

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)

О. В. Білогуб

(ініціали та прізвище)

« 30 » 08 2021

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ АД І ЕУ

(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 2021

Розробник Зеленський Роман Леонідович, доцент, к.т.н.
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
Конструкції авіаційних двигунів
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » 08 2021.

Завідувач кафедри д.т.н, професор
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

С. В. Єніфанов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки (спеціальність, спеціалізація), рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		денна форма навчання
Кількість кредитів – 5	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія» (шифр і назва)	Обов'язкова
Кількість модулів – 2	Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (шифр і назва)	Навчальний рік 2021 / 2022
Кількість змістових модулів – 2		Семестр 2-й група 252м Лекції *
Індивідуальне завдання (назва)		
Загальна кількість годин – 40*/110		
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2,5 самостійної роботи студента – 6.88	Освітня програма: Авіаційні двигуни та енергетичні установки (найменування)	24 год.
		Практичні, семінарські *
	Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)	Лабораторні *
		16 год.
		Самостійна робота
		110 год.
		Вид контролю іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
для денної форми навчання: – 40 / 110;

* 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 додання до знань студентів в області робочих процесів, конструкції, систем і агрегатів газотурбінних двигунів нових знань по діагностуванню їх технічного стану спеціальними інструментальними засобами і за вимірюваними в експлуатації параметрами.

Завдання вивчити теоретичний курс.

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. ЗК7 – визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов’язків, ЗК8 – здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень.

Спеціальні (фахові) компетентності: ФК1 – орієнтування в історії, сучасному стані, проблемах та перспективах розвитку 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 ставити та вирішувати професійні задачі на основі знань та розуміння гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних систем.

Програмні результати навчання: ПРН1 – вміння розв’язувати складні інженерні завдання і проблеми авіаційної та / або ракетно-космічної техніки, що потребує оновлення та інтеграції знань, у тому числі в умовах неповної / недостатньої інформації та суперечливих вимог, ПРН2 – вміння критично осмислювати проблеми авіаційної та/або ракетно-космічної техніки, у тому числі на межі із суміжними галузями, інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою, ПРН6 – навички прийняття рішень при виникненні нестандартних складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності в умовах невизначеності умов та вимог, наявності спектра думок та обмеженості часу, ПРН7 – вміння зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки з проблем авіаційної та ракетно-космічної техніки, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються, ПРН9 – готовність до подальшого навчання у сфері авіаційної та ракетно-космічної техніки, механічної інженерії і дотичних галузей знань, яке значною мірою є автономним та самостійним, ПРН20 – вміння використовувати на практиці сучасні методи, способи та засоби проектування, виробництва, ремонту, складання, випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки для різних типів промислового виробництва, ПРН24 – вміння формулювати та розв’язувати науково-технічні задачі з розроблення новітніх зразків систем та елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на основі знань та розуміння особливостей їх конструкції та робочих процесів.

Пре-реквізити: Вища математика, Фізика, Теоретична механіка, Термодинаміка і теплообмін, Конструкція і динаміка АД і ЕУ.

Ко-реквізити: Автоматизовані системи діагностики АД і ЕУ

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1.

ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Стратегії експлуатації та роль діагностики в їх забезпеченні. Проблема оцінки стану технічних об’єктів. Вимоги щодо її розв’язання на різних етапах життєвого циклу АД та ЕУ. Функціональна та тестова діагностика. Пошук несправностей. Прогнозування. Історія роз-

витку методів оцінки технічного стану авіаційних двигунів у виробництві, випробуваннях та експлуатації. Експлуатація виробів за технічним станом.

ТЕМА 2. Системи діагностування ГТД. Системи візуального відображення. Системи на основі аварійних реєстраторів параметрів польоту. Системи, що базуються на використанні експлуатаційних реєстраторів. Системи на основі загальнолітакової БАСК. Системи з БСКД. Типова схема інформаційного обміну двигунової установки в складі загальнолітакової інформаційної системи. Основні елементи систем діагностування: вимірювачі, канали інформаційного обміну, обчислювальні пристрої, реєстратори. Приклади конкретних бортових та наземних систем діагностичного аналізу. Історична ретроспектива розвитку систем.

ТЕМА 3. Засоби збору, передачі, обробки та реєстрації діагностичної інформації. Системи вимірювання обертів, температури робочого тіла, витрати палива, лінійних та кутових пересувань, параметрів вібрації. Сигналізатори граничних значень параметрів, наявності стружки в олії та ін. Аналого-цифрові перетворювачі (частотуо-імпульсні, імпульсно-частотні та з поразрядним кодуванням). Послідовні канали обміну інформацією (радіальний та мультиплексний). Фотографічні, магнітні та твердотільні накопичувачі інформації.

