

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: Техника и электрофизика высоких напряжений

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГАЗАХ


Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.01.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	1 семестр - 32 часа;
Практические занятия	1 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	1 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	1 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Белогловский А.А.
	Идентификатор	R86421057-BeloglovskyAA-22f7da6

(подпись)

А.А.

Белогловский

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лысов Н.Ю.
	Идентификатор	Re94f0ba9-LysovNY-9dc0f249


(подпись)

Н.Ю. Лысов

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Хренов С.И.
	Идентификатор	Rd055d891-KhrenovSI-e14cb00c

(подпись)

С.И. Хренов

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: заключается в формировании углублённых знаний об электроразрядных физических явлениях в газах, которые определяют разрядные процессы в электроэнергетическом оборудовании высокого напряжения (ВН) и применяются в устройствах высоковольтных электротехнологий

Задачи дисциплины

- формирование углублённых знаний об электрофизических процессах, протекающих в сильных электрических полях в газовой изоляции, сопровождающих и определяющих электрический разряд в его лавинной и стримерной стадиях;
- освоение современных математических моделей лавинной и стримерной стадий электрического разряда, униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющих прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда;
- освоение методик расчёта начальных напряжений воздушных изоляционных промежутков устройств ВН, позволяющих оценивать риск возникновения нежелательных электрических разрядов в воздушных изоляционных промежутках.

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-1 Способен принимать участие в проведении научных исследований в области объектов профессиональной деятельности (техники и электрофизики высоких напряжений)	ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует знания научных основ электрофизических процессов в электрических разрядах	знать: - электрофизические процессы, протекающие в сильных электрических полях в газовой изоляции, сопровождающие и определяющие электрический разряд в его лавинной и стримерной стадиях; - современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда; - методики расчёта начальных напряжений воздушных изоляционных промежутков устройств ВН, позволяющие оценивать риск возникновения нежелательных электрических разрядов в воздушных изоляционных промежутках устройств ВН. уметь: - определять численные значения параметров электрофизических процессов в воздушной изоляции, определяющих развитие электрического разряда; - формулировать и применять математические модели лавинной и

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде; - вычислять начальные напряжения воздушных изоляционных промежутков.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Техника и электрофизика высоких напряжений (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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	Введение в физику электрических разрядов в газах	8	1	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к тесту №1 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Введение, п. 2.1	
1.1	Введение в физику электрических разрядов в газах	8		4	-	-	-	-	-	-	-	4	-		
2	Электрофизические процессы в газовой изоляции	14		6	-	4	-	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к контрольной работе №1 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Глава 1
2.1	Электрофизические процессы в газовой изоляции	14		6	-	4	-	-	-	-	-	4	-		
3	Основы физики плазмы	19		4	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к тесту №2 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Глава 6
3.1	Основы физики плазмы	19		4	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	
4	Лавинный механизм развития электрического разряда в газах	25		6	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе №2 <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 2.2
4.1	Лавинный механизм развития электрического разряда в газах	25		6	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	
5	Стримерный механизм развития электрического	12	4	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к тесту №3 <u>Изучение материалов литературных</u>	

	разряда в газах												<u>источников:</u>
5.1	Стимерный механизм развития электрического разряда в газах	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	[1], п. 2.4
6	Условие самостоятельности электрического разряда в газах	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к контрольной работе:</u> Подготовка к контрольной работе №3 <u>Изучение материалов литературных источников:</u>
6.1	Условие самостоятельности электрического разряда в газах	18	4	-	4	-	-	-	-	-	10	-	[1], п. 2.3
7	Коронный разряд в газах	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Подготовка к тесту №4
7.1	Коронный разряд в газах	12	4	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	[1], Глава 3
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	16	2	-	-	0.5	60	93.5		

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. Введение в физику электрических разрядов в газах

1.1. Введение в физику электрических разрядов в газах

Роль и место электрических разрядов в ТВН, классификация электрических разрядов в электроизоляционных материалах конструкций УВН..

