

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный аэрокосмический университет  
имени академика М.Ф. Решетнева»  
(СибГАУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НИД

Ю.Ю. Логинов

2017 г.

*ПРОГРАММА*

ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

---

<b>Направление подготовки:</b>	24.06.01	Авиационная и ракетно- космическая техника
<b>Профиль подготовки:</b>	<i>шифр</i> Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов	<i>наименование</i> летательных аппаратов
<b>Форма обучения:</b>		Очная, заочная
<b>Квалификация выпускника</b>		Исследователь. Преподаватель-исследователь.
<b>Кафедра-разработчик рабочей программы</b>		Двигателей летательных аппаратов

Красноярск 2017

## **1. Общие положения**

Настоящая программа вступительного экзамена по профилю подготовки – Тепловые и электроракетные двигатели составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования.

Процедура приема вступительных экзаменов регламентирована Порядком приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научно – педагогических кадров в аспирантуре, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 26 марта 2014 г. № 233.

Результаты экзамена оцениваются по пятибалльной шкале.

Пересдача вступительных экзаменов не допускается. Результаты вступительных экзаменов в аспирантуру действительны в течение календарного года

## **2. Цели вступительных испытаний**

Выявление профессионального уровня знаний, приобретённых в процессе получения высшего образования, осознание основных аспектов будущей научной специальности и выявление научного потенциала поступающего.

## **3. Требования к уровню подготовленности к профессиональной деятельности**

Кандидат на поступление в аспирантуру должен иметь диплом о высшем образовании (специалитет, магистратура) по выбранной, родственной или профильной специальности и должен подготовить реферат или иметь опубликованные работы по специальности.

Поступающий должен иметь подготовку в области организации научно-исследовательской работы, методики проведения и обработки результатов эксперимента, знать физико-математические основы специальности. Проявлять системный подход к процессам и явлениям, уметь пользоваться такими категориями, электронная структура, транспортные свойства, магнетизм, кристаллическая структура, фазовые превращения.

## **4. Форма проведения вступительного экзамена**

Испытание осуществляется в форме письменного изложения ответов на содержащиеся в настоящей программе вопросы и собеседования (3 вопроса).

Продолжительность экзамена - 1 час.

При подготовке ответа экзаменуемому разрешается пользоваться справочниками, ГОСТами и другой нормативно-технической литературой.

## **1. Содержание программы**

### 1.1. Общие положения

Назначение, задачи и область использования изделий авиационной и ракетно-космической техники. Классификация и особенности двигателей и энергетических установок летательных и космических аппаратов.

Характеристика и назначение тепловых двигателей. Логическая схема теплового двигателя. Первичные источники энергии. Тепловые процессы и рабочее тело двигателей. Условная схема функционирования тепловых двигателей. Классификация и область применения реактивных двигателей. Общая характеристика ракетных двигателей. Типизация ракетных двигателей. Область применения жидкостных ракетных двигателей (ЖРД), реактивных двигателей твердого топлива (РДТТ), гибридных ракетных двигателей (ГРД) и других типов тепловых ракетных двигателей.

Принципиальные особенности, общая характеристика и область применения электрических ракетных двигателей (ЭРД). Классификация ЭРД. Рабочее тело ЭРД. Бортовые источники электрического питания ЭРД. Основные параметры и состав электрической ракетной двигательной установки.

## 2. Тепловые ракетные двигатели

### 2.1. Теория, расчет и проектирование ракетных двигателей

Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в ракетных двигателях (РД); организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания; сопла ракетных двигателей; общая теория лопаточных машин; физическое и математическое моделирование процессов в РД; основные типы систем питания, турбонасосные агрегаты, их характеристики, методы расчета; термогазодинамические и тепловые расчеты ракетных двигателей; расчет основных конструктивных параметров и характеристик РД.

