

Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва



УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный конструктор  
академик РАН  
Е.А. Микрин  
2018 г.

## ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по направлению подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре  
24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника

направленность 05.07.05 «Тепловые электроракетные двигатели и  
энергоустановки летательных аппаратов»

Программа кандидатского экзамена по направленности подготовки «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» 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), Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (приказ Минобрнауки России от 19.11.2013 № 1259), учебным планом подготовки научно-педагогических кадров «РКК «Энергия» по направленности «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов».

Составители:

д.т.н., профессор

Филин В.М.

д.т.н., профессор

Синявский В.В.

Согласовано:

Заведующая аспирантурой

Потрываева Е.В.

Программа рассмотрена на заседании секции НТС «Подготовка научных кадров»

Протокол № 4/2018 от 17.07.2018

Председатель секции НТС  
«Подготовка научных кадров»

Лукьяшко А.В.

Таблица переутверждения 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 кандидатского экзамена по направлению подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 24.06.01 «Авиационная и ракетно-космическая техника» по направленности «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» в аспирантуре «РКК «Энергия».

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов; проектирование двигательных установок ракет-носителей, разгонных блоков и орбитальных кораблей, работающих на криогенных компонентах топлива; перспективные космические аппараты и комплексы на базе ядерно-энергетических и электроракетных установок; методика проведения теплотехнического эксперимента.

На экзамене по направленности «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» аспирант должен знать методики определения основных характеристик элементов ДУ по экспериментальным данным; проводить расчёты характеристик основных элементов ДУ, составлять математические модели элементов ДУ и процессов, происходящих в них, уметь продемонстрировать владение методами математического моделирования элементов двигательной установки (ДУ).

Указанные знания и умения аспирант приобретает в процессе освоения дисциплин учебного плана подготовки аспирантов по направленности.

## 2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

### Раздел 1. Ракетные двигатели

#### *Общие вопросы теории ракетных двигателей.*

Типы ракетных двигателей (РД). Классификация РД. Ядерные ракетные двигатели. Лазерные и солнечные двигатели. Особенности и области применения различных типов РД.

Уравнения тяги РД. Коэффициенты полезного действия РД (термический, тяговый, общий). Характеристические параметры РД: удельный импульс, характеристическая скорость, коэффициент тяги сопла, удельная масса.

Устройство и оценка совершенства сопел. Режимы недорасширения и перерасширения.

Основные сведения о жидких ракетных топливах и их физико-химических характеристиках.

#### *Жидкостные ракетные двигатели (ЖРД).*

Процессы в камере сгорания и их расчет. Выбор и определение основных параметров камеры сгорания. Приведенная длина камеры сгорания.

Особенность процессов в газогенераторах (однокомпонентных и двухкомпонентных, окислительных и восстановительных). Особенности и схемы теплозащиты стенок камеры ЖРД.

Неустойчивость рабочего процесса в ЖРД

Типы систем подачи в ЖРД и области их применения. Расчет и выбор оптимальной системы подачи в зависимости от назначения двигателя и энергоустановки.

Принципиальные схемы ТНА (турбинно-насосный агрегат). Расчет основных параметров турбин и насосов ТНА. Совместная работа насосов с турбиной.

Типы ЖРД малой тяги: химические и электро-химические с каталитическим разложением. Основные тенденции и перспективы развития ЖРД.

Повышение надежности, ресурса, многократности применения ЖРД, создание двигателей с глубоким регулированием тяги.

### *Ядерные ракетные двигатели (ЯРД).*

Основные схемы и параметры ЯРД, области применения. Основные показатели ЯРД с твердофазным реактором. Основные элементы и схемы, требования к ним. Основные характеристики рабочих тел. Методы преобразования энергии. Понятие о характеристиках рабочего процесса и основные показатели ЯРД с газофазным реактором.

## **Раздел 2. Электроракетные двигатели и энергетические установки космических аппаратов (КА)**

### *Двигательные, энергетические и энергосиловые установки.*

Потребности КА в бортовой энергетике и необходимость создания энергосиловых установок (ЭСУ) и электроракетных двигателей (ЭРДУ), энергетических установок (ЭУ) различных типов.

