

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

Утверждаю
проректор по УМР, проф.

_____ Криницин В.В.,
“ ” _____ 2007г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Конструкция и прочность авиационных двигателей СД.07
(наименование, шифр по ГОС)

Специальность _____ 130300
i. (шифр по ГОС)

Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей

Факультет _____ Механический

Кафедра _____ Двигатели летательных аппаратов

Курс 4 ; Форма обучения очная ; Семестр 7,8

Общий объем учебных часов на дисциплину	<u>250 часов</u>
Аудиторные занятия	<u>120 часов</u>
Лекции	<u>56 часов</u>
Лабораторные занятия на технике	<u>64 часа</u>
Самостоятельная работа	<u>130 часов</u>
Курсовой проект	<u>4 курс, 8 семестр</u>
Зачет	<u>4 курс, 7 семестр</u>
Экзамен	<u>4 курс, 8 семестр</u>

2. Москва – 2007

Рабочая программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом по направлению 652700 (Испытание и эксплуатация авиационной и ракетно-космической техники) специальности 130300 (техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей).

Рабочую программу составил:

Умушкин Б.П., проф., д.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень)

(подпись)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры,
Протокол №_1-2007___ от «__2__» сентября 2007г.

Заведующий кафедрой
Умушкин Б.П., проф., д.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень)

(подпись)

Рабочая программа одобрена методическим советом специальности «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей».
Протокол №_____ от «__»_____2007г.

Председатель методического совета
по специальности 130300

Чинючин Ю.М., проф., д.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень)

(подпись)

Согласовано с учебно-методическим управлением (УМУ)

Начальник УМУ Логачев В.П., доц., к.т.н.
(Ф.И.О., звание, степень)

(подпись)

Цели и задачи дисциплины

Преподавание дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей» имеет целью дать студентам знания в области конструкции и прочности авиационных газотурбинных двигателей в объеме, необходимом для подготовки специалистов, осуществляющих техническую и летно-техническую эксплуатацию отечественной и зарубежной авиатехники в ГА.

Отличительной особенностью программы является углубленная проработка вопросов, связанных с изучением и инженерным обоснованием конструкции авиадвигателей, их основных узлов и систем, требований, предъявляемых к авиадвигателям летательных аппаратов ГА, а также эксплуатационная направленность

обучения с позицией особенностей технической эксплуатации авиадвигателей в условиях повышенных требований по обеспечению безопасности полетов.

Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины «Конструкция и прочность авиадвигателей» студенты должны:

Знать:

методические основы анализа и оценки конструктивного, технологического и экономического совершенства авиадвигателей как объектов эксплуатации;

инженерные методы оценки влияния эксплуатационных факторов и условий эксплуатации на надежность конструкции и безопасность полетов;

условия работы узлов и деталей газотурбинных двигателей, основы расчета эксплуатационных нагрузок;

основы инженерных методов оценки напряженно – деформированного состояния при статическом и динамическом нагружении основных узлов авиадвигателей;

основы расчетных и экспериментальных методов оценки прочности, жесткости и работоспособности газотурбинных двигателей;

физическую природу и способы оценки влияния накопленных повреждений на работоспособность деталей и узлов авиадвигателей при функционировании, пути предотвращения возможных отказов при техническом обслуживании и ремонте;

экспериментальные методы исследования динамических характеристик лопаток, дисков, роторов, оболочек и критических частот вращения роторов ГТД;

компоновочные и силовые схемы ГТД, области рационального применения различных силовых схем;

назначения и требования, предъявляемые к входным и выходным устройствам, компрессорам, камерам сгорания, турбинам и способы их реализации;

условия работы, состав, конструктивные параметры и схемы основных узлов АД, их сравнительную оценку;

конструкцию основных узлов авиадвигателей и инженерные принципы, положенные в основу их создания;

влияние конструктивных особенностей основных узлов ГТД и узлов соединения на совместную работу в составе двигателей;

конструкцию основных узлов серийных (используемых в ГА) авиадвигателей;

назначение, состав и работу топливной, масляной, пусковой, воздушной, противообледенительной и противопожарной систем;

