

«УТВЕРЖДАЮ»

**Генеральный конструктор
академик РАН**

Е.А. Микрин



ПРОГРАММА

**вступительных испытаний по направлению подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника»**

**по направленности 05.07.03 «Прочность и тепловые режимы летательных
аппаратов»**

Программа вступительных испытаний сформирована в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника (приказ Минобрнауки России от 30.07.2014 № 890), в соответствии с Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (приказ Минобрнауки России от 19.11.2013 № 1259).

Составители:

к.т.н.

Чернягин А.Г.

к.т.н.

Прохоров Ю.М.

Согласовано:

Заведующая аспирантурой

Потрываева Е.В.

Рабочая программа рассмотрена на заседании секции НТС «Подготовка научных кадров»

Протокол № 4/2018 от 17.07.2018г.

Председатель секции НТС
«Подготовка научных кадров»

Лукьяшко А.В.

Таблица переутверждения рабочей программы

Год утверждения (переутверждения)				
Председатель (заместитель председателя секции НТС) ФИО, ученая степень				
Подпись				
Номер и дата протокола заседания секции НТС	Протокол № _____ от _____	Протокол № _____ от _____	Протокол № _____ от _____	Протокол № _____ от _____

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа предназначена для проведения вступительных испытаний по направлению подготовки 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» по направленности 05.07.03 «Прочность и тепловые режимы летательных аппаратов» для поступающих в аспирантуру РКК «Энергия» (далее - Корпорация) по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре.

К вступительным испытаниям допускаются лица, имеющие высшее профессиональное образования, подтвержденное дипломом специалиста или дипломом магистра.

Цель вступительных испытаний заключается в оценке знаний поступающих в области проектирования, конструкции и производства летательных аппаратов и готовности поступающего к освоению основной образовательной программы.

Собеседование проводится с целью выявления у абитуриента определенного объема научных знаний, научно-исследовательских компетенций. Поступающий должен показать, профессиональное владение теорией и практикой в определенной предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию. Перечень экзаменационных вопросов доводится до сведения поступающих путем публикации на внутрикорпоративном сайте Корпорации. Результаты испытаний оглашаются по завершению испытаний.

Критерии оценки результатов экзамена:

- Оценка «отлично» выставляется при следующих условиях:
даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
- Оценка «хорошо» выставляется при следующих условиях:
даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
ответы на вопросы даются полно, но логическая последовательность не всегда соблюдается.
- Оценка «удовлетворительно» выставляется при следующих условиях:
даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
ответы на вопросы даются в основном полно при слабой логической оформленности высказывания.
- Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случаях, когда не выполнены условия, позволяющие выставить оценку «удовлетворительно». Решения экзаменационной комиссии принимаются простым большинством голосов.

Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы экзаменаторов к поступающему.

Пересдача вступительных испытаний не допускается.

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: «Динамика и прочность машин», «Ракетостроение», «Космические летательные аппараты и разгонные блоки».

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. Теория упругости

Упругое деформирование твердых тел. Основные гипотезы теории упругости. Теория деформаций. Соотношения Коши. Уравнения совместности деформаций.

Теория напряжений. Дифференциальные уравнения равновесия. Статические граничные условия.

Обобщенный закон Гука. Свойства упругих постоянных. Потенциальная и дополнительная потенциальная энергия. Формулы Грина, Кастильяно и Клапейрона. Обобщенный закон Гука для изотропного, ортотропного и трансверсально-изотропного материалов.

Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости.

Вариационные принципы и методы теории упругости. Принцип Лагранжа и принцип Кастильяно. Методы Ритца-Тимошенко, Бубнова-Галеркина и Канторовича-Власова.

2. Строительная механика

Механика стержневых упругих систем. Основные понятия и определения. Необходимый признак геометрической неизменяемости. Степень статической неопределимости. Статически определимые стержневые системы: определение внутренних сил в стержнях ферм, определение перемещений. Статически неопределимые стержневые системы: метод сил, определение перемещений, сущность метода перемещений.

