

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

д.т.н. проф.

Драгунов В.К.



2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Специальность 2.4.3. Электроэнергетика

Профиль Техника высоких напряжений

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Электроэнергетика» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение системы современных научных знаний, объединяющих экспериментальные и теоретические исследования по формированию электрических разрядов в газах, жидкостях и твердых диэлектриках, по электрофизическим процессам в изоляции установок высокого напряжения и в высоковольтных электротехнологических устройствах и аппаратах, по воздействию электрических разрядов, сильных электрических и магнитных полей на дисперсные системы, твердые и жидкие материалы, по физике молнии и молниезащиты, по формированию грозовых и внутренних перенапряжений в электрических системах, по координации изоляции и методам защиты от перенапряжений, по обеспечению электромагнитной совместимости в электроэнергетике, по разработке электрофизических и испытательных установок.

Задачами дисциплины являются:

- изучение передовых научных достижений в исследованиях электрофизических процессов в газах, жидких и твердых диэлектриках;
- изучение теории и практики электрических разрядов в условиях, характерных для техники высоких напряжений;
- изучение передовых научных достижений в области физики молнии и молниезащиты;
- изучение современных научных представлений о внешних и внутренних перенапряжениях в электрических системах и освоение методов и их ограничения;
- изучение и освоение передовых методов выбора, расчета и конструирования изоляции электроустановок высокого напряжения;
- изучение перспективных методов испытания и диагностики изоляции в условиях эксплуатации;
- формирование представлений о современных испытательных и электрофизических установках высокого напряжения;
- изучение высоковольтных электротехнологических процессов, устройств и аппаратов;
- освоение современных методов расчета электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений;

- изучение научных основ современных и перспективных методов оценки и обеспечения электромагнитной совместимости в условиях, характерных для техники высоких напряжений.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Электроэнергетика – научная специальность, объединяющая экспериментальные и теоретические исследования по формированию электрических разрядов в газах, жидких и твердых диэлектриках, по электрофизическим процессам в изоляции установок высокого напряжения и в высоковольтных электротехнологических устройствах и аппаратах, по воздействию электрических разрядов, сильных электрических и магнитных полей на дисперсные системы и твердые и жидкие материалы, по физике молнии и молниезащиты, по формированию грозовых и внутренних перенапряжений в электрических системах высокого напряжения, по координации изоляции и методам защиты от перенапряжений. В рамках специальности ведутся работы по решению проблем молниезащиты и электромагнитной совместимости объектов электроэнергетики, промышленности и транспорта, защиты высоковольтного электрооборудования от грозовых и внутренних перенапряжений, разработке физических принципов конструирования, эксплуатации и диагностики изоляционных конструкций высокого напряжения, разработке испытательных и электрофизических установок и испытаниям изоляции установок высокого напряжения, разработке высоковольтных электротехнологий, устройств и аппаратов, использованию высокого напряжения в электротехнологии и других отраслях техники.

Области исследований

1. Исследование физических закономерностей и разработка методов расчета электрических разрядов в условиях, характерных для электроустановок высокого напряжения (молнии и другие возмущающие воздействия).
2. Разработка принципов выбора, формирования заданных свойств и испытаний изоляции электроустановок высокого напряжения.
3. Разработка методов расчета электрических и магнитных полей, исследование закономерностей воздействия сильных токов, электрических и магнитных полей на диспергированные и другие материалы, среды и изделия.

4. Разработка научных основ использования высоких напряжений для технологических процессов, конструирования оборудования для технологий, использующих высокое напряжение.
5. Исследование атмосферных и внутренних перенапряжений, разработка методов и устройств для ограничения перенапряжений, изучение проблем электромагнитной совместимости.
6. Разработка физических и цифровых методов и средств измерения, диагностики и мониторинга состояния изоляции электроустановок высокого напряжения.
7. Координация и методы испытания изоляции, электрофизические и испытательные установки высокого напряжения.

Отрасль науки

технические науки (по специальности не рассматриваются работы соискателей, в которых анализируются проблемы, относящиеся к электротехническим установкам и устройствам с рабочим напряжением не выше 1000 В, или рассматриваются рабочие режимы электроустановок.).

Краткое содержание разделов дисциплины

1. Электрофизические процессы в газах, жидких и твердых диэлектриках. Теория и практика электрических разрядов в условиях, характерных для техники высоких напряжений.

