

**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 ЖИДКИХ И ТВЕРДЫХ**  
**ДИЭЛЕКТРИКАХ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.10.02.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	не предусмотрено учебным планом
Лабораторные работы	3 семестр - 16 часов;
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Лабораторная работа Тестирование	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2023**

## 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	Лебедева Н.А.
	Идентификатор	R75716a03-LebedevaNA-9930664

(подпись)

Н.А. Лебедева

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db00

(подпись)

А.Г. Темников

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** заключается в формировании углублённых знаний о электрофизических процессах в жидких и твёрдых электроизоляционных материалах, применяемых в электроэнергетическом оборудовании высокого напряжения (ВН)

### Задачи дисциплины

- формирование углублённых знаний о протекающих в электрическом поле физических процессах в жидких и твёрдых диэлектриках, механизмах их пробоя;
- формирование знания научных основ диагностики высоковольтной изоляции.

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-бПК-1 Демонстрирует знание научных основ диагностики высоковольтной изоляции	знать: - научные основы диагностики изоляции оборудования ВН; - протекающие в электрических полях физические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках, механизмы их пробоя.  уметь: - применять основы диагностики изоляции оборудования ВН.

## 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	Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика	26	3	6	4	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы №1 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Глава 4	
1.1	Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика	26		6	4	-	-	-	-	-	-	16	-		
2	Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках	36		10	8	-	-	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Подготовка к защите лабораторных работ №2 и №3 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Главы 9, 10
2.1	Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках	36		10	8	-	-	-	-	-	-	-	18	-	
3	Пробой жидких диэлектриков	18		8	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Подготовка к тесту <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Глава 11
3.1	Пробой жидких диэлектриков	18		8	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	
4	Пробой твёрдых диэлектриков	28		8	4	-	-	-	-	-	-	-	16	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Подготовка к защите лабораторной работы №4 <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], Глава 12
4.1	Пробой твёрдых диэлектриков	28		8	4	-	-	-	-	-	-	-	16	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>-</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>16</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>93.5</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. Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика

##### 1.1. Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика

Разряд вдоль поверхности твёрдого диэлектрика в однородном и слабонеоднородном электрическом поле: влияние влажности воздуха, гигроскопичности поверхности диэлектрика, воздушных зазоров между диэлектриком и электродом. Разряд вдоль поверхности твёрдого диэлектрика в резконеоднородном электрическом поле, влияние на него структуры электрического поля. Разряд в воздухе вдоль загрязнённой и увлажнённой поверхности твёрдого диэлектрика..

#### 2. Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках

##### 2.1. Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках

Поляризация диэлектриков: её виды, основные соотношения. Полярные и неполярные диэлектрики. Поляризация в постоянном и переменном электрическом поле, комплексная диэлектрическая проницаемость. Эффективная диэлектрическая проницаемость композиционных диэлектриков. Миграционная поляризация и накопление заряда абсорбции. Особенности поляризации и протекания электрического тока в многослойных диэлектриках. Изменение во времени тока в многослойном диэлектрике и его сопротивления при приложении постоянного напряжения. Явление возвратного напряжения в высоковольтной конструкции с многослойным диэлектриком. Электропроводность жидких диэлектриков: их ионная и катафоретическая проводимость в слабых электрических полях, их электропроводность в сильных полях. Явления, сопровождающие протекание тока в жидких диэлектриках. Особенности протекания тока в тонких слоях жидких диэлектриков в комбинированной изоляции и роль коллоидных частиц. Электропроводность твёрдых диэлектриков, их ионная и электронная электропроводность. Диэлектрические потери. Тангенс угла диэлектрических потерь и его измерение..

#### 3. Пробой жидких диэлектриков

##### 3.1. Пробой жидких диэлектриков

Механизмы пробоя жидких диэлектриков. Влияние примесей и влажности. Механизмы импульсного пробоя. Теория теплового пробоя жидких диэлектриков. Основные экспериментальные данные о пробое жидкостей. Разряд в жидкости вдоль поверхности твёрдого диэлектрика..

#### 4. Пробой твёрдых диэлектриков

##### 4.1. Пробой твёрдых диэлектриков

Механизмы пробоя твёрдых диэлектриков. Теория ударной ионизации медленными электронами Хиппеля-Каллена. Теория ударной ионизации быстрыми электронами Фрелиха. Теория перегретой электрической неустойчивости. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков. Основные экспериментальные данные о пробое твёрдых диэлектриков. Понятие о частичных разрядах в твёрдых диэлектриках. Основные характеристики частичных разрядов. Частичные разряды при постоянном и переменном напряжении. Электрический и акустический методы регистрации и измерения параметров частичных разрядов. Изменение электрической прочности твёрдых диэлектриков при длительном воздействии напряжения..

