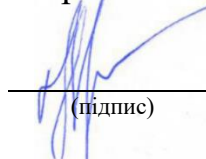


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


_____ Сергій НИЖНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 30 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА *ОБОВ'ЯЗКОВОЇ*
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Конструкції авіаційних двигунів

(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

Технології виробництва авіаційних двигунів та
енергетичних установок

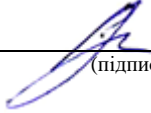
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2023 рік

Розробник Олександр ГАРКУША, доцент каф. 203, к.т.н.
(ім'я та прізвище, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри
Конструкції авіаційних двигунів (№ 203)
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 28 » серпня 2023 р.

Завідувач каф. 203 д.т.н., професор  Сергій ЄПІФАНОВ
(науковий ступінь і вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)	
Кількість кредитів – 233 (223ст), 6(4) сем. – 4 243 (233ст), 7(5) сем. – 5	Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> <small>(шифр і найменування)</small> Спеціальність <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> <small>(код і найменування)</small> Освітня програма <u>Технології виробництва АД та ЕУ</u> <small>(найменування)</small> Рівень вищої освіти <u>перший (бакалаврський)</u>	Обов'язкова	
Кількість модулів – 3		Навчальний рік 2023 / 2024	
Кількість змістових модулів – 3		Семестр	
Індивідуальне завдання Розрахункова робота на тему: «Розрахувати частоту коливань лопатки компресора авіаційного газотурбінного двигуна» <small>(назва)</small>		6(4)-й 7(5)-й	
Загальна кількість годин – 233 (223ст), 6(4) сем. – 64*/120 243 (233ст), 7(5) сем. – 56*/150		Група 233 (223ст) 243 (233ст)	
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 6(4) семестр: 4; 7(5) семестр: 3,5 самостійної роботи студента – 6(4) семестр: 3,5; 7(5) семестр: 5,9		Лекції [*] 32 год. 40 год.	
		Практичні, семінарські [*] 32 год. 16 год.	
		Лабораторні [*] – –	
		Самостійна робота 56 год. 94 год.	
		Вид контролю	
	модульний контроль, іспит модульний контроль, іспит		

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

233 (223ст), 6(5) семестр – 64 / 56.

243 (233ст), 7(6) семестр: – 56 / 94.

* 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 (ЗК): *Здатність генерувати нові ідеї (креативність). Здатність приймати обґрунтовані рішення. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.*

Спеціальні (фахові) компетентності (ФК): *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.*

Очікувані результати навчання (ПРН): *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 обґрунтовувати послідовність проектування, виробництва, випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки. Розуміти та обґрунтовувати 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. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовний модуль 1

Головні вузли ГТД. Класифікація компресорів та газових турбін.

Конструкція елементів компресорів та турбін

ТЕМА 1. Задачі курсу, порядок вивчення дисципліни, літератури.

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.

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.

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

ТЕМА 4. Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.

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.

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.

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.

Модульний контроль.

Модуль 2

Змістовний модуль 2

Конструкція лопаток компресора і турбіни. Камери згоряння та вихідні пристрої ГТД

ТЕМА 7. Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.

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 турбін.

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

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

Силлові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силлові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.

ТЕМА 10. Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.

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.

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 шумоглушення. Форсажні камери.

Модульний контроль.

Модуль 3

Змістовний модуль 3

Види та форми коливань деталей ГТД. Критична частота обертання вала

ТЕМА 12. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.

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 лопатки.

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

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

ТЕМА 15. Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.

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

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

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	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1					
Головні вузли ГТД. Класифікація компресорів та газових турбін.					
Конструкція елементів компресорів та турбін.					
<i>Групи 233, 223ст</i>					
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.	4	1	1	-	2
ТЕМА 3. Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.	6	2	2	-	2
ТЕМА 4. Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	11	3	4	-	4
ТЕМА 5. Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	11	3	4	-	4
ТЕМА 6. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	18	6	4	-	8
Модульний контроль.	2	-	2	-	-
Разом за змістовим модулем 1	54	16	18	-	20
Модуль 2					
Змістовний модуль 2					
Конструкція лопаток компресора і турбіни.					
Камери згоряння та вихідні пристрої ГТД.					
ТЕМА 7. Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	18	6	4	-	8
ТЕМА 8. Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін.	12	2	2	-	8
ТЕМА 9. Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	9	3	2	-	4
ТЕМА 10. Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	7	3	2	-	2
ТЕМА 11. Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	6	2	2	-	2
Модульний контроль.	2	-	2	-	-
Разом за змістовим модулем 2	54	16	14	-	24
Розрахункова робота на тему: <i>«Розрахунок на міцність лопатки компресора авіаційного ГТД»</i>	12	-	-	-	12
Усього годин в 6 семестрі	120	32	32	-	56
Модуль 3					
Змістовний модуль 3					
Види та форми коливань деталей ГТД. Критична частота обертання вала.					
<i>Групи 243, 233ст</i>					
ТЕМА 12. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація. ІКМ.	24	6	4	-	14
ТЕМА 13. Види та форми коливань лопаток. Коливання пружної лопатки.	26	8	2	-	16

