

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)

«_____» _____ 2019 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА *ВИБІРКОВОЇ* НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

КОНСТРУКЦІЯ І ДИНАМІКА 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 спеціальності)

Форма навчання

денна

Рівень вищої освіти

перший (бакалаврський)

Харків 2019 рік

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

« 1 » червня 2019 р, 14 с.

Розробник: Гаркуша Олександр Іванович, к.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, наукова ступінь та вчене звання) (підпис)

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 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., професор
(наукова ступінь та вчене звання) (підпис) С. В. Єпіфанов
(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 – 7 сем.: (У ²), (ІНУМ ³) – 6 8 сем.: (У ²), (ІНУМ ³) – 5	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія» (шифр і назва)	Цикл професійної підготовки (Дисципліна вільного вибору студента)	
	Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (шифр і назва)	Навчальний рік 2019 / 2020	
Кількість модулів – 4	Освітня програма Авіаційні двигуни та енергетичні установки (шифр і назва)	Семестр	
Кількість змістових модулів – 4			
Індивідуальне завдання (назва)	Рівень вищої освіти <u>перший (бакалаврський)</u>	7-й	8-й
Загальна кількість годин – денна – 7 сем.: (У), (ІНУМ) – 80 ¹ /180 8 сем.: (У), (ІНУМ) – 72 ¹ /150		група	
		242, 222ст 2, 232ст ^(У) , 242 ^(ІНУМ)	242, 222ст 2, 232ст ^(У) , 242 ^(ІНУМ)
		Лекції ¹⁾	
		48 год.	36 год.
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 7 сем.: (У), (ІНУМ) – 5,3 8 сем.: (У) – 7; (ІНУМ) – 7,5 самостійної роботи студента – 7 сем.: (У), (ІНУМ) – 5,3 8 сем.: (У) – 8; (ІНУМ) – 9,6		Практичні, семінарські ¹⁾	
		-	12 год.
		Лабораторні ¹⁾	
		32 год.	24 год.
		Самостійна робота	
		100 год.	78 год.
		Вид контролю	
	залік	іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
для денної форми навчання –

7 семестр:
(У²), (ІНУМ³) – 80/100

8 семестр:
(У²), (ІНУМ³) – 72/78

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

2) У – для студентів, що навчаються українською мовою 1,4 роки.

3) ІНУМ – для студентів-іноземців, що навчаються українською мовою.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: надбання здобувачами знань з конструкції авіадвигунів. Вирішується задача формування у здобувачів початкових уявлень про моделі міцностної надійності елементів АД на підставі попередньо вивчених теоретичних курсів.

Завдання: вивчити теоретичний курс, виконати лабораторні та практичні роботи і курсовий проект «Компресор ГТД».

Результати вивчення:

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, вимоги норм льотної придатності, конструкцію вузлів та деталей цих двигунів;

- навантаження (статичні і динамічні), які діють на елементи ГТД, методи розрахунків деталей ГТД коливання, конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми динамічної міцності;

- методи визначення та аналізу сил вимушених коливань та сил демпфування, визначення резонансних режимів роботи двигуна, інженерні засоби боротьби з резонансами;

- вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на частоти і форми коливань елементів ГТД;

- з позиції користувача ПЕОМ – сучасний стан САПР-Д і перспективи його розвитку, використання його для розрахунків коливань.

вміти:

- конструювати ГТД, їх вузли та обґрунтовувати технічні рішення спроектованих об'єктів;

- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій та накреслювати шляхи їх вдосконалення;

- виконувати креслення розрізів загальних видів двигунів та вузлів, креслення деталей згідно ЄСКД;

- виконувати розрахунки з міцності та коливань конструктивних елементів двигуна (лопаток, дисків, оболонок ГТД, валів роторів та ін.), робити висновки з розрахунків та рекомендації про усунення недоліків конструкції, які виявлено розрахунками;

- користуватися ПЕОМ (складати нові та модифікувати існуючі алгоритми та програми розрахунків).

Вивчення курсу допоможе зрозуміти динаміку авіадвигунобудування, тенденції, темпи та перспективи його розвитку.

Міждисциплінарні зв'язки: Вища математика, Термодинаміка і теплообмін, Фізика, Хімія і основи екології.

3. Програма навчальної дисципліни

СЕМЕСТР 7

Модуль 1

Змістовий модуль 1.