ТЕМА 4. Засоби обробки діагностичної інформації. Апаратна реалізація бортової системи контролю двигунів (БСКД). Структурно-функціональні схеми блоків БОІ та БСП. Пам'ять, її різновиди та призначення. Функціональне програмне забезпечення БСКД. Системне програмне забезпечення ЕОМ. Технологія розробки, випробувань та сертифікації програмного забезпечення БСКД. Наземні системи діагностування.

Змістовий модуль 2.

ТЕМА 1. Опис діагностичної інформації методами теорії ймовірностей та математичної статистики. Дискретні та безперервні випадкові величини. Функції накопиченої ймовірності та щільності ймовірності. Типові розподіли. Нормальний закон розподілу, його роль у технічних задачах. Основні перетворення випадкових величин. Параметри розподілу. Основи математичної статистики. Оцінки та їх властивості. Вибіркові розподіли. Аналіз завдань прямих та непрямих вимірювань.

ТЕМА 2. Теорія перевірки статистичних гіпотез. Аналіз завдань діагностики як завдань перевірки статистичних гіпотез. Похибки першого та другого роду. Метод мінімального середнього ризику. Метод мінімальної кількості помилкових рішень. Метод Неймана-Пірсона.

Змістовий модуль 3.

ТЕМА 1. Методи допускового контролю ГТД. Допусковий контроль параметрів двигуна за граничними значеннями. Методика визначення вірогідності діагностування та призначення граничних значень. Допусковий контроль за відхиленнями від базових значень. Методика ідентифікації математичних моделей нормального стану об'єктів. Визначення оптимальних допусків для контролю за відхиленнями параметрів від базових значень. Мажоритарні методи підвищення вірогідності контролю.

ТЕМА 2. Методи тренд-аналізу. Завдання та напрямки параметричної діагностики. Допусковий контроль і тренд-аналіз. Переваги та недоліки обох методів. Допусковий контроль: поняття та способи реалізації. Переваги і недоліки. Поняття і завдання тренд-аналізу. Параметричні критерії тренда. Інтегральний критерій S – критерій, D -критерій та E -критерій. Непараметричні критерії тренда. g -критерій Хальда Аббе, Φ – критерій Фішера, D -критерій та E -критерій, модифікований g -критерій. Показники ефективності критеріїв тренда і фактори, що впливають на них. Підготовка даних для параметричного діагностування. Розрахунок діагностичних ознак. Відсів помилок вимірювань. Розрахунок діагностичних ознак. Приведення параметрів до стандартних атмосферних умов.

ТЕМА 3. Елементи теорії інформації. Вимірювання інформації. Діагностичні ознаки стану об'єкту діагностування. Діагностична вага ознак стану технічного об'єкту. Контролепридатність авіаційної техніки. Показники контролепридатності.

Змістовий модуль 4.

ТЕМА 1. Методи розпізнавання дефектів ГТД. Методи пошуку несправностей ГТД: емпіричний підхід та підхід, що заснований на використанні математичної моделі об'єкта. Формування діагностичних математичних моделей авіаційних двигунів як об'єктів діагностування. Ідентифікація математичних моделей. Визначення вірогідності розпізнавання станів двигуна. Синтез системи вимірювання для діагностування.

ТЕМА 2. Інструментальні методи діагностування ГТД. Візуально-оптичне діагностування проточної частини. Ендоскопи, бороскопи. Приклади припустимих пошкоджень проточної частини. Діагностування технічного стану підшипників. Діагностування осевого зсуву вала. Виявлення ерозійного зношування елементів проточної частини електростатичним зондуванням.

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	7
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Вступ до дисципліни. Завдання діагностики на різних етапах життєвого циклу двигуна	5	1	-	-	4
ТЕМА 2. Системи діагностування ГТД	12	2	-	4	4
ТЕМА 3. Засоби збору, передачі, обробки та реєстрації діагностичної інформації	12	4	-	2	6
ТЕМА 4. Теорія перевірки статистичних гіпотез	16	4	-	4	8
ТЕМА 5. Опис діагностичної інформації методами теорії ймовірностей та математичної статистики	22	-	-	2	22
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	68	12	0	12	44
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 1. Методи допускового контролю ГТД.	17	3	-		14
ТЕМА 2. Методи тренд-аналізу.	16	4	-	4	8
ТЕМА 3. Діагностична цінність ознак і контролепридатність	20	4	-	-	16
ТЕМА 4. Методи розпізнавання дефектів ГТД	14				14
ТЕМА 5. Інструментальні методи діагностування ГТД	14				14
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 2	72	12	-	4	66
Усього годин	150	24	-	16	110

5. Темі семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		0
	Разом	0

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Разом	0

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Похибки заходів вимірювання	2
2	Використання математичних моделей для діагностування ГТД	4
3	Методи статистичних рішень	4
4	Показники достовірності діагностування ГТД	2
5	Трендовый анализ основных параметров двигателя. Сравнение эффективности критериев тренда	4
	Разом	16

