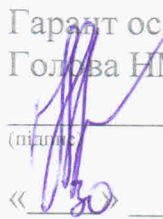


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми/
Голова НМК

 С. М. Нижник
(підпис) (ініціали та прізвище)

«30» 08 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Конструкція авіаційних двигунів

(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: «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2021 рік

Розробник: О. Гаркуша, доцент

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)

(підпис)



Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
конструкції авіаційних двигунів (203)
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 30 » серпня 2021 р.

Завідувач кафедри 203, д.т.н., професор
(науковий ступінь і вчене звання)



С. Єпіфанов
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)	
Кількість кредитів – 243, 233ст – 5 (7(5) сем.) 243, 233ст – 4 (8(6) сем.)	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія» (шифр і назва)	Вибіркова	
Кількість модулів – 3	Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (шифр і назва) Освітня програма: Технології виробництва АД та ЕУ	Навчальний рік 2021 / 2022	
Кількість змістових модулів – 3		Семестр	
Індивідуальне завдання Розрахунково-графічна робота на тему: «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна» (назва)		7(5)-й	8(6)-й
Загальна кількість годин – 243, 233ст – 72*/150 (7(5) с.) 243, 233ст – 42*/120 (8(6) с.)		<i>група</i>	
		243, 233ст	243, 233ст
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 7(5) семестр: 4,5; 8(6) семестр: 3,5. самостійної роботи студента – 7(5) семестр: 4,9; 8(6) семестр: 6,5.	Рівень вищої освіти <u>перший (бакалаврський)</u>	Лекції *	
		40 год.	30 год.
		Практичні, семінарські *	
		32 год.	-
		Лабораторні *	
		-	12 год.
		Самостійна робота	
		78 год.	78 год.
		Вид контролю	
		<i>іспит</i>	<i>іспит</i>

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

7(5) семестр: 243, 233ст – 72 / 78.

8(6) семестр: 243, 233ст – 42 / 78.

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: надбання здобувачами знань з конструкції авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), розрахунків на міцність деталей ГТД, норм міцності, конструкційних матеріалів, які використовуються у двигунах..

Завдання: вивчення конструкції авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД) та розрахунків на міцність деталей ГТД.

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

Загальні компетентності: *Здатність генерувати нові ідеї (креативність). Здатність приймати обгрунтовані рішення. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *Здатність призначити оптимальні матеріали для елементів конструкції авіаційної та ракетно-космічної техніки. Здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність. Здатність проектувати та здійснювати випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем. Здатність розробляти і реалізовувати технологічні процеси виробництва елементів та об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.*

Програмні результати навчання: *Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі. 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. Пояснювати вплив конструктивних параметрів елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на її льотно-технічні характеристики. Мати уявлення про методи забезпечення стійкості та керованості авіаційної та ракетно-космічної техніки. Володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу. Описувати будову металів та неметалів та знати методи модифікації їх властивостей. Призначати оптимальні матеріали для елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки з урахуванням їх структури, фізичних, механічних, хімічних та експлуатаційних властивостей, а також економічних факторів. Описувати експериментальні методи дослідження структурних, фізико-механічних і технологічних властивостей матеріалів та конструкцій. Застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проектування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки. Обчислювати напружено-деформований стан, визначити несійну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки. Розуміти та обгрунтовувати послідовність проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки. Розуміти та обгрунтовувати особливості конструкції та основні аспекти робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки. Розуміти теоретичні принципи та практичні методи інструментального забезпечення взаємозамінності деталей авіаційної та ракетно-космічної техніки. Мати навички розробки технологічних процесів, в тому числі з застосуванням автоматизованого комп'ютерного проектування виробництва конструктивних елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.*

Пререквізити: вища математика, фізика, інженерні основи авіаційно-космічної техніки, авіаційне матеріалознавство.

Кореквізити: деталі машин , технологія двигунобудування, гідрогазодинаміка.

3. Програма навчальної дисципліни

СЕМЕСТР 7(5)

Модуль 1

Змістовий модуль 1

ТЕМА 1. Задачі курсу, порядок вивчення дисципліни, літератури. Місто дисципліни в навчальному плані. Класифікація реактивних двигунів, Головні параметри авіаційних ГТД. Вимоги, які ставляться до ГТД. Переваги та недоліки різних типів двигунів.