Теория тонкостенных стержней Исходные положения. Основные гипотезы. Определение нормальных напряжений. Определение потоков касательных сил тонкостенных стержней: открытого, однозамкнутого и многозамкнутого профилей. Центр изгиба.

Цилиндрические стрингерные оболочки открытого профиля. Основные допущения. Уравнения равновесия в обобщенных силах и смещениях. Уравнения равновесия в главных координатах. Главная секториальная площадь и главный бимомент инерции. Определение нормальных напряжений и потоков касательных сил. Определение бимомента. Определение положения центра изгиба.

3. Теория колебаний.

Система с одной степенью свободы. Свободные колебания. Вынужденные гармонические колебания. Резонанс. Реакция на действие произвольной возмущающей силы.

Система с конечным числом степеней свободы. Уравнения малых колебаний в обобщенных координатах. Собственные колебания. Условия ортогональности собственных форм. Уравнения в нормальных координатах. Учет демпфирования.

Система с распределенными параметрами. Составление уравнений колебаний. Приведение к системе с конечным числом степеней свободы. Методы сосредоточенных масс, Ритца, конечных элементов.

Поперечные колебания балки. Условия ортогональности собственных форм. Уравнения в нормальных координатах. Учет демпфирования. Применение методов Бубнова–Галеркина и метода Ритца. Учет сдвига и инерции вращения. Применение метода конечных элементов.

Колебания пластин и оболочек. Применение методов Ритца, Бубнова–Галеркина и конечных элементов.

4. Теория пластин и оболочек

Основы теории изгиба пластин при действии поперечных нагрузок. Гипотезы Кирхгофа Дифференциальное уравнение изгиба пластины в прямоугольной системе координат. Постановка краевых задач. Термоупругие уравнения изгиба пластин.

Методы расчета прямоугольных в плане пластин: двойных, одинарных тригонометрических рядов, интеграла Фурье. Осесимметричная задача для круглой пластины.

Безмоментная теория оболочек. Осесимметричная задача для безмоментной оболочки вращения: дифференциальные уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения. Уравнения Лапласа и зоны для определения напряжений. Определение напряженного состояния сферических, цилиндрических, тороидальных и конических оболочек при постоянном и гидростатическом давлении.

Общая моментная теория круговых цилиндрических оболочек. Исходные уравнения: дифференциальные уравнения равновесия, геометрические и физические соотношения. Пути решения исходных уравнений: приведение к системе восьми дифференциальных уравнений в частных производных первого порядка или к трем дифференциальным уравнениям относительно перемещений. Разрешающее дифференциальное уравнение в частных производных восьмого порядка при действии нормальной, продольной и окружной внешних нагрузок.

5. Теория пластичности и ползучести

Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций.

Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация.

Условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения. Основные теории ползучести (старения, течения, упрочнения). Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Циклическая ползучесть. Линейная и нелинейная вязкоупругость.

6. Механика разрушения

Физические и микромеханические особенности процессов накопления повреждений и разрушения. Феноменологический и микромеханический подходы механики накопления рассеянных повреждений. Законы суммирования повреждений. Применение механики накопления рассеянных повреждений к расчетам на длительную прочность. Применение

механики накопления рассеянных повреждений к определению ресурса деформативности. Применение механики накопления рассеянных повреждений к расчету на малоцикловую усталость.

Критерий квазихрупкого разрушения в теории трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений. Трещиностойкость конструкционных материалов. Расчет на прочность элементов конструкций с трещиноподобными дефектами. Методы расчета долговечности, основанные на анализе развития трещин.

7. Численные методы расчетов динамики и прочности

Решение систем линейных уравнений. Системы линейных алгебраических уравнений в задачах механики. Метод Гаусса. Выбор ведущего элемента и точность решения. Разложение матриц на треугольные множители. Представление об итерационных методах.

Задачи механики и алгебраическая проблема собственных значений. Степенной метод. Использование сдвига для улучшения сходимости. Метод Якоби.

Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Задача Коши. Метод Эйлера. Методы Рунге-Кутты. Представление о многошаговых методах.