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Концепції експлуатації авіаційної техніки	4
2	Системи діагностування ГТД	4
3	Засоби вимірювання параметрів ГТД	6
4	Основи теорії ймовірностей	8
5	Основи математичної статистики	14
6	Методи перевірки статистичних гіпотез	8
7	Методи допускового контролю ГТД	14
8	Методи тренд-аналізу	8
9	Діагностична цінність ознак	16
11	Методи розпізнавання дефектів ГТД	14
12	Інструментальні методи діагностування ГТД	14
	Разом	110

9. Індивідуальне завдання

10. Методи навчання

Основні форми навчання:

- лекційна;
- лабораторні 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 лабораторних робіт базується на словесному (аналітичному) описанні об'єкта. Під час проведення лабораторних робіт використовується бригадний характер праці студентів.

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 проведення лабораторних робіт.

11. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Засоби збору діагностичної інформації. Методи статистичних рішень.
2. Методи допускового контролю та тренд аналізу.

Складання модуля 1 – на 9-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*.

Семестр 2 – *іспит*.

11.2. Питання для самостійної роботи студентів

Модуль 1

1. Предмет вивчення та задачі дисципліни.
2. Стратегії експлуатації та роль діагностики в їх забезпеченні.
3. Проблема оцінки стану технічних об'єктів.
4. Вимоги щодо її розв'язання на різних етапах життєвого циклу АД та ЕУ.
5. Функціональна та тестова діагностика.
6. Пошук несправностей. Прогнозування. Історія розвитку методів оцінки технічного стану авіаційних двигунів у виробництві, випробуваннях та експлуатації.
7. Системи діагностування ГТД.
8. Системи візуального відображення.
9. Системи на основі аварійних реєстраторів параметрів польоту.
10. Системи, що базуються на використанні експлуатаційних реєстраторів.
11. Системи на основі загальнолітакової БАСК.
12. Системи з БСКД.
13. Типова схема інформаційного обміну двигунової установки в складі загальнолітакової інформаційної системи.
14. Основні елементи систем діагностування: вимірювачі, канали інформаційного обміну, обчислювальні пристрої, реєстратори.
15. Приклади конкретних бортових та наземних систем діагностичного аналізу. Історична ретроспектива розвитку систем.
16. Засоби збору, передачі, обробки та реєстрації діагностичної інформації.
17. Системи вимірювання обертів, температури робочого тіла, витрати палива, лінійних та кутових пересувань, параметрів вібрації.
18. Сигналізатори граничних значень параметрів, наявності стружки в олії та ін.
19. Аналого-цифрові перетворювачі (частотуо-імпульсні, імпульсно-частотні та з поразрядним кодуванням).
20. Опис діагностичної інформації методами теорії ймовірностей та математичної статистики.
21. Дискретні та безперервні випадкові величини.
22. Методи розпізнавання дефектів ГТД.
23. Методи пошуку несправностей ГТД: емпіричний підхід та підхід, що заснований на використанні математичної моделі об'єкта.
24. Формування діагностичних математичних моделей авіаційних двигунів як об'єктів діагностування.
25. Ідентифікація математичних моделей.
26. Визначення вірогідності розпізнавання станів двигуна. Синтез системи вимірювання для діагностування.

27. Функції накопиченої ймовірності та щільності ймовірності.
28. Нормальний закон розподілу, його роль у технічних задачах.
29. Основні перетворення випадкових величин.
30. Основи математичної статистики.
31. Оцінки та їх властивості.
32. Аналіз завдань прямих та непрямих вимірювань.
33. Теорія перевірки статистичних гіпотез.
34. Аналіз завдань діагностики як завдань перевірки статистичних гіпотез.
35. Похибки першого та другого роду.
36. Метод мінімального середнього ризику.
37. Метод мінімальної кількості помилкових рішень.
38. Метод Неймана-Пірсона.

Змістовий модуль 2.

