

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**МАГНИТОПЛАЗМЕННАЯ АЭРОДИНАМИКА**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.11.01.01</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>3 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>3 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>3 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>3 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>3 семестр - 93,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Проверочная работа</b> <b>Домашнее задание</b> <b>Коллоквиум</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>3 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2020**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Битюрин В.А.
	Идентификатор	Rddb73621-BitiurinVA-2c905102

(подпись)

В.А. Битюрин

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

(подпись)

М.В.  
Лукашевский

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение физико-технических основ магнитоплазменной аэродинамики (МПА) и использования плазменных технологий в авиации

### Задачи дисциплины

- изучение физики газового электрического разряда в высокоскоростном воздушном потоке;
- изучение принципов управления воздушным потоком вблизи летящих тел с помощью внешних электромагнитных полей;
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при последующем конструировании элементов плазменных и теплофизических установок.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен применять расчетно-теоретические методы и экспериментальные навыки исследования процессов, используемых в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках	ИД-5 <sub>ПК-2</sub> Знаком с технологическими процессами, протекающими в плазменных установках различных типов	знать: - основные положения магнитоплазменной аэродинамики; - о газоразрядных процессах в газоздушных потоках.  уметь: - воздействовать на характеристики обтекания; - планировать и проводить экспериментальные и численные исследования магнитоплазменной аэродинамики.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать дисциплины: «Иностранный язык», «Компьютерные технологии в ядерной энергетике и теплофизике», «Приборы и техника эксперимента», «Методы диагностики плазмы», «Излучательные свойства и спектроскопия низко- и высокотемпературной плазмы»

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основные положения магнитоплазменной аэродинамики	12	3	6	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основные положения магнитоплазменной аэродинамики" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основные положения магнитоплазменной аэродинамики" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 217 – 226 [2], Гл. 4</p>	
1.1	Основные положения магнитоплазменной аэродинамики	12		6	-	-	-	-	-	-	-	6	-		
2	Газоразрядные процессы в газовоздушных потоках	22		8	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-
2.1	Газоразрядные процессы в газовоздушных потоках	22		8	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-
														<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Газоразрядные процессы в газовоздушных потоках" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным</p>	

														<p>работам.</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Газоразрядные процессы в газоздушных потоках и подготовка к контрольной работе</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Газоразрядные процессы в газоздушных потоках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Газоразрядные процессы в газоздушных потоках"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 96 – 98, 225 – 296</p>
3	Управление характеристиками обтекания	22	8	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Управление характеристиками обтекания"</p>	
3.1	Управление характеристиками обтекания	22	8	-	2	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Управление характеристиками обтекания" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Управление характеристиками обтекания" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение</p>	

													дополнительного материала по разделу "Управление характеристиками обтекания" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 183 – 224
4	Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики	52	10	-	12	-	-	-	-	-	30	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики"
4.1	Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики	52	10	-	12	-	-	-	-	-	30	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 96 – 98
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	

	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>33.5</b>		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Основные положения магнитоплазменной аэродинамики

##### 1.1. Основные положения магнитоплазменной аэродинамики

Общая характеристика предмета. Основные проблемы и подходы к их решению. Фундаментальные и прикладные аспекты. Элементы физической газодинамики. Уравнения сохранения. Термодинамика реальных газоплазменных потоков. Критерии подобия. Взаимодействие с поверхностью твердых тел. Вязкость и теплопроводность. Ударные волны. Объёмные силы и подвод энергии. Генерация вихревых потоков и их эволюция. Течения в каналах.

#### 2. Газоразрядные процессы в газоздушных потоках

##### 2.1. Газоразрядные процессы в газоздушных потоках

Электрический разряд в высокоскоростном газовом потоке. Характеристики и параметры разряда постоянного тока в газовом потоке. Газоразрядные процессы как источник объёмных воздействий. Эффекты внешнего магнитного поля. МГД силы и МГД преобразование энергии импульса.

#### 3. Управление характеристиками обтекания

##### 3.1. Управление характеристиками обтекания

Управление обтеканием тел с помощью внешних электрических, магнитных и электромагнитных полей. Плазменные и магнитогидродинамические актуаторы. Управление процессами в газо-топливных потоках. Интенсификация смешения, контроль воспламенения и стабилизация горения в быстро проточных камерах сгорания. Запыленные газоплазменные потоки во внешних электрических и магнитных полях.

