

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Пучково-плазменные системы и технологии
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Пучково-плазменные системы и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра логистических систем и технологий
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

3 (осенний) - Дифференцированный зачет  
4 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 60 час.  
семинары: 60 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: М.Н. Васильев, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры логистических систем и технологий 04.06.2020

## Аннотация

Изучение дисциплины «Пучково-плазменные системы и технологии» направлено на закрепление знаний, полученных при изучении курсов Физика плазмы, Химия плазмы, Плазмотехнические системы, Химия высоких энергий неорганических, органических и биоорганических соединений, Системный анализ и моделирование пучково-плазменных систем. В процессе изучения студент овладевает новыми базовыми знаниями, относящимися к физическим процессам, которые происходят при взаимодействии электронно-пучковой плазмы с веществом. В результате изучения дисциплины студент должен получить общие представления об устройстве пучково-плазменных установок технологического назначения и принципах их безопасной эксплуатации. В качестве иллюстрации учебного материала на практических занятиях студентам демонстрируются эксперименты по применению электронно-пучковой плазмы в производственных технологиях.

Программой учебного курса предусмотрено знакомство студентов с оборудованием и приборами, используемыми при проведении экспериментов по технологическим приложениям электронно-пучковой плазмы, особенностями технического обслуживания основных и вспомогательных систем технологического комплекса и проведение ряда самостоятельных измерений на работающих установках. При выполнении лабораторных работ студенту предоставляется возможность провести исследования свойств материалов, полученных методами пучково-плазменного воздействия на вещество. При этом методика проведения таких анализов должна быть предложена самим студентом.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

ознакомить студентов с приложениями электронно-пучковой плазмы в технологиях модификации свойств материалов с целью улучшения их физико-химических и биологических свойств, а также в технологиях получения новых материалов, обладающих уникальной функциональностью.

#### Задачи дисциплины

- ознакомление студентов с известными приложениями электронно-пучковой плазмы в производственных технологиях;
- демонстрация студентам работы пучково-плазменных систем при решении задач модификации материалов и получения новых материалов методами пучково-плазменного воздействия на вещество;
- формирование у студентов начальных практических знаний и умений при работе с пучково-плазменными системами, предназначенными для технологий обработки материалов;
- формирование у студентов навыков проектирования пучково-плазменных систем при решении реальных технологических задач, а также анализа и оптимизации рабочих процессов в таких установках.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук

ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы действия и конструкции пучково-плазменных установок, предназначенных для реализации известных и перспективных производственных технологий;
- приемы работы на пучково-плазменных установках технологического назначения, особенности их эксплуатации и технического обслуживания;
- методы измерения основных параметров, характеризующих режимы работы пучково-плазменных установок;
- параметры и целевые характеристики пучково-плазменных систем технологического назначения.

уметь:

- применять на практике основные понятия, используемые при анализе и синтезе пучково-плазменных систем при разработке установок технологического назначения;
- выполнять расчеты основных параметров, характеризующих режимы работы пучково-плазменных установок, при решении практических технологических и инженерных задач;
- выполнять эскизное проектирование пучково-плазменных установок, предназначенных для решения задач термической, химико-термической и плазмохимической обработки различных материалов;
- выполнять физическое и компьютерное моделирование рабочих процессов в пучково-плазменных плазмохимических реакторах и установках вневакуумной электронно-лучевой обработки материалов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом, проектированием и применением пучково-плазменных систем технологического назначения.

владеть:

- навыками освоения большого объема междисциплинарной и специальной информации;
- культурой постановки задач в области конструирования и применения пучково-плазменных систем технологического назначения;
- навыками работы на пучково-плазменных установках, обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации.

