

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

 Ю. О. Невешкін
(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Конструкція авіаційних двигунів

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: «Комп'ютерні технології проектування та
виробництва»
(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)



(підпис)

С. Єпіфанов

(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 4	Галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування» (шифр і назва)	Вибіркова
Кількість модулів – 1	Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Освітня програма: Комп'ютерні технології проектування та виробництва	Навчальний рік
Кількість змістових модулів – 1		2021 / 2022
Індивідуальне завдання Розрахункова робота на тему: «Розрахувати на міцність лопатку компресора авіаційного газотурбінного двигуна» (назва)		Семестр
Загальна кількість годин – 56*/120		6(4)-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3 самостійної роботи студента – 4	Рівень вищої освіти <u>перший (бакалаврський)</u>	Лекції *
		32 год.
		Практичні, семінарські *
		16 год.
		Лабораторні *
		8 год.
		Самостійна робота
		64 год.
		Вид контролю
		іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
для денної форми навчання: 56 / 64.

* 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 до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово. Здатність спілкуватися іноземною мовою. Здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями. Здатність працювати в команді.*

Спеціальні (фахові) компетентності: *Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, а також комп'ютерне програмне забезпечення для аналізу і синтезу систем автоматизації. Здатність застосовувати знання фізики, електротехніки, електроніки і мікропроцесорної техніки, в обсязі, необхідному для розуміння процесів в системах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Здатність виконувати аналіз об'єктів автоматизації на основі знань про процеси, що в них відбуваються та застосовувати методи теорії автоматичного керування для дослідження, аналізу та синтезу систем автоматичного керування. Здатність застосовувати методи системного аналізу, математичного моделювання, ідентифікації та числові методи для розроблення математичних моделей окремих елементів та систем автоматизації в цілому, для аналізу якості їх функціонування із використанням новітніх комп'ютерних технологій. Здатність використовувати для вирішення професійних завдань новітні технології у галузі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, зокрема, проектування багаторівневих систем керування, збору даних та їх архівування для формування бази даних параметрів процесу та їх візуалізації за допомогою засобів людино-машинного інтерфейсу. Здатність вільно користуватись сучасними комп'ютерними та інформаційними технологіями для вирішення професійних завдань, програмувати та використовувати прикладні та спеціалізовані комп'ютерно-інтегровані середовища для вирішення задач автоматизації.*

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

Кореквізити: деталі машин, технологія двигунобудування, гідрогазодинаміка.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1

Змістовий модуль 1

ТЕМА 1. Класифікація реактивних двигунів, Головні параметри авіаційних ГТД. Вимоги, які ставляться до ГТД. Переваги та недоліки різних типів двигунів. Головні вузли та цикли ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД, Засоби зменшення осьових сил, які діють на ротори двигунів.

ТЕМА 2. Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів. Засоби забезпечення безпомпажної роботи компресора на всіх режимах роботи двигуна. Ротори барабанного типу, конструкція. Розрахунок на міцність ротора барабанного типу. Конструктивні особливості роторів барабанно-дискового типу. Класифікація відцентрових компресорів, параметри, конструкція головних елементів відцентрового компресора. Конструктивні матеріали.

ТЕМА 3. 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 4. 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 5. 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.

ТЕМА 6. Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція. Конструктивні матеріали для виготовлення деталей камер згоряння.

ТЕМА 7. Силкові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силкові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.

ТЕМА 8. 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.

ТЕМА 9. 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.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	лаб	п	с.р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
ТЕМА 1. Головні вузли та цикл ГТД. Газові сили і моменти, які діють на вузли ГТД.	10	4	-	2	4
ТЕМА 2. Класифікація осьових компресорів ГТД, параметри, порівняльна оцінка. Типи роторів.	10	4	2	2	4
ТЕМА 3. Класифікація газових турбін. Конструкція елементів турбіни. Охолодження деталей турбін.	10	4	2	2	4
ТЕМА 4. Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	12	4	2	2	6
ТЕМА 5. Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	12	4	2	2	6
ТЕМА 6. Камери згоряння ГТД, класифікація, вимоги та конструкція.	10	4	-	2	4
ТЕМА 7. Силкові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силкові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	8	3	-	1	4
ТЕМА 8. Вихідні пристрої ГТД. Типи реактивних сопел. Регульовані та нерегульовані сопла.	7	2	-	1	4
ТЕМА 9. Призначення та основні характеристики редукторів. Класифікація.	8	2	-	2	4
Модульний контроль	1	1	-	-	-
Разом за змістовим модулем 1	88	32	-	16	40
Розрахункова робота на тему: <i>«Розробка вузла компресора авіаційного ГТД»</i>	14	-	-	-	24
Усього годин	120	32	8	16	64

5. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Загальне знайомство з конструкцією ТРД, ТРДД, ТГД, ТВад, ТРДД різних поколінь, які знаходяться на кафедрі.	2
2	Вивчення конструкції осьових компресорів авіаційних ГТД.	2
3	Газові турбіни авіаційних ГТД.	2

4	Конструкція робочих лопаток компресора і турбіни. Розрахунок на міцність лопаток від дії відцентрових сил.	2
5	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	2
6	Силові системи ротора і статора ГТД.	1
7	Камери згоряння авіаційних ГТД.	2
8	Вихідні пристрої ГТД. Форсажні камери ТРДФ.	1
9	Редуктори ГТД та турбовальних двигунів.	2
	Разом	16

5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Конструкція роторів компресорів	2
2	Конструкція охолоджуємих лопаток турбін	2
3	Розрахунок на міцність лопаток від дії газових сил.	2
4	Температурні напруження дисків турбін	2
	Разом	8

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
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.	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.	6
6	Розрахунок на міцність дисків компресорів і турбін, виведення головних розрахункових рівнянь напруженого стану.	6
8	Силові системи ротора ГТД, конструкція опор. Силові системи статора ГТД, вузли кріплення двигуна.	4
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.	4
16	Виконання розрахункові роботи	14
	Разом	64

7. Індивідуальні завдання

1. Розрахункова 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 студенти 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.

5. 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).

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

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

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

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

9. Методи контролю

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

Семестр 6(4) – *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
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	16	0...16
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	3...5	8	24...40
Модульний контроль	36...44	1	36...44
Усього за семестр 6			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;

Друге запитання – – тематика розрахунково-графічної роботи

Максимальна кількість балів за кожне запитання –50.

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 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 вмінь. 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 спричинюють навантаження. Знати основні типи вихідних пристроїв та редукторів ГТД.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	Для іспиту	Для заліку
90-100	Відмінно	Зараховано
75-89	Добре	
60-74	Задовільно	
01-59	Незадовільно	Не зараховано

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.

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.