особенности конструкции и место расположения на двигателях серийных ГТД ГА основных агрегатов топливной, масляной, пусковой, воздушной, противообледенительной и противопожарной систем;

принципы создания конструкций повышенной живучести, методы улучшения конструктивно – эксплуатационных свойств авиадвигателей;

Владеть:

методами анализа нарушения работоспособности, поиска причин отказов авиадвигателей и разработки мер по их устранению и предупреждению;

принципами экономии топливно – энергетических ресурсов;

методами контроля технического состояния авиадвигателей;

принципами разработки мероприятий по предупреждению авиационных происшествий, досрочного съема двигателей, отказов авиадвигателей;

методами разработки и предъявления эксплуатационно – технических требований принципами использования методов и средств технической диагностики и неразрушающего контроля для оценки технического состояния авиадвигателей.

Уметь:

формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ГТД ГА, их параметрам, системам и конструкции основных узлов;

анализировать и объяснять принятые схемные и конструктивные решения. Обосновывать выбранные материалы с учетом условий работы конструкций в условиях воздействия эксплуатационных факторов;

рассчитывать статические, динамические и термические нагрузки, действующие на основные элементы и детали ГТД на основных эксплуатационных режимах;

рассчитывать напряженно – деформированное состояние и динамические характеристики основных элементов и деталей ГТД;

оценивать статическую и динамическую прочность основных элементов и деталей ГТД при действии нагрузок, характерных для полетного цикла;

выявлять причины возникновения отказов и неисправностей и разрабатывать способы их устранения;

анализировать и прогнозировать техническое состояние ГТД и их систем в процессе эксплуатации;

самостоятельно осваивать новые образцы авиационных ГТД.

Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		7	8
Общая трудоемкость дисциплины	250	116	134
Аудиторные занятия	120	60	60
Лекции	56	24	32
Лабораторные работы (ЛР)	64	36	28
Самостоятельная работа	130	50	80
Курсовой проект	55	-	*
Расчетно – графическая работа	-	-	-
Вид итогового контроля (зачет экзамен)		Зачет	Экзамен

Содержание дисциплины

Разделы и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Лекции, час	Лабораторные занятия	
			Лаб. раб. , час.	Занятия на техн
1.	Конструкция и системы ГТД		44	+
2	Прочность и динамика ГТД	52	20	Лаб. установки
3.	Контроль технического состояния	4		+

Содержание разделов

Раздел 1. Конструкция и системы газотурбинных двигателей состоит из следующих частей:

Общие сведения о ГТД.

Конструктивные и силовые схемы ГТД;

Конструкции основных узлов ГТД;

Редукторы и воздушные винты турбовинтовых ГТД.

5) Топливная, масляная, пусковая, противообледенительная и противопожарная системы.

Конструкция ГТД рассматривается с позицией инженерного обоснования конструктивных решений, связанных с назначением, требованиями надежности, эффективности, технологичности и безопасности полетов. Особое внимание уделяется особенностям конструкции, определяющим содержание работ по техническому обслуживанию.

Раздел 2. Прочность и динамика ГТД состоит из следующих частей:

Цели и задачи расчетов прочности и динамики ГТД. Условия работы элементов конструкции и нагрузки, действующие на основные узлы и детали ГТД;

Прочность и динамика лопаток турбокомпрессора ;

Прочность дисков компрессоров и турбин;

Динамика и прочность турбомашин;

Динамика и устойчивость роторов;

Колебания и устойчивость тонкостенных элементов ГТД.

Вибрационные характеристики и вибропрочность авиадвигателей.

Вопросы статической и динамической прочности увязаны с основными эксплуатационными факторами, действующими на детали, узлы авиационных ГТД в процессе эксплуатации.

Особое внимание уделено также многорежимности нагружения ГТД в полетном цикле и накоплению эксплуатационных повреждений, которые определяют эксплуатационную надежность ГТД.

Раздел 4. Контроль технического состояния ГТД в эксплуатации.