2. Электрофизические процессы в газовой изоляции

2.1. Электрофизические процессы в газовой изоляции

Упругие и неупругие столкновения частиц. Процессы возбуждения атомов и молекул газа. Процессы диссоциации молекул. Ударная ионизация атомов и молекул свободными электронами. Процессы в газе с захватом и отрывом электронов. Рекомбинация ионов и электронов. Процессы в газе с участием фотонов. Процессы на электродах и вблизи их поверхности при электрическом разряде в газах. Характеристики коллективного движения заряженных частиц в электрическом поле: функция распределения электронов по энергиям и уравнение Больцмана, диффузия, дрейф электронов в поле, их подвижность и средняя длина свободного пробега, ударная ионизация и прилипание электронов, термическая ионизация. Амбиполярная диффузия..

3. Основы физики плазмы

3.1. Основы физики плазмы

Понятие плазмы и её основные свойства, дебаевский радиус экранирования. Движение заряженных частиц и плазмы в электрическом поле. Проводимость плазмы. Особенности слабо ионизированной низкотемпературной плазмы электрического разряда в газах..

4. Лавинный механизм развития электрического разряда в газах

4.1. Лавинный механизм развития электрического разряда в газах

Понятие и основные параметры электронной лавины. Диффузионно-дрейфовая математическая модель электронной лавины и её приближённая аналитическая модель. Влияние поля зарядов электронной лавины на её радиус и число электронов в ней. Расчётное и эмпирическое определение параметров лавины. Статистика лавинного усиления..

5. Стримерный механизм развития электрического разряда в газах

5.1. Стримерный механизм развития электрического разряда в газах

Условие перехода электронной лавины в стример и её критические параметры: число электронов в лавине, её радиус и пройденный ею путь. Условие самостоятельности разряда в стримерной форме. Особенности формирования и распространения анодонаправленного и катодонаправленного стримера. Роль фотоионизации газа излучением разряда в их распространении. Особенности возникновения и развития стримеров в промежутках с резконеоднородным полем, влияние полярности приложенного напряжения. Диффузионно-дрейфовая математическая модель стримера, её двумерная и квазидвумерная реализации. Расчётное и эмпирическое определение параметров стримера, характерные значения параметров стримеров. Ветвление стримеров и гипотезы, объясняющие этот процесс..

6. Условие самостоятельности электрического разряда в газах

6.1. Условие самостоятельности электрического разряда в газах

Понятия вторичной ионизации в газе и условия самостоятельности электрического разряда. Условие самостоятельности разряда в лавинной форме. Начальное напряжение. Закон Пашена. Влияние неоднородности поля и полярности приложенного напряжения на возникновение самостоятельного разряда в резконеоднородном электрическом поле, закон подобия электрических разрядов. Зависимость начального напряжения от частоты приложенного напряжения..

7. Коронный разряд в газах

7.1. Коронный разряд в газах

Коронный разряд, его формы и структура. Математическое описание униполярного коронного разряда и его внешней области. Вольтамперные характеристики униполярного коронного разряда..

3.3. Темы практических занятий

1. Расчёт зависимости скорости свободных электронов и зависимостей обобщённых коэффициентов ударной ионизации, прилипания электронов и коэффициента эффективной ударной ионизации от напряжённости электрического поля.;
2. Контрольная работа №1: "Электрофизические процессы в газах".;
3. Математическое моделирование развития электронной лавины в воздушном электроизоляционном промежутке с однородным электрическим и расчёт критических параметров электронной лавины в воздушном электроизоляционном промежутке.;
4. Контрольная работа №2: «Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров».;
5. Математическое моделирование развития катодонаправленного стримера в воздушном электроизоляционном промежутке при помощи его квазидвумерной модели.;
6. Расчёт начального напряжения и напряжённости поля в воздушных электроизоляционных промежутках с однородным, слабонеоднородным и резконеоднородным электрическим полем.;
7. Контрольная работа №3: «Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков».;
8. Математическое моделирование внешней области униполярного коронного разряда и расчёт его вольт-амперных характеристик..