Классификация, принципиальные схемы и основные характеристики источников энергии: солнечных, химических, ядерных и радиоизотопных. Системы преобразования энергии в электрическую: турбомашинные, магнитогазодинамические, термоэмиссионные, термоэлектрические, термоэлектромеханические, электрохимические. Теплообменные аппараты и холодильники-излучатели. Представление о механизмах ускорения рабочего тела в ЭРД. Классификация ЭРД. Рабочие процессы в двигателях. Структурные схемы ЭСУ, ЭУ и ЭРДУ. Взаимосвязь их параметров и характеристик. Требования к рабочим телам ЭСУ и области их применения.

### *Источники плазмы и заряженных частиц.*

Газоразрядные источники плазмы и ионов. Прямая и ступенчатая ионизация. Схемы газоразрядных источников ионов и их характеристики. Роль магнитных полей в источниках ионов. Рабочие процессы в источниках. Основные потери энергии. Расчет параметров источников ионов. Зависимости, определяющие величину полного тока. Ускорение плазмы и заряженных частиц. Влияние электрических и магнитных полей на движение плазмы и заряженных частиц. Различные механизмы ускорения. Классификация ускорителей и двигателей. Двигатели и движители, их основные характеристики.

### *Движители с электромагнитным ускорением плазмы.*

Основные представления. Одномерные течения и их применение к расчету параметров движителя. Границы применения одномерных МГД-течений (магнитогидродинамических течений). Двумерные течения плазмы. Особенности течения плазмы в движителях. Характерные области течения и процессы в них. Выбор физической и математической модели процесса ускорения плазмы.

Схемы и принципы действия плазменных движителей с электромагнитным ускорением плазмы. Особенности рабочего процесса коаксиальных плазменных движителей с собственным магнитным полем.

Торцевые сильноточные движители. Схемы и особенности рабочих процессов. Расчет параметров и интегральных характеристик движителей. Кризис течения, предельные режимы. Неустойчивость и развитие колебаний потенциала и тока.

Торцевые холловские движители. Схемы и принципы действия. Характерные зоны и области рабочих процессов. Роль отдельных механизмов ускорения и создания тяги. Влияние внешнего магнитного поля на характеристики. Методы управления вектором тяги с помощью внешних магнитных полей.

Импульсные плазменные движители с электромагнитным ускорением. Схемы и принципы действия. Модели ускорения рабочего тела. Расчет параметров и характеристик движителей.

### *Движители с электростатическим ускорением.*

Процессы ускорения ионов и плазмы электрическим полем. Ионно-оптические системы с электрическим и магнитным воздействием на потоки частиц. Методы расчета ионно-оптических систем и параметров потока ионов. Влияние различных факторов на фокусировку ионов и плазмы. Нейтрализация ионного потока. Рабочие процессы катодов-компенсаторов.

Движители с замкнутым дрейфом электронов и протяженной зоной ускорения. Схемы и основы рабочего процесса. Распределение потенциала и концентрации частиц в канале. Роль изоляционных стенок ускорительного канала. Колебания и их влияние на рабочий процесс. Характеристики движителей.

Движители с замкнутым дрейфом электронов и ускорений ионов в анодном слое. Характерные особенности процессов. Роль источников плазмы. Влияние различных факторов на параметры плазмы и потока ионов.

Ионные движители. Схемы и принципы действия поверхностных и объемных источников ионов. Основные процессы в источниках ионов. Взаимосвязь процессов в источнике ионов и ионно-оптической системе. Расчет параметров и характеристик движителей. Основные потери массы, импульса и энергии. Особенности рабочих процессов в движителях на переменном токе.

#### *Методы исследования рабочих процессов движителей.*

Методы диагностики плазмы, потоков заряженных частиц. Электростатические зонды, магнитные зонды, пьезо- и термозонды. Спектральные методы измерения параметров плазмы. Условия применимости основных методик определения параметров плазмы.