ТЕМА 1. Втомлені руйнування деталей ГТД. Види коливань. Порядок аналізу деталей ГТД на коливання.

ТЕМА 2. Коливання лопаток компресорів та турбін. Власні і зв'язані коливання робочих і нерухомих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Використання методу скінчених елементів для розрахунку частот і форм власних коливань лопаток.

ТЕМА 3. Джерела збудження коливань лопаток компресорів і турбін. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти власних коливань лопаток.

ТЕМА 4. Вигинисто-крутильний и зривний флатер лопаток. Розрахунок частот коливань при флатері.

ТЕМА 5. Вплив покрить на частоту власних коливань робочих лопаток. Демпфування коливань за допомогою покрить.

ТЕМА 6. Коливання коліс відцентрових компресорів і доцентрових турбін.

ТЕМА 7. Динамические напряжения и запасы усталостной прочности лопаток ГТД. Борьба з небезпечними коливаннями лопаток компресорів та турбін в двигунах.

Модуль 2

Змістовий модуль 2.

ТЕМА 8. Коливання дисків компресорів та турбін. Види і форми власних коливань дисків. Розрахунок частот власних коливань дисків.

ТЕМА 9. Хвилі, що бігуть по диску уперед і назад. Джерела збудження коливань дисків. Побудова частотної діаграми. Визначення резонансних режимів.

ТЕМА 10. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти коливань дисків, що обертаються. Борьба з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін в двигунах.

Модуль 3

Змістовий модуль 3.

ТЕМА 11. Коливання оболонок авіаційних двигунів. Види і форми власних коливань оболонок. Розрахунок частот власних коливань оболонок. Циліндричні, конічні оболонки і оболонки з підкріпленням.

ТЕМА 12. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти коливань нерухомих оболонок і оболонок, що обертаються. Борьба з небезпечними коливаннями оболонок авіаційних двигунів.

ТЕМА 13. Джерела збудження вібрації в авіаційних двигунах. Віброзміщення, віброшвидкість та віброприскорення. Призначення і специфіка вібродіагностування двигунів.

ТЕМА 14. Динамічні властивості радіальних зазорів. Конструкція і принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами.

СЕМЕСТР 8

Модуль 4

Змістовий модуль 4

ТЕМА 1. Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала. Визначення частот власних поперечних коливань не обертового вала з одним диском. Поняття про види прецесії валів.

ТЕМА 2. Фактори, що впливають на критичні оберти роторів. Вплив сил що розтягують або спирають вал. Вплив обертового моменту. Гіроскопічний момент та його вплив на критичні оберти. Визначення критичних обертів роторів з урахуванням гіроскопічного моменту.

ТЕМА 3. Визначення власних частот поперечних коливань валів, що несуть низку дисків (багатодискового ротору). Вимушені коливання обертових роторів, їх причини. Визначення критичних частот обертання ротора за допомогою частотної діаграми.

ТЕМА 4. Конструктивні засоби боротьби з критичними частотами обертання валів. Зведення дійсної механічної системи до еквівалентної розрахункової системи. Вплив особливостей реальної пружної системи на її власні коливання.

ТЕМА 5. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація. Кінематична схема редуктора для привода одного повітряного гвинта. Вимірювачі крутильного моменту. Кінематична схема редуктора для привода двох соосних гвинтів. Конструкція редукторів. Розрахунок на міцність вала повітряного гвинта.

ТЕМА 6. Приводи агрегатів. Розташування агрегатів. Конструкція коробки агрегатів. Додаткові механізми.

ТЕМА 7. Особливості роботи та конструкція опор роторів ГТД. Конструкція підшипників. Газові та мастильні ущільнення. Підбір підшипників кочення, їх посадка у корпусі та на валі.

Пружні та демпферні опори роторів. Розрахунок контактного та лабіринтового ущільнення. Мащення та охолодження підшипників. Розрахунки теплового стану підшипника.

ТЕМА 8. Конструкція демпферів опор роторів. Особливості роботи. Розрахунок елементів демпферних опор.

ТЕМА 9. Профілювання та характеристики повітряних гвинтів. Режими роботи гвинта. Сили та моменти діючі на лопасті гвинтів. Розрахунок міцності лопастей гвинта.

ТЕМА 10. Призначення та основні характеристики гвинтів змінного кроку. Конструкція втулок прямої та зворотної дії. Механізація втулок ГЗК.