Метод конечных разностей (МКР). Основные положения метода. Формулы конечно-разностных аппроксимаций производных. Применение МКР для решения одномерных краевых задач. Обобщение МКР на многомерный случай. Обсуждение достоинств и недостатков метода.

Метод конечных элементов (МКЭ). Конечные элементы сплошной среды (плоские элементы). Плоский треугольный элемент. Плоский прямоугольный элемент. Четырехугольный изопараметрический элемент. Плоские изопараметрические элементы высших порядков.

Конечные элементы сплошной среды. Трехмерные конечные элементы.

8. Прочность конструкций летательных аппаратов

Общие сведения о прочности конструкций летательных аппаратов, их типах и конструктивно-силовых схемах, о применяемых конструкционных материалах.

Внешние силы, действующие на летательные аппараты в процессе их эксплуатации. Нагружение конструкций летательных аппаратов в процессе эксплуатации. Внутренние силовые факторы в конструкции и методы их определения. Температурные режимы элементов конструкций летательных аппаратов.

Нормирование нагружения и прочности конструкций летательных аппаратов. Расчет нагружения летательных аппаратов на различных этапах эксплуатации. Прочностные расчеты корпусов летательных аппаратов различных типов. Экспериментальная проверка прочности конструкции летательных аппаратов.

9. Динамика упругих систем

Составление уравнений колебаний конструкций ЛА. Расчетные математические модели. Приведение к системе с конечным числом степеней свободы. Методы Ритца, МКЭ, сосредоточенных масс. Приведение системы к нормальным координатам.

Колебания осесимметричных тонкостенных конструкций типа корпуса ЛА. Продольные колебания корпуса. Приведение к эквивалентному стержню.

Поперечные колебания корпуса. Влияние сдвига и инерции вращения. Отсеки в виде оболочек вращения при изгибе-сдвиге. Уравнения колебаний корпуса как системы отсеков оболочек. Условия сопряжения отсека со шпангоутом.

Колебания упругих баков с жидкостью. Формулировка задачи. Вариационные принципы. Собственные колебания. Уравнения в обобщенных координатах. Баки в форме оболочек вращения. Вариационных методы расчета колебаний жидкости в баках. Поперечные колебания жидкости в подвижной недеформируемой полости вращения. Учет сжимаемости жидкости.

10. Механика композитов

Структура полимерных волокнистых композитов. Свойства полимерных композитных материалов. Физическая модель однонаправленного материала. Физическая модель многослойного композита. Многослойный композит с общей анизотропией свойств, ортотропный композит. Особенности и виды разрушения волокнистых композитов. Критерии прочности композиционных материалов.

11. Характеристика околоземного космического пространства

Особенности внешних источников теплоты и основные задачи расчета. Физические характеристики околоземного космического пространства: давление и состав газа, электромагнитное излучение Солнца, корпускулярные потоки, микрометеорные потоки, собственное излучение Земли, отраженное от Земли солнечное излучение.

Математические модели внешнего теплообмена космического аппарата (КА). Модели излучения Солнца и планет для расчета внешнего теплового воздействия на КА. Расчет солнечного миделя поверхности КА. Расчет угловых коэффициентов для элементов поверхности КА.

12. Подсистемы теплозащиты

Теплоограждающие подсистемы теплозащиты. Подсистемы на основе терморегулирующих покрытий. Подсистемы на основе экранно-вакуумной тепловой изоляции. Подсистемы на основе однородной теплоизоляции.

Теплорассеивающие подсистемы теплозащиты с конвективным охлаждением. Подсистемы с воздухонепроницаемой теплоизоляцией. Подсистемы с пористой

теплоизоляцией. Нестационарный теплообмен в теплорассеивающей подсистеме теплозащиты с пористой теплоизоляцией.

Математическое моделирование и идентификация математических моделей процессов теплообмена. Математические модели подсистем теплозащиты ЛА. Методы и алгоритмы идентификации математических моделей сложного теплообмена. Оптимальное планирование тепловых экспериментов. Теплофизический эксперимент.