#### *Системы питания движителей.*

Взаимосвязь узлов двигательной установки. Основные системы, обеспечивающие работу электроракетной двигательной установки (ЭРДУ), как сложного комплекса элементов различного назначения. Структурные схемы взаимосвязей узлов с ЭРДУ с системами питания рабочим телом, энергией, системами регулирования параметров и т.д. Влияние особенностей рабочих процессов движителей на выбор типа систем.

Системы питания рабочим телом ЭРДУ. Системы питания электроэнергией ЭРД и ЭРДУ.

Взаимосвязь параметров и характеристик систем питания с параметрами и характеристиками движителей, их системами и другими элементами ЭРДУ и ЭСУ. Взаимное согласование статических и динамических характеристик ЭРДУ и их систем. Согласование работы электроракетных двигателей различных схем и назначения с системой энергопитания и энергетической установкой.

#### *Источники энергии для космических энергосиловых установок.*

Лучистые источники энергии. Характеристики солнечного излучения в околоземном и межпланетном пространстве. Концентраторы солнечной энергии, основные виды и их характеристики. Приемники лучистой энергии. Селективные поверхности и их роль в повышении эффективности использования солнечной энергии.

Ядерные энергетические установки космических аппаратов. Особенности рабочих процессов, параметров, характеристик и конструкции ядерных реакторов ЛА. Нейтронно-физический и тепловой расчеты реакторов. Распределение параметров в активной зоне. Регулирование мощности. Круговая и теневая защиты от излучения. Системы отвода тепла. Запуск ядерной энергетической установки в космическом пространстве.

Радиоизотопные источники энергии. Виды радиоактивных топлив. Характеристики радиоизотопных тепловых блоков. Регулирование теплового потока. Особенности эксплуатации радиоизотопных источников.

Химические источники энергии. Виды и характеристики систем компонентов. Системы хранения и подачи. Баллонные, криогенные, связанные системы и их характеристики.

### *Энергетические установки с солнечными батареями.*

Особенности и области использования фотоэлектрических энергетических установок. Основные процессы в фотоэлектрическом преобразователе на p-n-переходе. Процессы переноса заряда и рекомбинации. Потери энергии и КПД фотоэлектрического преобразователя. Возможности повышения эффективности.

Характеристики преобразователей, влияние на них температуры, радиации. Методы повышения стойкости и надежности. Солнечные батареи, системы раскрытия, ориентации, резервирования. Характеристики и КПД солнечных батарей. Согласование характеристик с потребителями.

### *Энергетические установки с термоэлектрическими генераторами.*

Физико-энергетические основы термоэлектричества. Виды термоэлектрических материалов. Баланс энергии и КПД термоэлектрических генераторов. Каскадные термоэлементы. Расчет термоэлементов. Расчет многоэлементных термоэлектрических генераторов. Основные характеристики. Термоэлектрические генераторы ядерных энергетических установок. Термоэлектродгенераторы с радиоизотопными источниками энергии. Надежность и испытания энергетических установок с термоэлектрическими генераторами. Согласование характеристик с потребителями. Выбор и оптимизация параметров энергетических установок. Конструкция энергетических установок с термоэлектрическими генераторами и их элементов. Особенности учета термических напряжений. Технология производства установок и их элементов.

### *Энергетические установки с термоэмиссионными преобразователями*

Термоэлектронная эмиссия. Процессы на электродах термоэмиссионного преобразователя (ТЭП). Снижение работы выхода электронов металлопленочных покрытий. Процессы переноса заряда в межэлектродном зазоре. Нейтрализация объемного заряда. Режимы работы ТЭП: вакуумный, диффузионный и дуговой. Электрические характеристики ТЭП. Влияние параметров рабочего процесса, конструкции и технологии на КПД преобразователя.