### 2.2. Основы конструирования ракетных двигателей

Конструирование камер сгорания РД, конструирование турбонасосных агрегатов; выбор их конструкционных материалов, прочностные расчеты типовых конструктивных элементов РД, определение динамических и статических нагрузок в элементах силовых конструкций; прочность и устойчивость типовых конструктивных элементов РД, расчет напряженно-деформированного состояния; определение запасов прочности; расчеты на усталость; основы механики разрушения; ползучесть; малоцикловая усталость, термопрочность; организация тепловой защиты конструктивных элементов РД; конструирование агрегатов двигательных установок.

### 2.3. Автоматика и регулирование ракетных двигателей

Основные принципы автоматического регулирования и управления, классификация систем автоматического управления; математическое описание процессов регулирования и управления в линейных системах, методы исследования устойчивости и качества линейных систем управления; типовые замкнутые системы автоматического регулирования; анализ нелинейных систем автоматического регулирования, автоколебания; определение статических и динамических свойств основных агрегатов и ДУ в целом как объекта регулирования; математическая модель ДУ как объекта регулирования; выбор элементов и структуры регуляторов для управления основными параметрами ДУ; обоснование выбора и структуры агрегатов автоматики пневмогидравлических схем ДУ; обеспечение процесса функционирования ДУ на этапах: запуска, стабилизации режима, глубокого изменения режима и останова ДУ; обоснование выбора необходимых законов управления ДУ и расстановки регулирующих органов и элементов автоматики.

### 2.4. Системы автоматизированного проектирования ракетных двигателей

Основные принципы построения САПР. Формализация процесса конструирования и технологического обеспечения. Принципы интерактивного проектирования. Информационные модели РД, узлов, агрегатов и элементов РД. Обработка данных. Внутримашинное представление

объектов проектирования. Системы баз данных. Подсистемы САПР РД. Интегрированные системы конструирования и технологий. Вычислительные сети. Сетевые устройства. INTERNET. Математическое моделирование в САПР. Проектирование оптимальных систем и конструкций РД. Программное обеспечение. Средства разработки программ. Технические средства САПР. Компьютерная графика и геометрическое моделирование. Плоское и объемное моделирование. Системы автоматизации выпуска конструкторской документации. Системы технологической подготовки производства.

### 2.5. Динамика и прочность ракетных двигателей

Конструкционная прочность; факторы, влияющие на конструкционную прочность; методы анализа статической и динамической прочности - экспериментальные методы, методы математического моделирования; методы испытаний, планирование эксперимента, эквивалентные испытания узлов и деталей конструкций РД; модели прочностной надежности; модели материала; модели формы; модели нагружения; модели разрушения; запасы прочности, долговечность и ресурс; методы анализа прочностной надежности типовых элементов и узлов РД.

### 2.6. Испытание и обеспечение надежности ракетных двигателей

Задачи и методы испытаний ракетных двигателей; основные виды испытаний и их классификация; применение математической теории планирования эксперимента, обработка результатов экспериментов и построение линейной и нелинейной регрессионной модели; методы утяжеленных и ускоренных доводочных испытаний, обеспечение заданного уровня надежности при доводочных испытаниях, резервирование как возможный способ повышения надежности; специальные виды испытаний; оценка надежности двигателя по результатам испытаний; техническая диагностика, ее основные задачи и понятия; методы измерения основных параметров РД; испытательные средства и оборудование; автоматизация испытаний РД, моделирование испытаний.

## 3. Электрические ракетные двигатели

### 3.1. Физические основы рабочих процессов

Рабочие тела ЭРД; функции рабочего тела и их параметры; процессы изменения фазового состояния рабочего тела; свойства твердых тел; свойства рабочих тел в жидком состоянии и парогазовой фазе; процессы на границе раздела фаз; поверхностное натяжение, смачиваемость, адгезия, адсорбция; процессы на границе металл-вакуум; контакт разнородных материалов и полупроводников; физико-химические процессы в электрохимических устройствах; электролиты; кинетика электродных процессов; эксплуатационные особенности основной группы рабочих тел энергосиловых установок; выбор оптимальных рабочих тел энергосиловых установок; введение в квантовую оптику; тепловое излучение; коротковолновая граница спектра; внешний фотоэффект; плазма как рабочее тело; виды дуговых разрядов и их особенности; взаимодействие плазмы с твердым телом.