Основное внимание уделено факторам, определяющим техническое состояние ГТД. Рассмотрено влияние конструкции, применяемых материалов и условий эксплуатации на надежность отдельных деталей, узлов и ГТД в целом. Освещаются принципы диагностики и контроля технического состояния ГТД в полете и на земле.

Содержание лекций, ссылки на литературу.

7 семестр

Часть 1. Введение (4ч.)

Лекция 1.1. Предмет и задачи дисциплины «Конструкция и прочность авиационных двигателей». Место дисциплины в системе подготовки специалиста. Связь с другими дисциплинами. Формы обучения. Контроль и отчетность. Задачи расчета динамики и прочности ГТД Основные понятия. Переход от физической картины воздействия эксплуатационных нагрузок на элементы двигателей к расчетной схеме и математической модели. Основные гипотезы и допущения. Постановка задачи расчета динамики и прочности узлов авиадвигателя.

Раздел 2. Статическая и динамическая прочность газотурбинных двигателей.

Часть 1.. Эксплуатационные нагрузки.

Лекция 1.1. Цели и задачи расчета прочности и динамики авиадвигателей. Факторы, определяющие работоспособность конструкции. Усилия, действующие на элементы конструкции газотурбинного двигателя. Общие понятия.

Часть 2. Прочность и динамика лопаток турбокомпрессора.

Лекция 2.1. Прочность лопаток турбокомпрессора.

Напряжения растяжения в пера лопатки от центробежных сил. Изгиб и кручение лопатки центробежными силами. Разгрузка опасных сечений компенсирующим изгибом от центробежных сил.

Лекция 2.2. Изгиб лопатки газодинамическими нагрузками.

. Расчетная модель лопатки. Определение газодинамических нагрузок Изгибающие моменты и напряжения от газодинамических сил. Оценка статической прочности лопаток. Температурные напряжения в лопатках. Влияние эксплуатационных факторов на накопление повреждений в рабочих лопатках ГТД. Оценка статической прочности лопаток. Запасы прочности. Остаточный ресурс. Влияние режимов работы двигателя на запасы прочности лопаток компрессора и турбины. Влияние запасов прочности на безопасность полетов.

Лекция 2.3 Колебания лопаток.

Усталостные разрушения лопаток компрессора и турбины при эксплуатации. Причины возникновения колебаний лопаток. Гармонический состав возбуждающих сил. Задачи динамического расчета. Виды колебаний лопаток. Формы колебаний. Определение частот свободных изгибных колебаний лопатки постоянного сечения. Особенности спектра частот.

Лекция 2.4. Свободные изгибные колебания лопаток с учетом переменности сечения и действия центробежных сил.

Определение частот свободных колебаний. Влияние формы пера лопатки, типа и конструкции соединения лопатки с диском и режимов работы двигателя на частоты свободных изгибных колебаний.

Лекция 2.5. Крутильные и изгибно – крутильные колебания лопаток.

Формы крутильных и изгибно – крутильных колебаний лопаток. Определение частот. Понятие о явлении флаттера лопаток.

Лекция 2.6. Вынужденные колебания лопаток. Резонансные режимы. Резонансная диаграмма.

Конструктивные и технологические способы устранения опасных резонансных режимов. Усталостная прочность лопаток. Оценка вибропрочности. Мероприятия по повышению долговечности лопаток .

Часть 3. Прочность дисков компрессоров и турбин ГТД.

Лекция 3.1. Общие сведения о дисках компрессоров и турбин.

Конструктивные схемы роторов компрессоров и турбин. Условия работы и требования, предъявляемые к дискам. Разновидности конструкций дисков.

Нагрузки, действующие на диск. Задачи расчета на прочность и жесткость. Основные расчетные соотношения. Лекция 3.2. Диск постоянной толщины. Определение напряжений и деформаций в диске постоянной толщины.

Лекция 3.3. Распределение напряжений в диске постоянной толщины при раздельном действии эксплуатационных нагрузок.

Определение напряжений и деформаций в диске постоянной толщины при раздельном действии нагрузок от центробежных сил самого диска, от контурной

нагрузки, от посадки диска на вал с натягом, от неравномерного нагрева. Влияние конструкции диска и эксплуатационных факторов на величину и распределение напряжений и деформаций.

