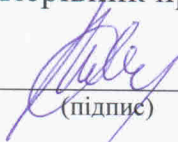


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Керівник проектної групи


(підпис)

О.В. Білогуб
(ініціали та прізвище)

« _____ » _____ 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВІБРОАКУСТИКА АД І ЕУ

(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

Авіаційні двигуни та енергетичні установки

(найменування освітньої програми)

Форма навчання

денна

Рівень вищої освіти

другий (магістерський)

Харків 2021 рік

Робоча програма Віброакустика АД і ЕУ
(назва дисципліни)
для студентів за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
освітньою програмою Авіаційні двигуни та енергетичні установки

« 1 » _____ червня _____ 2021 р, _____ 8 _____ с.

Розробник: Чигрин Валентин Семенович, к.т.н., професор
(прізвище та ініціали, посада, наукова ступінь та вчене звання) _____
(підпис)

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

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2021 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор
(наукова ступінь та вчене звання) _____
(підпис) _____
С. В. Єніфанов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 3,5	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія» (шифр і назва)	Вибіркова
Кількість модулів – 1	Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (шифр і назва) Освітня програма: «Авіаційні двигуни і енергетичні установки» (назва)	Навчальний рік 2021 / 2022
Кількість змістових модулів – 2		Семестр
Індивідуальне завдання (назва)		
Загальна кількість годин – денна 32*/105		2-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 2 самостійної роботи студента – 4,6	Рівень вищої освіти: <u>Другий (магістерський)</u>	Лекції *
		16 год.
		Практичні, семінарські *
		16 год.
		Лабораторні *
		-
		Самостійна робота
		73 год.
		Вид контролю
		іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить– 32 / 73.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: дати студентам знання, навички і уміння, необхідні для віброакустичної діагностики авіаційних двигунів та енергетичних установок.

Завдання: проаналізувати ГТД як об'єкт віброакустичного діагностування, розшифровувати і аналізувати вібросигнал за допомогою перетворення Фур'є

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

Загальні компетентності: *Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми. Здатність до проведення досліджень для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності. Навички використання новітніх інформаційних технологій. Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків. Здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *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. Здатність ставити та вирішувати професійні задачі на основі знань та розуміння гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних систем.*

Програмні результати навчання: *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. Вміння використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми. 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. Готовність до подальшого навчання у сфері авіаційної та ракетно-космічної техніки, механічної інженерії і дотичних галузей знань, яке значною мірою є автономним та самостійним. Розуміння принципів навички обґрунтованого призначення показників якості об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Навички організації виконання складних завдань у професійній діяльності шляхом послідовного та якісного виконання їхніх окремих етапів, в тому числі з залученням колективу виконавців.*

Пререквізити – Вища математика, Фізика, Конструкція авіаційних двигунів, Динаміка авіаційних двигунів, Системи і агрегати авіаційних двигунів

Кореквізити – Комп'ютерно-інтегровані системи проектування, Інтеграція експлуатаційних характеристик силової установки і планера ЛА, Ресурсне проектування і випробування АД і ЕУ

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1

ВІБРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ГТД

Лекційні заняття

ТЕМА 1. Ціль і порядок вивчення дисципліни. Звітність по дисципліні. Термінологія. Історія розвитку віброакустики. Віброакустика. Віброакустична діагностика. Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Перелік задач віброакустичної діагностики і напрямки їх рішення. Структура систем віброакустичної діагностики. Історія розвитку віброакустичної діагностики.

ТЕМА 2. Вібрація в авіаційних ГТД, параметри, які характеризують вібрації, суперпозиція коливань. Спектри періодичних і неперіодичних коливань, квазіполігармонічні коливання. Аналіз часових рядів у задачах віброакустики.

ТЕМА 3. Роторна вібрація, вібрація аеродинамічного походження; вібрація, яка збуджується процесами в газоповітряному тракті; вібрація, яка збуджується редукторами і зубчастими передачами; вібрація підшипникових вузлів; вібрація, яка збуджується коливаннями лопаток і дисків. Акустичний шум ГТД. Вібрація агрегатів і трубопроводів. Вібрація силового корпусу ГТД. Особливості вібрації в ДВЗ. Приклади реальних віброакустичних сигналів справних і дефектних об'єктів. Боротьба з небезпечними вібраціями і акустичними шумами в двигунах.

ТЕМА 4. Математичні моделі вібрації. Динамічна модель ГТД. Моделі вібрації агрегатів. Особливості коливань параметричних і нелінійних систем.

Модульний контроль

Змістовий модуль 2 МЕТОДИ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ

Лекційні заняття

ТЕМА 5. Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Задачі віброакустичної діагностики і шляхи їх рішення. Структура системи віброакустичного діагностування. Вибір місць установлення віброперетворювачів на двигуні, режимів проведення діагностичних випробувань і реєстрація віброакустичного сигналу.

ТЕМА 6. Класифікація і способи зображення віброакустичних процесів. Спектрально-кореляційний аналіз віброакустичних процесів. Характеристики випадкових процесів.

