. Брок, Д. Основы механики разрушения / Д. Брок – М.: Высш. школа, 1980. – 368 с.
5. Коллинз, Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, подтверждение / Дж. Коллинз. – М.: Мир, 1984. – 624 с.

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