Реакторы-генераторы с термоэмиссионными преобразователями. Влияние распределения температуры и энерговыделения на параметры генератора. Одноэлементные и многоэлементные электрогенерирующие каналы. Особенности коммутации. Потери энергии на электродах и коммутационных переключках. Характеристики термоэмиссионных генераторов при постоянных температурах электродов и при постоянной тепловой мощности. Энергомассовые характеристики энергетических установок с ТЭП. Надежность и испытания параметров энергетических установок с ТЭП. Особенности учета термических напряжений в элементах ТЭП. Конструкции термоэмиссионных установок и их элементов. Технология производства, сборки и заправки установок с ТЭП и их элементов.

### *Энергетические установки с термоэлектрохимическими преобразователями (ТЭХП)*

Процессы переноса ионов в твердых и загущенных электролитах под действием перепада давления, разности концентраций рабочего компонента. Процессы на газодиффузионных электродах. Выбор рабочих компонентов, подача рабочего компонента. Характеристики ТЭХП. Энергомассовые характеристики. КПД ТЭХП. Особенности конструкции и технологии установок с ТЭХП.

### *Энергетические установки с электрохимическими генераторами (ЭХГ).*

Виды электрохимических генераторов и топливных элементов. Применяемые рабочие компоненты. Удельная энергия и удельная мощность. Оптимизация параметров электрохимического генератора. Системы хранения и подачи компонентов в ЭХГ. Баллонное, криогенное и связанное хранение компонентов. Энергетические установки с

ЭХГ. Согласование характеристик ЭХГ с потребителями энергии. Совместная работа ЭХГ с другими источниками энергии. Генеративные ЭХГ. Конструкции установок с ЭХГ и их элементов. Технология производства, сборки и заправки установок с ЭХГ и их элементов.

#### *Энергетические установки с паротурбогенераторами.*

Схема паротурбинных энергетических установок. Выбор рабочего тела. Расчет параметров турбинного контура установки. Выбор параметров. Характеристики паротурбинной установки. Особенности запуска в условиях полета. Энергомассовые характеристики и КПД установки.

#### *Энергетические установки с газотурбогенераторами.*

Схема газотурбинных энергетических установок с солнечным, ядерным источником тепла. Зависимость выбора рабочего тела от уровня мощности установки. Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры установки. Оптимизация параметров. Совместная работа газотурбокомпрессора и его характеристики. Запуск энергетической установки с газотурбогенератором. Условия обеспечения надежности установки.

#### *Комбинированные и энергосиловые установки.*

Энергетические установки с каскадом преобразования. Повышение КПД и удельных характеристик при оптимальном каскадировании. Выбор систем преобразования для первого и второго каскадов.

Совместная работа электроракетного двигателя и энергетической установки в составе энергосиловой системы.

#### *Проектирование и выбор параметров, вида и облика энергосиловой установки и ее подсистем.*

Общие проблемы проектирования энергосиловых, энергетических и двигательных установок. Компонентные схемы установок с различными источниками энергии, различными преобразователями и двигателями. Влияние задачи полета и типа ЛА на выбор схемы. Многопараметрическая оптимизация.

### **Раздел 3. Проектирование конструкций тепловых, электроракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов**

#### *Процесс проектирования и его особенности.*

Формализация процесса проектирования по стадиям и задачам. Стадии процесса проектирования, цели и возможности применения для них САПР (система автоматизированного проектирования). Задача параметрического синтеза и анализа. Особенности системного подхода к проектированию. Уровень имитационного моделирования. Методы решения задач параметрического анализа. Однокритериальная и многокритериальная оптимизация. Выбор критериев оптимальности. Методы принятия решений проектировщиком. Критерии выбора. Методы задания предпочтения на множестве частных критериев. Экспертные системы.

#### *Моделирование в САПР.*

Математическое моделирование как средство исследования сложных технических подсистем двигателя. Основные задачи, возникающие при математическом моделировании с использованием САПР. Задачи гидрогазодинамики. Задачи теплопередачи. Задачи прочности. Задачи динамики и регулирования. Проектирование оптимальных систем и конструкций тепловых, электроракетных двигателей и энергетических установок.

