

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электротехнологические процессы и установки с системами питания и управления

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПЛАЗМЕННЫЕ, ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ И ЛАЗЕРНЫЕ**  
**УСТАНОВКИ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 77,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Тестирование	
Решение задач	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Щербаков А.В.
	Идентификатор	Raf18b6c8-ShcherbakovAV-abf82f1

А.В. Щербаков

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Федин М.А.
	Идентификатор	R3e9797a9-FedinMA-34f385d8

М.А. Федин

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Цырук С.А.
	Идентификатор	Raf2c04da-TsyrukSA-47ef358f

С.А. Цырук

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** состоит в изучении принципов построения, работы и промышленного применения плазменных, электронно-лучевых и лазерных установок (ПЛУ)

### **Задачи дисциплины**

- приобретение знаний в области современных плазменных и лучевых процессов в электротехнологии;
- освоение физических принципов генерации концентрированных потоков энергии, тлеющего разряда пониженного давления и других видов плазмы, применяемых в современном производстве и научных исследованиях;
- освоение принципов управления плазменными и лучевыми процессами и соответствующих технических решений, реализуемых в современном оборудовании;
- освоение элементной базы и принципов построения современных плазменных и лучевых технологических комплексов;
- приобретение навыков выбора и проектирования элементов плазменного и лучевого технологического оборудования.

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
--------------------------------	--	-------------------------------------

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электротехнологические процессы и установки с системами питания и управления (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

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	Основы электронной оптики. Принципы генерации и фокусировки пучков заряженных частиц в электронно-лучевых и ионно-плазменных установках	16	2	6	-	6	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Студент повторяет материалы лекций и изучает литературу в соответствии с методическими указаниями. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр.36-69</p>
1.1	Основы электронной оптики. Принципы генерации и фокусировки пучков заряженных частиц в электронно-лучевых и ионно-плазменных установках	16		6	-	6	-	-	-	-	-	4	-	
2	Электронно-лучевые установки. Области применения, конструкция, принцип действия. Электрооборудование и системы управления.	16		6	-	6	-	-	-	-	-	4	-	
2.1	Электронно-лучевые установки. Области применения, конструкция, принцип	16	6	-	6	-	-	-	-	-	4	-		

	действия. Электрооборудование и системы управления.													
3	Плазменные технологические установки: плазмотроны и плазменные горелки. Принцип работы и конструкции.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Студент повторяет материалы лекций и изучает литературу в соответствии с методическими указаниями. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], стр.244-312</p>	
3.1	Плазменные технологические установки: плазмотроны и плазменные горелки. Принцип работы и конструкции.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-		
4	Плазменные технологические установки: установки катодного распыления, магнетронные и ионно-лучевые установки, вакуумно- дуговые испарители и установки молекулярно-лучевой эпитаксии.	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-		
4.1	Плазменные технологические установки: установки катодного распыления, магнетронные и ионно-лучевые установки, вакуумно- дуговые испарители и	18	6	-	6	-	-	-	-	-	6	-		

	установки молекулярно-лучевой эпитаксии.												
5	Методы проектирования элементов электронно-лучевого и ионно-плазменного технологического оборудования	30	6	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Студент повторяет материалы лекций и изучает литературу в соответствии с методическими указаниями, а также выполняет расчетное задание и готовится к его защите с использованием тех же материалов.
5.1	Методы проектирования элементов электронно-лучевого и ионно-плазменного технологического оборудования	30	6	-	6	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 80-94, 136-204
6	Технологические лазеры: классификация, принципы действия и области применения.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Студент повторяет материалы лекций и изучает литературу в соответствии с методическими указаниями.
6.1	Технологические лазеры: классификация, принципы действия и области применения.	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 139-153, 170-177, 188-193
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	32	-	2	-	-	0.5	44	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	32		2		-	0.5		77.5	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Основы электронной оптики. Принципы генерации и фокусировки пучков заряженных частиц в электронно-лучевых и ионно-плазменных установках

1.1. Основы электронной оптики. Принципы генерации и фокусировки пучков заряженных частиц в электронно-лучевых и ионно-плазменных установках

Основы физики пучков заряженных частиц. Эмиссионная электроника. Способы получения свободных электронов. Вакуумный диод. Электронная оптика. Ускорение и фокусировка электронных пучков. Электронные линзы. Иммерсионный объектив и вакуумный триод. Действие объемного заряда в мощных пучках и абберации электронно-оптических систем. Фокусирующие и отклоняющие системы. Основные типы генераторов электронных пучков. Методы расчета характеристик электронных пучков..

#### 2. Электронно-лучевые установки. Области применения, конструкция, принцип действия. Электрооборудование и системы управления.

2.1. Электронно-лучевые установки. Области применения, конструкция, принцип действия. Электрооборудование и системы управления.

