

**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>	Плазмотехнические системы
<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>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 15 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

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

Программа обсуждена на заседании кафедры логистических систем и технологий 04.06.2020

## Аннотация

В курсе рассматриваются принципы действия, конструкции, особенности эксплуатации установок, в которых низкотемпературная плазма используется как объект исследования и как основа производственных и аэрокосмических технологий

Курс содержит в себе обсуждение базовых вопросов расчета и конструирования генераторов низкотемпературной плазмы различных типов и различного назначения, методов управления такими установками, способов измерения величин, характеризующих их рабочие режимы. Курс предполагает практическое ознакомление студентов с электродуговыми плазмотронами, генераторами газоразрядной плазмы низкого и атмосферного давления, пучково-плазменными системами, а также с комбинированными (гибридными) системами. В качестве иллюстрации учебного материала на практических занятиях демонстрируются эксперименты по генерации низкотемпературной плазмы применительно к решению некоторых практических задач.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

является ознакомление студентов с принципами конструирования и эксплуатации плазмотехнических систем применительно к задачам разработки производственных и аэрокосмических технологий, а также лабораторных установок.

### Задачи дисциплины

- Ознакомление студентов с известными схемными решениями и конструкциями устройств, предназначенных для генерации низкотемпературной плазмы в лабораторных и производственных условиях.
- Ознакомление студентов с применением генераторов термической и нетермической плазмы в науке, технике и технологиях.
- Выработка у студентов начальных практических знаний и умений работы с плазмотронами и газоразрядными источниками плазмы.
- Выработка у студентов начальных навыков проектирования плазмотехнических систем при решении реальных технологических задач.

## 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 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
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	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

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- конструкции генераторов низкотемпературной плазмы различных типов и различного назначения;
- методы расчета рабочих процессов в генераторах термической и нетермической плазмы;
- методы исследования характеристик генераторов термической и нетермической плазмы;
- основы производственной и экологической безопасности при эксплуатации плазмотехнических систем различного назначения.

уметь:

- применять на практике основные понятия, используемые при анализе и проектировании плазмотехнических систем различного назначения;
- проводить расчеты характеристик плазмотехнических систем при их проектировании, а также расчеты, связанные с оптимизацией плазмотехнических систем при решении практических технологических и инженерных задач;
- выполнять эскизное проектирование лабораторных плазмотехнических систем;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом, проектированием и применением плазмотехнических систем различного назначения.

владеть:

- навыками освоения большого объема междисциплинарной и специальной информации;
- культурой постановки задач в области конструирования и применения плазмотехнических систем технологического назначения; навыками работы на 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	Введение. Классификация плазмотехнических систем.		2	2	6
2	Генераторы термической плазмы. Типы, конструкции, характеристики, приложения.		3	3	6
3	Генераторы нетермической плазмы низкого давления. Типы, конструкции, характеристики, приложения.		3	3	6
4	Генераторы нетермической плазмы атмосферного давления.		3	3	4

5	Комбинированные плазмотехнические системы.		2	2	4
6	Оценка надежности и безопасность эксплуатации плазмотехнических систем.		2	2	4
Итого часов			15	15	30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Введение. Классификация плазмотехнических систем.

Предмет, цели и задачи курса. Принципы классификации плазмотехнических систем: по способу генерации плазмы и конструктивным решениям. Мощность и КПД генераторов плазмы, температура рабочего тела, давление в рабочем объеме, скорость плазменного потока. Известные приложения плазмотехнических систем различных типов. Перспективные области применения плазмотехнических систем.

##### 2. Генераторы термической плазмы. Типы, конструкции, характеристики, приложения.

Электродуговые плазмотроны. Электродные системы и рабочие камеры электродуговых плазмотронов. Теплозащита элементов конструкции электродуговых плазмотронов. СВЧ-плазмотроны. Технические характеристики известных генераторов термической плазмы. Генераторы сверхзвуковых потоков термической плазмы. Термогазодинамические испытания элементов РКТ с помощью электродуговых плазмотронов. Плазмотроны в производственных технологиях.

##### 3. Генераторы нетермической плазмы низкого давления. Типы, конструкции, характеристики, приложения.

Газоразрядные генераторы нетермической плазмы низкого давления: плазмотехнические системы с тлеющим разрядом различных частотных диапазонов. Электродные и безэлектродные системы. Термодинамические характеристики газоразрядной плазмы низкого давления. Примеры схемных и конструкторских решений установок с нетермической плазмой низкого давления. Принцип генерации электронно-пучковой плазмы в газах промежуточного давления.