### 3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Лабораторная работа №4 «Изучение частичных электрических разрядов в твёрдой высоковольтной изоляции»;
2. Лабораторная работа №3 «Измерение тангенса угла диэлектрических потерь в высоковольтной изоляции»;
3. Лабораторная работа №2 «Исследование проявлений процессов миграционной поляризации в высоковольтной изоляции»;
4. Лабораторная работа №1 «Исследование электрических разрядов в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика»..

### 3.5 Консультации

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Пробой жидких диэлектриков"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Пробой твёрдых диэлектриков"

#### *Текущий контроль (ТК)*

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Пробой жидких диэлектриков"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Пробой твёрдых диэлектриков"

### 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>						
протекающие в электрических полях физические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках, механизмы их пробоя	ИД-бПК-1	+		+	+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 «Исследование электрических разрядов в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика» Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4 «Изучение частичных электрических разрядов в твёрдой высоковольтной изоляции» Тестирование/Тест "Пробой жидких диэлектриков"
научные основы диагностики изоляции оборудования ВН	ИД-бПК-1		+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2 «Исследование проявлений процессов миграционной поляризации в высоковольтной изоляции» Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3 «Измерение тангенса угла диэлектрических потерь в высоковольтной изоляции»
<b>Уметь:</b>						
применять основы диагностики изоляции оборудования ВН	ИД-бПК-1	+	+		+	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 «Исследование электрических разрядов в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика» Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2 «Исследование проявлений процессов миграционной поляризации в высоковольтной изоляции» Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3 «Измерение тангенса угла диэлектрических потерь в высоковольтной изоляции»

						Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4 «Изучение частичных электрических разрядов в твёрдой высоковольтной изоляции»
--	--	--	--	--	--	---

## **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: Письменная работа

1. Защита лабораторной работы №1 «Исследование электрических разрядов в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2 «Исследование проявлений процессов миграционной поляризации в высоковольтной изоляции» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №3 «Измерение тангенса угла диэлектрических потерь в высоковольтной изоляции» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы №4 «Изучение частичных электрических разрядов в твёрдой высоковольтной изоляции» (Лабораторная работа)
5. Тест "Пробой жидких диэлектриков" (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №3)

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. 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](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](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. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
12. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
13. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Д-207, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Д-5, Учебная лаборатория	парта, стол преподавателя, стул, экран, доска маркерная передвижная, лабораторный стенд, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Д-02/2, Учебная лаборатория	стол, стул, доска меловая, лабораторный стенд, кондиционер
	Д-5, Учебная лаборатория	парта, стол преподавателя, стул, экран, доска маркерная передвижная, лабораторный стенд, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Д-207, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Д-207, Учебная аудитория	парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Д-12, Кладовая	стеллаж, стол, стул

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Электрофизические процессы в жидких и твердых диэлектриках

(название дисциплины)

#### 3 семестр

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

- КМ-1 Защита лабораторной работы №1 «Исследование электрических разрядов в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика» (Лабораторная работа)
- КМ-2 Защита лабораторной работы №2 «Исследование проявлений процессов миграционной поляризации в высоковольтной изоляции» (Лабораторная работа)
- КМ-3 Защита лабораторной работы №3 «Измерение тангенса угла диэлектрических потерь в высоковольтной изоляции» (Лабораторная работа)
- КМ-4 Тест "Пробой жидких диэлектриков" (Тестирование)
- КМ-5 Защита лабораторной работы №4 «Изучение частичных электрических разрядов в твёрдой высоковольтной изоляции» (Лабораторная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	4	8	12	13	16
1	Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика						
1.1	Электрический разряд в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика		+	+	+	+	+
2	Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках						
2.1	Электрофизические процессы в жидких и твёрдых диэлектриках		+	+	+		+
3	Пробой жидких диэлектриков						
3.1	Пробой жидких диэлектриков		+			+	+
4	Пробой твёрдых диэлектриков						
4.1	Пробой твёрдых диэлектриков		+	+	+	+	+
Вес КМ, %:			20	20	20	20	20