Взаимодействие электронного пучка с материалами. Электронно-лучевые установки для плавки, сварки и испарения материалов. Конструкции электронных пушек и особенности их эксплуатации. Катодный узел, лучепровод, магнитная линза, отклоняющие и юстирующие катушки. Пробой в технологических электронных пушках. Источники питания и системы управления. Системы вакуумной откачки..

#### 3. Плазменные технологические установки: плазмотроны и плазменные горелки. Принцип работы и конструкции.

3.1. Плазменные технологические установки: плазмотроны и плазменные горелки. Принцип работы и конструкции.

Характеристики плазмы: плотность и температура. Применение плазмы в технологии. Области применения и классификация дуговых плазмотронов. Плазмотроны с «короткой», «длинной» и самоустанавливающейся дугой. Особенности конструкции и вольтамперная характеристика. Плазмотрон как термодинамическое сопло. Плазменно-дуговые печи. Плазмотроны для сварки, резки и нанесения покрытий. Высокочастотные плазмотроны индукционного и емкостного типа..

#### 4. Плазменные технологические установки: установки катодного распыления, магнетронные и ионно-лучевые установки, вакуумно-дуговые испарители и установки молекулярно-лучевой эпитаксии.

4.1. Плазменные технологические установки: установки катодного распыления, магнетронные и ионно-лучевые установки, вакуумно-дуговые испарители и установки молекулярно-лучевой эпитаксии.

Классификация и области применения. Применение плазмы тлеющего разряда и потоков ионов в технологических целях. Распыление и травление материалов, плазмохимия и ионная имплантация. Применение ионных пучков большого диаметра и сфокусированных ионных лучей. Установки катодного распыления. Магнетронные технологические установки для нанесения покрытий. Автономные ионные источники: классификация и характеристики. Вакуумно-дуговые испарители и установки для реализации комбинированных процессов. Установки молекулярно-лучевой эпитаксии. Конструкции ионно-плазменных

технологических установок. Источники питания и системы управления. Системы вакуумной откачки и подачи технологических газов..

### 5. Методы проектирования элементов электронно-лучевого и ионно-плазменного технологического оборудования

5.1. Методы проектирования элементов электронно-лучевого и ионно-плазменного технологического оборудования

Методы расчета катодных узлов электронных пушек. Численный расчет формирования мощных электронных пучков. Расчет магнитной линзы. Расчет скорости распыления материалов ионным пучком. Принципы расчета вакуумных систем..

### 6. Технологические лазеры: классификация, принципы действия и области применения.

6.1. Технологические лазеры: классификация, принципы действия и области применения.

Лазерная обработка материалов. Основы технологии лазерной резки и сварки. Классификация промышленных и технологических лазеров. Принципы генерации когерентного оптического излучения. Твердотельные, газовые и волоконные лазеры. Спектральные и энергетические характеристики промышленных лазеров..

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

1. Основы физики пучков заряженных частиц. Эмиссионная электроника (2 часа);
2. Вакуумный диод. Электронная оптика. Ускорение и фокусировка электронных пучков. (2 часа).;
3. Электронные линзы и методы расчета характеристик электронных пучков (2 часа);
4. Методы моделирования процессов взаимодействия электронных пучков с материалами (2 часа);
5. Электронная пушка: основные элементы конструкции и особенности вакуумных систем (2 часа);
6. Методы расчета вакуумных систем электронно-лучевых и ионно-плазменных технологических установок (2 часа).;
7. Источники питания электронных пушек (2 часа).;
8. Применение теории подобия для расчета плазмотронов (2 часа).;
9. Установки магнетронного распыления и ионно-лучевые установки (2 часа).;
10. Применение ионно-плазменных технологий для производства изделий микроэлектроники, фотоэлектроники и MEMS-компонентов (2 часа);
11. Твердотельные технологические лазеры: конструкция, принцип работы и области применения (2 часа);
12. Газовые и волоконные технологические лазеры: принцип действия и особенности конструкции систем фокусировки и отклонения (2 часа).;
13. Методы расчета элементов электронно-лучевого технологического оборудования (2 часа);
14. Дуговые плазмотроны аксиального типа в технологии (2 часа).;
15. Установки катодного и ВЧ-катодного распыления (2 часа).;
16. Методы расчета скорости ионно-лучевого распыления материалов и методы проектирования испарителей (2 часа)..

### **3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено**

### **3.5 Консультации**

### **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	5	6	

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

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

#### **2 семестр**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчет элементов лучевого и плазменного технологического оборудования (Решение задач)

Форма реализации: Письменная работа

1. Дуговые плазмотроны и плазменные технологии (Тестирование)
2. Ионно-плазменные процессы и установки (Тестирование)
3. Лазерные технологические установки (Тестирование)
4. Электронная оптика. Принципы формирования электронных пучков (Тестирование)
5. Электронно-лучевые установки (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

#### *Экзамен (Семестр №2)*

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 2 семестр.