##### 4. Генераторы нетермической плазмы атмосферного давления.

Диэлектрический барьерный разряд и плазменные установки на его основе. Плазменная игла, плазменный факел. Корона. Высоковольтный скользящий разряд. Ионизация газов излучениями различных частотных диапазонов и корпускулярными потоками. Лазерная плазма. ЭЦР-плазма. Известные схемные и конструкторские решения генераторов нетермической плазмы атмосферного давления и их приложения в науке, технике и технологиях.

##### 5. Комбинированные плазмотехнические системы.

Понятие гибридной плазмы. Комбинированное действие нескольких ионизаторов различных типов и их совместимость. Известные схемные решения генераторов гибридной плазмы.

##### 6. Оценка надежности и безопасность эксплуатации плазмотехнических систем.

Надежность плазмотехнических систем различных типов и принципы прогнозирования отказов при их работе. Регламенты технического обслуживания плазменных установок. Электробезопасность плазмотехнических систем. Предотвращение химического загрязнения окружающей среды при работе плазмотехнических систем различных типов и сравнительный анализ их экологических характеристик. Радиационная и электромагнитная безопасность плазмотехнических систем.

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

Учебная аудитория для проведения семинарских занятий, оснащенная ноутбуком, мультимедиапроектором и экраном. Лабораторные установки:

- Электродуговой плазмотрон;
- Генератор плазмы ВЧЕ-разряда;
- Генератор электронно-пучковой плазмы;
- Генератор комбинированной плазмы;
- Аппаратура для измерения параметров, характеризующих режимы работы генераторов плазмы;
- Аппаратура измерения мощности дозы неиспользуемого рентгеновского излучения.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

- 1) Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987, 592 с
- 2) Коротеев А.С., Миронов В.М., Свирчук Ю.С. Плазмотроны. Конструкции, характеристики, расчёт. М.: Машиностроение, 1993. — 296 с.
- 3) Низкотемпературная плазма. ВЧ- и СВЧ-плазмотроны / под ред. Дресвина С.В., Русанова В.Д. - Новосибирск: Наука, 1992 г. – 320.
- 4) Спецглавы физики: генераторы низкотемпературной плазмы : учеб. пособие / В.М. Геллер, В.А. Хрусталева, С.А. Чипурнов. – Новосибирск : изд-во НГТУ, 2008. – 36 с.

Дополнительная литература

- 1) Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Под ред. В.Е. Фортова. В 9 книгах. М.: Наука, 2001.
- 2) Encyclopedia of Plasma Technology (Ed. J.L. Shohet, Taylor & Francis), 2017.

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

1. Российская государственная библиотека - [www.rsl.ru](http://www.rsl.ru), [www.leninka.ru](http://www.leninka.ru)
2. Университетская библиотека ONLINE <http://biblioclub.ru/>

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

Текстовый редактор Microsoft Word, приложение для подготовки презентаций Microsoft Power Point, программные пакеты Matlab, Excel.

В образовательном процессе могут использоваться при необходимости дистанционные занятия и вебинары с использованием коммуникационного программного обеспечения Zoom, сервиса видеотелефонной связи GoogleMeet, веб-сервиса Google Класс.

## **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 и обсуждения отчетов по проделанным лабораторным работам.

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Пучково-плазменные системы и технологии  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
кафедра логистических систем и технологий  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (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
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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Плазмотехнические системы» обучающийся должен:

### знать:

- конструкции генераторов низкотемпературной плазмы различных типов и различного назначения;
- методы расчета рабочих процессов в генераторах термической и нетермической плазмы;
- методы исследования характеристик генераторов термической и нетермической плазмы;
- основы производственной и экологической безопасности при эксплуатации плазмотехнических систем различного назначения.

### уметь:

- применять на практике основные понятия, используемые при анализе и проектировании плазмотехнических систем различного назначения;
- проводить расчеты характеристик плазмотехнических систем при их проектировании, а также расчеты, связанные с оптимизацией плазмотехнических систем при решении практических технологических и инженерных задач;
- выполнять эскизное проектирование лабораторных плазмотехнических систем;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики, связанные с анализом, проектированием и применением плазмотехнических систем различного назначения.

### владеть:



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

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

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

Текущий контроль проводится в период аудиторной и самостоятельной работы студентов в установленные сроки по расписанию.

- оценка ответов на вопросы в процессе краткого (до 5 мин) выборочного устного опроса перед началом каждого практического занятия по материалам предыдущего занятия;
- оценка умения решать типовые примеры и/или задачи, рассматриваемые на практических занятиях;
- оценка активности и ответов на вопросы в соответствии с программой практических занятий;
- подготовка и защита отчета по выполненным лабораторным работам.

Обучающийся должен проявить всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоить основную литературу и быть знакомым с дополнительной литературой, рекомендованной программой дисциплины, усвоить взаимосвязь основных понятий дисциплины, решать предложенные преподавателем задачи.