1. Методи допускового контролю ГТД.
2. Допусковий контроль параметрів двигуна за граничними значеннями.
3. Методика визначення вірогідності діагностування та призначення граничних значень.
4. Допусковий контроль за відхиленнями від базових значень.
5. Методика ідентифікації математичних моделей нормального стану об'єктів.
6. Визначення оптимальних допусків для контролю за відхиленнями параметрів від базових значень
7. Мажоритарні методи підвищення вірогідності контролю.
8. Методи тренд-аналізу.
9. Завдання та напрямки параметричної діагностики.
10. Допусковий контроль і тренд-аналіз.
11. Переваги та недоліки обох методів.
12. Поняття і завдання тренд-аналізу.
13. Параметричні критерії тренда.
14. Інтегральний критерій S – критерій, D-критерій та E-критерій.
15. Непараметричні критерії тренда. g -критерій Хальда Аббе, Φ – критерій Фішера, D-критерій та E-критерій, модифікований g -критерій.
16. Показники ефективності критеріїв тренда і фактори, що впливають на них.
17. Підготовка даних для параметричного діагностування.
18. Розрахунок діагностичних ознак.
19. Відсів помилок вимірювань.
20. Розрахунок діагностичних ознак.
21. Приведення параметрів до стандартних атмосферних умов.
22. Елементи теорії інформації.
23. Вимірювання інформації.
24. Діагностичні ознаки стану об'єкту діагностування.
25. Діагностична вага ознак стану технічного об'єкту.
26. Контролепридатність авіаційної техніки.
27. Показники контролепридатності.
28. Інструментальні методи діагностування ГТД.
29. Візуально-оптичне діагностування проточної частини.
30. Ендоскопи, бороскопи.
31. Приклади припустимих пошкоджень проточної частини.
32. Діагностування технічного стану підшипників.

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	6	0...3
Виконання і захист лабораторних робіт	3...5	4	12...20
Модульний контроль	20...30	1	20...30
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист лабораторних	3...5	1	3...5
Модульний контроль	25...39	1	25...39
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.

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

Білет для іспиту складається з двох запитань з першого та другого модуля.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 20.

12.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- Основні засоби збору інформації;
- Методи статистичних рішень;
- Методи тренд-аналізу.

вміти:

- використовувати математичні моделі для діагностування;
- визначати граничні значення вимірювальних параметрів для переходу з одного стану в інший;
- використовувати теорію інформації

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні.. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати основні методи діагностування. Вміти використовувати методи статистичних рішень.

Добре (75-89). Усі вимоги, які необхідні для оцінки задовільно Знати засоби збору інформації. Знати методи допускового контролю та тренд-аналізу..

Відмінно (90-100). Усі вимоги, які необхідні для оцінки добре. Знати методи теорії ймовірності та математичної статистики. Знати методи розпізнавання дефектів. Знати методи неруйнівного діагностування.

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. <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=4717>
2. Дидактичні матеріали (наочні посібники).
2. Розрахункові та контрольні програми ПЕОМ:
 - «Математична модель ГТД» (Models);
 - «Показники достовірності діагностування ГТД» (Rapid);
 - «Похибки заходів вимірювання» (Project).
3. Методичні розробки каф. 203 з методиками розрахунків та варіантами завдань.

14. Рекомендована література

Базова

1. Биргер, И. А. Техническая диагностика [Текст]. - М. : Машиностроение. 1978. – 240 с.
2. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники [Текст] / В. И. Ямпольский и др. - М. : Транспорт. 1990. – 182 с.
3. Практическая диагностика авиационных газотурбинных двигателей [Текст] ; под ред. В. П. Степаненко. - М. : Транспорт. 1985.
4. Ахмедзянов, А. М. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам [Текст] / А. М. Ахмедзянов, Н. Г. Дубравский, А. П. Тунаков. – М. : Транспорт. – 1979.
5. Технические средства диагностирования [Текст] : справочник / В. В. Ключев, П. П. Пархоменко, В. Е. Абрамчук и др. ; под ред. В. В. Ключева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.
6. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Елисеев, В. В. Крымов, К. А. Малиновский и др. – М. : Высшая школа: 2002. – 305 с.
7. Закс, Л. Статистическое оценивание [Текст] / Л. Закс. – М. : Статистика, 1977. – 425 с.

Додаткова

1. Синтез систем управления и диагностирования газотурбинных двигателей [Текст] / С. В. Епифанов, Б. И. Кузнецов, И. Н. Богаенко [Текст]. – К. : Техніка, 1998. – 312 с.
2. Смирнов, Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию [Текст] / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. - М. : Транспорт. 1987. – 272 с.
3. Никонова, И. А. Техничко-економическая эффективность авиационных ГТД в эксплуатации [Текст] / И. А. Никонова, В. Т. Шепель. - М. : Машиностроение. 1989.
4. Мозгалеvский, А. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты) [Текст] / А. В. Мозгалеvский, Д. В. Гаскаров. - М. : Высшая школа. 1975. – 207 с.
5. Основы технической диагностики [Текст] ; под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия. 1976. – 460 с. – Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза
6. Лозицкий, Л. П. Оценка технического состояния авиационных ГТД [Текст] / Л. П. Лозицкий, А. К. Янко, В. Ф. Лапшов. - М. : Транспорт. – 1982.
7. Кеба, И. В. Диагностика авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / И. В. Кеба. - М. : Транспорт. – 1980. – 240 с.
8. Сиротин, Н. Н. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей [Текст] / Н. Н. Сиротин, Ю. М. Коровкин. - М. : Машиностроение. – 1979. – 271 с.
9. Руководства по эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей.