

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

Кафедра конструкції авіаційних двигунів (№ 203)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис)

Л. Г. Бойко
(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА *ОБОВ'ЯЗКОВОЇ* НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**КОНСТРУКЦІЯ ТА МІЦНІСТЬ
ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ТА УСТАНОВОК**

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань

14 «Електрична інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність

142 «Енергетичне машинобудування»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма

Газотурбінні установки і компресорні станції
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський

Харків 2021 рік

Розробник: Ю. О. Гусев, к.т.н., професор
(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) (підпис)



С. В. Єпіфанов

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів 7,5	Галузь знань _14 «Електрична інженерія» (шифр і найменування) Спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування» (код і найменування) Освітня програма <u>Газотурбінні установки і компресорні станції</u> (найменування) Рівень вищої освіти: <u>перший бакалаврський</u>	Обов'язкова
Кількість модулів –3		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 3		2021/2022
Індивідуальне завдання		Семестр
Розрахункова робота на тему: «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна»		6-й, 4-й сфн
(назва)		<i>сфн- скорочена форма навчання</i>
Загальна кількість годин – 6 с – 104 ауд./225;		Лекції*
		64 годин
		Практичні, семінарські*
		8 годин
		Лабораторні*
		_32 години
		-
		Самостійна робота
		121 година
		Вид контролю
		модульний контроль, іспит
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 5 самостійної роботи здобувача – 6 с – 7,5		

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 6с – 104 ауд / 121 сам;

* Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно 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: *Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності; Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.; Здатність використовувати іноземну мову у професійній діяльності.; Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. ; Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.; Здатність працювати в команді.; Здатність забезпечувати якість виконуваних робіт.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням теоретичних і експериментальних методів дослідження процесів в газотурбінних установках та енергетичному обладнанні компресорних станцій. Здатність аналізувати інформацію з літературних джерел, здійснювати патентний пошук, а також використовувати бази даних та інші джерела інформації для здійснення професійної діяльності. Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів газотурбінної техніки і енергетичного обладнання компресорних станцій. Здатність брати участь у роботах з розробки і впровадження теплотехнологічних процесів при проектуванні газотурбінної техніки та енергетичного обладнання компресорних станцій, перевіряти якість монтажу й налагодження при випробуваннях і здачі в експлуатацію нових газотурбінних установок та енергетичного обладнання компресорних станцій. Здатність визначати режими експлуатації газотурбінних установок та енергетичного обладнання компресорних станцій і застосовувати способи раціонального використання сировинних, енергетичних та інших видів ресурсів. Здатність забезпечувати моделювання об'єктів і процесів з використанням стандартних і спеціальних пакетів програм та засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів*

Програмні результати навчання: *Знати лінійну та векторну алгебру, диференціальне та інтегральне числення, функції багатьох змінних, функціональні ряди, диференціальні рівняння для функції однієї та багатьох змінних, операційне числення, теорію функції комплексної змінної, теорію випадкових процесів в обсязі, необхідному для користування математичним апаратом та методами у галузі автоматизації. Знати фізику, електротехніку, електроніку та схемотехніку, мікропроцесорну техніку на рівні, необхідному для розв'язання типових задач і проблем автоматизації. Вміти застосовувати сучасні інформаційні технології та мати навички розробляти алгоритми та комп'ютерні програми з використанням мов високого рівня та технологій об'єктно-орієнтованого програмування. Розуміти суть процесів, що відбуваються в об'єктах автоматизації та вміти проводити їх аналіз і обґрунтовувати вибір структури, алгоритмів та схем керування ними на основі результатів дослідження їх властивостей. Вміти застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування. Вміти розробляти комп'ютерно-інтегровані системи управління та програмно-технічні комплекси на базі промислових контролерів, засобів людино-машиного інтерфейсу і промислових інформаційних мереж. Вміти застосовувати сучасні методи моделювання та оптимізації для дослідження та створення ефективних систем керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами. Вміти створювати високонадійні системи автоматизації на основі сучасних положень теорії надійності, функціональної безпеки програмних та технічних*

засобів, аналізу та зменшення ризиків в складних системах. Вміти застосовувати методи системного аналізу, моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних та імітаційних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій. Здатність проводити аналіз виробничо-технічних систем в різних галузях промисловості як об'єктів автоматизації і визначати стратегію їх автоматизації. Вміти проектувати та налагоджувати спеціальні вимірювальні та керуючі системи з урахуванням властивостей виробничо-технологічних комплексів. Вміти застосовувати системний підхід для врахування нетехнічних (економічних, правових, соціальних, екологічних і ін.) складових оцінки об'єктів автоматизації при проведенні робіт з впровадження систем керування складними технологічними та організаційно-технічними об'єктами. Вміти розробляти функціональну, технічну та інформаційну структуру комп'ютерно-інтегрованих систем управління складними технологічними процесами та виробництвом. Вміти організувати проведення монтажних і налагоджуваних робіт систем автоматизації. Вміти виявляти, локалізувати та виправляти помилки в роботі програмних та апаратних засобів автоматичного та автоматизованого управління.

Пререквізити: інженерне матеріалознавство, вища математика, теоретична механіка, механіка матеріалів та конструкцій, технології конструкційних матеріалів, теорія газотурбінних двигунів і установок, теорія та розрахунок лопатевих машин, газотурбінні установки, компресорні станції та газотранспортні мережі, нагнітачі природного газу, теплообмінне обладнання в енергетиці та газовій галузі, технологія газотурбобудування.

Кореквізити: деталі машин, технологія двигунобудування,

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль № 1

ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Класифікація авіаційних двигунів. Основні параметри. Області використання.

ТЕМА 2. Термодинамічний цикл Брайтона. Залежність питомої роботи від параметрів польоту, температури газу перед турбіною та ступеня підвищення тиску. Покоління ГТД. Формула для визначення тяги. Питома тяга та питома витрата палива. Зміна температури та тиску у характерних перерізах проточної частини.

ТЕМА 3. Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД. Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів. Конструкції опор роторів ГТД. Сили інерції, які діють на вузли ГТД. Статичне та динамічне балансування роторів. Силові системи роторів і статорів. Трансмісії ГТД, конструкція з'єднувальних муфт. Джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ.

ТЕМА 4. Визначення навантажень та аналіз міцності валів. Аналіз характерних режимів роботи та зміни осьових та радіальних сил, крутного моменту, гіроскопічного моменту. Визначення критичного режиму польоту для аналізу міцності вала та відповідних навантажень. Побудова розрахункової схеми вала.

ТЕМА 5. Призначення, умови роботи та вимоги до компресорів АД та ЕУ. Класифікація компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Осьові та відцентрові компресори. Конструктивні схеми осьових компресорів. Вимоги до конструкції компресора та шляхи їх реалізації. Типи роторів осьових компресорів, їх порівняльна оцінка. Конструкція робочих лопаток компресора та вузлів їх кріплення. Навантаження, що діють на ротор компресора. Статори компресорів. Зазори між ротором і статором. Ущільнення проточної частини компресорів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Конструкційні матеріали виготовлення деталей компресорів.

ТЕМА 6. Призначення, умови роботи та вимоги до турбін АД і ЕУ. Робочі лопатки турбін, засоби їх сполучення з диском. Диски турбін, їх сполучення між собою та з валом. Розрахунок осьової сили, яка діє на ротор турбіни. Статори газових турбін. Соплові апарати, умови роботи, силові схеми та засоби кріплення до корпусів. Корпуси газових турбін. Охолодження деталей турбін. Визначення температури лопаток та дисків турбіни. Зазори проміж ротором і статором. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.

ТЕМА 7. Призначення, умови роботи та вимоги до камер згоряння АД і ЕУ. Особливості робочого процесу у камерах згоряння. Призначення, умови роботи, конструктивне оформлення та навантаження на основні елементи КЗ: корпуси, дифузор, жарові труби, фронтний пристрій, форсунки, запалювальний пристрій, газозбірник. Особливості форсажних камер. Вібраційне горіння та його вплив на міцність КЗ.

Модульний контроль

Модуль 2

Змістовий модуль № 2

ТЕМА 8. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил. Сумарні напруження, коефіцієнт запасу міцності. Розвантаження пера робочої лопатки від згинаючих моментів газових сил моментами від відцентрових сил. Коефіцієнт розвантаження. Особливості розрахунку лопаток з бандажними полицями, нерівномірно нагрітих лопаток.

ТЕМА 9. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Зведення розрахункових рівнянь диску до системи звичайних диференціальних рівнянь. Граничні умови для суцільного диска та диска із центральним отвором. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини та дисків відцентрових компресорів. Аналіз термонапруженого стану диска на прикладі диска постійної товщини. Визначення запасу міцності диска за еквівалентними напруженнями та за руйнуючою частотою обертання.

ТЕМА 10. Види та форми коливань лопаток. Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін. Визначення частоти першої форми власних коливань моделі лопатки (плоскої пластини) за методом Релея. Вплив форми лопатки та умов її роботи на частоту вільних коливань. Визначення частот кількох форм коливань реальної лопатки за методом скінчених елементів. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань лопаток. Джерела змінних сил, що примушують лопатку коливатися. Визначення резонансних режимів. Побудова та аналіз частотної діаграми для робочої лопатки компресора або турбіни. Методи демпфування коливань лопаток. Автоколивання лопаток.

ТЕМА 11. Коливання дисків. Форми коливань. Сумісні коливання лопаток із дисками.

Модульний контроль

Модуль 3

Змістовий модуль №3

ТЕМА 12. Коливання роторів. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.

ТЕМА 13. Згинальні коливання роторів ГТД. Власні згинальні коливання роторів. Власні згинальні коливання не обертового одно-дискового ротора. Власні рухи не обертового одно-дискового ротора.

ТЕМА 14. Коливання обертового ротора. Власні прецесійні рухи не обертового одно-дискового ротора. Прецесійний рух вала. Силові фактори при прецесійному русі вала.

ТЕМА 15. Змушені та резонансні коливання роторів. Роторні коливання валів. Не роторні коливання валів. Вплив пружності опор на коливання роторів.

ТЕМА 16. Розрахунок згинальних коливань роторів ГТД методом скінчених елементів.

ТЕМА 17. Основні поняття та вимоги до опор. Конструкція та проектування пужнодемпферних опор.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	пр	лаб	с.р.
1	2	3	4	5	7
<i>Групи 221 ст, 231^(У)</i>					
Модуль 1					
Змістовий модуль 1					
ТЕМА 1. Предмет вивчення та задачі дисципліни. Місце дисципліни в учбовому плані. Рекомендована література. Класифікація авіаційних двигунів. Основні параметри. Області використання.	8	4	-	2	2
ТЕМА 2. Термодинамічний цикл Брайтона. Залежність питомої роботи від параметрів польоту, температури газу перед турбіною та ступеня підвищення тиску. Покоління ГТД. Формула для визначення тяги. Питомая тяга та питома витрата палива. Зміна температури та тиску у характерних перерізах проточної частини.	4	2	-		2
ТЕМА 3. Головні вузли та силові системи ГТД. Умови роботи і навантаження на основні вузли та деталі двигуна. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД. Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів. Конструкції опор роторів ГТД. Сили інерції, які діють на вузли ГТД. Статичне та динамічне балансування роторів. Силові системи роторів і статорів. Трансмсії ГТД, конструкція з'єднувальних муфт. Джерела температурних напружень у вузлах та деталях АД і ЕУ.	8	4	-		4
ТЕМА 4. Визначення навантажень та аналіз міцності валів. Аналіз характерних режимів роботи та зміни осьових та радіальних сил, крутного моменту, гіроскопічного моменту. Визначення критичного режиму польоту для аналізу міцності вала та відповідних навантажень. Побудова розрахункової схеми вала.	7	5			2
ТЕМА 5. Призначення, умови роботи та вимоги до компресорів АД та ЕУ. Класифікація компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Осьові та відцентрові компресори. Конструктивні схеми осьових компресорів. Вимоги до конструкції компресора та шляхи їх реалізації. Типи роторів осьових компресорів, їх порівняльна оцінка. Конструкція робочих лопаток компресора та вузлів їх кріплення. Навантаження, що діють на ротор компресора. Статори компресорів. Зазори між ротором і статором. Ущільнення проточної частини компресорів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Конструкційні матеріали виготовлення деталей компресорів.	28	4	-	10	14

ТЕМА 6. Призначення, умови роботи та вимоги до турбін АД і ЕУ. Робочі лопатки турбін, засоби їх сполучення з диском. Диски турбін, їх сполучення між собою та з валом. Розрахунок осьової сили, яка діє на ротор турбіни. Статори газових турбін. Соплові апарати, умови роботи, силові схеми та засоби кріплення до корпусів. Корпуси газових турбін. Охолодження деталей турбін. Визначення температури лопаток та дисків турбіни. Зазори проміж ротором і статором. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей турбін.	30	6	-	6	18
ТЕМА 7. Призначення, умови роботи та вимоги до камер згоряння АД і ЕУ. Особливості робочого процесу у камерах згоряння. Призначення, умови роботи, конструктивне оформлення та навантаження на основні елементи КЗ: корпуси, дифузор, жарові труби, фронтний пристрій, форсунки, запалювальний пристрій, газозбірник. Особливості форсажних камер. Вібраційне горіння та його вплив на міцність КЗ.	24	2	-	6	16
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	110	29	-	32	59
Модуль 2					
Змістовий модуль 2					
ТЕМА 8. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил. Сумарні напруження, коефіцієнт запасу міцності. Розвантаження пера робочої лопатки від згинаючих моментів газових сил моментами від відцентрових сил. Коефіцієнт розвантаження. Особливості розрахунку лопаток з бандажними полицями, нерівномірно нагрітих лопаток. – 6 (28)	25	6	4		15
ТЕМА 9. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Зведення розрахункових рівнянь диску до системи звичайних диференціальних рівнянь. Граничні умови для суцільного диска та диска із центральним отвором. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини та дисків відцентрових компресорів. Аналіз термонапруженого стану диска на прикладі диска постійної товщини. Визначення запасу міцності диска за еквівалентними напруженнями та за руйнуючою частотою обертання.	30	6	6		18
ТЕМА 10. Види та форми коливань лопаток. Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін. Визначення частоти першої форми власних коливань моделі лопатки (плоскої пластини) за методом Релея. Вплив форми лопатки та умов її роботи на частоту вільних коливань. Визначення частот кількох форм коливань реальної лопатки за методом скінчених елементів. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань лопаток. Джерела змінних сил, що примушують лопатку коливатися. Визначення резонансних режимів. Побудова та аналіз	21	5	4	4	8

частотної діаграми для робочої лопатки компресора або турбіни. Методи демпфування коливань лопаток. Автоколивання лопаток.					
ТЕМА 11. Коливання дисків. Форми коливань. Сумісні коливання лопаток із дисками.	14	2	4	4	4
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 2	91	20	8	8	45
Модуль 3					
Змістовий модуль 3					
ТЕМА 12. Коливання роторів. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.	4	2	-		2
ТЕМА 13. Згинальні коливання роторів ГТД. Власні згинальні коливання роторів. Власні згинальні коливання не обертового одно-дискового ротора. Власні рухи не обертового одно-дискового ротора	3	2	-		1
ТЕМА 14. Коливання обертового ротора Власні прецесійні рухи не обертового одно-дискового ротора. Прецесійний рух валу. Силкові фактори при прецесійному русі вала.	3	2	-	-	1
ТЕМА 15. Змушені та резонансні коливання роторів. Роторні коливання валів. Не роторні коливання валів. Вплив пружності опор на коливання роторів.	3	2	-	-	1
ТЕМА16. Розрахунок згинальних коливань роторів ГТД методом скінченних елементів.	4	2	-	-	2
ТЕМА 17. Основні поняття та вимоги до опор. Конструкція та проектування пружнодемпферних опор.	4	2	-	-	2
Модульний контроль	1	1	-	-	
Разом за змістовим модулем 3	24	13	-	-	11
Усього годин	225	64	8	32	121

5. Теми семінарських занять

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

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунки на міцність лопаток компресорів та турбін	2
2	Розрахунки на міцність дисків компресорів та турбін	2
3	Аналіз напружено-деформованого стану диска	2
4	Розрахунок на міцність замків кріплення робочих лопаток	2
	Разом	8

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Загальне знайомство з конструкцією ТРД, ТРДФ, ТГД, ТВАД, ТРДД різних поколінь, які знаходяться на кафедрі: турбореактивні двигуни, турбореактивні двоконтурні двигуни, турбогвинтові двигуни, турбовальні двигуни, турбореактивні двигуни з форсажною камерою	2
2	Конструкція осьових та відцентрових компресорів ГТД, матеріали компресорів	6
3	Конструкція газових турбін ГТД	4
5	Трансмисії ГТД	2
6	Камери згоряння ГТД	4
7	Вихідні пристрої ГТД	2
8	Коливання лопаток. Визначення частот кількох форм коливань реальної лопатки	4
9	Коливання дисків компресорів та турбін	2
10	Коливання оболонок (корпусів камер згоряння)	2
11	Критична частота обертання невагомego вала з одним диском. Поняття "жорсткого" та "гнучкого" вала. Визначення частот власних поперечних коливань необертового валу з одним диском	4
Разом		32