### 3.2. Теория, расчет и проектирование электроракетных двигателей

Ионизация рабочего тела; ускорение плазмы; приэлектродные процессы; движение частиц в электрических и магнитных полях; критерии подобия и некоторые эффекты в плазме; методы исследования рабочих процессов в плазменных двигателях; двигатели с тепловым ускорением вещества; сильноточные двигатели; торцевые холловские двигатели; ионные двигатели; двигатели с магнитным слоем; интегральные характеристики холловских двигателей; катоды плазменных двигателей; распыление стенок ускорительной камеры; методика расчета основных параметров стационарного плазменного двигателя.

## 4. Энергетические установки летательных аппаратов

### 4.1. Основы проектирования энергетических установок

Общие сведения об энергетических установках (ЭУ). Основные требования, параметры и характеристики, конструктивные схемы, основные агрегаты и узлы. Перспективы развития и

совершенствования конструкций ЭУ; принципы методологии разработки конструкций ЭУ, базовые конструкции, аналоги; этапы создания ЭУ; обеспечение работоспособности и прочностной надежности; нагрузки при транспортировке, доставке на орбиту и на рабочих режимах; термопрочность, термоцикличность, повреждаемость; технологичность конструкции, выбор конструкционных материалов. Оптимизация конструкций по массе, надежности, стоимости и другим критериям; выбор силовых схем ЭУ. Модульность конструкций, принципы формирования модулей и блоков. Основные узлы, агрегаты и элементы электроракетных двигателей и энергоустановок; состав и содержание технической документации при разработке и эксплуатации ЭУ.

#### 4.2. Конструкция и прочность энергосиловых установок

Расчет прочности, термических напряжений; расчет на прочность, устойчивость и колебания деталей теплообменных аппаратов, общие вопросы проектирования реактивных двигателей, камер сгорания, турбонасосных агрегатов; расчет на прочность и колебания деталей и узлов ракетных двигателей.

Конструкционная прочность; факторы, влияющие на конструкционную прочность; методы анализа статической и динамической прочности - экспериментальные методы, методы математического моделирования; методы испытаний, планирование эксперимента, эквивалентные испытания узлов и деталей конструкций ЭУ; модели прочностной надежности; модели материала; модели формы; модели нагружения; модели разрушения; запасы прочности, долговечность, деформативность и ресурс; методы анализа прочностной надежности типовых элементов и узлов ЭУ.

#### 4.3. Системы автоматизированного проектирования энергоустановок

Основные принципы построения САПР. Формализация процесса конструирования и технологического обеспечения. Принципы интерактивного проектирования. Информационные модели ЭУ, узлов, агрегатов и элементов ЭУ. Обработка данных. Внутримашинное представление объектов проектирования. Системы баз данных. Подсистемы САПР ЭУ. Интегрированные системы конструирования и технологий. Автоматизированные конструкторские технологические бюро. ЭВМ. Вычислительные сети. Сетевые устройства. Протоколы и соглашения. INTERNET. Математическое Моделирование в САПР. Проектирование оптимальных систем и конструкций ЭУ. Программное обеспечение. Средства разработки программ. Технические средства САПР

#### 4.4. Автоматика и регулирование энергоустановок

Системы автоматического регулирования; структурные и принципиальные схемы; классификация систем автоматического регулирования; статистические характеристики звеньев и систем автоматического регулирования; расчет статистических характеристик отдельных схем и блоков; линейные и нелинейные характеристики звена; статистические характеристики звеньев с жесткой обратной связью; составление уравнений движения; линеаризация; запись уравнений в отклонениях и в безразмерной форме; структурная форма представления уравнений движения: определение коэффициентов, входящих в уравнения; переходные функции; изображение линейного дифференциального уравнения с постоянными коэффициентами по Лапласу - Карсону; передаточные функции; частотные функции и характеристики САР; динамические характеристики САР: основные понятия о нелинейных САР; основы теории регуляторов; внешние и командные возмущения САР с регулятором прямого действия; непрямого действия, с обратной связью и без обратной связи, с исчезающей обратной связью; статическое и астатическое регулирование; схемы и принцип действия автоматических регуляторов; чувствительные элементы для измерения параметров; чувствительные элементы расчетного действия; особенности устройства исполнительных механизмов.