ТЕМА 11. Крутильні коливання валів. Власні та вимушені коливання валів. Демпфери крутильних коливань.

ТЕМА 12. Вплив шарнірного з'єднання на критичні оберти роторів.

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
СЕМЕСТР 7					
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Втомлені руйнування деталей ГТД. Види коливань. Порядок аналізу деталей ГТД на коливання	10	2	-	4	4
ТЕМА 2. Коливання лопаток компресорів та турбін. Власні і зв'язані коливання робочих і нерухомих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Використання методу скінчених елементів для розрахунку частот і форм власних коливань лопаток	18	4	-	4	10
ТЕМА 3. Джерела збудження коливань лопаток компресорів і турбін. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти власних коливань лопаток	18	4	-	4	10
ТЕМА 4. Вигинисто-крутильний и зривний флатер лопаток. Розрахунок частот коливань при флатері	10	4	-	-	6
ТЕМА 5. Вплив покриттів на частоту власних коливань робочих лопаток. Демпфування коливань за допомогою покриттів	10	2	-	2	6
ТЕМА 6. Коливання коліс відцентрових компресорів і доцентрових турбін	10	4	-	-	6
ТЕМА 7. Динамічні напруження і запаси втомної міцності лопаток ГТД. Боротьба з небезпечними коливаннями лопаток компресорів та турбін в двигунах	9	3	-	-	6
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Усього годин за змістовим модулем 1	84	22	-	14	48
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 8. Коливання дисків компресорів та турбін. Види і форми власних коливань дисків. Розрахунок частот власних коливань дисків	16	4	-	4	8
ТЕМА 9. Хвилі, що бігуть по диску уперед і назад. Джерела збудження коливань дисків. Побудова частотної діаграми. Визначення резонансних режимів	17	3	-	4	10

ТЕМА 10. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти коливань дисків, що обертаються. Боротьба з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін в двигунах	10	2	-	-	8
Модульний контроль	1	1			
Усього годин за змістовим модулем 2	44	10	-	8	26
Модуль 3					
Змістовий модуль 3					
ТЕМА 11. Коливання оболонок авіаційних двигунів. Види і форми власних коливань оболонок. Розрахунок частот власних коливань оболонок. Циліндричні, конічні оболонки і оболонки з підкріпленням	16	4	-	4	8
ТЕМА 12. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти коливань нерухомих оболонок і оболонок, що обертаються. Боротьба з небезпечними коливаннями оболонок авіаційних двигунів	16	2	-	6	8
ТЕМА 13. Джерела збудження вібрації в авіаційних двигунах. Віброзміщення, віброшвидкість та віброприскорення. Призначення і специфіка вібродіагностування двигунів	6	2	-	-	4
ТЕМА 14. Динамічні властивості радіальних зазорів. Конструкція і принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами	11	5	-	-	6
Модульний контроль	1	1			
Усього годин за змістовим модулем 3	50	16	-	10	26
Усього годин у семестрі 7	180	48	-	32	100

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с.р.
У, ІНУМ	У, ІНУМ	п	лаб	У, ІНУМ	
1	2	3	4	5	6
СЕМЕСТР 8					
Модуль 4					
Змістовий модуль 4					
ТЕМА 1. Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала. Визначення частот власних поперечних коливань не обертового валу з одним диском. Поняття про види прецесії валів	16	4	2	4	6
ТЕМА 2. Фактори, що впливають на критичні оберти роторів. Вплив сил що розтягують або спирають вал. Вплив обертового моменту. Гіроскопічний момент та його вплив на критичні оберти. Визначення критичних обертів роторів з урахуванням гіроскопічного моменту	10	2	2	-	6
ТЕМА 3. Визначення власних частот поперечних коливань валів, що несуть низку дисків (багатодискового ротору). Вимушені коливання обертових роторів, їх причини. Визначення критичних частот обертання ротора за допомогою частотної діаграми	12	4	2	-	6
ТЕМА 4. Конструктивні засоби боротьби з критичними частотами обертання валів. Зведення дійсної механічної	8	2	-	-	6