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий**

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основные схемные решения пучково-плазменных установок, предназначенных для термической, химико-термической и плазмохимической обработки различных материалов.	4	4		4
2	Методы управления установками, реализующими комбинированное пучково-плазменное воздействие на вещество.	4	4		5
3	Методы измерения физических величин, характеризующих рабочие процессы в технологических пучково-плазменных установках различного назначения.	4	4		5
4	Организация технологических процессов термической и химико-термической обработки материалов в электронно-пучковой плазме.	4	4		5
5	Организация технологических процессов низкотемпературного плазменно-стимулированного синтеза неорганических соединений.	4	4		5
6	Организация технологических процессов управляемой деструкции высокомолекулярных соединений в электронно-пучковой плазме.	4	4		4
7	Генерация гибридной плазмы и организация технологических процессов осаждения покрытий в гибридной плазме.	6	6		2
8	Обзор известных научных исследований по аэрокосмическим приложениям электронно-пучковой плазмы. Основные схемные решения пучково-плазменных установок, предназначенных для научных исследований	2	4		5
9	Методы управления установками при проведении экспериментов по аэрокосмической тематике.	4	4		5
10	Методы измерения физических величин, характеризующих неподвижные пучково-плазменные образования и потоки пучковой плазмы.	4	4		5

11	Генерация потоков электронно-пучковой плазмы. Эксперименты в области плазменной аэродинамики	4	4		5
12	Распыливание жидкостей в потоке электронно-пучковой плазмы. Плазменно-стимулированное горение газообразных углеводородов.	4	4		5
13	Моделирование факторов космического полета, действующих на космические летательные аппараты. Вычислительные эксперименты	4	4		10
14	Аэрозоли в космосе. Моделирование динамики аэрозоля, обусловленной солнечным ветром.	8	6		10
Итого часов		60	60		75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

##### Семестр: 3 (Осенний)

1. Основные схемные решения пучково-плазменных установок, предназначенных для термической, химико-термической и плазмохимической обработки различных материалов.

Введение. Предмет, цели и задачи курса. Техника генерации электронных пучков. Способы инъекции электронных пучков в плотные газообразные среды, выводные окна. Электронные пушки, высоковольтные источники питания. Основные системы и узлы пучково-плазменных установок. Элементы внутренней оснастки плазмохимических реакторов. Обеспечение безопасности пучково-плазменных установок технологического назначения.

2. Методы управления установками, реализующими комбинированное пучково-плазменное воздействие на вещество.

Управление ускоряющим напряжением и силой тока электронного пучка. Управление плотностью энерговыделения в рабочем объеме пучково-плазменных установок. Управление давлением и компонентным составом плазмообразующей среды. Формирование рабочей зоны в пучково-плазменной установке при обработке диспергированных порошков и жидкостей. Управление температурой материалов в процессе обработки. Автоматическое поддержание заданных режимов в процессе обработки материалов.

3. Методы измерения физических величин, характеризующих рабочие процессы в технологических пучково-плазменных установках различного назначения.

Измерение температуры материалов в процессе их пучково-плазменной обработки. Измерение тепловых потоков в рабочей зоне реактора, калориметрия реакционного объема. Оптические измерения как источник информации о параметрах реакционного объема. Масспектрометрия реакционного объема. Дозиметрия рентгеновского излучения в пучково-плазменных установках.

4. Организация технологических процессов термической и химико-термической обработки материалов в электронно-пучковой плазме.

Нагрев твердых тел, помещенных в электронно-пучковую плазму, фазовые переходы. Электронно-лучевая сварка и резка материалов вне вакуума. Поверхностное упрочнение металлов. Поверхностный переплав и легирование. Термическая и химико-термическая обработка порошков.

5. Организация технологических процессов низкотемпературного плазменно-стимулированного синтеза неорганических соединений.

Синтез нитридов и оксидов металлов в электронно-пучковой плазме. Механические и химические свойства оксидов и нитридов, синтезированных в электронно-пучковой плазме. Биосовместимость оксидов титана, синтезированных в электронно-пучковой плазме. Синтез покрытий на поверхности диспергированных порошков.