#### 4.5. Испытание энергоустановок

Место и роль испытаний в жизненном цикле сложного изделия; специфические требования к испытаниям космических ЭУ; назначение, виды и классификация испытаний; методология испытаний КЭУ; факторы космического пространства, влияющие на функционирование КЭУ; моделирование при наземных испытаниях; технические средства имитации факторов космического полета; летно-космические испытания КЭУ; способы и аппаратура; накопление и передача

информации; организация наземных испытаний; поузловая отработка и автономные испытания; особенности испытаний источников энергии; особенности испытаний преобразователей энергии и систем отвода тепла; особенности испытаний ядерных энергоустановок; обеспечение радиационной безопасности.

## **5. Тепловая защита двигательных установок**

Методы и средства защиты ДУ летательных аппаратов; особенности конвективного и радиационного теплообмена при «активных» и «пассивных» системах тепловой защиты; механизм разрушения в условиях интенсивного нагрева; методы и средства диагностики основных характеристик теплозащитных покрытий. Виды теплозащитных покрытий. Основные технологические способы покрытий.

## **6. Вопросы для экзамена**

1. Общая классификация и особенности двигателей летательных и космических аппаратов.
1. Характеристики и назначение тепловых двигателей.
2. Логическая схема теплового двигателя.
4. Универсальные и специфические параметры и характеристики двигателей летательных аппаратов.
5. Основные требования к двигательным установкам летательных аппаратов.
6. Методология выбора принципиальной схемы ракетного двигателя
7. Общая характеристика и основные параметры двигательных установок с вытеснительной системой подачи.
8. Общая характеристика ракетных двигателей с турбонасосной системой подачи топлива.
9. Сравнительный анализ энергетической эффективности открытой и замкнутой систем подачи топлива.
10. Методы устранения низкочастотной и высокочастотной неустойчивости в камере ЖРД.
11. Конструктивные и технологические способы совершенствования процессов распыливания и смесеобразования в камере ЖРД.
12. Конструктивные и технологические способы совершенствования газодинамических процессов в камере ЖРД.
13. Конструктивные и технологические решения, обеспечивающие создание и эксплуатацию многоразовых ракетных двигателей.
14. Перспективные ракетные топлива.
15. Область использования и основные характеристики двигателей малой тяги.
16. Варианты конструктивного исполнения турбонасосной системы.
17. Выбор варианта системы охлаждения камеры ЖРД.
18. Основные параметры и характеристики центробежных насосов ЖРД.
19. Основные параметры и характеристики газовых турбин ЖРД.
20. Назначение и технология гидродинамических испытаний насосов ЖРД.
21. Статическая и динамическая балансировка в производстве ТНА ЖРД.
22. Физическая природа явления кавитации в насосах ЖРД. Методы предотвращения кавитации.
23. Теплозащитные покрытия в камере ЖРД. Технологические методы нанесения ТЗП.
24. Регулирование основных параметров ЖРД.
25. Способы управления вектором тяги жидкостных ракетных двигателей.
26. Особенности и параметры рабочего процесса в однокомпонентных и двухкомпонентных жидкостных газогенераторах
27. Особенности технологической системы обеспечения качества и надежности двигателей ампулизованных баллистических ракет.
28. Требования экологической безопасности при создании и эксплуатации двигателей летательных аппаратов.