системи до еквівалентної розрахункової системи. Вплив особливостей реальної пружної системи на її власні коливання					
ТЕМА 5. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація. Кінематична схема редуктора для привода одного повітряного гвинта. Вимірювачі крутильного моменту. Кінематична схема редуктора для привода двох соосних гвинтів. Конструкція редукторів. Розрахунок на міцність вала повітряного гвинта	14	4	-	4	6
ТЕМА 6. Приводи агрегатів. Розташування агрегатів. Конструкція коробки агрегатів. Додаткові механізми	12	2	-	4	6
ТЕМА 7. Особливості роботи та конструкція опор роторів ГТД. Конструкція підшипників. Газові та мастильні ущільнення. Підбір підшипників кочення, їх посадка у корпусі та на валі. Пружні та демпферні опори роторів. Розрахунок контактного та лабіринтового ущільнення. Мащення та охолодження підшипників. Розрахунки теплового стану підшипника	14	4	-		10
ТЕМА 8. Конструкція демпферів опор роторів. Особливості роботи. Розрахунок елементів демпферних опор	12	2	-	2	8
ТЕМА 9. Профілювання та характеристики повітряних гвинтів. Режими роботи гвинта. Сили та моменти діючі на лопаті гвинтів. Розрахунок міцності лопатей гвинта	14	4	2	2	6
ТЕМА 10. Призначення та основні характеристики гвинтів змінного кроку. Конструкція втулок прямої та зворотної дії. Механізація втулок ГЗК	13	3	2	2	6
ТЕМА 11. Крутильні коливання валів. Власні та вимушені коливання валів. Демпфери крутильних коливань	12	2	-	4	6
ТЕМА 12. Вплив шарнірного з'єднання на критичні оберти роторів	12	2	2	2	6
Модульний контроль					
Усього годин за змістовим модулем 4	52	12	6	10	24
Усього годин у семестрі 8	150	36	12	24	78

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		7 сем	8 сем
		У, ІНУМ	У, ІНУМ
4	Вплив факторів на критичні оберти роторів. Вплив сил що розтягують або спирають вал	-	2
5	Особливості роботи та конструкція опор роторів ГТД. Конструкція підшипників.	-	2
6	Конструкція демпферів опор роторів. Особливості роботи. Розрахунок елементів демпферних опор.	-	2
8	Профілювання та характеристики повітряних гвинтів.	-	2
9	Призначення та основні характеристики гвинтів змінного кроку.	-	2
10	Вплив шарнірного з'єднання на критичні оберти роторів.	-	2
	Разом	-	12

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		7 сем	8 сем
		У, ІНУМ	У, ІНУМ
1	Експериментальне дослідження коливань моделі лопатки, побудова частотної діаграми	4	-
2	Експериментальне дослідження коливань лопатки компресора, визначення частот коливань	2	-
3	3-D моделювання коливань лопатки компресора	4	-
4	Експериментальне дослідження впливу покриттів на характер власних коливань робочих лопаток	2	-
5	Дослідження коливань лопатки турбіни, побудова частотної діаграми	4	-
6	Експериментальне дослідження коливань моделі диску, побудова частотної діаграми	4	-
7	3-D моделювання коливань диску	4	-
8	Експериментальне дослідження коливань оболонок ГТД	4	-
9	Дослідження впливу конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти і форми коливань оболонок	4	-
10	Визначення на лабораторній установці критичної частоти обертання валу з диском. Конструктивні засоби боротьби з критичними частотами обертання валів	-	4
11	Пружні та демпферні опори роторів. Конструкція демпферів опор роторів. Визначення жорсткості пружного елемента опори типу біляче колесо	-	2
12	Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація	-	4
13	Приводи агрегатів. Розташування агрегатів. Конструкція коробки агрегатів. Додаткові механізми	-	4
14	Профільювання та характеристики повітряних гвинтів	-	2
15	Призначення та основні характеристики гвинтів змінного кроку. Конструкція механізму втулок ГЗК	-	2
16	Крутильні коливання валів	-	4
17	Вплив шарнірного з'єднання на критичні оберти роторів.	-	2
	Разом	32	24

7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		7 сем	8 сем
		У, ІНУМ	У, ІНУМ
1	Втомлені руйнування деталей ГТД. Види коливань. Порядок аналізу деталей ГТД на коливання	4	-
2	Коливання лопаток компресорів та турбін. Власні і зв'язані коливання робочих і нерухомих лопаток. Форми власних коливань робочих лопаток. Розрахунок частот власних коливань робочих лопаток. Використання методу скінчених елементів для розрахунку частот і форм власних коливань лопаток	10	-
3	Джерела збудження коливань лопаток компресорів і турбін. Побудова частотної діаграми. Резонансні режими. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти власних коливань лопаток	10	-