Лекция 3.4. Диск произвольного профиля.

Расчет напряжений и деформаций в диске произвольного профиля. Метод прямой и обратной прогонки. Особенности расчета колес центробежного компрессора и центростремительной турбины.

Лекция 3.5. Оценка прочности дисков.

Оценка местной прочности по эквивалентным напряжениям. Запас прочности по разрушающей и допустимой частоте вращения. Влияние условий эксплуатации на прочность и надежность дисков. Конструктивные, технологические и эксплуатационные мероприятия, повышающие статическую прочность дисков. Прочностные ограничения, накладываемые на эксплуатационные характеристики двигателей.

8 семестр

Часть 4. Динамика и прочность колес турбомашин.

Лекция 4.1. Колебания дисков ГТД.

Основные причины и пути накопления повреждений в дисках в условиях эксплуатации. Усталостные разрушения дисков в процессе эксплуатации. Причины, вызывающие колебания дисков. Виды и формы собственных колебаний. Резонансные колебания рабочих колес. Задачи динамического расчета.

Лекция 4.2. Критические скорости вращения дисков.

Колебания дисков типа стоячей и бегущих волн. Частотная диаграмма. Конструктивные, технологические и эксплуатационные мероприятия, направленные на повышение прочности, надежности и обеспечение безопасности полетов. Способы устранения опасных резонансных режимов.

Часть 5. Динамика и устойчивость роторов

Лекция 5.1. Критическая частота вращения простейшего ротора.

Понятие о критической частоте вращения ротора. Определение критической частоты вращения ротора с одним диском без учета влияния гироскопического момента силы и веса. Жесткий и гибкий ротор. Критическая частота вращения и частота свободных поперечных колебаний.

Лекция 5.2. Критические частоты вращения однодискового ротора. Учет влияния гироскопических моментов на критические частоты вращения ротора. Прецессионное движение. Определение критических режимов по частотной диаграмме. Определение критических частот вращения многодискового ротора.

Лекция 5.3. Критические частоты вращения ротора в системе ротор-корпус. Учет влияния упругости корпуса двигателя на критические частоты вращения ротора. Обеспечение безопасности перехода через критические частоты вращения ротора.

Лекция 5.4. Влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на динамику роторов. Балансировка роторов. Коэффициент виброперегрузки.

Часть 6. Колебания и устойчивость тонкостенных элементов ГТД

Лекция 6.1. Колебания оболочек.

Колебания элементов конструкции двигателя, выполненных в виде цилиндрических оболочек. Причины, вызывающие колебания. Задачи динамического расчета. Основные расчетные соотношения.

Лекция 6.2. Основные принципы и подходы к решению задачи расчёта колебаний оболочек

Лекция 6.3. Виды и формы собственных колебаний оболочек.

Энергетический подход к анализу динамических характеристик конструкции. Особенности спектра частот собственных колебаний оболочек.

Часть 7. Вибрационные характеристики и вибропрочность авиадвигателя.

Лекция 7.1. Двигатель как составная динамическая система.

Понятие составных систем. Декомпозиция и агрегатирование. Методический подход к определению динамической податливости составной системы.

Лекция 7.2. Динамические характеристики авиадвигателя.

Оценка динамических характеристик двигателя в целом с помощью функций динамической податливости его подсистем. Парциальные частоты агрегатов двигателя. Анализ технического состояния двигателя и его элементов по его виброхарактеристикам.

Раздел 3.

Лекция 1. Контроль технического состояния авиационных ГТД в эксплуатации.

Способы контроля технического состояния авиационных ГТД в эксплуатации. Математические модели авиадвигателей и оценка технического состояния. Контролепригодность ГТД.

Лекция 2. Диагностика состояния ГТД по совокупности измеряемых в полете параметров. Статистическая модель ГТД. Многокритериальная диагностика.

Заключение.

Лекция 1. Пути совершенствования авиадвигателей и улучшение конструкций газотурбинных двигателей.

Лекция 2. Характеристики двигателей пятого поколения и перспективы их применения в гражданской авиации.

Курсовой проект по дисциплине КиП АД.

