

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Директор института
Авиамашиностроения и транспорта



А. Е. Пашков

« 14 » января 202_ г.



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

В. В. Смирнов

« 16 » января 202_ г.

ПРОГРАММА
вступительного испытания
по специальной дисциплине
для поступающих на обучение по образовательным программам
высшего образования – программам подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИРНИТУ

Научная специальность:
2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов

Иркутск – 2026 г.

Введение

Дисциплинами, составляющими настоящую программу, являются: основные сведения о термо- и газодинамике, на примере теории авиационных двигателей; конструкция и проектирование энергетических установок, на примере расчетов газотурбинных двигателей летательных аппаратов; численные методы и метод конечных элементов в расчете машин и конструкций; автоматизация процессов проектирования и изготовления энергоустановок, на примере двигателей летательных аппаратов; основы технической эксплуатации, автоматики и управление энергоустановок, на примере двигателей летательных аппаратов; экспериментальные методы исследования динамики и прочности энергетических машин.

Тема №1.

Основные сведения о термо-газодинамике, на примере теории авиационных двигателей. Рабочие процессы в двигателях и энергоустановках летательных аппаратов

Раздел 1. Основные сведения из термо- и газодинамики. Идеальный газ и его основные параметры. Работа газа в обратимом процессе расширения. Закон сохранения энергии. Первый закон термодинамики. Теплоемкость газа.

Раздел 2. Общие сведения о двигателях летательных аппаратов (ДЛА). Принцип работы двигателей: твердого топлива, жидкостного, прямоточного воздушно-реактивного, турбореактивного, ядерного реактивного двигателя.

Раздел 3. Тяга и экономичность реактивных двигателей. Основные параметры, характеризующие двигатели летательных аппаратов. Рабочий цикл двигателя. Факторы, влияющие на эффективную работу двигателей.

Раздел 4. Понятие о работе авиационного турбореактивного двигателя (ТРД). Процесс сжатия воздуха во входном устройстве и компрессоре ДЛА. Процесс сгорания топлива в камерах сгорания и форсажных камерах реактивных ДЛА. Процесс расширения газа в турбине и выходном устройстве реактивных ДЛА.

Раздел 5. Характеристики и регулирование двигателей.

Основная литература:

1. Иноземцев Н.В. Авиационные газотурбинные двигатели, теория и рабочий процесс. –М.: Оборонгиз. -1955. -352 с.
2. Стечкин Б.С., Казанджан П.К., Алексеева А.П. Теория газотурбинных двигателей. - М.: Оборонгиз. -1958. -548 с.
3. Нечаев Ю.Н. Теория воздушно-реактивных двигателей. –М.: Воениздат. - 1982. -479 с.
4. Теория воздушно-реактивных двигателей (ВРД)/Под. ред. Проф. С.М. Шляхтенко. –М.: Машиностроение, -1975, -568с.
5. Шляхтенко С.М. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей. – М.: Машиностроение. -1979. -568 с.
6. Холщевников К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. М.: Машиностроение, -1970. 610 с.

Дополнительная литература:

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / Под ред. Д.В. Хромина. – М.: Машиностроение. - 1989. – 565 с.
2. Скубачевский Г.С. Авиационные ГТД, конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение. – 1981. – 552 с.
3. Палей З.С., Королев И.М., Ковинский Э.В. Конструкция и прочность авиационных ГТД. – М.: Транспорт. – 1967. – 426 с.
4. Хронин Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов. – М.: Машиностроение. – 1970. – 412 с.
5. Скубачевский Г.С. Атлас конструкций компрессоров ГТД. – М.: МАИ. 1975. -157 с.

Тема № 2.

Конструкция и проектирование энергетических установок, на примере расчетов газотурбинных двигателей (ГТД) летательных аппаратов.

Раздел 1. Разновидности конструкций двигателей летательных аппаратов (ДЛА). Основные характеристики двигателя. Развитие отечественных двигателей. Технические требования к двигателям. Проектирование ДЛА, стадии создания. Задачи повышения эффективности двигателестроения.

Раздел 2. Общие вопросы компоновки ДЛА, силовые схемы. Крепление двигателей на летательном аппарате (ЛА). Модульность конструкции. Усилия действующие в ДЛА. Определение осевых газовых сил реактивных двигателей. Инерционные силы и моменты, действующие на элементы авиационных газотурбинных двигателей (ГТД).