#### *Программное обеспечение САПР.*



Классификация программного обеспечения. Средства разработки программ. Расчетно-оптимизационные системы. Графоаналитические системы. Графические системы. Системы автоматизации выпуска конструкторской документации. Системы технологической подготовки производства. Системы баз данных. Системы принятия решений. Экспертные системы. Программы наиболее употребляемых систем САПР (MATCAD, AUTOCAD, MATLAB, NASTRAN).

#### **Раздел 4. Технология производства тепловых, электроракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов**

##### *Производственный и технологический процесс.*

Понятие технологичности конструкции изделия, узла, детали, технологичность материалов. Критерии оценки технологичности. Технологичность деталей из металлических и неметаллических материалов в связи с особенностями механической, электрофизической, электрохимической и др. их видов обработки.

##### *Методы обработки конструкционных материалов.*

Основные проблемы обрабатываемости современных конструкционных материалов. Физические основы обработки конструкционных материалов. Методы обработки поверхностей. Физико-химические методы обработки материалов.

##### *Технологические методы повышения надежности тепловых, электроракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов.*

Влияние химического состава и структурно-фазового состояния поверхностного слоя на износостойкость и коррозионную стойкость. Повышение эксплуатационных свойств деталей. Защитно-упрочняющие покрытия.

##### *Технология сборки тепловых, электроракетных двигателей и энергетических установок летательных аппаратов.*

Формы организации сборочных работ, средства механизации и оборудование сборочного цеха. Критерии оценки сборочной технологичности конструкции, ее значение для унификации и автоматизации процессов сборки. Особенности технологии изготовления и сборки узлов и элементов ЭРДУ и ЭУ. Характерные требования к чистоте изготовления и сборки элементов. Методы технологии в атмосфере инертного газа и вакууме. Заправка щелочными металлами ЭРДУ, ЭУ и их узлов. Металлокерамические узлы и особенности их сборки в составе подсистем ЭРДУ и ЭУ. Узловая и общая сборка изделий.

#### **Вопросы к кандидатскому экзамену**

1. Особенности и области применения различных типов РД.
2. Уравнения тяги РД.
3. Характеристические параметры РД: удельный импульс, характеристическая скорость, коэффициент тяги сопла, удельная масса.
4. Основные сведения о жидких ракетных топливах и их физико-химические характеристики.
5. Типы систем подачи в ЖРД и области их применения.
6. Принципиальные схемы ТНА.
7. Типы ЖРД малой тяги: химические и электро-химические.
8. Основные тенденции и перспективы развития ЖРД.
9. Ядерные ракетные двигатели.
10. Основные схемы и параметры ЯРД, области применения.