ТЕМА 2. Головні вузли та силові системи ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД, Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів.

ТЕМА 3. Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.

ТЕМА 4. Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Ротори барабанного типу, конструкція. Конструктивні особливості роторів дискового та барабанно-дискового типу. Конструктивні матеріали.

ТЕМА 5. Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін. Визначення температури лопаток турбін. Конструкція вузлів, що з'єднують вал турбіни з диском. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.

ТЕМА 6. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Рішення головних розрахункових рівнянь диску на міцність методом скінченних різниць. Вплив на напруження в диску центрального отвору в ньому. Вплив на напруження в диску нерівномірного нагріву диска за радіусом. Особливості розрахунку дисків з стрибкоподібним змінням товщини та дисків відцентрових компресорів. Визначення запасу міцності диска за руйнуючою частотою обертання.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

ТЕМА 7. Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил. Напруження при згинанні лопаток, запаси міцності. Крутіння лопатки.

ТЕМА 8. Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток компресорів. Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін.

ТЕМА 9. Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.

ТЕМА 10. Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція. Визначення головних геометричних розмірів камер згоряння. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей камер згоряння.

ТЕМА 11. Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла. Сили, які діють на елементи реактивного сопла. Теплоізоляція та охолодження сопел. Реверс тяги. Пристрої для шумоглушіння. Форсажні камери.

СЕМЕСТР 8(6)

Модуль 3

Змістовий модуль 3

ТЕМА 12. 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 13. Види та форми коливань лопаток. Коливання пружної невагомої лопатки з зосередженим вантажем. Власні (вільні) коливання реальної лопатки. Визначення форм та частот коливання. Коливання лопатки у полі відцентрових сил. Вплив розмірів лопатки та умов її роботи на частоту вільних коливань. Побудова та аналіз частотної діаграми для робочих лопаток

компресора і турбіни. Вимушені коливання лопаток. Знаходження резонансних режимів. Автоколивання (флатер) лопатки. Демпфування коливань лопаток.

ТЕМА 14. Види й форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін.

ТЕМА 15. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала. Визначення власних частот поперечних коливань не обертового вала з одним диском. Поняття про види процесів валів. Визначення власних частот поперечних коливань обертового вала з одним диском. Вимушені коливання обертових роторів, їх причини. Визначення критичних частот обертання ротора (резонансів) за допомогою частотної діаграми. Визначення власних частот поперечних коливань валів, що несуть низку дисків (багатодисковий ротор). Конструктивні засоби боротьби з критичними частотами обертання валів, демпфування коливань валів. Зведення дійсної згинальної системи до еквівалентної розрахункової схеми.

ТЕМА 16. Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок. Розрахунок власних частот коливань. Фактори, які впливають на частоти коливань тонкостінних оболонок.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с.р.
	Групи 243, 223см ₂ , 233см(У)				
1	2	3	4	5	6
СЕМЕСТР 7(5)					
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Задачі курсу, порядок вивчення дисципліни, літератури.	2	1	1	-	-
ТЕМА 2. Головні вузли та силові системи ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД.	6	1	1	-	4
ТЕМА 3. Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.	8	2	2	-	4
ТЕМА 4. Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	14	4	4	-	6
ТЕМА 5. Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	16	4	6	-	6
ТЕМА 6. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	22	8	4	-	10
Разом за змістовим модулем 1	68	20	18	-	30
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 7. Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	22	8	4	-	10
ТЕМА 8. Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін.	14	2	2	-	10
ТЕМА 9. Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	14	4	4	-	6
ТЕМА 10. Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	10	4	2	-	4
ТЕМА 11. Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	8	2	2	-	4
Разом за змістовим модулем 2	68	20	14	-	34