Элементарные процессы в газах. Движение заряженных частиц в электрическом поле. Процессы возбуждения и ионизация атомов и молекул, ионной и электронной рекомбинации, образования и развала отрицательных ионов. Процессы на катоде. Основы физики плазмы. Поляризация диэлектриков в постоянном и переменном электрическом поле, виды поляризации. Проводимость диэлектриков. Виды электропроводности жидких диэлектриков. Особенности протекания тока в жидких диэлектриках, включая тонкие слои жидких диэлектриков в комбинированной изоляции. Проводимость твердых диэлектриков. Диэлектрические потери, тангенс угла диэлектрических потерь. Развитие электрического разряда в газах в однородном и резко неоднородном электрическом поле: лавинная, стримерная и лидерная формы разряда. Понятие начального и пробивного напряжения, влияние полярности. Особенности развития разряда в длинных воздушных промежутках. Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Потери на корону при переменном напряжении. Развитие разряда при импульсных напряжениях. Вольт-секундные характеристики воздушных промежутков при грозовых и коммутационных импульсах. Разряд при повышенном и пониженном давлениях газа. Влияние электроотрицательности газа (элегаз и его смеси с другими газами). Механизм вакуумного пробоя. Разряд в газе вдоль поверхности твердого диэлектрика. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязнённой и

увлажнённой поверхности диэлектрика. Барьерный разряд. Механизмы пробоя жидких диэлектриков. Скользящий разряд по поверхности твёрдых диэлектриков в жидкости. Формы пробоя твёрдых диэлектриков. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков.

2. Физика молнии и молниезащита.

Электричество атмосферы. Гроза. Виды молнии. Физическая картина формирования разряда молнии. Методы определения места удара молнии и его параметров. Электрические характеристики разрядов молнии и их статистический характер. Характеристики грозовой деятельности. Поражаемость молнией наземных объектов и летательных аппаратов. Опасные воздействия молнии. Молниеотводы, зоны защиты молниеотводов. Заземление молниеотводов. Стационарное и импульсное сопротивление заземлителей. Молниезащита воздушных линий электропередачи (ВЛ). Грозовые отключения ВЛ, защищаемых тросовыми молниеотводами. Грозовые отключения ВЛ без тросовых молниеотводов. Применение защитных аппаратов на ВЛ для повышения эффективности молниезащиты. Молниезащита электрических станций и подстанций. Защита подстанции от импульсов грозовых перенапряжений, набегающих с линии. Методика оценки эффективности молниезащиты подстанции. Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин. Особенности молниезащиты ветровых электростанций. Молниезащита зданий, промышленных сооружений и коммуникаций. Особенности молниезащиты взрывоопасных и пожароопасных объектов. Нормативные документы по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Молниезащита транспортных средств: трубопроводного, железнодорожного транспорта, морских и речных судов. Молниезащита летательных аппаратов. Особенности молниезащиты носовых обтекателей самолетов и конструктивных элементов, выполненных из композиционных материалов. Особенности обеспечения электромагнитной совместимости летательных аппаратов. Персональная защита от молнии.

3. Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничение.

Механизмы возникновения перенапряжений. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью. Компенсация емкостных токов замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. Феррорезонансные перенапряжения. Феррорезонансные перенапряжения в сетях с электромагнитными трансформаторами напряжения. Конструкции трансформаторов 6–35 кВ и 110–500 кВ. Токи и напряжения в экранах кабелей однофазного исполнения. Способы снижения токов и напряжений в экранах. Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения на ВЛ при ТАПВ и ОАПВ. Способы снижения бестоковой паузы ОАПВ. Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключённых реакторов на

напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях. Ограничители перенапряжений нелинейные. Конструкция ограничителей. Энергоемкость ОПН. Методика выбора ОПН в сетях 6–35 кВ и 110–750 кВ.

4. Изоляция электроустановок высокого напряжения: методы выбора, расчета и конструирования изоляции электроустановок высокого напряжения.

Основные требования к электрической изоляции. Статистические характеристики изоляции. Методы получения и обработки экспериментальных данных по электрической прочности изоляции. Внешняя изоляция установок высокого напряжения. Особенности внешней изоляции. Основные факторы, влияющие на электрическую прочность при разных видах воздействующего напряжения. Линейная изоляция. Конструкции и материалы изоляторов. Выбор типа и числа изоляторов и воздушных изоляционных промежутков ВЛ и открытых распределительных устройств. Вольт-секундные характеристики. Внутренняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Основные виды внутренней изоляции. Электрическая прочность внутренней изоляции. Основные факторы, влияющие на кратковременную электрическую прочность внутренней изоляции. Старение изоляции. Частичные разряды и их характеристики. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции. Основы теплового расчёта изоляционных конструкций. Основы конструирования внутренней изоляции. Методы регулирования электрических полей в изоляционных конструкциях. Структура изоляции силовых трансформаторов: главная и продольная изоляция. Кратковременная и длительная электрическая прочность внутренней изоляции трансформаторов. Маслобарьерная изоляция силовых трансформаторов. Изоляция трансформаторов тока и напряжения. Изоляция электрических машин высокого напряжения. Конденсаторной изоляции. Кабельные линии: области применения, виды изоляции силовых кабелей высокого напряжения. Изоляция кабельных муфт. Проходные изоляторы: конструкции, изоляционные материалы. Элегазовые изоляционные конструкции: выключатели и измерительные трансформаторы с элегазовой изоляцией, КРУЭ.