6. Организация технологических процессов управляемой деструкции высокомолекулярных соединений в электронно-пучковой плазме.

Получение низкомолекулярных соединений управляемой деструкцией полисахаридов. Получение ценных водорастворимых продуктов из природного органического сырья. Пучково-плазменная модификация белков. Управление гидрофильно-гидрофобными свойствами полимеров и биополимеров посредством пучково-плазменного воздействия. Технологии утилизации бытовых и промышленных отходов, основанные на пучково-плазменном воздействии на вещество. Конверсия жидких и газообразных углеводородов в неравновесной плазме.

7. Генерация гибридной плазмы и организация технологических процессов осаждения покрытий в гибридной плазме.

Получение однослойных и многослойных покрытий в электронно-пучковой плазме: различные комбинации осаждаемых материалов и материалов покрытий. Осаждение углеродных покрытий. Техника генерации гибридной плазмы и особенности организации рабочих процессов в реакторах гибридного типа. Осаждение покрытий в гибридной плазме.

#### Семестр: 4 (Весенний)

8. Обзор известных научных исследований по аэрокосмическим приложениям электронно-пучковой плазмы. Основные схемные решения пучково-плазменных установок, предназначенных для научных исследований

Введение. Предмет, цели и задачи курса. Известные приложения электронно-пучковой плазмы для научных исследований по аэрокосмической тематике. Плазменная аэродинамика, плазменно-стимулированное горение, моделирование факторов космического полета, аэрозоли в космосе. Синтез пучково-плазменных систем, предназначенных для наземной отработки аэрокосмических технологий. Принципы конструирования малогабаритных пучково-плазменных систем. Системная совместимость генераторов электронно-пучковой плазмы. Обеспечение безопасности пучково-плазменных установок научно-исследовательского назначения.

9. Методы управления установками при проведении экспериментов по аэрокосмической тематике.

Управление плотностью энерговыведения в рабочем объеме пучково-плазменных установок. Управление давлением и компонентным составом плазмообразующей среды в неподвижных пучково-плазменных образованиях и в потоках электронно-пучковой плазмы. Формирование рабочей зоны в пучково-плазменной установке. Управление температурой газа в неподвижных пучково-плазменных образованиях и в потоках электронно-пучковой плазмы. Управление температурой модели в процессе эксперимента. Автоматическое поддержание заданных режимов в ходе эксперимента.

10. Методы измерения физических величин, характеризующих неподвижные пучково-плазменные образования и потоки пучковой плазмы.

Измерение температуры газа и модели. Измерение тепловых потоков, падающих на поверхность модели. Оптическая и рентгеновская спектроскопия электронно-пучковой плазмы. Измерение концентрации электронов в электронно-пучковой плазме. Масспектрометрия плазмообразующих сред. Визуализация потоков электронно-пучковой плазмы.

11. Генерация потоков электронно-пучковой плазмы. Эксперименты в области плазменной аэродинамики

Сопловые устройства для генераторов электронно-пучковой плазмы. Комбинированные устройства: выводное окно – газовое сопло. Влияние обдува на тепловые режимы модели, помещенной в плазменный поток. Аэродинамические характеристики тел простейшей геометрии в потоке электронно-пучковой плазмы. Фазовые переходы и плазмохимические процессы на поверхности тела, находящегося в потоке электронно-пучковой плазмы.

12. Распыливание жидкостей в потоке электронно-пучковой плазмы. Плазменно-стимулированное горение газообразных углеводородов.

Распыливание жидкостей в дозвуковых и сверхзвуковых потоках электронно-пучковой плазмы. Формирование горючей смеси в неподвижных пучково-плазменных образованиях и потоках электронно-пучковой плазмы. Поджиг и горение газовых и газожидкостных смесей в потоке электронно-пучковой плазмы. Горение метана и пропана в свободном потоке электронно-пучковой плазмы и в потоке, локализованном стенкой канала.

