

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)

Олександр БИЛОГУБ
(ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2024 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

НАДІЙНІСТЬ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань:

13 «Механічна інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність:

134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма:

Авіаційні двигуни та енергетичні установки

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти:

другий (магістерський)

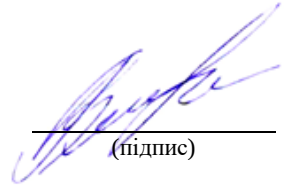
(рівень освіти)

Харків 2024

Розробник

Роман ЗЕЛЕНСЬКИЙ, доц. каф. 203, к.т.н., доц.

(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри

Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

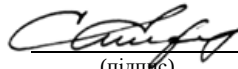
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2024 р.

Завідувач кафедри

д.т.н., професор

(науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

Сергій ЄПІФАНОВ

(ім'я та прізвище)

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 134 «Авіаційна та ракетнокосмічна техніка» (код і найменування) Освітня програма Авіаційні двигуни та енергетичні установки (найменування) Рівень вищої освіти: другий (магістерський)	<i>Вибіркова</i>
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2024/2025
Індивідуальне завдання		Семестр
(назва)		3-й
Загальна кількість годин – кількість годин 40*/120		Лекції*
		24 год.
		Практичні, семінарські*
		16 год.
		Лабораторні*
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2,5 самостійної роботи здобувача – 5		-
		Самостійна робота
		80 год.
		Вид контролю
		модульний контроль, іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання: – 40¹⁾/80

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

2 Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення дисципліни є додати до знань студентів в області робочих процесів, конструкції, систем і агрегатів газотурбінних двигунів нових знань з надійності.

Завдання вивчити теоретичний курс теорії надійності .

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

Загальні компетентності: ЗК4 - навички використання інформаційних і комунікаційних технологій, ЗК5 - здатність працювати у команді, ЗК6 - здатність генерувати нові ідеї (креативність), ЗК7 - здатність приймати обґрунтовані рішення, ЗК8 - здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Спеціальні (фахові) компетентності: ФК1 - здатність використовувати теорії динаміки польоту та керування при проектуванні об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки, ФК3 - здатність призначати оптимальні матеріали для елементів конструкції авіаційної та ракетно-космічної техніки, ФК4 - здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність, ФК7 - навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.

Програмні результати навчання: ПРН3 - Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності, ПРН4 - Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі, ПРН5 - Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі, ПРН7 - Володіти логікою та методологією наукового пізнання, що ґрунтується на розумінні сучасного стану і методології предметної області, ПРН8 - Дотримуватися вимог галузевих нормативних документів щодо процедур проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки на всіх етапах їх життєвого циклу, ПРН10 - Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу, ПРН15 - Застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проектування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки, ПРН16 - Обчислювати напружено-деформований стан, визначати несійну здатність конструктивних елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Пре-реквізити: Математичний аналіз, Фізика, Теоретична механіка та Теорія машин і механізмів, Теорія і розрахунок лопатевих машин, Динаміка та міцність АД та ЕУ .

Ко-реквізити: Надійність елементів АД і ЕУ.

3 Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

Лекційні заняття

ТЕМА 1. Економічний аспект надійності. Надійність і безпека польотів. Міжнародні та державні стандарти, що регламентують рівень надійності об'єктів АКТ. Основні напрямки забезпечення високого рівня надійності об'єктів АКТ. Надійність як наука. Надійність, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, зберігання. Працездатний стан. Несправність. Відмова. Класифікація відмов. Відновлення працездатного стану. Ремонт. Льотні пригоди (руйнування, аварія, катастрофа).

ТЕМА 2. Кількісні характеристики надійності. Призначення показників надійності. Вимоги, які пред'являють до показників надійності. Одиночні і комплексні показники надійності. Кількісні характеристики безвідмовності. Кількісні характеристики довговічності. Кількісні характеристики ремонтпридатності. Кількісні характеристики зберігання. Комплексні показники надійності