5. Испытания и диагностика изоляции в условиях эксплуатации.

Задачи диагностики и контроля технического состояния изоляции оборудования и установок высокого напряжения. Контроль периодический с отключением оборудования (off line) и под напряжением (on line), непрерывный мониторинг. Координация изоляции устройств высокого напряжения. Общие правила проведения испытаний изоляции высоким напряжением промышленной частоты, грозовыми и коммутационными импульсами, постоянным напряжением. Контроль состояния изоляции установок высокого напряжения по характеристикам частичных разрядов (ЧР). Электрический и акустический методы регистрации и измерения характеристик ЧР, локация ЧР. Связь тангенса угла диэлектрических потерь с основными электрическими характеристиками однородной и неоднородной

изоляции. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь. Использование явления абсорбции для оценки состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Измерение сопротивления изоляции. Ёмкостные методы контроля влажности изоляции. Контроль состояния маслonaполненного оборудования путём испытания проб масла. Хроматографический анализ газов, растворённых в масле. Акустический и тепловизионный контроль состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Ультразвуковая дефектоскопия. Особенности диагностики изоляции отдельных видов оборудования: крупных вращающихся машин, силовых и измерительных трансформаторов, шунтирующих реакторов, кабельных и воздушных линий. Дефектоскопия линейной изоляции. Современные системы автоматического непрерывного контроля технического состояния мощных силовых трансформаторов высокого напряжения. Особенности ВЛ как объекта диагностики. Методы локации повреждений в кабельных линиях. Методы определения мест повреждения линий электропередачи.

6. Испытательные и электрофизические установки высокого напряжения.

Испытания высоким напряжением. Основные методы испытаний. Испытательные установки высокого напряжения промышленной частоты. Установки высокого напряжения постоянного тока. Схемы с выпрямителями. Электростатический генератор Ван-де-Граафа, роторный генератор. Генераторы импульсных напряжений (ГИН). Основные конструкции ГИН. Испытания сильными токами. Общая схема испытательного комплекса, нормированные испытательные импульсные токи. Типы накопителей энергии для испытательных и электрофизических установок и их характеристики. Ёмкостные накопители энергии. Режим «кроубар». Работа ёмкостного накопителя энергии с согласующим импульсным трансформатором. Индуктивные накопители энергии. Работа индуктивного накопителя энергии на омическую, индуктивную и ёмкостную нагрузку. Механические накопители энергии. Принцип работы и особенности взрывомагнитных генераторов импульсных токов. Гибридные генераторы. Накопители энергии с распределёнными параметрами. Основные схемы ГИН на основе длинных линий без умножения и с умножением напряжения. Генератор Блюмляйна. Спиральный генератор. Генератор Фитча. Управляемые коммутаторы. Измерение высоких напряжений. Измерительные шаровые разрядники, электростатические вольтметры. Делители напряжения: омические, ёмкостные, смешанные. Измерение сильных импульсных и периодических токов с помощью шунтов, воздушного трансформатора тока и устройства на основе эффекта Холла. Измерения напряжённости электрического поля. Измерения напряжённости магнитного поля. Фотоэлектронные умножители. Электронно-оптические преобразователи. Электромагнитные помехи при измерениях в лабораториях высоких напряжений и способы их устранения. Современные цифровые регистраторы. Электрофизические установки высокого напряжения. Ускорители макротел: рельсотроны, индукционные

ускорители. Мощные ускорители элементарных частиц. Формирование и ускорение электронных пучков. Источники питания мощных лазеров.

7. Высоковольтные электротехнологические процессы, устройства и аппараты.

Роль электротехнологий в промышленности. Характеристика аэрозольных систем. Зарядка и движение аэрозольных частиц. Эффективность осаждения частиц из ламинарного и турбулентного потока. Процессы на осадительном электроде. Поведение отдельно взятой частицы в электрическом поле и при коронном разряде. Определение характеристик порошкового слоя. Поведение слоя частиц на электроде в электрическом поле коронного разряда. Обратная корона с порошкового слоя. Сила, действующая на слой в электрическом поле и при коронном разряде в промежутке. Коллективные процессы в аэрозольных системах. Электростатическое рассеяние монодисперсного аэрозоля. Влияние концентрации частиц на характеристики коронного разряда. Движение частиц поперек и по силовым линиям электрического поля. Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей. Очистка газов электрофильтрами. Электросепарация. Сепарация по электропроводности. Трибоэлектростатическая сепарация. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электроокраска. Электропневмораспылители. Нанесение порошковых покрытий. Электропечать. Электрофотография. Технологии обезвреживания нефтепродуктов. Высоковольтные плазмохимические технологии. Генераторы озона и озонные технологии. Технологии конверсии газов в плазме газового разряда. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда. Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества. Применение нейтрализаторов зарядов статического электричества. Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты импульсного воздействия на материалы. Технологии импульсного воздействия на материал. Электрогидравлические технологии. Электроэрозионная обработка материалов. Магнитно-импульсная обработка материалов. Аэрозольные электрогазодинамические устройства и аппараты.