Раздел 3. Общие сведения о конструкции и проектировании компрессоров ДЛА. Требования, предъявляемые к компрессорам. Типы компрессоров, применяемых в ГТД. Классификация осевых компрессоров. Основные параметры осевых компрессоров. Конструктивные схемы осевых компрессоров. Рабочие лопатки. Соединения лопаток с дисками, оценка их прочности. Роторы осевых компрессоров. Корпусы осевых компрессоров. Направляющие и спрямляющие аппараты. Воздушные уплотнения осевых компрессоров, радиальные и осевые зазоры. Материалы деталей компрессоров. Противообледенительные устройства.

Раздел 4. Газовые турбины ГТД, конструктивные параметры и компоновки. Конструктивные параметры рабочих лопаток турбин, их соединение с дисками. Охлаждение рабочих лопаток турбин. Сопловые аппараты осевых турбин. Роторы осевых турбин, диски, соединения дисков и валов. Опоры роторов турбин. Обеспечение минимальных зазоров между ротором и статором. Системы охлаждения турбин. Соединение роторов турбин с роторами компрессоров и редукторами. Конструкционные материалы роторов турбин.

Раздел 5. Проектирование и расчет рабочих лопаток компрессоров и турбин. Требования и особенности проектирования лопаток. Расчет рабочих лопаток на прочность. Температурные напряжения в лопатках турбин. Запас прочности лопаток. Оценка запасов длительной прочности лопаток турбин. Понятие о малоцикловой термической усталости лопаток. Колебания лопаток, виды и формы колебаний. Расчет собственных частот изгибных форм колебаний. Вынужденные колебания лопаток, резонансные режимы. Понятия об автоколебаниях лопаток.

Раздел 6. Проектирование и расчет дисков компрессоров и турбин, общие понятия, требования к конструкции дисков, условия работы, разновидности конструкции дисков. Расчет дисков на прочность. Колебания дисков. Расчет на колебания рабочих колес компрессоров и турбин методом Рэлея. Зависимость собственных частот от различных факторов. Критические угловые скорости дисков.

Раздел 7. Расчет роторов авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) на колебания. Основные понятия о потере устойчивости быстровращающихся роторов. Критические угловые скорости роторов. Влияние упругости опор на критические скорости роторов. Устойчивость быстровращающихся гладких валов. Расчетная схема ротора и виды прецессий упругой оси ротора. Диаграмма критических частот вращения роторов. Устойчивость и критические частоты многодисковых роторов. Колебания роторов при действии сил внешнего и внутреннего трения. Конструкция и проектирование упруго-демпферных опор.

Раздел 8. Конструкция и проектирование камер сгорания реактивных двигателей. Общие сведения. Конструктивная схема, основные размеры и элементы конструкции камеры сгорания. Кольцевая камера сгорания. Трубчатая камера сгорания. Трубчато-кольцевая камера сгорания. Направления развития конструкций камер сгорания реактивных двигателей. Расчет камер сгорания на прочность и устойчивость. Расчет долговечности камер сгорания. Материалы камер сгорания.

Раздел 9. Конструкция и проектирование выходных устройств, регулируемых сопел и форсажных камер. Типы выходных устройств. Выходная и удлинительная труба. Регулируемое реактивное сопла. Выходные устройства с изменяемым вектором тяги. Шумоглушающие устройства. Устройства для снижения ИК-излучения. Форсажные камеры, общие сведения. Основные элементы конструкции и принципы организации рабочего процесса. Фронтное устройство. Жаровая труба. Пусковые устройства. Понятие о вибрационном горении и срывных режимах форсажной камеры. Расчет деталей форсажной камеры на прочность. Материалы выходных устройств, регулируемых сопел и форсажных камер.

Раздел 10. Редукторы турбовинтовых двигателей. Назначение и основные характеристики редукторов. Передаточные отношения редукторов. Классификация и кинематические схемы редукторов. Расчет зубьев на прочность. Определение основных размеров зубчатой передачи. Конструкция редукторов, зубчатые цилиндрические и конические колеса, водила

планетарных передач. Корпусы редукторов, валы и их опоры. Применяемые материалы. Измерители крутящего момента и муфты свободного хода.