13. Системы обеспечения теплового режима КА

Внутренние источники теплоты. Тепловой режим экипажа. Математические модели теплового режима экипажа. Выделение теплоты оборудованием.

Подсистемы терморегулирования. Конвективные подсистемы терморегулирования. Разомкнутые подсистемы с изменением агрегатного состояния хладагента. Замкнутые подсистемы с изменением агрегатного состояния хладагента. Анализ совместной работы замкнутой подсистемы терморегулирования и энергетической установки.

Подсистема поддержания влажности. Основные параметры влажного воздуха. Способы поддержания влажности. Математическая модель подсистемы поддержания влажности.

Подсистемы обеспечения вентиляции. Приточные вентиляционные струи. Способы подачи и удаления воздуха. Схемы вентиляции гермоотсеков.

14. Проектирование систем терморегулирования КА

Методология проектирования систем терморегулирования (СТР) КА. Общая постановка задачи проектирования СТР. Особенности математического моделирования СТР. Идентификация в математическом моделировании и проектировании. Оптимизация в задаче проектирования.

Математическое моделирование агрегатов, элементов и СТР. Теплообменники. Радиаторы - излучатели. Трубопроводы. Гермокабина. Радиоэлектронное оборудование. Регуляторы. Математическое моделирование СТР на ЦВМ.

Оптимизация проектных параметров СТР. Критерии оптимизации. Методы оптимизации. Математическое моделирование агрегатов и СТР в задачах оптимального проектирования.

Автоматическое регулирование параметров СТР. Нелинейные автоматические системы терморегулирования. Определение параметров автоколебаний в системе терморегулирования методом припасовывания. Показатели качества процесса регулирования теплового режима. Пульсирующие режимы в СТР и способы их устранения. Оценка оптимальных параметров автоматической системы терморегулирования.

Основная литература

1. Александров, Анатолий Васильевич Сопротивление материалов: Основы теории упругости и пластичности : учеб. / А.В. Александров, В.Д. Потапов. - 2-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2002. - 400 с.

2. Снеддон, И. Н. Классическая теория упругости / И.Н. Снеддон, Д.С. Берри. - М. : Вузовская Книга, 2008. - 216 с.
3. Липовцев, Юрий Васильевич. Прикладная теория упругости / Ю.В. Липовцев, М.Ю. Русин. - М.: Дрофа, 2008. - 319с.
4. Кузьмин, Михаил Александрович. Расчеты на прочность элементов многослойных композитных конструкций : учеб. пособие / М.А. Кузьмин, Д.Л. Лебедев, Б.Г. Попов. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2012. - 341,[3] с. : ил. - (Прочность, жесткость, устойчивость элементов конструкций. Теория и практикум).
5. Технологические методы повышения прочности и долговечности : учебное пособие / В. Б. Бойцов, А.О. Чернявский. - М.: Машиностроение, 2005. - 128с.
6. Расчеты на прочность элементов многослойных композитных конструкций : учеб. пособие / М.А. Кузьмин, Д.Л. Лебедев, Б.Г. Попов. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2012.
7. Расчет теплонапряженных конструкций / В.С. Зарубин, И.В. Станкевич. - М.: Машиностроение, 2005. - 352 с. : ил. - (Библиотека расчетчика).
8. Полимерные нанокompозиты : пер. с англ. / ред.: Ю-Винг Май, Жонг-Жен Ю. - М.: Техносфера, 2011. - 688 с. - (Мир материалов и технологий).
9. Применение интеллектуальных материалов в авиационно- космической технике : учебное пособие / В. В. Ефанов, А. Ю. Колобов ; Московский авиационный институт. - М. : Издательство МАИ, 2014. - 48 с.
10. Методы расчёта усталостной долговечности элементов авиаконструкций / В. Е. Стрижиус. - М. : Машиностроение, 2012. - 272 с.
11. Тепловая защита : учеб. / П. В. Никитин. - М. : МАИ, 2006. - 512 с. : ил. - Библиогр.: с. 508-509.