Курсовой проект выполняется в 8-м семестре. Курсовой проект является учебной работой, требующей применения теоретических знаний и практических навыков, полученных студентами за период изучения общеинженерных и специальных дисциплин на решении задач проектирования ГТД.

Основными целями курсового проекта являются:

закрепление материала лекций, САРС и лабораторных занятий; приобретение навыков проектирования отдельных узлов авиационных ГТД с учетом назначения, условий работы, выполнения требований эксплуатационной надежности, технологичности, безопасности полетов, экологии;

закрепление и развитие навыков творческого восприятия авиационного ГТД как сложного устройства с комплексом узлов и систем;

освоение методов оценки прочности, жесткости и работоспособности наиболее напряженных элементов конструкции авиационных ГТД.

Примерное содержание курсового проекта:

разработка конструктивно – компоновочной схемы двигателя с учетом прочностных и эксплуатационных требований;

конструктивная проработка одного из узлов двигателя (по указанию руководителя КП) с разработкой мероприятий, обеспечивающих высокую эксплуатационную надежность, технологичность и экологичность конструкции;

расчет на прочность рабочей лопатки и диска с учетом особенностей эксплуатационных режимов нагружения (могут выполняться с применением ПЭВМ);

Разработка схем систем (масляной, топливной, охлаждения, противопожарной, противообледенительной);

Краткое описание конструкции проектируемого ГТД, его работы, особенностей технической эксплуатации и ремонта, таблица применяемых материалов для основных элементов разрабатываемого узла.

Объем проекта порядка 50...60 страниц пояснительной записки, 1 листа формата А1 графических работ (изображение узла) и одного листа с изображением конструктивно – компоновочной схемы двигателя и принципиальных схем его основных систем.

Курсовой проект также предполагает возможность выполнения индивидуального задания исследовательской и (или) эксплуатационной тематики. 5. Лабораторный практикум.

№ п/п	№ раздела	Наименование лабораторных работ
1.	1,4	История авиадвигателестроения. Основные типы двигателей ГТД ГА, их параметры и области применения (*)
2.	1,4	Конструктивно – компоновочные и силовые схемы ГТД (*)
3.	1,4	Компрессоры ГТД (*)
4.	1,4	Камеры сгорания ГТД (*)
5.	1,4	Турбины ГТД (*)
6.	1,4	Входные и выходные устройства ГТД (*)
7.	1,4	Редукторы авиационных ГТД (*)
8.	3,4	Масляные системы ГТД (*)
9.	3,4	Топливные системы ГТД (*)
10.	3,4	Пусковые системы ГТД (*)
11.	3,4	Противопожарные системы ГТД (*)
12.	2,4	Исследование собственных колебаний лопаток осевых компрессоров и турбин резонансным методом
13.	2,4	Исследование собственных колебаний дисков ГТД резонансным методом
14.	2,4	Исследование собственных колебаний цилиндрических оболочек резонансным методом
15.	2,4	Исследование критических режимов вращения однодискового ротора
16.	2,4	Исследование вибросостояния агрегатов и двигателя

Примечание. Работы, помеченные (*), проводятся с использованием образцов конкретной техники.

Рекомендуемая литература

А. По лекционным занятиям

Лоцицкий Л.П., Ветров А.Н., Дорошко С.М., Иванов В.П., Коняев Е.А. Конструкция и прочность авиационных газотурбинных двигателей. М.: Воздушный транспорт, 1992.- 533 с.

Скубачевский Г.С. Авиационные газотурбинные двигатели. Конструкция и расчет деталей. М.: Машиностроение, 1981.-550 с.

Умушкин Б.П. Конспект лекций по дисциплине КПАД для студентов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 104 с. Умушкин Б.П., Иванов В.П., Чичков Б.А. Методические указания к изучению дисциплины "Конструкция и прочность АД" для студентов V курса специальности 130300 заочной формы обучения. М.: МГТУ ГА, 1999.- 24 с.

В. По лабораторному практикуму

Умушкин Б.П., Иванов В.П., Чичков Б.А. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструкция и прочность АД» для студентов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 1996.- 76 с.