*Перечень лабораторных работ, выполнение и сдача которых обязательна для допуска к экзамену.*

- Генерация термической плазмы электродуговыми плазмотронами.
- Генерация сильнонеравновесной плазмы с помощью ВЧЕ-разряда.
- Генерация потока низкотемпературной плазмы атмосферного давления («плазменная игла»).
- Генерация гибридной плазмы.

*Примеры вопросов к текущему контролю.*

1. Классификации плазмотехнических систем, типы плазмотехнических систем
2. Электродуговые плазмотроны: принцип действия, варианты конструктивных решений.
3. Общие свойства термической плазмы и характеристики генераторов термической плазмы.
4. Термогазодинамические испытания элементов РКТ с помощью электродуговых плазмотронов.
5. Применение электродуговых плазмотронов в производственных технологиях.
6. Газоразрядные генераторы низкотемпературной плазмы низкого давления, их классификация и варианты конструктивных решений..
7. Основные свойства плазмы разряда постоянного тока.
8. Основные свойства плазмы высокочастотного газового разряда.
9. Производственные технологии на основе газоразрядной плазмы.
10. Плазмотехнические системы на основе диэлектрического барьерного разряда: принцип действия, варианты конструктивных решений.

11. Основные свойства плазмы диэлектрического барьерного разряда.
12. Плазмотехнические системы на основе диэлектрического барьерного разряда: технологические приложения.
13. Плазмотехнические системы на основе ЭЦР-плазмы: принцип действия, варианты конструктивных решений, приложения.
14. Плазмотехнические системы на основе коронного разряда: принцип действия, варианты конструктивных решений, приложения.
15. Плазмотехнические системы на основе скользящего высоковольтного разряда: принцип действия, варианты конструктивных решений, приложения.
16. Ионизация газов излучениями различных частотных диапазонов и корпускулярными потоками.
17. Комбинированное действие нескольких ионизаторов различных типов и их совместимость. Известные схемные решения генераторов гибридной плазмы.
18. Электробезопасность плазмотехнических систем.
19. Экологическая безопасность плазмотехнических систем.
20. Радиационная и электромагнитная безопасность плазмотехнических систем.

***Критерии оценивания по устному опросу***

Оценка	Критерии оценки
9-10 баллов	Выставляется, если обучающийся раскрыл содержание материала в объеме, предусмотренном программой, изложил материал грамотным языком в определенной логической последовательности, точно используя терминологию данного предмета как учебной дисциплины; отвечал самостоятельно без наводящих вопросов преподавателя; успешно ответил на тестовые задания, правильно и обоснованно решил ситуационные задачи. Возможны одна – две неточности при освещении второстепенных вопросов или в выкладках, которые обучающийся легко исправил по замечанию преподавателя.
7-8 баллов	Выставляется, если ответ обучающегося удовлетворяет в основном требованиям на отметку «отлично», но при этом имеет место один из недостатков: допущены одна - две неточности при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию преподавателя; допущены ошибка или более двух неточностей при освещении второстепенных вопросов или в выкладках, легко исправленные по замечанию преподавателя.
4-6 баллов	Выставляется в следующих случаях: неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, имеются ошибки при ответах на тесты, неточности в

	решении ситуационных задач, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения материала, определенного учебной программой дисциплины.
1-3 балла	Выставляется в случаях, если не раскрыто основное содержание учебного материала; обнаружено незнание или неполное понимание обучающимся большей или наиболее важной части учебного материала; допущены грубые ошибки при ответах на вопросы собеседования, неправильно решены ситуационные задачи, допущены ошибки в ответах на тесты, допущены ошибки в определении понятий при использовании специальной терминологии в рисунках, схемах, выкладках, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов преподавателя.

### **Перечень типовых вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся по итогам обучения**

Итоговая аттестация по дисциплине «Плазмотехнические системы» проводится в форме экзамена (в устной форме) по итогам текущей успеваемости и путем организации специального опроса, проводимого в устной форме, а также по итогам защиты лабораторных работ.

Для проведения аттестации по итогам обучения используются вопросы и задания для самостоятельной работы и подготовки студентов к практическим занятиям:

#### ***Примеры экзаменационных билетов:***

##### **Экзаменационный билет №1**

1. Основные свойства плазмы разряда постоянного тока
2. Ионизация газов излучениями различных частотных диапазонов и корпускулярными потоками

##### **Экзаменационный билет №2**

1. Комбинированное действие нескольких ионизаторов различных типов и их совместимость. Известные схемные решения генераторов гибридной плазмы
2. Плазмотехнические системы на основе диэлектрического барьерного разряда: принцип действия, варианты конструктивных решений

##### **Экзаменационный билет №3**

1. Плазмотехнические системы на основе коронного разряда: принцип действия, варианты конструктивных решений, приложения
2. Общие свойства термической плазмы и характеристики генераторов термической плазмы

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 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.