ТЕМА 3. Особливості авіаційних ГТД. Основні засоби забезпечення надійності авіаційних двигунів. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок при їх проектуванні. Обґрунтування, вибір та формування схеми двигуна. Загальна конструктивна компоновка двигуна. Конструктивна розробка двигуна та його агрегатів. Аналіз рівня надійності двигуна. Спеціальні випробування щодо перевірки експлуатаційної надійності АД і ЕУ. Швидкісні еквівалентні і циклічні випробування. Аналіз факторів, котрі впливають на вичерпання ресурсу основних вузлів та обґрунтування еквівалентних випробувань ГТД. Методи підтвердження заданих кількісних показників надійності. Метод гістограм. Метод поступового аналізу (метод Вальда). Метод інтервалів. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок при їх виробництві. Вплив виробництва на надійність авіаційних двигунів та енергетичних установок. Технологічні процеси, які підвищують надійність авіаційних двигунів та енергетичних установок. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок під час їх експлуатації. Моделі експлуатації (за ресурсом і за станом) робота АД і ЕУ. Характеристики процесів обслуговування і ремонту АД і ЕУ. Регламент технічного обслуговування. Контроль стану АД і ЕУ під час експлуатації. Методи технічного діагностування і їх застосування для аналізу стану авіаційних двигунів і енергетичних установок.

Змістовий модуль 2.

Лекційні заняття

ТЕМА 1. Складні системи та їх характеристики. Метод структурних схем. Формули послідовного і паралельного з'єднання елементів системи. Метод логічних схем. Використання комбінаторних формул для визначення надійності систем. Методи підвищення надійності шляхом резервування. Загальне та роздільне резервування. Оптимальне резервування.

ТЕМА 2. Аналіз процесу змінювання надійності авіаційних двигунів і енергетичних установок. Математичні моделі розподілу годин безвідмовної праці. Методи визначення кількісних показників надійності авіаційних двигунів і енергетичних установок. Аналіз періоду нормальної експлуатації АД і ЕУ. Визначення показників надійності. Аналіз періоду приробки авіаційних двигунів і енергетичних установок. Визначення часу випробувань для забезпечення потрібного рівня надійності. Аналіз періоду старіння та зношення елементів АД і ЕУ. Надійність АД і ЕУ з урахуванням раптових та поступових відказів АД і ЕУ. Причини, що викликають втрату працездатності машин. Вплив метеорологічних факторів на властивості конструкційних матеріалів. Вплив температурного стану деталей АД і ЕУ на працездатність. Розрахунок надійності деталей АД і ЕУ з урахуванням температурного стану. Фізика раптових відмов. Модель “Навантаження – Міцність” для раптових відмов. Розрахунок надійності основних елементів АД і ЕУ за обліком раптових відмовлень. Методи визначення статистичних характеристик навантаження і міцності (метод лінеаризації, метод Монте-Карло). Фізика поступових відмов. Моделі накопичування ушкоджень. Модель “Навантаження – Міцність” для поступових відмов. Розрахунок надійності деталей АД і ЕУ з обліком поступових відмовлень. Розрахунок надійності елементів з урахуванням повторно-статичного навантаження. Розрахунок надійності деталей АД і ЕУ з урахуванням тривалої міцності. Визначення імовірності не зруйнування деталей наприкінці ресурсу за критеріями міцності. Нормування рівня надійності АД і ЕУ.

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. Основи надійності.	14	4	-	-	10
ТЕМА 2. Моделі розподілу годин безвідмовної роботи	24	5	2	-	15
ТЕМА 3. Забезпечення надійності об'єктів АКТ.	17	2	-	-	15
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	54	12	2	0	40
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 1. Моделі раптових та поступових відмов.	46	6	12	-	30
ТЕМА 2. Надійність складних систем.	17	5	2	-	10
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 2	66	12	14	0	40
Усього годин	120	24	16	0	80

5 Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість Годин
1	Рзрахунок надійності лопатки турбіни на ЄОМ з урахуванням миттєвих відмов.	4
2	Визначення потрібного коефіцієнта запасу міцності	1
3	Розрахунок надійності лопатки турбіни при повторно-статичном навантаженні.	3
4	Розрахунок надійності лопатки турбіни з урахуванням тривалої міцності.	3
5	Прогнозування довговічності лопатки турбіни.	1
6	Визначення кількісних показників надійності ГТУ	2
7	Аналіз схемної надійності систем ГТУ.	2
	Разом	16

6 Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основи надійності	10
2	Моделі розподілу годин безвідмовної роботи	15
3	Забезпечення надійності об'єктів АКТ	15
4	Моделі раптових та поступових відмов.	30
5	Надійність складних систем.	10
	Разом	80

7 Методи навчання

Основні форми навчання:

- лекційна;

- практичні роботи;
- самостійна робота студента;
- іспит.