Раздел 11. Конструкция и расчет самолетов. Конструкция и проектирование крыла самолета (общие сведения, конструкция основных элементов, действующие нагрузки, механизация). Расчет крыла на прочность. Расчет весовых характеристик крыла. Конструкция и расчет фюзеляжа самолета. Хвостовое оперение самолета. Конструкция и расчет шасси самолета. Система управления самолетом.

Основная литература:

1. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / Под ред. Д.В. Хромина. – М.: Машиностроение. - 1989. – 565 с.
2. Скубачевский Г.С. Авиационные ГТД, конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение. – 1981. – 552 с.
3. Палей З.С., Королев И.М., Ковинский Э.В. Конструкция и прочность авиационных ГТД. – М.: Транспорт. – 1967. – 426 с.
4. Хронин Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов. – М.: Машиностроение. – 1970. – 412 с.
5. Скубачевский Г.С. Атлас конструкций компрессоров ГТД. –М.: МАИ. 1975. -157 с.
6. Скубачевский Г.С. Атлас конструкций турбин ГТД. –М.: МАИ. -1975. -165 с.
7. Гребеньков О.А. Конструкция самолетов. – М: Машиностроение. - 1984. - 240 с.

Дополнительная литература:

1. Нечаев Ю.Н. Теория воздушно-реактивных двигателей. –М.: Воениздат. - 1982. -479 с.
2. Теория воздушно-реактивных двигателей (ВРД)/Под. ред. Проф. С.М Шляхтенко. –М.: Машиностроение, -1975, -568с.
3. Шляхтенко С.М. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей. – М.: Машиностроение. -1979. -568 с.

Тема 3

Численные методы и метод конечных элементов в расчете машин и конструкций

Раздел 1. Роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях динамики и прочности авиационных газотурбинных двигателей (ГТД). Требования, предъявляемые к алгоритмам и программам. Понятие о проблемах автоматизированного проектирования и компьютерного моделирования.

Раздел 2. Основные способы дискретизации для решения задач динамики и прочности. Метод конечных разностей. Алгоритмизация вариационных методов. Метод граничных элементов. Алгоритмы и

программы, языки, операционные системы и вычислительная техника для численного решения задач.

Раздел 3. Метод конечных элементов (МКЭ) и его реализация на основе вариационно-энергетического подхода. Построение функций формы. Основные соотношения метода перемещений теории упругости на матричной основе МКЭ. Минимизация функционала потенциальной энергии деформируемой системы в задаче расчета прочности конструкции. Динамические задачи МКЭ. Задачи теории поля МКЭ (стационарная и нестационарная теплопроводность).

Основная литература:

1. Пыхалов А.А., Кудрявцев А.А. Математические модели в инженерных приложениях: учебное пособие. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, -2008. -184 с.
2. Бате К.–Ю. Методы конечных элементов. – М.: Физматлит, 2010. – 1022с.
3. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация. – М.: Мир, 1986. – 318с.
4. Галлагер Р. Метод конечных элементов: Основы. – М.: Мир. -1984. – 430 с.
5. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир. - 1979. – 392 с.

Дополнительная литература:

6. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. – М.: Мир. – 1976. – 349 с.
7. Сьярле Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач. – М.: Мир. -1980. – 512 с.

Тема 4

Автоматизация процессов проектирования и изготовления энергоустановок, на примере двигателей летательных аппаратов

Раздел 1. Основные понятия и определения автоматизированного проектирования двигателей и энергетических установок летательных аппаратов. Принципиальные основы автоматизированного проектирования. Научные основы и проблемы автоматизированного проектирования.

Раздел 2. Технические средства автоматизации процессов проектирования изготовления и эксплуатации двигателей и энергоустановок летательных аппаратов. Комплектование аппаратных средств автоматизации проектирования изготовления и эксплуатации двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Раздел 3. Общее программное обеспечение вычислительных систем. Специальное математическое и программное обеспечение систем автоматизации проектирования изготовления и эксплуатации двигателей, и энергоустановок летательных аппаратов.

Основная литература:

1. Основы автоматизированного проектирования двигателей летательных аппаратов./ Под ред. Д.В. Хролина. – М.: Машиностроение. - 1984. – 184 с.