8. Электромагнитная совместимость и методы расчета электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений.

Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики: источники электромагнитных воздействий на объектах электроэнергетики, каналы передачи помех. Биологические проблемы обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) на объектах электроэнергетики. Нормативная база обеспечения ЭМС на объектах электроэнергетики. Помехоустойчивость оборудования и систем. Допустимые уровни электромагнитных помех на объектах электроэнергетики. Допустимые электрические и магнитные поля для населения и персонала на рабочих местах. Методы и средства защиты от электромагнитных воздействий вторичного оборудования и систем связи. Выполнение заземляющих

устройств, молниезащиты и кабельной канализации на объектах электроэнергетики. Устройства ограничения перенапряжений. Экранирование вторичного оборудования и систем на объектах электроэнергетики. Методы и средства определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики. Измерительные комплексы и технические средства для имитации электромагнитных воздействий. Основные уравнения и граничные условия, описывающие электростатическое поле. Постановка задачи расчета электрического поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики и в электротехнологических установках. Методы эквивалентных зарядов и интегральных уравнений для случаев однородной и неоднородной сред и их применение для расчёта электрических полей устройств высокого напряжения. Расчёт электрических полей методом конечных элементов. Метод конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах. Применение итерационных методов решения уравнения Пуассона для расчёта самосогласованного электрического поля в электрическом разряде в воздухе. Способы и примеры конечно-разностной аппроксимаций уравнений Пуассона и неразрывности потока заряженных частиц. Постановка задачи расчета магнитного поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики. Магнитные поля систем проводников с током. Магнитные поля в пролете воздушных линий электропередачи.

Вопросы для самоконтроля, проведения зачета и кандидатского экзамена

1. Элементарные процессы в газах. Столкновения частиц. Понятие вероятности столкновения. Сечение столкновения, средняя длина свободного пробега. Упругие и неупругие столкновения частиц.
2. Движение заряженных частиц в электрическом поле. Энергия движущихся частиц. Скорость дрейфа заряженной частицы. Подвижность. Диффузия, амбиполярная диффузия. Процессы диссоциации.
3. Процессы возбуждения и ионизация атомов и молекул. Первый коэффициент ионизации Таунсенда. Образование и развал отрицательных ионов. Старение ионов.
4. Различные виды ионизации в газах: ударная ионизация, ассоциативная ионизация, фотоионизация, термоионизация. Процессы ионной и электронной рекомбинации.
5. Процессы на катоде. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия, термоэмиссия. Второй коэффициент ионизации Таунсенда.
6. Основы физики плазмы. Квазинейтральность. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма. Электропроводность плазмы в электрическом, магнитном и скрещенном электромагнитном поле. Особенности частично ионизованной низкотемпературной плазмы высокого давления.
7. Поляризация диэлектриков в постоянном и переменном электрическом поле, виды поляризации. Поляризационные потери энергии.

8. Механизмы появления свободных электрических зарядов в диэлектриках. Проводимость диэлектриков.
9. Виды электропроводности жидких диэлектриков. Ионная и катафоретическая проводимости жидких диэлектриков в слабом электрическом поле. Электропроводность в сильных полях. Подвижность носителей зарядов. Эмиссия электронов. Ток проводимости. Особенности протекания тока в жидких диэлектриках, включая тонкие слои жидких диэлектриков в комбинированной изоляции.
10. Проводимость твёрдых диэлектриков. Ионная и электронная проводимость. Процессы эмиссии носителей зарядов. Диэлектрические потери, тангенс угла диэлектрических потерь, влияние температуры.
11. Возникновение и развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Условие самостоятельности разряда. Понятие начального напряжения возникновения разряда и пробивного напряжения. Разряд в однородном поле. Закон Пашена и закон подобия электрических разрядов.
12. Разряд в сильно неоднородном электрическом поле. Лавинная, стримерная и лидерная формы разряда. Условия лавинно-стримерного стример-лидерного перехода, влияние полярности. Основные характеристики стримеров и лидеров. Физико-математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда в воздухе: системы дифференциальных уравнений в частных производных, начальные и граничные условия.
13. Особенности развития разряда в длинных воздушных промежутках. Зависимость электрической прочности воздушных промежутков от типа воздействующего напряжения, длины промежутка, степени неоднородности электрического поля, параметров окружающей среды. Влияние формы и площади поверхности электродов. Разброс значений пробивных напряжений.
14. Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальная напряжённость коронного разряда. Униполярный и биполярный коронные разряды. Физико-математические модели униполярного коронного разряда в воздухе. Распределения концентрации заряженных частиц и напряжённости электрического поля в чехле и зоне дрейфа униполярного коронного разряда, их зависимость от параметров коронирующего электрода и приложенного напряжения.
15. Вольт-амперная характеристика коронного разряда. Влияние полярности на характеристики коронного разряда. Потери на корону при переменном напряжении. Методики расчёта потерь энергии при короне на проводах линии электропередачи. Электромагнитные и акустические помехи.
16. Развитие разряда при импульсных напряжениях. Формы импульсов напряжения, характерные для техники высоких напряжений. Время формирования разряда. Вольт-секундные характеристики воздушных промежутков при грозовых и коммутационных импульсах. Особенности разряда при воздействии импульсов напряжения наносекундной длительности.
17. Разряд при повышенном и пониженном давлениях газа при повышенных давлениях в промежутках с однородными и неоднородными полями. Влияние