11. Основные показатели ЯРД с твердофазным реактором.
12. Потребности КА в бортовой энергетике.
13. Необходимость создания энергосиловых установок (ЭСУ) и электроракетных двигателей (ЭРД), энергетических установок (ЭУ).
14. Представление о механизмах ускорения рабочего тела в ЭРД.
15. Классификация, принципиальные схемы и основные характеристики источников энергии: солнечных, химических, ядерных и радиоизотопных.
16. Потребности КА в бортовой энергетике.
17. Необходимость создания энергосиловых установок (ЭСУ) и электроракетных двигателей (ЭРД), энергетических установок (ЭУ).
18. Представление о механизмах ускорения рабочего тела в ЭРД.
19. Классификация ЭРД.
20. Классификация, принципиальные схемы и основные характеристики источников энергии: солнечных, химических, ядерных и радиоизотопных. Системы преобразования энергии в электрическую.
21. Схемы и принципы действия плазменных движителей с электромагнитным ускорением плазмы.
22. Особенности рабочего процесса коаксиальных плазменных движителей с собственным магнитным полем.
23. Торцевые сильноточные движители.
24. Торцевые холловские движители. Схемы и принципы действия.
25. Процессы ускорения ионов и плазмы электрическим полем.
26. Нейтрализация ионного потока. Рабочие процессы катодов-компенсаторов.
27. Движители с замкнутым дрейфом электронов.
28. Движители с замкнутым дрейфом электронов и ускорений ионов в анодном слое.
29. Ионные движители. Схемы и принципы действия поверхностных и объемных источников ионов.
30. Основные системы, обеспечивающие работу электроракетной двигательной установки (ЭРДУ)
31. Системы питания рабочим телом ЭРДУ. Системы питания электроэнергией ЭРД и ЭРДУ.
32. Характеристики солнечного излучения в околоземном и межпланетном пространстве.
33. Ядерные энергетические установки космических аппаратов.
34. Особенности рабочих процессов, параметров, характеристик и конструкции ядерных реакторов ЛА.
35. Круговая и теневая защиты от излучения. Системы отвода тепла.
36. Радиоизотопные источники энергии.
37. Особенности и области использования фотоэлектрических энергетических установок.
38. Основные процессы в фотоэлектрическом преобразователе на р-п-переходе.
39. Солнечные батареи, системы раскрытия, ориентации, резервирования. Характеристики и КПД солнечных батарей.
40. Физико-энергетические основы термоэлектричества.
41. Каскадные термоэлементы.
42. Термоэлектрические генераторы ядерных энергетических установок.
43. Термоэлектронная эмиссия.
44. Режимы работы ТЭП: вакуумный, диффузионный и дуговой.
45. Реакторы-генераторы с термоэмиссионными преобразователями.
46. Одноэлементные и многоэлементные электрогенерирующие каналы.
47. Конструкции термоэмиссионных установок и их элементов.
48. Реакторы-генераторы с термоэмиссионными преобразователями.
49. Одноэлементные и многоэлементные электрогенерирующие каналы.
50. Конструкции установок и их элементов.
51. Схема газотурбинных энергетических установок с солнечным, ядерным источником

- тепла.
52. Энергетические установки с каскадом преобразования. Выбор систем преобразования для первого и второго каскадов.
  53. Компонентные схемы установок с различными источниками энергии, различными преобразователями и двигателями.
  54. Математическое моделирование как средство исследования сложных технических подсистем двигателя.
  55. Программы наиболее употребляемых систем САПР (MATCAD, AUTOCAD, MATLAB, NASTRAN).
  56. ЖРД, разработанные в РКК «Энергия».
  57. Способы охлаждения камеры сгорания.
  58. Методы интенсификации теплообмена во внешнем охлаждающем тракте.
  59. Насадок сопла радиационного охлаждения.
  60. Виды и устройство смесительных головок камер ЖРД.
  61. Необходимость огневых испытаний камер и двигателей ЖРД и способы их проведения.
  62. Обеспечение при огневых испытаниях условий работы камеры в составе двигательной установки.
  63. Типы двигателей ЖРД. Их преимущества и недостатки.
  64. Устройство камеры ЖРД.
  65. Сопло Лаваля.

### **Образцы билетов к кандидатскому экзамену.**

#### **Билет № 1**

1. Особенности и области применения различных типов РД.
2. Классификация, принципиальные схемы и основные характеристики источников энергии: солнечных, химических, ядерных и радиоизотопных.
3. Ядерные энергетические установки космических аппаратов.

#### **Билет № 2**

1. Ядерные ракетные двигатели.
2. Классификация ЭРД.
3. Движители с замкнутым дрейфом электронов и ускорений ионов в анодном слое.

#### **Билет №3**

1. Уравнения тяги РД.
2. Потребности КА в бортовой энергетике.
3. Особенности рабочих процессов, параметров, характеристик и конструкции ядерных реакторов ЛА.

#### **Билет № 4**

1. Основные сведения о жидких ракетных топливах и их физико-химические характеристики.
2. Необходимость создания энергосиловых установок (ЭСУ) и электроракетных двигателей (ЭРД), энергетических установок (ЭУ).
3. Радиоизотопные источники энергии.

#### **Билет № 5**

1. Типы ЖРД малой тяги: химические и электро-химические.
2. Представление о механизмах ускорения рабочего тела в ЭРД.
3. Физико-энергетические основы термоэлектричества.