29. Ракетные двигатели твердого топлива (РДТТ). Физико-химические процессы горения гомогенных (баллиститных) и гетерогенных (смесевых) твердых ракетных топлив.
30. Типы зарядов РДТТ, способы воспламенения и регулирования рабочего процесса в РДТТ.
31. Способы управления вектором тяги РДТТ.
32. Классификация и принципиальные особенности электрических ракетных двигателей.
33. Физические основы рабочего процесса в электрических ракетных двигателях.
34. Принципиальные схемы и особенности организации рабочего процесса в комбинированных ракетных двигателях.
35. Методы повышения надежности тепловых электроракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов.

## Библиографический список

1. Абутов Д.И., Бобылев В.М. Теория и расчет ракетных двигателей на твердом топливе. М.: Машиностроение, 1987.
2. Алемасов, В.Е. Теория ракетных двигателей / В.Е. Алемасов, А.Ф. Дрегалин, А.П. Тишин; под ред. В.П. Глушко. - М. : Машиностроение, 1989. -464 с.
3. Волков, Е.Б. Жидкостные ракетные двигатели: учебник для вузов /Е.Б.Волков, Л.Г. Головков, Т.А. Сырицын; - М. : Воениздат, 1970. -592 с.
4. Голиковская, К.Ф. Топлива и горение: учебное пособие / К.Ф. Голиковская - Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. -Красноярск, 2010. -116 с.
5. Добровольский, М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: учебник для вузов / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова.-2-е изд., перераб. и доп.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 488 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов: Учебник / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.с. Хачиян и др.; Под. ред. В.Н. Луканина. М.: Высш. школа, 1995.
7. Двигатели внутреннего сгорания: теория поршневых и комБИНИ(Бванных двигателей): Учебник / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко и др.; Под общ. ред. А.с. Орлина, М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983.
8. Двигатели летательных аппаратов: учебное пособие/М.В. Краев, В.М. Краев -Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2009. -152 с.
9. Дюнзе, М.Ф., Жимолохин, В.Г. Ракетные двигатели твердого топлива для космических систем. - М.: Машиностроение, 1982. - 160 с.
10. Ермошкин, Ю.М. Основы теории и расчет электрореактивных двигателей и двигательных установок: учебное пособие / Ю.М. Ермошкин; - Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. - Красноярск, 2003. - 106 с.
11. Ерохин, Б.Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирования РДТТ: учебник для высших технических учебных заведений. М. : Машиностроение,1991.-560 с.
12. Источники энергии систем электроснабжения космических аппаратов: монография / М.В. Лукьяненко, и др. - Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. -Красноярск, 2008.-176 с.
13. Квасников, Л.А. Латышев. Н.Н. Пономарев-Степной и др. М.: Машиностроение, 2001.
14. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: учебник для вузов / Г.Г. Гахун, В.И. Баулин, В.А. Володин и др. - М. : Машиностроение, 1989. -424 с.
15. Криогенные двигательные установки: учебное пособие В.Н. Ефремов, В.Ю. Журавлев, М.В. Краев, О.П. Якубович; - Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. - Красноярск, 2002.-100 с.
16. Куландин А.А., Тимашев с.В. Энергетические системы космических летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1979.
17. Латышев Л.А., Чуян Р.К. Оптимизация параметров ЭРД. М.: Машиностроение, 2000.
18. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. КН.1, 2/Под ред. В.М. Кудрявцева. М.: Высш. школа. 1993.
19. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей / В.М. Акимов, В.И. Бакулев. Р.И. Курзинер и др.; Под ред. проф. С. М. Шляхтенко. М.: Машиностроение, 1987.
20. Теория двухконтурных турбореактивных двигателей / ВЛ. Деменченок, Л.Н. Дружинин, А.Л. Пархомов и др.; Под ред. проф. с.М. Шляхтенко и В.А. Сосунова. М: Машиностроение. 1979.
21. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. М. : Машиностроение, 1986.

Программа вступительного экзамена в аспирантуру по направлению подготовки 24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника с учетом направленности программы подготовки 05.07.05 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов разработана кафедрой двигателей летательных аппаратов СибГАУ.