ТЕМА 14. Види та форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін.	26	8	2	-	16
ТЕМА 15. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.	32	12	4	-	16
ТЕМА 16. Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок.	22	6	2	-	14
Модульний контроль.	2	-	2	-	-
Разом за змістовим модулем 3	132	40	16	-	76
Розрахункова робота на тему: <i>«Розрахунок коливань лопатки компресора авіаційного ГТД»</i>	18	-	-	-	18
Усього годин в 7 семестрі	150	40	16	-	94

5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
		<i>6 сем. 233, 223ст</i>
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
		<i>7 сем. 243, 233ст</i>
11	Редуктори ГТД та турбовальних двигунів	4
12	Коливання лопаток на лабораторній установці. Побудова частотної діаграми	2
13	Коливання дисків.	2
14	Визначення критичної частоти обертання валу з диском.	4
15	Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння	4
	Разом	16

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		6 сем. 233,223ст	7 сем. 243,233ст
1	Головні вузли та силові системи ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД.	2	-
2	Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.	2	-
3	Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	4	-
4	Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	4	-
5	Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	8	-
6	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	8	-
7	Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток компресорів. Конструкція та розрахунок на міцність вузлів кріплення робочих лопаток турбін.	8	-
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	-
11	Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.	-	14
12	Види та форми коливань лопаток. Коливання пружної невагомої лопатки з зосередженим вантажем.	-	16
13	Види та форми коливань дисків. Побудова та аналіз частотної діаграми для диска. Міри боротьби з небезпечними коливаннями дисків компресорів та турбін.	-	16
14	Критична частота обертання невагомого вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.	-	16
15	Коливання тонкостінних оболонок камер згоряння. Види і форми коливань оболонок.	-	14
16	Виконання розрахункової роботи	12	18
	Разом	56	94

9. Індивідуальні завдання

1. **Розрахункові роботи на тему:** «Розрахунок на міцність лопатки компресора авіаційного газотурбінного двигуна», «Розрахунок коливань лопатки компресора авіаційного газотурбінного двигуна»

10. Методи навчання

Основні форми навчання:

- лекційна;
- лабораторні (практичні) роботи;
- самостійна робота студента;
- іспит.

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. Класифікація ГТД, сфери застосування по висоті та швидкості польоту. Основні параметри ГТД. Ресурс двигуна, поняття про експлуатацію двигуна за його технічним станом, поняття про модульну конструкцію двигуна.

2. Компресори. Основні вимоги до конструкції компресорів ГТД. Конструктивні заходи, що розширюють діапазон сталої роботи осьових компресорів. Конструктивні параметри робочого колеса щаблі компресора. Класифікація компресорів, їх коротка характеристика. Конструктивні особливості роторів барабанно-дискового типу. Відцентрові компресори, особливості конструкції. Конструкційні матеріали, що застосовуються для лопаток, дисків та корпусів компресорів.

3. Газові турбіни. Класифікація газових турбін. Конструктивні заходи, створені задля підвищення ККД турбіни. Вимоги до вузла кріплення диска турбіни з валом, приклади з'єднання. Зміна радіального зазору між лопатками турбіни та корпусом. Охолодження робочих лопаток турбіни. Нові технологічні методи виробництва турбінних лопаток з метою підвищення їх жароміцності. Матеріали деталей газових турбін.

4. Робочі лопатки ГТД. Конструкція робочих лопаток компресорів і турбін, матеріали, що застосовуються. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил (на розтяг), визначення напруги розтягу методом чисельного інтегрування. Розрахунок на міцність лопаток від впливу газових сил (на вигін). Визначення згинальних моментів у площині обертання та в осьовій площині та напруги вигину. Вигін лопатки від дії відцентрових сил, коефіцієнти компенсації. Визначення запасу міцності лопатки. Визначення температури робочої лопатки турбіни, що неохолоджується, поняття про межу тривалої міцності металу. Кручення лопатки відцентровими та газовими силами.

Модуль 2

Змістовий модуль 2

1. Розрахунок на міцність дисків роторів компресорів та турбін. Вирішення розрахункових рівнянь методом кінцевих різниць. Вибір нульових перерізів, визначення коефіцієнтів A_0 , B_0 , K_0 , Q_0 . Визначення напруги у нульовому перерізі. Визначення напруги та запасів міцності в розрахункових перерізах. Вплив центрального отвору на напругу в диску. Вплив на напругу температурного перепаду радіусом диска. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини. Визначення запасу міцності диска за руйнівними оборотами (частотою обертання).