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение в физику электрических разрядов в газах"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электрофизические процессы в газовой изоляции"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы физики плазмы"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Лавинный механизм развития электрического разряда в газах"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Условие самостоятельности электрического разряда в газах"

6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Коронный разряд в газах"
Текущий контроль (ТК)
1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Введение в физику электрических разрядов в газах"
 2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Электрофизические процессы в газовой изоляции"
 3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы физики плазмы"
 4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Лавинный механизм развития электрического разряда в газах"
 5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Стримерный механизм развития электрического разряда в газах"
 6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Условие самостоятельности электрического разряда в газах"
 7. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Коронный разряд в газах"

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	7		
Знать:										
методики расчёта начальных напряжений воздушных изоляционных промежутков устройств ВН, позволяющие оценивать риск возникновения нежелательных электрических разрядов в воздушных изоляционных промежутках устройств ВН	ИД-1 _{ПК-1}							+		Контрольная работа/Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков
современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда	ИД-1 _{ПК-1}	+			+	+			+	Тестирование/Коронный разряд в газах Контрольная работа/Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров Тестирование/Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений Тестирование/Стримерный механизм развития электрического разряда в газах
электрофизические процессы, протекающие в сильных электрических полях в газовой изоляции, сопровождающие и определяющие электрический разряд в его лавинной и стримерной стадиях	ИД-1 _{ПК-1}		+	+						Тестирование/Основы физики плазмы Контрольная работа/Электрофизические процессы в газах
Уметь:										
вычислять начальные напряжения воздушных изоляционных промежутков	ИД-1 _{ПК-1}							+		Контрольная работа/Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков
формулировать и применять математические модели лавинной и стримерной стадий электрического	ИД-1 _{ПК-1}	+			+	+			+	Тестирование/Коронный разряд в газах

<p>разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде</p>									<p>Контрольная работа/Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров</p> <p>Тестирование/Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений</p> <p>Тестирование/Стримерный механизм развития электрического разряда в газах</p>
<p>определять численные значения параметров электрофизических процессов в воздушной изоляции, определяющих развитие электрического разряда</p>	<p>ИД-1ПК-1</p>		<p>+</p>	<p>+</p>					<p>Тестирование/Основы физики плазмы</p> <p>Контрольная работа/Электрофизические процессы в газах</p>

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Коронный разряд в газах (Тестирование)
2. Основы физики плазмы (Тестирование)
3. Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков (Контрольная работа)
4. Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров (Контрольная работа)
5. Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений (Тестирование)
6. Стримерный механизм развития электрического разряда в газах (Тестирование)
7. Электрофизические процессы в газах (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №1)

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

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Бортник И.М. , Белогловский А. А., Верещагин И. П., Вершинин Ю. Н.- "Электрофизические основы техники высоких напряжений", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (704 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72343.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

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

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

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
10. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
11. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
12. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
13. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
14. База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
15. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
16. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
17. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
18. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
19. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
20. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
21. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Д-213, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Д-213, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Электрофизические процессы в газах

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений (Тестирование)
- КМ-2 Электрофизические процессы в газах (Контрольная работа)
- КМ-3 Основы физики плазмы (Тестирование)
- КМ-4 Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров (Контрольная работа)
- КМ-5 Стримерный механизм развития электрического разряда в газах (Тестирование)
- КМ-6 Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков (Контрольная работа)
- КМ-7 Коронный разряд в газах (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	3	5	7	10	12	14	16
1	Введение в физику электрических разрядов в газах								
1.1	Введение в физику электрических разрядов в газах		+			+	+		+
2	Электрофизические процессы в газовой изоляции								
2.1	Электрофизические процессы в газовой изоляции			+	+				
3	Основы физики плазмы								
3.1	Основы физики плазмы			+	+				
4	Лавинный механизм развития электрического разряда в газах								
4.1	Лавинный механизм развития электрического разряда в газах		+			+	+		+
5	Стримерный механизм развития электрического разряда в газах								
5.1	Стримерный механизм развития электрического разряда в газах		+			+	+		+
6	Условие самостоятельности электрического разряда в газах								
6.1	Условие самостоятельности электрического разряда в газах							+	

7	Коронный разряд в газах							
7.1	Коронный разряд в газах	+			+	+		+
Вес КМ, %:		10	20	10	20	10	20	10