### Билет №6

1. Основные тенденции и перспективы развития ЖРД.
2. Процессы ускорения ионов и плазмы электрическим полем.
3. Особенности и области использования фотоэлектрических энергетических установок.

### Билет № 7

1. Термоэлектронная эмиссия.
2. Устройство камеры ЖРД.
3. Сопло Лавала.

### Критерии оценивания экзамена:

Оценка за экзамен	Критерии оценивания
«Неудовлетворительно»	Аспирант не знает значительной части программного материала (менее 50% правильно выполненных заданий от общего объема работы), допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена.
«Удовлетворительно»	Аспирант показывает знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, в целом, не препятствует усвоению последующего программного материала, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена на минимально допустимом уровне.
«Хорошо»	Аспирант показывает, что твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения, допуская некоторые неточности; демонстрирует хороший уровень освоения материала, информационной и коммуникативной культуры и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена.
«Отлично»	Аспирант глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач, подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой экзамена.

## Основная литература

1. Машиностроение. Энциклопедия / Ред совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М38 М.: Машиностроение. Ракетно-космическая техника. Т. IV- 22 / И.П. Абрамов, И.В. Алдашкин, Э.В. Алексеев и др.; под ред. В.П. Легостаева. В 2 кн. Кн.1. 2014. 563с. Кн. 2 Ч. II. 2014. 548 с.
2. Ерохин Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей / Б.Т.Ерохин. - СПб. : Лань, 2015. - 608 с. : ил. - Библиогр.
3. Ярыгин В.И., Ружников В.А., Синявский В.В. Космические ядерные энергетические установки: прошлое, настоящее, будущее. Учебное пособие. Обнинск. Изд. Обнинского филиала МИФИ. 2012.
4. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок : учебное пособие / [Ю. И. Васютин [и др.]] ; под ред. Д. А. Ягодникова. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - 223 с..
5. Рабочие процессы в жидкостном ракетном двигателе и их моделирование / Е.В. Лебединский, Г.П. Калмыков, С.В. Мосолов и др; под ред. академика РАН А.С. Коротева. М.:Машиностроение, 2008. – 512с.:ил., [12] с. цв. вкл.

## Дополнительная литература

1. Ядерные ракетные двигатели и энергетические установки. Введение в теорию, расчёт и проектирование : учебное пособие / А. А. Дорофеев . - 2-е изд. - М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. - 342 с.
2. Соколов Б.А. и др. Некоторые вопросы проектирование двигательных установок ракет-носителей, разгонных блоков и орбитальных кораблей, работающих на криогенных компонентах топлива. РКК «Энергия», 2000.
3. Безопорные двигатели космических аппаратов / М. Г. Иванов. - 2-е изд. - М. : Издательство ЛКИ, 2013. - 152 с

## Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Электронно-библиотечная система (ЭБС):

[www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com) - неограниченный доступ по договору с ЭБС «Издательство Лань»

Интернет-ресурсы:

1. <http://www.energia.ru/ktt/archive.html> (журнал «Космическая техника и технологии»)
2. <http://doc.rsc.energia.ru/webtop/>
3. <https://ru.wikipedia.org/wiki/> - электронная свободная энциклопедия «Википедия»
4. <http://www.roscosmos.ru/> - государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос».
5. <http://www.nasa.gov/> - американское космическое агентство
6. [http://doc.rsc.energia.ru/webtop/component/main?\\_\\_dmfClientId=1457510569398&\\_\\_dmfRequestId=\\_\\_client1~2&\\_\\_dmfJumpType=jump](http://doc.rsc.energia.ru/webtop/component/main?__dmfClientId=1457510569398&__dmfRequestId=__client1~2&__dmfJumpType=jump) – труды ученых РКК «Энергия»
7. <http://vip/aspirantura/DocLib3/Forms/AllItems.aspx> - электронная библиотека на портале Аспирантура