2. Конструкція та розрахунок на міцність кріплення лопаток компресорів типу «ластівчин хвіст». Конструкція шарнірного кріплення лопаток компресорів. Конструкція та розрахунок на міцність кріплення турбінних лопаток «ялинкового» типу.

3. Силкові схеми роторів та корпусів ГТД. Газові сили та моменти, що діють на основні деталі двигунів, їх визначення. Розвантаження ротора компресора від осьової сили.

4. Камери згоряння ГТД, основні вимоги до них. Класифікація камер згоряння. Конструкція кільцевих та трубчасто-кільцевих камер згоряння. Форсажні камери ГТД, конструктивні схеми. Матеріали, що застосовуються.

5. Вихідні пристрої ГТД. Регульовані сопла. Схеми реверсивних пристроїв, поняття коефіцієнта реверсування. Шумоглущі пристрої.

Модуль 3

Змістовий модуль 3

1. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація та кінематичні схеми редукторів. Вимірювачі крутного моменту. Приводи агрегатів.

2. Коливання лопаток, дисків та оболонок ГТД. Форми своїх коливань робочих лопаток. Вплив конструктивних чинників на частоту своїх коливань робочих лопаток. Відбудовує від резонансних частот коливань лопаток. Конструктивні заходи боротьби із резонансними коливаннями робочих лопаток. Визначення резонансних частот коливань робочих лопаток. Побудова частотної діаграми коливань лопатки. Вплив конструктивних чинників на частоту своїх коливань дисків. Визначення резонансних частот коливань дисків. Частотна діаграма коливань диска. Конструктивні заходи боротьби із резонансними коливаннями дисків. Відстроювання від резонансних частот коливань дисків. Форми своїх коливань оболонок. Вплив конструктивних чинників на частоту своїх коливань оболонок.

3. Критичні швидкості обертання та згинальні коливання роторів. Концепція критичної швидкості обертання валу. Критичні швидкості обертання ротора та його експериментальне визначення. Конструктивні чинники, що впливають значення критичних швидкостей обертання ротора. Графік зміни величини прогину валу в залежності від частоти його обертання. Поняття «Жорсткий» та «Гнучкий» вал. Навести приклади жорстких та гнучких валів сучасних двигунів. Власні згинальні коливання, що не обертається однодискового ротора. Зв'язок критичної швидкості обертання ротора із частотою власних згинальних коливань. Прецесійний рух однодискового ротора, що обертається. Поняття прямої та зворотної синхронної прецесії. Рух ротора та дія гіроскопічного моменту за прямої прецесії. Рух ротора та дія гіроскопічного моменту при зворотній прецесії. Критичні швидкості обертання багатодискових роторів. Розрахунок критичних швидкостей обертання багатодискових роторів. Визначення можливих резонансів та критичних швидкостей обертання ротора. Показати з прикладу побудови частотної діаграми вплив пружності опор на критичні швидкості обертання роторів.

4. Конструктивні заходи боротьби із згинальними коливаннями роторів. Конструкція опор ротора. Пружні елементи. Пружні опори. Опори із пружними кільцевими елементами. Розрахунок елемента пружного кільця, визначення коефіцієнта жорсткості. Опори зі стрижневими, пружними елементами – на кшталт «білице колесо». Розрахунок стрижневого елемента "біличного колеса", визначення коефіцієнта жорсткості. Гідродинамічна демпферна опора ГТД. Особливості конструкції. Підшипники авіаційних ГТД. Ущільнення опор.

11. 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 6(4), 7(5) – існут.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

12.1 Розподіл балів, які отримують здобувачі (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 6			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 7			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.

12.2 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.

12.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом 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 визначити 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 визначити 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: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

13. Методичне забезпечення

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

14. Рекомендована література

Базова

1. Чигрин, В. С. Конструкция и прочность авиационных двигателей [Текст] : консп. лекций / В. С. Чигрин. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», Запорожье : изд. АО «МОТОР СИЧ», 2017. – 420 с.
2. Гаркуша, А.И. Динамика и прочность деталей газотурбинных двигателей [Текст]: консп. лекций / А. И. Гаркуша, В. С. Чигрин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 124 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. Гаркуша, О. І. Загальна будова авіаційних двигунів [Текст] : консп. лекцій / О. І. Гаркуша. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2021. – 88 с.
2. Гаркуша, А. И. Редукторы силовых установок вертолетов и турбовинтовых двигателей [Текст] / А. И. Гаркуша, В. С. Чигрин. – Х., ХАИ. – 2010. – 56 с.

15. Інформаційні ресурси

Сайт бібліотеки ХАІ: <http://library.khai.edu>.

Сайт кафедри: <https://education.khai.edu/department/203>; <https://k203.khai.edu>.