Розрахунково-графічна робота на тему: <i>«Розробка вузла компресора авіаційного ГТД»</i>	14	-	-	-	14
Усього годин в 7 семестрі	150	40	32	-	78
СЕМЕСТР 8(6) Модуль 3 Змістовий модуль 3					
ТЕМА 12. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.	18	4	-	2	12
ТЕМА 13. Види та форми коливань лопаток. Коливання пружної лопатки.	20	6	-	2	12
ТЕМА 14. Види та форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін.	22	8	-	2	12
ТЕМА 15. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.	26	10	-	4	12
ТЕМА 16. Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок.	16	2	-	2	12
Разом за змістовим модулем 3	102	30	-	12	60
Розрахунково-графічна робота на тему: <i>«Розробка вузла компресора авіаційного ГТД»</i>	18	-	-	-	18
Усього годин	120	30	-	12	78

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		7 сем. 243, 233см(У)
1	Загальне знайомство з конструкцією ТРД, ТРДД, ТГД, ТВАД, ТРДД різних поколінь, які знаходяться на кафедрі.	2
2	Вивчення конструкції осьових і відцентрових компресорів авіаційних ГТД.	4
3	Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	6
4	Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	4
5	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	4
6	Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін.	2
7	Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	2
8	Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	4
9	Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	2
10	Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	2
	Разом	32

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		8 сем. 243, 233см(У)
1	Редуктори ГТД та турбовальних двигунів.	2
2	Коливання лопаток на лабораторній установці. Побудова частотної діаграми.	2

3	Визначення на лабораторній установці критичної частоти обертання валу з диском.	4
4	Коливання дисків.	2
5	Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння.	2
	Разом	12

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		7 сем. 243, 233см(У)	8 сем. 243, 233см(У)
1	Головні вузли та силові системи ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД.	4	-
2	Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.	4	-
3	Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	6	-
4	Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	6	-
5	Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	10	-
6	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	10	-
7	Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток компресорів. Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін.	10	-
8	Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	6	-
9	Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	4	-
10	Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	4	-
11	Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.	-	12
12	Види та форми коливань лопаток. Коливання пружної невагомої лопатки з зосередженим вантажем.	-	12
13	Види та форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін.	-	12
14	Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.	-	12
15	Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок.	-	12
16	Виконання розрахунково-графічної роботи	14	18
	Разом	78	78

7. Індивідуальні завдання

1. Розрахунково-графічна робота на тему: «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна»

8. Методи навчання

Основні форми навчання:

- лекційна;
- лабораторні роботи;
- самостійна робота студента;
- залік

На лекціях студентів даються основні поняття, основи теорії, закономірності, необхідні для підготовки до виконання лабораторних робіт, самостійної роботи.

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. Классификация ГТД, области применения по высоте и скорости полета. Основные параметры ГТД. Ресурс двигателя, понятие об эксплуатации двигателя по его техническому состоянию, понятие о модульной конструкции двигателя.

2. Компрессоры. Основные требования, предъявляемые к конструкции компрессоров ГТД. Конструктивные мероприятия, расширяющие диапазон устойчивой работы осевых компрессоров. Конструктивные параметры рабочего колеса ступени компрессора. Классификация компрессоров, их краткая характеристика. Конструктивные особенности роторов барабанно-дискового типа. Центробежные компрессоры, особенности конструкции. Конструкционные материалы, применяемые для лопаток, дисков и корпусов компрессоров.

3. Газовые турбины. Классификация газовых турбин. Конструктивные мероприятия, направленные на повышение КПД турбины. Требования, предъявляемые к узлу крепления диска турбины с валом, примеры соединения. Изменение радиального зазора между лопатками турбины и корпусом. Охлаждение рабочих лопаток турбины. Новые технологические методы производства турбинных лопаток с целью повышения их жаропрочности. Материалы деталей газовых турбин.

4. Рабочие лопатки ГТД. Конструкция рабочих лопаток компрессоров и турбин, применяемые материалы. Расчет на прочность лопаток от действия центробежных сил (на растяжение), определение напряжения растяжения методом численного интегрирования. Расчет на прочность лопаток от действия газовых сил (на изгиб). Определение изгибающих моментов в плоскости вращения и в осевой плоскости и напряжений изгиба. Изгиб лопатки от действия центробежных сил, коэффициенты компенсации. Определение запаса прочности лопатки. Определение температуры неохлаждаемой рабочей лопатки турбины, понятие о пределе длительной прочности металла. Кручение лопатки центробежными и газовыми силами.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

1. Расчет на прочность дисков роторов компрессоров и турбин. Решение расчетных уравнений методом конечных разностей. Выбор нулевых сечений, определение коэффициентов A_0 , B_0 , K_0 , Q_0 . Определение напряжения в нулевом сечении. Определение напряжений и запасов прочности в расчетных сечениях. Влияние центрального отверстия в диске на напряжение в диске. Влияние на напряжение температурного перепада по радиусу диска. Особенности расчета дисков

со скачкообразным изменением толщины. Определение запаса прочности диска по разрушающим оборотам (частоте вращения).