ТЕМА 7. Кліпування спектру і синхронна гребінчаста фільтрація. Кепстральний аналіз. Виявлення схованої періодичності за допомогою функції кореляції.

ТЕМА 8. Розпізнавання за зміною вібрації у процесі роботи об'єкта на підставі еталонних комплексів діагностичних ознак, методами статистичної класифікації. Розпізнавання за обмеженої кількості діагностичних ознак.

ТЕМА 9. Класифікація вимірювальних перетворювачів. Перетворювачі інерційної дії. П'єзоелектричні перетворювачі. Індукційні і індуктивні перетворювачі. Схеми перетворювачів.

ТЕМА 10. Перспективи розвитку віброакустичної діагностики.

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	7
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ВІБРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ГТД					
ТЕМА 1. Ціль і порядок вивчення дисципліни. Звітність по дисципліні.	11	2	-	-	9
ТЕМА 2. Вібрація в авіаційних ГТД, параметри, які характеризують вібрації, суперпозиція коливань.	14	2	3	-	9
ТЕМА 3. Роторна вібрація, вібрація аеродинамічного походження; вібрація, яка збуджується процесами в газоповітряному тракті; вібрація, яка збуджується редукторами і зубчастими передачами; вібрація підшипникових вузлів; вібрація, яка збуджується коливаннями лопаток і дисків.	14	2	3	-	9
ТЕМА 4. Математичні моделі вібрації. Динамічна модель ГТД.	11	1	2	-	8
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	51	8	8	-	35

Змістовий модуль 2 МЕТОДИ ВІБРОАКУСТИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ					
ТЕМА 5. Призначення і специфіка віброакустичної діагностики. Задачі віброакустичної діагностики і шляхи їх рішення.	11	2	3	-	6
ТЕМА 6. Класифікація і способи зображення віброакустичних процесів.	10	1	3	-	6
ТЕМА 7. Кліпування спектру і синхронна гребінчаста фільтрація.	7	1	-	-	6
ТЕМА 8. Розпізнавання за зміною вібрації у процесі роботи об'єкта на підставі еталонних комплексів діагностичних ознак, методами статистичної класифікації.	7	1	-	-	6
ТЕМА 9. Класифікація вимірювальних перетворювачів. Перетворювачі інерційної дії.	10	1	2	-	7
ТЕМА 10. Перспективи розвитку віброакустичної діагностики.	8	1	-	-	7
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 2	54	8	8	-	38
Контрольний захід					
Усього годин	105	16	16	-	73

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Чисельне рішення звичайних диференціальних рівнянь в середовищі візуального програмування.	2
2	Розробка математичної моделі коливальної системи	2
3	Критичний коефіцієнт демпфування	2
4	Динамічний гасник коливань	2
5	Спектральний аналіз вібросигналу	2
6	Лінійні та нелінійні системи	2
7	Спектри негармонійних коливань	1
8	Напівхвильовий гасник коливань	1
9	Метод ударних імпульсів	1
10	Суперпозиція коливань	1
	Разом	16

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Аналіз сигналу у часовій та частотній областях.	8
2	Спектри модульованих сигналів і биття.	8
3	Логарифмічна частотна шкала. Октавний та третьоктавний аналіз.	11
4	Лінійний і логарифмічний амплітудні масштаби. Децибел.	8
5	Динамічний гасник коливань.	2
6	Лінійні та нелінійні системи. Суперпозиція коливань.	5
7	Синхронна гребінчаста фільтрація.	8
8	Дослідження методу компенсації звукового поля за допомогою напівхвильового резонатора.	7
9	Спектри модульованих сигналів.	6

10	Дослідження технічного стану авіаційного двигуна за віброакустичними характеристиками.	10
	Разом	73

7. 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, 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.

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.

Питання для самостійної роботи студентів

Модуль 1

Змістовий модуль 1

1. Специфіка і задачі віброакустичної діагностики.
2. Класифікація вібраційних процесів (низькочастотні, середньочастотні, високочастотні).
3. Параметри, що характеризують вібрації ГТД.
4. Формування діагностичних параметрів вібрації.
5. Логарифмічна частотна шкала.
6. Лінійний та логарифмічний амплітудні масштаби.
7. Децибел. Децибел в вібродіагностиці.
8. Децибел в акустиці.
9. Вільні коливання системи з одним ступенем свободи без тертя.
10. Вимушені коливання системи з одним ступенем свободи без тертя.
11. Вільні коливання з в'язким опором.
12. Демпфування.
13. Критична величина демпфування.
14. Роторна вібрація.
15. Вібрація аеродинамічного походження.
16. Вібрація, збуджувана процесами в газоповітряному тракті.
17. Вібрація в редукторах та зубчастих зачепленнях.
18. Акустичний шум ГТД.
19. Вібрація агрегатів і трубопроводів.
20. Вібрація підшипникових вузлів.
21. Вібрація силового корпусу.
22. Боротьба з небезпечними вібраціями та акустичними шумами в двигуні.
23. Динамічний гасник коливань.

24. Напівхвильовий гасник коливань.