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 практичних робіт базується на виконанні студентами розрахунків параметрів надійності деталей ГТД.

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

8 Методи контролю

8.1 Тестування

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Основи надійності та її забезпечення..
2. Міцнісна надійність та адійність складних систем.

Складання модуля 1 – на 7-му тижні (один раз), складання модуля 2 – на 14-му тижні (один раз).

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

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

Семестр 3 – *іспит*.

8.2 Питання для самостійної роботи студентів

Модуль 1

1. Основні напрямки забезпечення високого рівня надійності об'єктів АКТ.
2. Надійність, безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність, зберігання.
3. Працездатний стан. Несправність. Відмова. Класифікація відмов. Відновлення працездатного стану. Ремонт.
4. Льотні пригоди (руйнування, аварія, катастрофа).
5. Кількісні характеристики надійності. Призначення показників надійності. Вимоги, які пред'являють до показників надійності.
6. Одиночні і комплексні показники надійності.
7. Кількісні характеристики безвідмовності.
8. Кількісні характеристики довговічності.
9. Кількісні характеристики ремонтпридатності.
10. Кількісні характеристики зберігання.
11. Комплексні показники надійності
12. Аналіз процесу змінювання надійності авіаційних двигунів і енергетичних установок.
13. Математичні моделі розподілу годин безвідмовної праці.
14. Особливості авіаційних ГТД. Основні засоби забезпечення надійності авіаційних двигунів.
15. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок при їх проектуванні.
16. Обґрунтування, вибір та формування схеми двигуна. Загальна конструктивна компоновка двигуна.
17. Конструктивна розробка двигуна та його агрегатів.

18. Аналіз рівня надійності двигуна.
19. Спеціальні випробування щодо перевірки експлуатаційної надійності АД і ЕУ.
20. Швидкісні еквівалентні і циклічні випробування.
21. Аналіз факторів, котрі впливають на вичерпання ресурсу основних вузлів та обґрунтування еквівалентних випробувань ГТД.
22. Методи підтвердження заданих кількісних показників надійності.
23. Метод гістограм. Метод поступового аналізу (метод Вальда).
24. Метод інтервалів.
25. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок при їх виробництві.
26. Вплив виробництва на надійність авіаційних двигунів та енергетичних установок.
27. Технологічні процеси, які підвищують надійність авіаційних двигунів та енергетичних установок.
28. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок під час їх експлуатації.
29. Моделі експлуатації (за ресурсом і за станом) робота АД і ЕУ.
30. Характеристики процесів обслуговування і ремонту АД і ЕУ. Регламент технічного обслуговування.
31. Контроль стану АД і ЕУ під час експлуатації.
32. Методи технічного діагностування і їх застосування для аналізу стану авіаційних двигунів і енергетичних установок.

Модуль 2

1. Методи визначення кількісних показників надійності авіаційних двигунів і енергетичних установок.
2. Аналіз періоду нормальної експлуатації АД і ЕУ.
3. Аналіз періоду приробки авіаційних двигунів і енергетичних установок. Визначення часу випробувань для забезпечення потрібного рівня надійності.
4. Аналіз періоду старіння та зношення елементів АД і ЕУ.
5. Надійність АД і ЕУ з урахуванням раптових та поступових відказів АД і ЕУ.
6. Причини, що викликають втрату працездатності машин. Вплив метеорологічних факторів на властивості конструкційних матеріалів.
7. Вплив температурного стану деталей АД і ЕУ на працездатність.
8. Розрахунок надійності деталей АД і ЕУ з урахуванням температурного стану.
9. Фізика раптових відмов. Модель “Навантаження – Міцність” для раптових відмов.
10. Розрахунок надійності основних елементів АД і ЕУ за обліком раптових відмовлень.
11. Методи визначення статистичних характеристик навантаження і міцності (метод лінеаризації, метод Монте-Карло).
12. Фізика поступових відмов.
13. Моделі накопичування ушкоджень. Модель “Навантаження – Міцність” для поступових відмов.
14. Розрахунок надійності деталей АД і ЕУ з обліком поступових відмовлень.
15. Розрахунок надійності елементів з урахуванням повторно-статичного навантаження.
16. Розрахунок надійності деталей АД і ЕУ з урахуванням тривалої міцності.
17. Визначення імовірності не зруйнування деталей наприкінці ресурсу за критеріями міцності. Нормування рівня надійності АД і ЕУ.
18. Складні системи та їх характеристики.
19. Метод структурних схем.
20. Формули послідовного і паралельного з’єднання елементів системи.
21. Метод логічних схем.
22. Використання комбінаторних формул для визначення надійності систем.
23. Методи підвищення надійності шляхом резервування.