2. Конструкция и расчет на прочность крепления лопаток компрессоров типа «ласточкин хвост». Конструкция шарнирного крепления лопаток компрессоров. Конструкция и расчет на прочность крепления турбинных лопаток «елочного» типа.

3. Силовые схемы роторов и корпусов ГТД. Газовые силы и моменты, действующие на основные детали двигателей, их определение. Разгрузка ротора компрессора от осевой силы.

4. Камеры сгорания ГТД, основные требования, предъявляемые к ним. Классификация камер сгорания. Конструкция кольцевых и трубчатокольцевых камер сгорания. Форсажные камеры ГТД, конструктивные схемы. Применяемые материалы.

5. Выходные устройства ГТД. Регулируемые сопла. Схемы реверсивных устройств, понятие о коэффициенте реверсирования. Шумоглушающие устройства.

Модуль 3

Змістовий модуль 3

1. Назначение и основные характеристики редукторов. Классификация и кинематические схемы редукторов. Измерители крутящего момента. Приводы агрегатов.

2. Колебания лопаток, дисков и оболочек ГТД. Формы собственных колебаний рабочих лопаток. Влияние конструктивных факторов на частоту собственных колебаний рабочих лопаток. Отстройка от резонансных частот колебаний лопаток. Конструктивные меры борьбы с резонансными колебаниями рабочих лопаток. Определение резонансных частот колебаний рабочих лопаток. Построение частотной диаграммы колебаний лопатки. Влияние конструктивных факторов на частоту собственных колебаний дисков. Определение резонансных частот колебаний дисков. Частотная диаграмма колебаний диска. Конструктивные меры борьбы с резонансными колебаниями дисков. Отстройка от резонансных частот колебаний дисков. Формы собственных колебаний оболочек. Влияние конструктивных факторов на частоту собственных колебаний оболочек.

3. Критические скорости вращения и изгибные колебания роторов. Понятие критической скорости вращения вала. Критические скорости вращения ротора и их экспериментальное определение. Конструктивные факторы, влияющие на значение критических скоростей вращения ротора. График изменения величины прогиба вала в зависимости от его частоты вращения. Понятия «Жесткий» и «Гибкий» вал. Привести примеры жестких и гибких валов современных двигателей. Собственные изгибные колебания, не вращающегося однодискового ротора. Связь критической скорости вращения ротора с частотой собственных изгибных колебаний. Прецессионное движение вращающегося однодискового ротора. Понятие прямой и обратной синхронной прецессии. Движение ротора и действие гироскопического момента при прямой прецессии. Движение ротора и действие гироскопического момента при обратной прецессии. Критические скорости вращения многодисковых роторов. Расчёт критических скоростей вращения многодисковых роторов. Определение возможных резонансов и критических скоростей вращения ротора. Показать на примере построения частотной диаграммы влияние упругости опор на критические скорости вращения роторов.

4. Конструктивные меры борьбы с изгибными колебаниями роторов. Конструкция опор ротора. Упругие элементы. Упругие опоры. Опоры с упругими кольцевыми элементами. Расчет элемента упругого кольца, определение коэффициента жесткости. Опоры со стержневыми, упругими элементами – типа «беличье колесо». Расчет стержневого элемента «беличьего колеса», определение коэффициента жесткости. Гидродинамическая демпферная опора ГТД. Особенности конструкции. Подшипники авиационных ГТД. Уплотнение опор.

9. Методи контролю

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

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

Семестр 7(5), 8(6) – *іспит*.

10. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

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

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	10	0...10
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...3	5	10...15
Модульний контроль	20...25	1	20...25
Модуль 2			
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	10	0...10
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	2...3	5	10...15
Модульний контроль	20...25	1	20...25
Усього за семестр 7			60...100
Модуль 3			
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...1	15	0...15
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	3...6	5	15...30
Модульний контроль	45...55	1	45...55
Усього за семестр 8			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 трьох теоретичних запитань. Теоретичні запитання розподілено таким чином:

Перше запитання - змістовий модуль 1;

Друге запитання – змістовий модуль 2;

Третє запитання – змістовий модуль 3;

Максимальна кількість балів за кожне запитання – 33.

10.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- типи авіаційних силових установок за способом створення рушійної сили та здійснення робочих процесів у двигуні.;

– області їх застосування;

– основні питомі параметри авіаційних двигунів;

– вхідні пристрої. Будова, засоби підвищення ефективності роботи.;

– повітряні лопаткові компресори ГТД: принцип, ефективність, сталість роботи;

– газові турбіни ГТД: принцип, ефективність роботи, будова, засоби підвищення ефективності роботи;

- конструкцію робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил;
 - Конструкцію та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток компресорів.
- Конструкцію та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін;
- камери згоряння ГТД. Принцип роботи, будова, засоби підвищення ефективності роботи;
 - вихідні пристрої ГТД. Принцип роботи, будова;
 - системи які забезпечують роботу двигуна;
- вміти:**
- визначати загальну будову та робочі процеси різновидів авіаційних теплових двигунів;
 - виконувати оцінку призначення, будови та ефективності вузлів ГТД;
 - виконувати порівняльну оцінку існуючих конструкцій, пропонувати шляхи їх вдосконалення.
 - Виконувати розрахунки на міцність робочих лопаток компресора.

10.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом 7(5) семестру

Задовільно (60-74). Мати необхідний мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Вміти визначити тип двигуна за його натурним зразком або кресленням, тип компресора, турбіни і вихідного пристрою. Визначати кількість ступеней компресора і турбіни. Пояснити розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.

Добре (75-89). Твердо опанувати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи. Здати модульне тестування з позитивною оцінкою. Вміти визначити тип двигуна за його натурним зразком або кресленням, тип компресора, турбіни і вихідного пристрою. Визначати кількість ступеней компресора і турбіни. Вміти визначати тип ротора компресора тип камери згоряння. Пояснювати умови та механізм виникнення напружень в робочих лопатках. Знати основні типи вихідних пристроїв.

Відмінно (90-100). Відпрацювати та захистити всі лабораторні 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. Вміти визначити тип двигуна за його натурним зразком або кресленням, тип компресора, турбіни і вихідного пристрою. Визначати кількість ступеней компресора і турбіни. Вміти визначати тип ротора компресора тип камери згоряння. Пояснювати умови та механізм виникнення температурних напружень. Знати умови роботи лопаток, дисків та корпусів турбін, які спричиняють навантаження. Знати основні типи вихідних пристроїв.

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. Методичні посібники для проведення лабораторних занять;
2. Навчальні плакати вузлів ГТД та поздовжні розрізи двигунів;
3. Макети повно розмірних газотурбінних двигунів.

11. 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. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность дисков компрессоров и турбин [Текст] / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х., ХАИ. – 2007. – 28 с.
4. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность рабочих лопаток компрессора и турбин [Текст] / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х., ХАИ. – 2006. – 28 с.
5. Шошин, Ю. С. Расчет динамической частоты первой формы изгибных колебаний лопатки компрессора или турбины и построение частотной диаграммы [Текст] / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х., ХАИ. – 2009. – 28 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. Расчет на прочность деталей машин [Текст] / И. А. Биргер и др. – М. : Машиностроение, 1979. – 702с.
3. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов [Текст] / В. И. Локай и др. – М. : Машиностроение, 1979. - 447 с.
4. Гаркуша, А. И. Редукторы силовых установок вертолетов и турбовинтовых двигателей [Текст] / А. И. Гаркуша, В. С. Чигрин. – Х., ХАИ. – 2010. - 56 с.
5. Шошин Ю. С. Основные технические данные маршевых авиационных газотурбинных двигателей СССР, Украины, России [Текст] / Ю. С. Шошин. – Х., ХАИ. – 2007. – 74 с.