4	Вигинисто-крутильний и зривний флатер лопаток. Розрахунок частот коливань при флатері	6	-
5	Вплив покрить на частоту власних коливань робочих лопаток. Демпфування коливань за допомогою покрить	6	-
6	Колівання коліс відцентрових компресорів і доцентрових турбін	6	-
7	Динамічні напруження і запаси втомної міцності лопаток ГТД. Боротьба з небезпечними коливаннями лопаток компресорів та турбін в двигунах	6	-
8	Колівання дисків компресорів та турбін. Види і форми власних коливань дисків. Розрахунок частот власних коливань дисків	8	-
9	Хвилі, що бігуть по диску уперед і назад. Джерела збудження коливань дисків. Побудова частотної діаграми. Визначення резонансних режимів	10	-
10	Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти коливань дисків, що обертаються. Боротьба з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін в двигунах	8	-
11	Колівання оболонок авіаційних двигунів. Види і форми власних коливань оболонок. Розрахунок частот власних коливань оболонок. Циліндричні, конічні оболонки і оболонки з підкріпленням	8	-
12	Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти коливань нерухомих оболонок і оболонок, що обертаються. Боротьба з небезпечними коливаннями оболонок авіаційних двигунів	8	-
13	Джерела збудження вібрації в авіаційних двигунах. Віброзміщення, віброшвидкість та віброприскорення. Призначення і специфіка вібродіагностування двигунів	4	-
14	Динамічні властивості радіальних зазорів. Конструкція і принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами	6	-
15	Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття "жорсткого" та "гнучкого" вала.	-	6
16	Фактори що впливають на критичні оберти роторів. Вплив сил що розтягують або спирають вал. Вплив обертового моменту.	-	6
17	Визначення власних частот поперечних коливань валів	-	6
18	Конструктивні засоби боротьби з критичними частотами обертання валів. Вплив особливостей реальної пружної системи на її власні коливання	-	6
19	Підбір підшипників кочення, їх посадка у корпусі та на валі. Розрахунок контактного та лабіринтового ущільнення. Мащення та охолодження підшипників. Розрахунки теплового стану підшипника	-	6
20	Особливості роботи та конструкція опор роторів ГТД. Газові та мастильні ущільнення. Пружні та демпферні опори роторів.	-	6
21	Конструкція демпферів опор роторів. Особливості роботи. Розрахунок елементів демпферних опор.	-	6
22	Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація. Кінематична схема редуктора	-	6
23	Приводи агрегатів. Розташування агрегатів. Конструкція коробки агрегатів. Додаткові механізми.	-	6
24	Профільювання та характеристики повітряних гвинтів. Режими роботи гвинта. Сили та моменти діючі на лопаті гвинтів. Розрахунок міцності лопатей гвинта	-	6

25	Призначення та основні характеристики гвинтів змінного кроку. Конструкція втулок прямої та зворотної дії. Механізація втулок ГЗК.	-	6
26	Крутильні коливання валів. Власні та вимушені коливання валів. Демпфери крутильних коливань.	-	6
27	Вплив шарнірного з'єднання на критичні оберти роторів.	-	6
	Разом	100	78

9. Методи навчання

Вивчення теоретичного матеріалу по курсу «Конструкція і динаміка АД та ЕУ», лабораторні та практичні заняття, вивчення конструкції вузлів ГТД та методів розрахунків частот коливань деталей ГТД.

Питання для самостійної роботи студентів

Семестр 7

Модуль 1

Змістовий модуль 1

1. Форми власних коливань робочих лопаток.
2. Вплив конструктивних факторів на частоту власних коливань робочих лопаток.
3. Відстроювання від резонансних частот коливань лопаток.
4. Конструктивні засоби боротьби з резонансними коливаннями робочих лопаток.
5. Визначення резонансних частот коливань робочих лопаток.
6. Побудова частотної діаграми коливань лопатки.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

7. Вплив конструктивних факторів на частоту власних коливань дисків.
8. Визначення резонансних частот коливань дисків.
9. Частотна діаграма коливань диску.
10. Конструктивні засоби боротьби з резонансними коливаннями дисків.
11. Відстроювання від резонансних частот коливань дисків.