Змістовий модуль 2

1. Параметри вимірювальних перетворювачів вібрації.
2. Класифікація вимірювальних перетворювачів вібрації.
3. П'єзоелектричні перетворювачі.
4. Індукційні перетворювачів вібрації.
5. Індуктивні перетворювачів вібрації.
6. Резистивні перетворювачів вібрації.
7. Вимірювання акустичного шуму.
8. Розпізнавання дефектів за вимірюванням вібрації в процесі напрацювання.
9. Розпізнавання дефектів за еталонними комплексами діагностичних ознак.
10. Розпізнавання дисбалансу мас ротора.
11. Технологический и тепловой дисбаланс ротора.
12. Методи діагностики дефектів підшипників.
13. Діагностика підшипників за загальним рівнем вібрації.
14. Діагностика підшипників за спектром вібросигналу.
15. Діагностика підшипників з використанням пік-фактору.
16. Діагностика підшипників за спектром огинаючої.
17. Методи діагностики дефектів зубчастих зацеплень. Встановлення датчиків.
18. Діагностичні ознаки дефектів зубчастих зацеплень. Нормування рівня вібрації.
19. Діагностування спрацювання зубчастої пари.
20. Діагностування ексцентриситету шестерні зубчастої пари.
21. Діагностування розцентрування зубчастої пари і зламаного зуба.
22. Особливості коливання параметричних та нелінійних систем.
23. Спектри модульованих сигналів. Биття.

8. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито на два змістових модулі:

1. Вібраційні процеси в ГТД.
2. Методи віброакустичної діагностики ГТД.

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 1 – іспит.

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...2	4	0...8
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...4	4	8...16
Модульний контроль	22...26	1	22...26
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...2	4	0...8

Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...4	4	8...16
Модульний контроль	22...26	1	22...26
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 одного практичного завдання. Теоретичні запитання розподілено таким чином:

Перше запитання - змістовий модуль 1;

Друге запитання – змістовий модуль 2;

Практичне завдання стосується вирішення задачі з використанням пакету VisSim за тематикою лабораторних робіт.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

9.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- цілі і задачі віброакустичної діагностики;
- основні чинники вібрації і шуму в ГТД;
- типи і принцип дії датчиків вібрації;
- критерії вибору діагностичних параметрів ГТД;
- методи вібраційної діагностики підшипників ГТД;
- методи вібраційної діагностики лопатевих машин;
- методи аналізу вібраційних процесів;

вміти:

- розробляти математичні моделі коливальних систем;
- виконувати аналіз спектру вібраційних процесів в математичних пакетах;
- розробляти модель віброакустичної діагностики в математичних пакетах.

9.3 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 призначення та задачі віброакустичної діагностики. Знати класифікацію вібраційних процесів за частотою. Знати основні чинники вібрації ГТД.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою.

Знати призначення та задачі віброакустичної діагностики. Знати класифікацію вібраційних процесів за частотою. Знати основні чинники вібрації ГТД. Пояснювати переваги та недоліки подання вібраційних сигналів в частотній та часовій областях. Знати особливості вибору діагностичних критеріїв ГТД. Знати переваги та недоліки датчиків вібрації різних типів. Виконувати аналіз переваг та недоліків методів діагностики підшипників. Володіти основами побудови моделей вібраційних систем. Знати основні чинники вібрації ГТД. Знати методи зменшення вібрацій ГТД.

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. Пояснювати переваги та недоліки подання вібраційних сигналів в частотній та часовій областях. Знати особливості вибору діагностичних критеріїв ГТД. Знати переваги та недоліки датчиків вібрації різних типів. Виконувати аналіз переваг та недоліків методів діагностики підшипників. Володіти основами побудови моделей вібраційних систем. Знати основні чинники вібрації ГТД. Знати методи зменшення вібрацій ГТД.

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

10. Методичне забезпечення

1. Методичні посібники для проведення лабораторних занять;
2. Лабораторні стенди для проведення досліджень вібрації;

11. Рекомендована література

Базова

1. Чигрин В.С. Віброакустика і вібродіагностика авіаційних двигунів / В.С.Чигрин, С.І. Суховій. – Х.: ХАИ, 2012. – 264 с.
2. Чигрин В.С. Виброакустика авиационных двигателей / В.С. Чигрин, Ю.А. Гусев, О.М. Бугаенко, А.И. Попуга. – Х.: ХАИ, 2014. – 52 с.
3. Новиков А.С. Контроль и диагностика технического состояния газотурбинных двигателей / А.С. Новиков, А.Г. Пайкин, Н.Н. Сиротин. – М.: Наука, 2007. – 469 с.
4. Чигрин, В. С. Диагностика и системы контроля технического состояния авиационных двигателей [Текст] : учеб. пособие / В. С. Чигрин. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», 2019. – 216 с.

Допоміжна

1. Вибрация в технике. Справочник: в 6 т. / пред. ред. совета, гл. редактор издания В. Н. Челомей. – М. – 1981.

12. Інформаційні ресурси

Електронні посібники по розрахункам на міцність й коливання деталей ГТД та лабораторним заняттям, а також креслення поздовжніх розрізів ГТД.