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

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

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

1. Оборудование электронно-лучевых комплексов для производства продукции современной энергетики : учебное пособие по курсам "Технология обработки материалов КПЭ", "Оборудование и технологии сварки плавлением" и др. / А. В. Щербаков, и др. – М. : Вече, 2016 . – 208 с. - ISBN 978-5-4444-5479-4 .;
2. Борейшо А. С., Борейшо В. А., Евдокимов И. М., Ивакин С. В.- "Лазеры: применения и приложения", Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2016 - (520 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=87570](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=87570);
3. Чередниченко, В. С. Плазменные электротехнологические установки : учебное пособие для вузов по направлению "Электроэнергетика и электротехника" / В. С. Чередниченко, А. С. Аньшаков, М. Г. Кузьмин ; ред. В. С. Чередниченко . – 2-е изд., доп . – Москва : ИНФРА-М, 2019 . – 601 с. – (Высшее образование . Бакалавриат) . - ISBN 978-5-16-013628-8 .;
4. Е. В. Берлин, Л. А. Сейдман- "Ионно-плазменные процессы в тонкопленочной технологии", Издательство: "Техносфера", Москва, 2010 - (528 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=496417>;
5. Вакуумная ионно-плазменная обработка : учебное пособие для вузов по направлению 150100 "Материаловедение и технологии материалов" / А. А. Ильин, [и др.] . – М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2014 . – 160 с. – (Современные технологии . Магистратура) . - ISBN 978-5-98281-366-4 ..

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Elcut;
5. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
6. Visual Studio;
7. Dev-C++.

## 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. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
5. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
6. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
7. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
8. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
9. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
10. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
11. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
12. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru>; <http://docs.cntd.ru/>
13. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
14. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
15. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
16. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
17. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
18. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-206, Учебная аудитория каф. "ЭППЭ"	кресло рабочее, стол преподавателя, стол учебный, стул, мультимедийный проектор, экран, доска магнитная, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических	А-206, Учебная аудитория каф.	кресло рабочее, стол преподавателя, стол учебный, стул, мультимедийный

занятий, КР и КП	"ЭППЭ"	проектор, экран, доска магнитная, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-206, Учебная аудитория каф. "ЭППЭ"	кресло рабочее, стол преподавателя, стол учебный, стул, мультимедийный проектор, экран, доска магнитная, оборудование учебное, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	А-04, Лаборатория каф. "ЭППЭ"	стол преподавателя, оборудование для экспериментов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-217, Кабинет сотрудников каф. "ЭППЭ"	кресло рабочее, стеллаж, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Плазменные, электронно-лучевые и лазерные установки

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 Электронная оптика. Принципы формирования электронных пучков (Тестирование)
- КМ-2 Электронно-лучевые установки (Тестирование)
- КМ-3 Дуговые плазмотроны и плазменные технологии (Тестирование)
- КМ-4 Ионно-плазменные процессы и установки (Тестирование)
- КМ-5 Расчет элементов лучевого и плазменного технологического оборудования (Решение задач)
- КМ-6 Лазерные технологические установки (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	6	8	10	14	16
1	Основы электронной оптики. Принципы генерации и фокусировки пучков заряженных частиц в электронно-лучевых и ионно-плазменных установках							
1.1	Основы электронной оптики. Принципы генерации и фокусировки пучков заряженных частиц в электронно-лучевых и ионно-плазменных установках		+					
2	Электронно-лучевые установки. Области применения, конструкция, принцип действия. Электрооборудование и системы управления.							
2.1	Электронно-лучевые установки. Области применения, конструкция, принцип действия. Электрооборудование и системы управления.			+				
3	Плазменные технологические установки: плазмотроны и плазменные горелки. Принцип работы и конструкции.							
3.1	Плазменные технологические установки: плазмотроны и плазменные горелки. Принцип работы и конструкции.				+			
4	Плазменные технологические установки: установки катодного распыления, магнетронные и ионно-лучевые установки, вакуумно-дуговые испарители и установки молекулярно-лучевой эпитаксии.							

4.1	Плазменные технологические установки: установки катодного распыления, магнетронные и ионно-лучевые установки, вакуумно-дуговые испарители и установки молекулярно-лучевой эпитаксии.				+		
5	Методы проектирования элементов электронно-лучевого и ионно-плазменного технологического оборудования						
5.1	Методы проектирования элементов электронно-лучевого и ионно-плазменного технологического оборудования					+	
6	Технологические лазеры: классификация, принципы действия и области применения.						
6.1	Технологические лазеры: классификация, принципы действия и области применения.						+
Вес КМ, %:		10	10	10	10	50	10