Модуль 3

Змістовий модуль 3

12. Форми власних коливань оболонок обертання.
13. Вплив конструктивних факторів на частоту власних коливань оболонок.
14. Оцінка виброміцності деталей ГТД
15. Динамічні властивості радіальних зазорів.
16. Конструкція і принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами

Семестр 8

Модуль 4

Змістовий модуль 4

1. Поняття критичної швидкості обертання валу.
2. Критичні швидкості обертання ротору і їх експериментальне визначення.
3. Конструктивні фактори, що впливають на значення критичних швидкостей обертання ротору.
4. Графік зміни величини прогину вала в залежності від його частоти обертання. Поняття «Жорсткий» і «Гнучкий» вал. Навести приклади жорстких і гнучких валів сучасних двигунів.
5. Власні вигинисті коливання однодискового ротора, що не обертається.
6. Зв'язок критичної швидкості обертання ротора з частотою власних вигинистих коливань.
7. Прецесійний рух однодискового ротора, що обертається.

8. Поняття прямої і зворотної синхронної прецесії.
9. Рух ротора і дія гіроскопічного моменту при прямої прецесії.
10. Рух ротора і дія гіроскопічного моменту при зворотній прецесії.
11. Критичні швидкості обертання багатодискових роторів.
12. Розрахунок критичних швидкостей обертання багатодискових роторів.
13. Визначення можливих резонансів і критичних швидкостей обертання ротора.
14. Роторні коливання у багатовальних двигунах. Поняття лінії ковзання роторів.
15. Навести на прикладі побудови частотної діаграми вплив пружності опор на критичні швидкості обертання роторів.
16. Конструктивні засоби боротьби з небезпечними вигинистими коливаннями роторів.
17. Пружні елементи. Пружні опори.
18. Опори з пружними кільцевими елементами. Розрахунок елемента пружного кільця, визначення коефіцієнта жорсткості.
19. Опори із стержневими пружними елементами – типу "біляче колесо". Розрахунок стержневого елемента «білячого колеса», визначення коефіцієнта жорсткості.
20. Гідродинамічна демпферна опора ГТД. Особливості конструкції.
21. Підшипники авіаційних ГТД.
22. Ущільнення опор.
23. Переваги і недоліки турбогвинтових двигунів. Класифікація гвинтів. Вимоги до повітряних гвинтів.
24. Геометричні характеристики повітряного гвинта. Багатокутник швидкостей. Тяга і потужність гвинта.
25. Аеродинамічні характеристики повітряних гвинтів при постійному і змінному куті установки лопатей.
26. Режими роботи повітряних гвинтів.
27. Сили і моменти, що діють на лопаті повітряних гвинтів. Урівноваження гвинтів.
28. Зміна положення лопатей повітряних гвинтів. Гвинти прямої, зворотної і двосторонньої дії.
29. Негативна тяга повітряного гвинта. Умови її виникнення і загальна характеристика способів її відвертання.
30. Фіксація кутів установки лопатей.
31. Проміжний упор лопатей.
32. Негативна тяга повітряного гвинта. Флюгування лопатей.
33. Форми власних коливань лопатей. Крутильні коливання роторів.

9. Методи контролю

Матеріал дисципліни розбито у кожному семестрі на три змістових модулі.

Семестр 7:

1. Коливання лопаток ГТД.
2. Коливання дисків ГТД.
3. Коливання оболонок обертання. Управління радіальними зазорами.

Семестр 8:

1. Коливання роторів ГТД.
2. Редуктори ГТД і ТВаД. Приводи агрегатів.
3. Підшипники роторів, пружно - демпферні опори.

Складання модулю у 7-му семестрі: 1 – на 5-му тижні (один раз), складання модулю 2 – на 10-му тижні (один раз), складання модулю 3 – на 15-му тижні (один раз).

Складання модулю у 8-му семестрі: 1 – на 4-му тижні (один раз), складання модулю 2 – на 8-му тижні (один раз), складання модулю 3 – на 12-му тижні (один раз).

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

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

07 семестр – *залік*,

08 семестр – *іспит*

10. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

10.1 Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Семестр 7

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	11	0...11
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2,5...3	7	17,5...21
Модульний контроль	6...9	1	6...9
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2,5...3	4	10...12
Модульний контроль	6...9	1	6...9
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...1	8	0...8
Виконання і захист практичних робіт	2,5...3	5	12,5...15
Модульний контроль	8...10	1	8...10
Усього за семестр			60...100

Семестр 8

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 4			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...3	5	10...15
Модульний контроль	7...10	1	7...10
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (залік, іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку, іспиту. Допуск 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 трьох запитань. Запитання розподілено таким чином:

Перше запитання – змістовий модуль 1;

Друге запитання – змістовий модуль 2;

Третє запитання – змістовий модуль 3.