13. Моделирование факторов космического полета, действующих на космические летательные аппараты. Вычислительные эксперименты

Расчет потоков частиц падающих на поверхность космического летательного аппарата. Моделирование воздействия плазмы атомарного кислорода на поверхность искусственного спутника Земли. Влияние собственной атмосферы космического летательного аппарата на потоки частиц, падающих на его поверхность. Моделирование влияния факторов космического полета на механические, электрические и оптические свойства конструкционных материалов космических летательных аппаратов. Моделирование электростатической зарядки космических летательных аппаратов.

14. Аэрозоли в космосе. Моделирование динамики аэрозоля, обусловленной солнечным ветром.

Электростатическая зарядка аэрозолей в электронно-пучковой плазме. Динамика частиц аэрозоля, обусловленная его электростатической зарядкой. Прохождение электронного пучка через слой аэрозоля. Оптическое и рентгеновское излучение аэрозоля, вызванное воздействием на него потока быстрых электронов и электронно-пучковой плазмы.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Экспериментальный комплекс «Пучково-плазменные системы и технологии» в составе установок ЭЛУ-1 и ЭЛУ-2, диагностического оборудования, вспомогательного и специального технологического оборудования (помещение 222 корпуса УПМ).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

- 1) M. Vasiliev, T. Vasilieva. Materials production with Beam Plasmas. In Encyclopedia of Plasma Technology (Ed. J.L. Shohet, Taylor & Francis), 2017
- 2) Васильев М.Н. Применение электронно-пучковой плазмы в плазмохимии / Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под ред. В.Е. Фортова. Т. XI. М.: Наука, 2001. С. 436-445.

#### Дополнительная литература

- 1) Бычков В.Л., Васильев М.Н., Коротеев А.С. "Электронно-пучковая плазма. Генерация, свойства, применение". М.: Изд. МГОУ А/О Росвузнаука, 1993. – 167 с.
- 2) M. Vasiliev, Aung Tun Win, I. Pobol. "New applications of the Beam-Plasma Systems for the materials production" Int. J. Nanotechnology. 2014, Vol. 11, Nos 5/6/7/8, P. 660-668
- 3) M.N. Vasiliev, Aung Tun Win. Generation and Applications of Electron-Beam Plasma Flows // Journal of Physics Conference Series. 2015, V. 591. doi:10.1088/1742-6596/591/1/012051
- 4) T. Vasilieva, S. Lopatin, V. Varlamov, V. Miasnikov, Aung Myat Hein, M. Vasiliev Hydrolisys of chitin and chitosan in low temperature electron-beam plasma // Pure and Applied Chemistry - – 2016. – V.88, N9 – P. 873-879.

### **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».

### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Microsoft Word, Microsoft Power Point, Matlab, Excel.

### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Успешное освоение дисциплины требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- изучение чтение технических описаний и инструкций по эксплуатации оборудования, используемого при проведении экспериментов;
- подготовку предложений по постановке экспериментов в рамках индивидуальных и групповых проектов;
- знакомство с публикациями по тематике предполагаемых проектов.

Руководство и контроль самостоятельной работы студента осуществляется преподавателем при заслушивании презентаций, подготавливаемых студентами, а также в ходе дискуссий во время практических занятий.

Основными показателями владения материалом являются умения демонстрировать знания, полученные из материалов лекций и рекомендуемой литературы, правильность и полнота ответов на вопросы преподавателя, которые им задаются при проведении занятий и сопутствующих дискуссий.



**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Пучково-плазменные системы и технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра логистических систем и технологий
<b>курс:</b>	<u>2</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

3 (осенний) - Дифференцированный зачет  
4 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** М.Н. Васильев, д-р техн. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Пучково-плазменные системы и технологии» обучающийся должен:

### знать:

- принципы действия и конструкции пучково-плазменных установок, предназначенных для реализации известных и перспективных производственных технологий;
- приемы работы на пучково-плазменных установках технологического назначения, особенности их эксплуатации и технического обслуживания;
- методы измерения основных параметров, характеризующих режимы работы пучково-плазменных установок;
- параметры и целевые характеристики пучково-плазменных систем технологического назначения.