Чичков Б.А. Журнал лабораторных работ по дисциплине «Конструкция и прочность АД» для студентов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА – 34 с.

С. По курсовому проектированию

Умушкин Б.П., Иванов В.П., Чичков Б.А. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине "Конструкция и прочность АД" для студентов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 1998.- 60 с.

Чичков Б.А. Расчет на прочность дисков турбомашин (с использованием численных методов). Пособие по дисциплине "Конструкция и прочность авиационных двигателей", для НИРС и дипломного проектирования для студентов IV и V курсов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 1998.- 60 с.

Д. Литература по типам двигателей и дополнительная

Двигатели газотурбинные авиационные. Термины и определения.ГОСТ 23851-79. М.:Изд-во стандартов,1980.-100 с.

Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. Под редакцией Хролина Д.В. М.:Машиностроение,1989,566 с.

Авиационный двухконтурный турбореактивный двигатель Д-30 2-ой серии. Техническое описание. М.:Авиатранспорт,1974.-124 с.

Авиационный двухконтурный турбореактивный двигатель Д-30 2-ой серии. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. М.:Машиностроение,1976.- 296 с.

- Рогальский Ю.Н. Системы запуска авиационных ГТД. М.:МИИГА,1996.-28 с.
- Рогальский Ю.Н. Расчет на прочность дисков авиационных ГТД с использованием ПЭВМ.- М.:МИИГА,1992.-24 с.
- Гачурин В.А. Конструкция и летная эксплуатация двигателя Д-30КП. М.:Машиностроение,1980.-120 с.
- Лозицкий Л.П. и др. Авиационные двухконтурные двигатели Д-30КУ и Д-30КП (конструкция, надежность и опыт эксплуатации). М.:Машиностроение, 1988.-228 с.
- Авиационный двухконтурный турбореактивный двигатель Д-30КП. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. Пермь,1976.- 686 с.
- Акуленко В.С., Иноземцев А.А., Соловьев Б.А. Авиационный газотурбинный двигатель ПС-90А. Учебное пособие. Л.:ОЛАГА,1990.-96 с.
- Пивоваров В.А. Авиационный двигатель ПС-90А (особенности конструкции, работа, эксплуатация). М.:МИИГА,1989.-92 с.
- Авиационный турбовальный двигатель Д-25В.М.:Машиностроение, 1977.-107с.
- Макаров Н.В. Францев В.К. Силовая установка самолета Як-42. Л.:ОЛАГА,1989.-100с.
- Авиационный двухконтурный двигатель АИ-25. Техническое описание. М.:Машиностроение,1971.-124 с.
- Фельдман Е.Л. Черкасов Л.А. Авиационный двухконтурный двигатель НК-86. М.:Машиностроение,1982.- 328 с.
- Хаустов И.Г. Фельдман Е.Л. Авиационный газотурбинный двигатель НК-8-2У. М.:Машиностроение,1974.-432 с.
- Авиационный турбовинтовой двигатель АИ-24. Техническое описание. М.:Авиатранспорт, 1974-124 с.
- Авиационный турбовинтовой двигатель ТВ2-117А и редуктор ВР-8А. М.:Машиностроение,1977,100 с.
- Чичков Б.А. Конструкция и эксплуатация масляной системы ТРДД Д-30КУ(КП). Учебное пособие для студентов 5 и 4 курсов специальности 130300 всех форм обучения; для аэродромной практики и дипломного проектирования. М.: МГТУ ГА, 1999.- 156 с.
- Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Часть 1. Эксплуатационная повреждаемость рабочих лопаток. Пособие для студентов 5 и 4 курсов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2000.- 60 с.
- Чичков Б.А. Рабочие лопатки авиационных ГТД. Часть 2,3. Контроль работоспособности рабочих лопаток. Ремонт и замена рабочих лопаток в эксплуатации. Пособие для студентов 5 и 4 курсов специальности 130300 всех форм обучения. М.: МГТУ ГА, 2002.- 60 с.
- Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей. Периодические печатные издания- Техническая информация ЦИАМ, материалы выставок, конференций и т.п.