полярности и электроотрицательности газа (элегаз и его смеси с другими газами). Влияние состояния поверхности электродов (шероховатости), площади поверхности электродов, проводящих частиц. Механизм вакуумного пробоя. Влияние состояния поверхности и расстояния между электродами.

18. Разряд в газе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика. Влияние расположения диэлектрика в разрядном промежутке, материала диэлектрика и формы электрического поля. Влияние толщины слоя твердого диэлектрика и его свойств на начальные и пробивные напряжения поверхностного разряда в электрическом поле с преобладающей нормальной составляющей. Поверхностный разряд при воздействии переменного напряжения. Мощность разряда, вольт-кулоновая характеристика.

19. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Влияние структуры поверхности твердого диэлектрика на характеристики поверхностного разряда. Разряд по загрязнённой и увлажнённой поверхности диэлектрика.

20. Барьерный разряд. Влияние толщины и свойств твердого диэлектрика на разряд в газовой части промежутка. Влияние длины газовой части промежутка на форму барьерного разряда. Вольт-амперная и вольт-кулоновая характеристики барьерного разряда.

21. Механизмы пробоя жидких диэлектриков. Предразрядные процессы и пробой жидкости. Влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости. Скользящий разряд по поверхности твёрдых диэлектриков в жидкости.

22. Формы пробоя твёрдых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида и длительности воздействующего напряжения. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков.

23. Электричество атмосферы. Глобальная электрическая цепь. Электрические характеристики «ясной погоды» и облаков. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы. Методы активного воздействия на электрически активные облака.

24. Виды молнии. Классификация линейных молний. Физическая картина формирования разряда молнии. Методы исследования молнии, определения места удара молнии и его параметров. Электрические характеристики разрядов молнии. Статистический характер параметров молнии.

25. Характеристики грозовой деятельности. Поражаемость молнией наземных объектов и летательных аппаратов. Опасные воздействия молнии на поражаемые объекты. Общая характеристика электромагнитных, газодинамических, тепловых и электродинамических воздействий молнии.

26. Молниеотводы. Основные элементы конструкции молниеотводов и требования к ним. Защитное действие молниеотводов. Методика определения зон защиты молниеотводов по экспериментальному, электрогеометрическому и вероятностному методу. Зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов.

27. Заземление молниеотводов. Естественные и искусственные заземлители. Стационарное и импульсное сопротивление заземлителей. Роль удельного сопротивления грунта. Импульсные коэффициенты сосредоточенных и протяженных заземлителей. Коэффициент использования заземлителя.
28. Молниезащита воздушных линий электропередачи (ВЛ). Основные принципы и методы расчета молниезащиты ВЛ электропередачи и показатели их грозоупорности. Грозовые отключения ВЛ, защищаемых тросовыми молниеотводами. Кривая опасных параметров. Грозовые отключения ВЛ без тросовых молниеотводов на металлических, железобетонных и деревянных опорах. Грозовые отключения ВЛ при индуктированных перенапряжениях. Применение защитных аппаратов на ВЛ для повышения эффективности молниезащиты. Повышение грозоупорности ВЛ с помощью подвесных ОПН.
29. Молниезащита электрических станций и подстанций. Защита от прямых ударов молнии. Места установки молниеотводов на электрических станциях и подстанциях и зоны их защиты. Защита подстанции от импульсов грозовых перенапряжений, набегающих с линии. Использование защитных аппаратов. Защищенный подход к подстанции. Методика оценки эффективности молниезащиты подстанции.
30. Волновые процессы в обмотках трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов. Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин. Особенности молниезащиты ветровых электростанций.
31. Молниезащита зданий, промышленных сооружений и коммуникаций. Нормативные документы по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Классификация зданий и сооружений по степени опасности поражения молнией. Молниезащита объектов I, II и III категории. Особенности молниезащиты взрывоопасных и пожароопасных объектов. Молниезащита сельскохозяйственных объектов. Допустимые расстояния между элементами молниеотвода и защищаемыми объектами.
32. Молниезащита транспортных средств. Защита контактной сети и электрооборудования подвижного состава электрифицированных железных дорог. Молниезащита морских и речных судов. Молниезащита магистрального трубопроводного транспорта.
33. Молниезащита летательных аппаратов. Особенности поражения молнией летательных аппаратов. Особенности молниезащиты носовых обтекателей самолетов и конструктивных элементов, выполненных из композиционных материалов. Особенности обеспечения электромагнитной совместимости летательных аппаратов.
34. Персональная защита от молнии. Безопасность служебного персонала и населения.
35. Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю в сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью. Компенсация емкостных токов замыкания на землю в сетях 6–35 кВ.

