

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

УТВЕРЖДАЮ

Директор института архитектуры,
строительства и дизайна

Проректор по учебной работе

В. В. Пешков

В. В. Смирнов

«23» сентября 2023 г.



«23» сентября 2023 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 – 2023 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:

7. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. / Под ред. Д.В. Хрони́на. – М.: Машиностроение. - 1989. – 565 с.
8. Скубачевский Г.С. Авиационные ГТД, конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение. – 1981. – 552 с.
9. Палей З.С., Королев И.М., Ковинский Э.В. Конструкция и прочность авиационных ГТД. – М.: Транспорт. – 1967. – 426 с.
10. Хронин Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов. – М.: Машиностроение. – 1970. – 412 с.
11. 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:

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

Дополнительная литература:

2. 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. Хролина. – 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. Хролина. – 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
«Механика и сопротивление материалов»
ИРНИТУ



А.А. Пыхалов