2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / Под ред. Д.В. Хроина. – М.: Машиностроение. - 1989. – 565 с.
 3. Скубачевский Г.С. Авиационные ГТД, конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение. – 1981. – 552 с.
- Дополнительная литература:
4. Изготовление основных деталей и узлов авиадвигателей /М.И. Евстигнеев, И.А. Морозов, А.В. Подзей и др. –М.: Машиностроение. -1972. 352 с.

Тема 5

Основы технической эксплуатации, автоматики и управление энергоустановок, на примере двигателей летательных аппаратов

Раздел 1. Типы двигателей летательных аппаратов и их основные параметры. Вибрация двигателей летательных аппаратов. Техническая эксплуатация противообледенительных устройств.

Раздел 2. Основные агрегаты силовой установки двигателей летательных аппаратов и их возможные дефекты. Системы смазки и суфлирование в двигателях летательных аппаратов и их возможные неисправности.

Раздел 3. Система топливопитания двигателей летательных аппаратов и её возможные неисправности. Запуск двигателей летательных аппаратов (ДЛА). Эксплуатация и техническое обслуживание ДЛА.

Основная литература:

1. Шейнин А.М. Эксплуатация летательных аппаратов. Учебник для вузов. М: Транспорт, 1992.
 2. Шерлыгин Н. А. Конструкция и эксплуатация авиационных газотурбинных двигателей. М: Машиностроение, 2011. – 371 с.
 3. Фролов П.Т. Эксплуатация и испытания летательных аппаратов и двигателей. Учебник для вузов. М: Высшая школа, 1970.
- Дополнительная литература:
4. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / Под ред. Д.В. Хроина. – М.: Машиностроение. - 1989. – 565 с.
 5. Гребеньков О.А. Конструкция самолетов. – М: Машиностроение. - 1984. - 240 с.

Тема 6

Экспериментальные методы исследования динамики и прочности энергетических машин

Раздел 1. Определение механических свойств материалов. Назначение и основные типы механических испытаний материалов. Испытательные машины, установки и стенды.

Раздел 2. Методы анализа напряженно-деформированных состояний. Метод тензометрии. Поляризационно-оптический метод. Применение фотоупругих и лаковых тензочувствительных покрытий. Оптическая и голографическая интерферометрия.

Раздел 3. Виброметрические измерения. Типы приборов и датчики для измерения динамических процессов. Обработка результатов вибрационных и динамических испытаний. Спектральный анализ виброграмм.

Раздел 4. Термометрия. Электрические, оптические и тепловизионные измерения тепловых полей.

Раздел 5. Диагностика и дефектоскопия материалов и деталей. Оптические, ультразвуковые, рентгеновские и тепловые методы технической диагностики и дефектоскопии.

Основная литература:

1. Дьяков А. Ф. Техника и технология проведения эксперимента: учеб. пособие для ву-зов / А. Ф. Дьяков, Н. И. Овчаренко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 336 с.: ил.
2. Степанов М.Н. Вероятностные методы оценки характеристик механических свойств материалов и несущей способности элементов конструкций. – Новосибирск: Наука, 2005. – 342 с.: ил.

Дополнительная литература:

3. Шнеерсон Э. М. Цифровая обработка данных эксперимента. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 549 с.: ил.
4. Никитин А. А. Микропроцессорные реле: Текст лекций / Учебный центр «Лидер». Чебоксары, 2003. 155 с.
5. РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики при обработке данных эксперимента.

Электронные ресурсы

1. <http://www.knigafund.ru> – Любая необходимая научная литература.
2. <http://elibrary.ru> – Научная электронная библиотека.
3. <http://search.proquest.com> – Международная база диссертаций.
4. <http://webofknowledge.com> – Международная база данных статей.
5. <http://www.mscsoftware.ru/products/nastran1> – MSC Nastran – расчет и оптимизация конструкций.
6. http://window.edu.ru/window/library/p_rid=46879 – Единое окно доступа к образовательным ресурсам.
7. <http://reslib.com/book/4823> – Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах, т. 2.
8. <http://reslib.com/book/53349> – Вибрации в технике, т.6.
9. <http://reslib.com/book/46354> – Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин.
10. <http://reslib.com/book/24931> – Бабаков И.М. Теория колебаний.

Составитель:

д.т.н. профессор, профессор кафедры
«Самолётостроения и эксплуатации
авиационной техники»
ИРНИТУ



А.А. Пыхалов