36. Феррорезонансные перенапряжения. Феррорезонансные перенапряжения в сетях с электромагнитными трансформаторами напряжения. Конструкции трансформаторов 6–35 кВ и 110–500 кВ.
37. Токи и напряжения в экранах кабелей однофазного исполнения. Способы снижения токов и напряжений в экранах.
38. Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Механизмы возникновения перенапряжений. Параметры расчетной модели вакуумного выключателя для расчета коммутационных перенапряжений.
39. Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения на ВЛ при ТАПВ и ОАПВ. Способы снижения бестоковой паузы ОАПВ.
40. Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключённых реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях.
41. Ограничители перенапряжений. Конструкция ограничителей. Энергоемкость ОПН. Методика выбора ОПН в сетях 6–35 кВ и 110 – 750 кВ.
42. Основные требования к электрической изоляции, условия работы. Статистические характеристики изоляции. Распределение Гаусса и Вейбулла. Методы получения и обработки экспериментальных данных по электрической прочности изоляции. Выбор закона распределения, определение оценок и доверительных границ для параметров распределения электрической прочности. Определение необходимого объема экспериментальных данных для получения оценок заданной точности.
43. Внешняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Характерные изоляционные промежутки в атмосферном воздухе. Особенности внешней изоляции. Основные факторы, влияющие на электрическую прочность. Разрядные напряжения чисто воздушных промежутков при разных видах воздействующего напряжения.
44. Линейная изоляция. Конструкции и материалы изоляторов. Выбор типа и числа изоляторов и воздушных изоляционных промежутков ВЛ и ОРУ. Вольт-секундные характеристики. Методики расчёта минимальных пробивных напряжений воздушных промежутков при коммутационных импульсах.
45. Внутренняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Требования, предъявляемые к внутренней изоляции. Виды внутренней изоляции: газовая, масляная, маслосодержащая, бумажно-пропитанная, литая эпоксидная, на основе смолы, полимерная. Технология изготовления литой эпоксидной изоляции и RIP-изоляции высоковольтных вводов.
46. Электрическая прочность внутренней изоляции. Зависимости электрической прочности от длительности воздействия напряжения. Понятие о кратковременной и длительной электрической прочности. Основные факторы, влияющие на кратковременную электрическую прочность

внутренней изоляции. Допустимая кратковременная электрическая прочность внутренней изоляции и её связь с 50% пробивным напряжением.

47. Старение изоляции. Механизмы старения. Частичные разряды и их характеристики. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции: закономерности старения изоляции, основные технические средства ограничения темпов электрического старения. Методика выбора допустимых рабочих напряжений и допустимых рабочих напряжённостей во внутренней изоляции. Основы теплового расчёта изоляционных конструкций.

48. Основы конструирования внутренней изоляции. Характерные формы электрических полей в изоляционных конструкциях и методы их регулирования. Краевой эффект. Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью. Полупроводящие покрытия, применение экранов.

49. Структура изоляции силовых трансформаторов: главная и продольная изоляция. Кратковременная и длительно допустимая электрическая прочность внутренней изоляции трансформаторов. Маслосольная изоляция силовых трансформаторов, выбор 1-го масляного промежутка. Изоляция трансформаторов тока и напряжения.

50. Изоляция электрических машин высокого напряжения: главная и продольная изоляция статорных обмоток, изоляция выхода из паза. Кратковременная и длительная электрическая прочность конденсаторной изоляции.

51. Кабельные линии: области применения, виды изоляции силовых кабелей высокого напряжения. Конструкция изоляции кабелей высокого напряжения с градированием изоляции и без градирования. Изоляция кабельных муфт. Проходные изоляторы. Методика расчёта БМИ изоляции проходного изолятора (ввода) с конденсаторными обкладками.

52. Элегазовые изоляционные конструкции: выключатели и измерительные трансформаторы с элегазовой изоляцией, КРУЭ. Разрядные характеристики промежутков, характерных для КРУЭ при различных формах воздействующего напряжения и давления. Влияние качества обработки электродов, наличия твёрдых частиц. Выбор изоляционных расстояний с учётом электрической прочности распорок.