Додаткове запитання стосується аналізу впливу конструкційних і експлуатаційних факторів на частоти і форми коливань деталей ГТД.

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 25.

10.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвуккових та надзвуккових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, вимоги норм льотної придатності, конструкцію вузлів та деталей цих двигунів;
- навантаження (статичні і динамічні), які діють на елементи ГТД, методи розрахунків деталей ГТД коливання, конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми динамічної міцності;
- методи визначення та аналізу сил вимушених коливань та сил демпфування, визначення резонансних режимів роботи двигуна, інженерні засоби боротьби з резонансами;
- вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на частоти і форми коливань елементів ГТД;
- з позиції користувача ПЕОМ – сучасний стан САПР-Д і перспективи його розвитку, використання його для розрахунків коливань.

вміти:

- обґрунтовувати вибір типу двигуна для конкретного літального апарата;
- виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій двигунів;
- формулювати технічні вимоги щодо розробки двигуна для конкретного типу літального апарата.
- визначати статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна;
- обирати конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах, норми міцності;
- виконувати розрахунки основних деталей двигуна на міцність;
- аналізувати вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна;
- оцінювати вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей;
- ураховувати навантаження, які діють на літальний апарат від двигуна.

10.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та захистити індивідуальне завдання (розрахунково-графічну роботу). Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Мати уяву про вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД різних типів.

У 7-му семестрі: мати уяву про форми власних коливань робочих лопаток, дисків і оболонки; вплив конструктивних факторів на частоту власних коливань робочих лопаток, дисків і оболонки; відстроювання від резонансних частот коливань; конструктивні засоби боротьби з резонансними коливаннями; побудову частотної діаграми коливань для лопатки, диску і оболонки; динамічні властивості радіальних зазорів; принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами.

У 8-му семестрі: мати уяву про критичні швидкості обертання ротору; конструктивні фактори, що впливають на значення критичних швидкостей обертання ротору; мати поняття про «Жорсткий» и «Гнучкий» вал; власні вигинисті коливання однодискового ротора, що не обертається; прецесійний рух однодискового ротора, що обертається, мати поняття про пряму і зворотню синхронну прецесію; рух ротора і дія гіроскопічного моменту при прямої і зворотній прецесії; мати уяву про критичні швидкості обертання багатодискових роторів; конструктивні засоби боротьби з небезпечними вигинистими коливаннями роторів; знати принципи роботи пружних елементів, пружних опор, особливості конструкції гідродинамічних демпферних опор ГТД; підшипники авіаційних ГТД; класифікацію гвинтів ГТД, вимоги до повітряних гвинтів; сили і моменти, що діють на лопаті повітряних гвинтів; форми власних коливань лопатей; крутильні коливання роторів.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та вмінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре захистити індивідуальне завдання. Здати

модульне тестування з позитивною оцінкою. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів.

У 7-му семестрі: форми власних коливань робочих лопаток, дисків і оболонок; вплив конструктивних факторів на частоту власних коливань робочих лопаток, дисків і оболонок; відстроювання від резонансних частот коливань; конструктивні засоби боротьби з резонансними коливаннями; визначення резонансних частот коливань робочих лопаток, дисків і оболонок; побудову частотної діаграми коливань для лопатки, диску і оболонки; динамічні властивості радіальних зазорів; принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами.

У 8-му семестрі: критичні швидкості обертання ротору; конструктивні фактори, що впливають на значення критичних швидкостей обертання ротору; поняття «Жорсткий» и «Гнучкий» вал; власні вигинисті коливання однодискового ротора, що не обертається; прецесійний рух однодискового ротора, що обертається, поняття прямої і зворотної синхронної прецесії; рух ротора і дія гіроскопічного моменту при прямої і зворотній прецесії; критичні швидкості обертання багатодискових роторів; конструктивні засоби боротьби з небезпечними вигинистими коливаннями роторів; пружні елементи, пружні опори, розрахунок пружного елемента, особливості конструкції гідродинамічних демпферних опор ГТД; підшипники авіаційних ГТД; класифікацію гвинтів ГТД, вимоги до повітряних гвинтів, режими роботи повітряних гвинтів; сили і моменти, що діють на лопаті повітряних гвинтів; форми власних коливань лопатей; крутильні коливання роторів.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні та практичні роботи. Виконати та добре або відмінно захистити індивідуальне завдання. Здати модульне тестування з відмінною оцінкою (припускається здати один з двох модулів з оцінкою «добре»). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати вимоги норм льотної гідності; конструкцію авіаційних ГТД усіх типів, які призначаються для дозвукових та надзвукових авіаційних літальних апаратів, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей.