#### 4. Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики

##### 4.1. Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики

Основные экспериментальные методы МПА. Определение колебательной и поступательной температур в плазме импульсного разряда в высокоскоростном потоке из анализа относительного распределения возбужденных молекул азота. Измерение распределения плотности газового потока методом скоростной оптической интерферометрии. Измерение распределения скорости потока вблизи обтекаемого тела методом PIV. Численное моделирование обтекания тел с локальными зонами энергоподвода. Физические принципы МГД и ЭГД преобразования энергии потока. МГД методы управления обтеканием тел. Основные теоретические модели и подходы, используемые в численном моделировании МПА экспериментов. Концепция комплексного расчетно-теоретического и экспериментального исследования многофакторных и многомасштабных явлений и процессов.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Определение колебательной и поступательной температур в плазме импульсного разряда в высокоскоростном потоке из анализа относительного распределения возбужденных молекул азота;
2. Измерение распределения плотности газового потока методом скоростной оптической интерферометрии;

3. Измерение распределения скорости потока вблизи обтекаемого тела методом PIV.

**3.4. Темы лабораторных работ**  
не предусмотрено

**3.5 Консультации**

*Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные положения магнитоплазменной аэродинамики"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Газоразрядные процессы в газоздушных потоках"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Управление характеристиками обтекания"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики"

**3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**  
Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
о газоразрядных процессах в газоздушных потоках	ИД-5ПК-2		+			Домашнее задание/Газоразрядные процессы.
основные положения магнитоплазменной аэродинамики	ИД-5ПК-2	+				Проверочная работа/Специальные вопросы физической газовой динамики
<b>Уметь:</b>						
планировать и проводить экспериментальные и численные исследования магнитоплазменной аэродинамики	ИД-5ПК-2			+	+	Домашнее задание/Определение колебательной и поступательной температур в плазме импульсного разряда, определение распределения плотности и скорости газового потока
воздействовать на характеристики обтекания	ИД-5ПК-2			+		Коллоквиум/Плазменные и МГД актуаторы

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Специальные вопросы физической газовой динамики (Проверочная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Газоразрядные процессы. (Домашнее задание)
2. Определение колебательной и поступательной температур в плазме импульсного разряда, определение распределения плотности и скорости газового потока (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Плазменные и МГД актуаторы (Коллоквиум)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Экзамен (Семестр №3)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Райзер, Ю. П. Физика газового разряда / Ю. П. Райзер . – 3-е изд., перераб. и доп. . – Долгопрудный : Интеллект, 2009 . – 736 с. - ISBN 978-591559-019-8 .;
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Статистическая физика", (5-е изд., стер.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2001 - (616 с.)  
[https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2230](https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2230).

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции.

### **5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:**

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)

3. **Научная электронная библиотека** - <https://elibrary.ru/>
4. **База данных ВИНТИ online** - <http://www.viniti.ru/>
5. **База данных Web of Science** - <http://webofscience.com/>
6. **База данных Scopus** - <http://www.scopus.com>
7. **Национальная электронная библиотека** - <https://rusneb.ru/>
8. **ЭБС "Консультант студента"** - <http://www.studentlibrary.ru/>
9. **Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ)** - <http://elib.mpei.ru/login.php>
10. **Портал открытых данных Российской Федерации** - <https://data.gov.ru>
11. **База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ** - <https://rosmintrud.ru/opendata>
12. **База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ** - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
13. **База открытых данных Министерства экономического развития РФ** - <http://www.economy.gov.ru>
14. **База открытых данных Росфинмониторинга** - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
15. **Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ"** - <https://www.polpred.com>
16. **Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт»** - <Http://proinfosoft.ru;http://docs.cntd.ru/>
17. **Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»** - <https://openedu.ru>
18. **Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии** - <http://protect.gost.ru/>
19. **Открытая университетская информационная система «РОССИЯ»** - <https://uisrussia.msu.ru>

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

<b>Тип помещения</b>	<b>Номер аудитории, наименование</b>	<b>Оснащение</b>
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для самостоятельной	А-110, Вычислительная	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная

работы	лаборатория	сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-025, Кладовка лабораторного оборудования	стеллаж, оборудование специализированное

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Магнитоплазменная аэродинамика

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Специальные вопросы физической газовой динамики (Проверочная работа)
- КМ-2 Газоразрядные процессы. (Домашнее задание)
- КМ-3 Плазменные и МГД актуаторы (Коллоквиум)
- КМ-4 Определение колебательной и поступательной температур в плазме импульсного разряда, определение распределения плотности и скорости газового потока (Домашнее задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Основные положения магнитоплазменной аэродинамики					
1.1	Основные положения магнитоплазменной аэродинамики		+			
2	Газоразрядные процессы в газоздушных потоках					
2.1	Газоразрядные процессы в газоздушных потоках			+		
3	Управление характеристиками обтекания					
3.1	Управление характеристиками обтекания				+	+
4	Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики					
4.1	Экспериментальные и численные методы исследования магнитоплазменной аэродинамики					+
Вес КМ, %:			16	16	28	40