53. Задачи диагностики и контроля технического состояния изоляции оборудования и установок высокого напряжения. Контроль периодический с отключением оборудования (off line) и под напряжением (on line), непрерывный мониторинг, комплексное обследование оборудования. Влияние периодичности контроля на его эффективность.

54. Координация изоляции устройств высокого напряжения.

55. Контроль состояния изоляции с помощью испытательного напряжения, которое значительно превышает рабочее. Выбор значений испытательных напряжений промышленной частоты на заводе, после монтажа на месте работы, в эксплуатации. Оценка результатов испытаний. Общие правила проведения испытаний изоляции высоким напряжением промышленной

частоты, грозowymi и коммутационными импульсами. Испытания изоляции приложением высокого постоянного (выпрямленного) напряжения.

56. Контроль состояния изоляции установок высокого напряжения по характеристикам частичных разрядов (ЧР). Электрический и акустический методов регистрации и измерения характеристик ЧР, локация ЧР. Методы ограничения помех при испытаниях в лаборатории и в условиях эксплуатации.

57. Связь тангенса угла диэлектрических потерь с основными электрическими характеристиками однородной и неоднородной изоляции. Факторы, влияющие на результаты измерений $\text{tg}\delta$. Методы устранения ошибок. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь с помощью мостов переменного тока и элементов цифровой измерительной техники.

58. Использование явления абсорбции для оценки состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Внешние проявления абсорбционных процессов при постоянном и переменном напряжениях, использование их для диагностики. Измерение сопротивления изоляции, устройство современных мегомметров. Ёмкостные методы контроля влажности изоляции.

59. Контроль состояния маслonaполненного оборудования путём испытания проб масла. Измерение физико-химических характеристик масла, нормы, выявляемые дефекты. Хроматографический анализ газов, растворённых в масле: основы метода, диагностические газы, методика определения состояния изоляции по результатам измерений.

60. Акустический и тепловизионный контроль состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Ультразвуковая дефектоскопия.

61. Особенности диагностики изоляции отдельных видов оборудования: крупных вращающихся машин, силовых и измерительных трансформаторов, шунтирующих реакторов, кабельных и воздушных линий. Дефектоскопия линейной изоляции.

62. Современные системы автоматического непрерывного контроля технического состояния мощных силовых трансформаторов высокого напряжения. Экономическая эффективность мониторинга.

63. Особенности линий электропередачи как объекта диагностики. Методы локации повреждений в кабельных линиях. Аэросканирование и спутниковое сканирование воздушных линий электропередачи. Методы определения мест повреждения линий электропередачи.

64. Испытания высоким напряжением. Цели и объекты испытаний, общая схема испытательного комплекса, нормированные испытательные высокие напряжения, основные методы испытаний.

65. Испытательные установки высокого напряжения промышленной частоты. Испытательные трансформаторы высокого напряжения, каскадные схемы испытательных трансформаторов и резонансные схемы для испытаний переменным высоким напряжением.

66. Установки высокого напряжения постоянного тока. Схемы с выпрямителями, каскадный выпрямитель. Электростатический генератор Ван-де-Граафа, роторный генератор.

67. Генераторы импульсных напряжений (ГИН). Основные схемы одноступенчатых и многоступенчатых ГИН, их элементы и параметры. Схема замещения ГИН. Основные конструкции ГИН. Получение коммутационных импульсов напряжения от ГИН.

68. Испытания сильными токами. Цели и объекты испытаний. Общая схема испытательного комплекса, нормированные испытательные импульсные токи. Типы накопителей энергии для испытательных и электрофизических установок и их характеристики.

69. Емкостные накопители энергии. Состав, основные характеристики, схемы зарядки. Разрядный контур емкостного накопителя энергии и его схема замещения. Режимы разряда и особенности многоконтурных схем емкостных накопителей энергии. Режим «клубар», требования к клубарному коммутатору. Работа емкостного накопителя энергии с согласующим импульсным трансформатором.

70. Индуктивные накопители энергии. Состав, основные характеристики. Применение сверхпроводимости в индуктивных накопителях. Проблемы коммутации тока и особенности аварийных режимов. Работа индуктивного накопителя энергии на омическую, индуктивную и емкостную нагрузку.

71. Механические накопители энергии. Основные типы ударных генераторов и их характеристики. Принцип работы и особенности взрывоманитных генераторов импульсных токов. Гибридные генераторы.

72. Накопители энергии с распределенными параметрами. Основные типы формирующих линий и их свойства. Основные схемы ГИН на основе длинных линий с умножением и без умножения напряжения. Генератор Блюмляйна. Генераторы с неоднородными линиями. Спиральный генератор. Генератор Фитча.