24. Загальне та роздільне резервування. Оптимальне резервування.
- 25.
26. Вплив виробництва на надійність авіаційних двигунів та енергетичних установок.
27. Технологічні процеси, які підвищують надійність авіаційних двигунів та енергетичних установок.
28. Забезпечення надійності авіаційних двигунів та енергетичних установок під час їх експлуатації.
29. Моделі експлуатації (за ресурсом і за станом) робота АД і ЕУ.
30. Характеристики процесів обслуговування і ремонту АД і ЕУ. Регламент технічного обслуговування.
31. Контроль стану АД і ЕУ під час експлуатації.
32. Методи технічного діагностування і їх застосування для аналізу стану авіаційних двигунів і енергетичних установок.

9 Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

9.1 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	6	0...6
Виконання і захист практичних робіт	2...4	1	2...4
Модульний контроль	23...30	1	23...30
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Виконання і захист практичних робіт	2...4	6	12...24
Модульний контроль	23...30	1	23...30
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 запитань: теоретичних та практичного. Теоретичні запитання беруться зі змістовних модулів друге запитання – тематика розрахунково-графічної роботи.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 20.

9.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- Основні показники надійності газотурбінних двигунів;
- номенклатуру кількісних показників ;
- математичні моделі розподілу годин безвідмовної роботи;
- методи аналізу складних систем;
- основні засоби забезпечення надійності авіаційних двигунів.

вміти:

- визначати потрібний запас міцності;

- виконувати розрахунок міцностної надійності;
- виконувати розрахунок надійності складних систем.

9.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні. Виконати та захистити індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати математичні моделі різних періодів життєвого циклу двигуна. Формули послідовного і паралельного з'єднання елементів системи. Вміти розраховувати відносну величину накопичувальних пошкоджень від різних факторів. .

Добре (75-89). Усі вимоги, які необхідні для оцінки задовільно Знати тенденції зростання температури перед турбіною та внесок у цей процес розвитку систем охолодження. Вміти визначити потрібний запас міцності. Вміти розрахувати надійність деталі з урахування раптових та поступових відмов. Вміти використовувати метод логічних та структурних схем для аналізу складних систем.

Відмінно (90-100). Усі вимоги, які необхідні для оцінки добре. Знати методи підтвердження кількісних показників. Вміти обґрунтування вибір схеми двигуна. Вміти аналізувати вплив виробництва на надійність. Знати технологічні процеси, які підвищують надійність. Забезпечення надійності двигунів під час їх експлуатації.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

10 Методичне забезпечення

1. Дидактичні матеріали (наочні посібники).
2. Розрахункові та контрольні програми ПЕОМ:
 - «Моделювання статистичних даних методом Монте-Карло на етапі приробітки» (isp);
 - «Моделювання статистичних даних методом Монте-Карло на етапі нормальної експлуатації» (norma);
 - «Моделювання статистичних даних методом Монте-Карло на етапі старіння» (isnos);
 - «Програма розрахунку математичного очікування робочих навантажень, виникаючих у робочій лопатці та їх відхилень» (n_lor);
3. Методичні розробки каф. 203 з методиками розрахунків та варіантами завдань.

11 Рекомендована література

Базова

1. Коспект лекцій.
2. Основи теорії надійності повітряних суден та авіаційних двигунів: В.І. Бурлаков, С.В. Ленков, Р.М. Салімов. -К.: НАУ, 2004. -172 с.
3. Розрахунок надійності деталей авіаційних газотурбінних дви-гунів [Текст] : навч. посіб. / Р. Л. Зеленський. – Харків : Нац. аеро-косм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2024. – 136 с.

Додаткова

1. Кузнєцов Н.Д., Цейтлін В.І. Еквівалентні випробування газотурбінних двигунів. -М: Машинобудування, 1976. 213 с.
2. Проніков, А. С. Надійність машин [Текст] / А. С. Проніков. - М.: Машинобудування. - 1978.
3. Акімов, В. М. Основи надійності газотурбінних двигунів [Текст] / В. М. Акімов. - М.: Машинобудування, 1984. - 207 с.

12 Інформаційні ресурси

Електронні посібники по лабораторним заняттям.