### уметь:

- применять на практике основные понятия, используемые при анализе и синтезе пучково-плазменных систем при разработке установок технологического назначения;
- выполнять расчеты основных параметров, характеризующих режимы работы пучково-плазменных установок, при решении практических технологических и инженерных задач;
- выполнять эскизное проектирование пучково-плазменных установок, предназначенных для решения задач термической, химико-термической и плазмохимической обработки различных материалов;
- выполнять физическое и компьютерное моделирование рабочих процессов в пучково-плазменных плазмохимических реакторах и установках вневакуумной электронно-лучевой обработки материалов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом, проектированием и применением пучково-плазменных систем технологического назначения.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема междисциплинарной и специальной информации;
- культурой постановки задач в области конструирования и применения пучково-плазменных систем технологического назначения;
- навыками работы на пучково-плазменных установках, обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Текущий контроль осуществляется в форме самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов контрольных, самостоятельных работ, а также индивидуальных консультаций

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Итоговая аттестация по дисциплине осуществляется в форме дифференцированного зачета в 11 семестре, экзамена (устного) в 12 семестре.

Примерный перечень вопросов к дифференцированному зачету:

1. Принцип действия пучково-плазменных установок.
2. Формирование плазмообразующей среды в пучково-плазменных реакторах..
3. Физические процессы, происходящие в газообразном реакционном объеме.
4. Процессы, происходящие на границе контакта пучковая плазма - твердое тело.
5. Пучково-плазменные реакторы технологического назначения: основные и вспомогательные системы.
6. Методы диагностики электронно-пучковой плазмы
7. Методы измерения основных параметров, характеризующих режим работы пучково-плазменного реактора.
8. Физико-химические процессы, происходящие при термической и химико-термической обработке материалов в электронно-пучковой плазме.
9. Физико-химические процессы, происходящие при синтезе оксидов и нитридов в электронно-пучковой плазме. Плазмохимическая модель электронно-пучковой плазмы кислорода и азота.
10. Физико-химические процессы, приводящие к изменению гидрофильно-гидрофобных свойств высокомолекулярных соединений под действием низкотемпературной плазмы.
11. Механизмы потери устойчивости газообразного реакционного объема в пучково-плазменных установках технологического назначения.
12. Механизмы потери устойчивости реакционного объема, содержащего конденсированную дисперсную фазу, и способы подавления неустойчивостей.
13. Особенности пучково-плазменных установок, предназначенных для научных исследований (в сравнении с установками, для производственных технологий).
14. Способы формирования потоков электронно-пучковой плазмы.

15. Способы формирования потоков электронно-пучковой плазмы, содержащей конденсированную дисперсную фазу.

Перечень вопросов для подготовки к экзамену:

1. Физические процессы, происходящие в плазменном потоке (в сравнении с процессами, протекающими в неподвижном пучково-плазменном образовании).
2. Процессы, происходящие на поверхности твердого тела, обдуваемого потоком неравновесной плазмы.
3. Методы диагностики электронно-пучковой плазмы в установках, используемых для отработки аэрокосмических технологий. Методы измерения физических величин в типичных экспериментах.
4. Кинетические схемы, описывающие состав электронно-пучковой плазмы кислорода.
5. Кинетические схемы, описывающие состав электронно-пучковой плазмы воздуха.
6. Физические модели, используемые для оценок концентрации электронов в электронно-пучковой плазме.
7. Механизмы электростатической зарядки твердых тел в электронно-пучковой плазме. Влияние материала твердого тела и химического состава плазмы.
8. Условия, при которых может наблюдаться сверхвысокая зарядка частиц аэрозоля в электронно-пучковой плазме. Динамика мелкодисперсного аэрозоля в электронно-пучковой плазме в различных условиях.
9. Принцип действия пучково-плазменных установок.
10. Формирование плазмообразующей среды в пучково-плазменных реакторах..
11. Физические процессы, происходящие в газообразном реакционном объеме.
12. Процессы, происходящие на границе контакта пучковая плазма - твердое тело.
13. Пучково-плазменные реакторы технологического назначения: основные и вспомогательные системы.
14. Методы диагностики электронно-пучковой плазмы
15. Методы измерения основных параметров, характеризующих режим работы пучково-плазменного реактора.
16. Физико-химические процессы, происходящие при термической и химико-термической обработке материалов в электронно-пучковой плазме.
17. Физико-химические процессы, происходящие при синтезе оксидов и нитридов в электронно-пучковой плазме. Плазмохимическая модель электронно-пучковой плазмы кислорода и азота.
18. Физико-химические процессы, приводящие к изменению гидрофильно-гидрофобных свойств высокомолекулярных соединений под действием низкотемпературной плазмы.
19. Механизмы потери устойчивости газообразного реакционного объема в пучково-плазменных установках технологического назначения.
20. Механизмы потери устойчивости реакционного объема, содержащего конденсированную дисперсную фазу, и способы подавления неустойчивостей.

Пример экзаменационного билета:

Экзаменационный билет № 1

1. Способы формирования потоков электронно-пучковой плазмы, содержащей конденсированную дисперсную фазу.
2. Механизмы электростатической зарядки твердых тел в электронно-пучковой плазме.

Экзаменационный билет № 2

1. Методы диагностики электронно-пучковой плазмы.
2. Кинетические схемы, описывающие состав электронно-пучковой плазмы воздуха.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) и задачи по программе дисциплины.

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета, а также на дополнительные вопросы (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на вопросы экзаменационного билета и правильные ответы не менее чем на два из трех дополнительных вопросов (вне экзаменационного билета) по программе дисциплины.

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на вопросы по билету или дополнительные, уточняющие вопросы в рамках билета неточности, не связанные с принципиальными ошибками или не знанием материала.

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более двух ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала экзаменационного билета, но допускающему в ответе на дополнительные, уточняющие вопросы (не более пяти) в рамках билета не более четырех ошибочных ответов, не связанных с принципиальным непониманием материала.

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, а при необходимости и дополнительных вопросов (вне рамок билета) студент показывает нетвердое знание базовых положений, связанных с материалом билета и дополнительных вопросов (допускает ошибки в определениях, фундаментальные законы, и т.п.), допускает нарушение логической последовательности при ответах, но при этом демонстрирует знание основных разделов учебной программы.

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета студент показывает разрозненный характер знаний, нечеткие, но без грубых ошибок, формулировки базовых положений, входящих в материалы билета, допускает нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом демонстрирует общее понимание и ключевые знания основных разделов учебной программы.

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется, если во время ответа на вопросы экзаменационного билета, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов билета, допускает грубые ошибки при формулировках базовых положений, входящих в материалы билета; во время ответа на вопросы билета обращается к справочным материалам (конспектам лекций, семинаров и пр.).

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости: по результатам контрольных, самостоятельных работ/тестов по каждой теме.

Дифференцированный зачет по дисциплине проводится путем организации специального опроса в устной форме по вопросам.

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется до 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном зачете не должен превышать одного астрономического часа.

Во время проведения дифференцированного зачета при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и любой другой литературой.

Во время проведения дифференцированного зачета при ответе обучающегося на вопросы по билету он не может пользоваться конспектами лекций и любой другой литературой.

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется до 40 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Преподавателю предоставляется право, помимо теоретических вопросов студентам дополнительные вопросы, уточняющие понимание содержания курса.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и любой другой литературой.