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Конструктивно-компонувальні схеми ГТД	4
2	Компресори АД та ЕУ	12
3	Газові турбіни	12
4	Розрахунок лабіринтного ущільнення	4
5	Розрахунок навантаження на радіально упорний підшипник	4
6	Основні камери згоряння ГТД	10
7	Форсажні камери згоряння ГТД	4
8	Вихідні та реверсивні авіаційних пристрої ГТД	4
9	Екологічні характеристики ГТД	4
10	Силові системи, трансмісії та основні фактори навантаження, що діють на деталі ГТД	6
11	Розрахунки на міцність лопаток компресорів та турбін	9
12	Розрахунки на міцність дисків компресорів та турбін	8
13	Аналіз напружено-деформованого стану диска	6
14	Розрахунок на міцність замків кріплення робочих лопаток	6
15	Розрахунки на міцність та стійкість оболонок	4
16	Конструкційна міцність матеріалів. Малоциклова і багатоциклова втома. Вибір запасів міцності і способів їх розрахунку	6
17	Розрахункова робота на тему «Розрахунок лопатки компресора на статичну міцність»	14
Разом		121

9. Індивідуальне завдання

1. Курсовий проект на тему: «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна» .

10. Методи навчання

1 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.

11. Методи контролю

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

Проведення, письмового модульного контролю, фінальний контроль у вигляді заліка

Семестр 6(4) – іспит

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

Модуль 2

Змістовий модуль 2

Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил. Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил. Сумарні напруження, коефіцієнт запасу міцності. Розвантаження пера робочої лопатки від згинаючих моментів газових сил моментами від відцентрових сил. Коефіцієнт розвантаження. Особливості розрахунку лопаток з бандажними полицями, нерівномірно нагрітих лопаток.

Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану. Зведення розрахункових рівнянь диску до системи звичайних диференціальних рівнянь. Граничні умови для суцільного диска та диска із центральним отвором. Особливості розрахунку дисків зі стрибкоподібною зміною товщини та дисків відцентрових компресорів. Аналіз термонапруженого стану диска на прикладі диска постійної товщини. Визначення запасу міцності диска за еквівалентними напруженнями та за руйнуючою частотою обертання.

Види та форми коливань лопаток. Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін. Визначення частоти першої форми власних коливань моделі лопатки (плоскої пластини) за методом Релея. Вплив форми лопатки та умов її роботи на частоту вільних коливань. Визначення частот кількох форм коливань реальної лопатки за методом скінчених елементів. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на частоту власних коливань лопаток. Джерела змінних сил, що примушують лопатку коливатися. Визначення резонансних режимів. Побудова та аналіз частотної діаграми для робочої лопатки компресора або турбіни. Методи демпфування коливань лопаток. Автоколивання лопаток.

Коливання дисків. Форми коливань. Сумісні коливання лопаток із дисками

Модуль 3

Змістовий модуль 3

Коливання роторів. Критична частота обертання невагомго вала з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» вала.

Згинальні коливання роторів ГТД. Власні згинальні коливання роторів. Власні згинальні коливання не обертового одно-дискового ротора. Власні рухи не обертового одно-дискового ротора.

Коливання обертового ротора. Власні прецесійні рухи не обертового одно-дискового ротора. Прецесійний рух валу. Силкові фактори при прецесійному русі вала.

Змуснені та резонансні коливання роторів. Роторні коливання валів. Не роторні коливання валів. Вплив пружності опор на коливання роторів.

Розрахунок згинальних коливань роторів ГТД методом скінчених елементів.

Основні поняття та вимоги до опор. Конструкція та проектування пружнодемпферних опор.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовий модуль 1			
Робота на лекціях	0...2	4	0...8
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	6...10	4	24...40
Модульний контроль	36...52	1	36...52
Усього за модуль 1			60...100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Допуск до іспиту надається за умов відпрацювання та здачі усіх лабораторних робіт.

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

Білет для іспиту складається з двох теоретичних запитань. Теоретичні запитання розподілено таким чином:

Перше запитання - змістовий модуль 1,2 або 3;

Друге запитання – – тематика розрахунково-графічної роботи

Максимальна кількість балів за кожне запитання –50.

12.2 Якісні критерії оцінювання

Для одержання позитивної оцінки студент повинен

знати:

- типи газотурбінних 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;

– Види та форми коливань лопаток. та дисків ГТД Вільні та вимушені коливання лопаток компресорів і турбін. Побудова та аналіз частотної діаграми для робочої лопатки компресора або турбіни

Коливання роторів. Критична частота обертання невагомго валу з одним диском. Поняття «жорсткого» та «гнучкого» валу. Основні поняття та вимоги до опор. Конструкція та проектування пружно-демпферних опор.