У 7-му семестрі: форми власних коливань робочих лопаток, дисків і оболонок; вплив конструктивних факторів на частоту власних коливань робочих лопаток, дисків і оболонок; відстроювання від резонансних частот коливань; конструктивні засоби боротьби з резонансними коливаннями; визначення резонансних частот коливань робочих лопаток, дисків і оболонок; побудову частотної діаграми коливань для лопатки, диску і оболонки; оцінку виброміцності деталей ГТД; динамічні властивості радіальних зазорів; конструкцію і принципи роботи облаштувань управління радіальними зазорами.

У 8-му семестрі: критичні швидкості обертання ротору і їх експериментальне визначення; конструктивні фактори, що впливають на значення критичних швидкостей обертання ротору; поняття «Жорсткий» и «Гнучкий» вал; власні вигинисті коливання однодискового ротора, що не обертається, зв'язок критичної швидкості обертання ротора з частотою власних вигинистих коливань; прецесійний рух однодискового ротора, що обертається, поняття прямої і зворотної синхронної прецесії; рух ротора і дія гіроскопічного моменту при прямої і зворотній прецесії; критичні швидкості обертання багатодискових роторів; конструктивні засоби боротьби з небезпечними вигинистими коливаннями роторів; пружні елементи, пружні опори, розрахунок пружного елемента, визначення коефіцієнта жорсткості, особливості конструкції гідродинамічних демпферних опор ГТД; підшипники авіаційних ГТД; класифікацію гвинтів ГТД, вимоги до повітряних гвинтів, режими роботи повітряних гвинтів; сили і моменти, що діють на лопаті повітряних гвинтів, урівноваження гвинтів; форми власних коливань лопатей; крутильні коливання роторів.

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

11. Методичне забезпечення

1. Дидактичні матеріали (наочні посібники, плакати, ТЗН).
2. Розрізні макети газотурбінних двигунів в аудиторіях 103 та 124.
3. Лабораторне обладнання ауд. 136.
4. Повчальні програми з розрахунків частот коливань елементів ГТД.
5. Методичні навчальні посібники за темами та розділами курсу.
6. Повчальні програми з аналізу впливу конструктивних і експлуатаційних факторів на частоти і форми коливань деталей ГТД.

12. Рекомендована література

Базова

1. Скубачевский, Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели, конструкция и расчет деталей [Текст] / Г. С. Скубачевский. - М. : Машиностроение, 1981. – 552 с.
2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей [Текст] ; под. ред. Д. В. Хромина. - М. : Машиностроение, 1989. – 368 с.
3. Конструкция авиационных двигателей [Текст] / А. В. Штода и др. - М. : изд. ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1968.
4. Гаркуша, А.И. Динамика и прочность деталей газотурбинных двигателей [Текст]: курс лекций / А.И. Гаркуша, В.С. Чигрин. – Х.: Нац.аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 131 с.
5. Чигрин, В. С. Экспериментальные и расчетные методы исследования динамики и прочности элементов ГТД [Текст] / В. С. Чигрин, А. И. Гаркуша, Ю. А. Гусев. – Х., Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т». – 2013. – 72 с.

Допоміжна

1. Чигрин, В. С. Конструкция и прочность авиационных двигателей [Текст] : консп. лекций / В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьков. авиац. ин-т», Запорожье : изд. АО «МОТОР СИЧ», 2017. - 420 с.
2. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов [Текст] / В. И. Локай и др. - М. : Машиностроение, 1979. – 447 с.
3. Пономарев, Б. А. Настоящее и будущее авиационных двигателей [Текст] / Б. А. Пономарев - М. : Воениздат, 1982. – 240 с.
4. Технические описания авиационных газотурбинных двигателей.