–

– Прецесійний рух валу. Силі фактори при прецесійному руху валу

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 та дисків компресора і турбін..

12.3 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; порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, барабанів, замків, валів, оболонок); режими роботи

двигуна, мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна та про вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей.

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, вимоги до двигунів різного призначення, конструкцію вузлів цих двигунів та деталей; порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, барабанів, замків, валів, оболонок); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; мати уяву про вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна; вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей.

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; порядок проектування авіаційного двигуна та його випробувань; обмеження діапазону використання літального апарата, які дає двигун; конструкцію вузлів і деталей двигуна, проблеми, що виникають під час їх експлуатації; статичні і динамічні навантаження, які діють на елементи ГТД і літак від двигуна; норми міцності; методи розрахунків основних деталей двигуна на міцність (лопаток, дисків, барабанів, замків, валів, оболонок); режими роботи двигуна, зміну навантажень при різних режимах роботи; конструкційні матеріали, які використовуються у двигунах; вплив конструкційних і експлуатаційних факторів на напружено-деформований стан деталей двигуна; вплив режимів роботи двигуна на малоциклову втому його деталей.

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

<https://mentor.khai.edu/user/index.php?id=2793>

14. 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. Штода А. В. Конструкция авиационных двигателей. [Текст] / А. В. Штода. – М. : Изд-во ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1968. – 387 с.
4. Биргер, И. А. Сопротивление материалов [Текст] : учеб. пособие / И. А. Биргер, Р. Р. Мавлютов, Ю. С. Шошин. – М. : Наука, 1986. – 560 с.
5. Шошин, Ю. С. Основные технические данные маршевых авиационных газотурбинных двигателей СССР, Украины, России [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Шошин. – Х.: 2002 – 69 с.
6. Шошин Ю. С. Компрессоры авиационных газотурбинных двигателей. [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Шошин. – Х. 2002 – 26 с.
7. Шошин Ю. С. Турбины авиационных газотурбинных двигателей [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Шошин. – Х. 2003 – 37 с.
8. Гусев Ю. А. Конструкция камер сгорания газотурбинных двигателей [Текст] : учеб. пособие / Ю. А. Гусев. – Х. 1990 – 31 с.
9. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность рабочих лопаток компрессоров и турбин [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Шошин, С. В. Епифанов, Р. Л. Зеленский. – Х. 2006 – 28 с.
10. Шошин, Ю. С. Расчет на прочность дисков компрессоров и турбин [Текст] : учеб. пособие / Ю. С. Шошин., С. В. Епифанов., Ф. М. Муравченко. – Х. 1998 – 28 с.
11. Полетучий, А. И. Основы конструирования авиационных редукторов [Текст] / А. И. Полетучий., В. М. Рыдченко. – Х.:, 1994. - Ч.1 - 335с., Ч.2 - 28 с.
12. Чигрин, В. С. Конструкция и прочность авиационных двигателей [Текст] : – Х. «Мотор Січ» 2017. – 420

Допоміжна

1. Никитин, Ю. М. Конструирование элементов деталей и узлов авиадвигателей [Текст] / Ю. М. Никитин - М. : Машиностроение, 1968. - 324 с.
3. Локай, В. И. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов [Текст] / В. И. Локай, - М. : Машиностроение, 1979. - 447 с.
4. Кириченко, В. И. Редукторы ТВД и вертолетных двигателей [Текст] : учеб. пособие / В. И. Кириченко. – Х, 1978. - 82 с.
5. Пономарев, В. А. Настоящее и будущее авиационных двигателей [Текст] / В. А. Пономарев. - М. : Воениздат, 1982. - 240 с.
6. Технические описания авиационных газотурбинных двигателей.
7. Бюргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин [Текст] / И. А. Биргер. – М. : Машиностроение, 1979, 702 с.
8. Сопротивление материалов [Текст] ; под ред. Г. С. Писаренко. - К. : Вища шк., 1986. – 775 с.
9. Научный вклад в создание авиационных двигателей [Текст] ; под общ. Научн. Ред. В. А. Скибина и В. И. Солонина. - М. : Машиностроение 2000. - 616 с.

15. Інформаційні ресурси

Електронні креслення повздовжніх розрізів двигунів, електронні посібники по лабораторним заняттям й програми ПЕОМ з розрахунків на міцність і коливання елементів ГТД, креслення поздовжніх розрізів ГТД.