73. Элементы испытательных и электрофизических установок высокого напряжения. Управляемые коммутаторы.

74. Измерение высоких напряжений. Измерительные шаровые разрядники, электростатические вольтметры. Измерение высоких напряжений прибором с добавочным резистором или конденсатором, измерение максимальных значений переменных и импульсных напряжений. Делители напряжения. Требования к делителям, общая схема замещения, типы, частотные характеристики, реакция на прямоугольный импульс. Омические, емкостные, смешанные делители напряжения. Передача сигнала от делителей напряжения к регистраторам. Влияние измерительного кабеля.

75. Измерение сильных токов. Измерение сильных импульсных и периодических токов с помощью шунтов. Основные параметры и конструкции шунтов. Погрешности при измерениях токов с помощью шунтов. Измерение сильных токов с помощью воздушного трансформатора тока (пояса Роговского) и устройства на основе эффекта Холла.

76. Измерения напряженности электрического поля. Разновидности флюксометров. Измерения напряженности магнитного поля. Фотоэлектронные

умножители. Принцип работы, характеристики. Электронно-оптические преобразователи. Нетрадиционные способы измерения напряжения и тока.

77. Электромагнитные помехи при измерениях в лабораториях высоких напряжений и способы их устранения. Регистрация сигналов. Современные цифровые регистраторы и их возможности.

78. Электрофизические установки высокого напряжения. Ускорители макротел. Рельсотроны, индукционные ускорители. Мощные ускорители элементарных частиц (протонов, электронов). Формирование и ускорение электронных пучков. Источники питания исследовательских термоядерных установок. Генераторы рентгеновских, сверхвысокочастотных и сверхширокополосных импульсов. Источники питания мощных лазеров.

79. Направления применения высоких напряжений и сильных токов в технологических процессах. Роль электротехнологий в промышленном производстве и их место среди традиционных технологических процессов.

80. Характеристика аэрозольных систем. Зарядка аэрозольных частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Сопротивление среды движению частиц. Числа Рейнольдса и Стокса. Электрическая и механическая подвижности частиц. Осаждение частиц. Эффективность осаждения частиц из ламинарного и турбулентного потока.

81. Процессы на осадительном электроде. Силы адгезии частиц к электроду. Поведение отдельно взятой частицы в электрическом поле и при коронном разряде. Характеристики порошкового слоя. Поведение слоя частиц на электроде в электрическом поле коронного разряда. Зарядка и разрядка слоя на электроде. Обратная корона. Время возникновения обратной короны. Сила, действующая на слой в электрическом поле коронного разряда. Влияние слоя на вольт-амперную характеристику коронного разряда.

82. Коллективные процессы в аэрозольных системах. Электростатическое рассеяние монодисперсного аэрозоля. Влияние концентрации частиц на характеристики коронного разряда. Движение частиц по силовым линиям электрического поля. Движение частиц поперек силовых линий. Характеристики полидисперсного аэрозоля.

83. Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей. Очистка газов от аэрозольных частиц электрофильтрами. Конструкция электрофильтров. Степень очистки газов в электрофильтрах. Особенности определения эффективности осаждения в электрофильтрах. Способы борьбы с обратной короной в электрофильтрах.

84. Электросепарация. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Трибоэлектростатическая сепарация. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация.

85. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электроокраска. Электропневмораспылители. Нанесение порошковых покрытий. Электропечать. Электрофотография. Электрокаплеструйная печать.

86. Обезвоживание нефтепродуктов. Физические основы обезвоживания нефтепродуктов. Конструкция промышленных технологических установок для

обессоливания и обезвоживания нефти и нефтепродуктов. Технологии обезвоживания нефтепродуктов.

87. Высоковольтные плазмохимические технологии, процессы и аппараты. Основы плазмохимических преобразований. Генераторы озона и озонные технологии. Электросинтез озона. Технологии конверсии газов в плазме газового разряда. Очистка топочных газов от оксидов азота и серы. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда.

88. Процессы статической электризации и методы борьбы с ее проявлениями. Нейтрализация зарядов статического электричества. Статическое электричество при перекачке нефтепродуктов по трубопроводам. Методы измерения основных параметров, характеризующих статическую электризацию. Способы защиты от разрядов статического электричества. Применение нейтрализаторов зарядов статического электричества.

89. Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты импульсного воздействия на материалы. Технологии импульсного воздействия на материал. Электрогидравлические технологии. Электроэрозионная обработка материалов. Магнитно-импульсная обработка материалов.

90. Аэрозольные электрогазодинамические устройства и аппараты. Конденсационные ЭГД-генераторы заряженного аэрозоля. Струи заряженного аэрозоля. ЭГД-генераторы. ЭГД-компрессоры.

91. Математическое моделирование физических процессов в устройствах высокого напряжения на основе анализа электрических полей при проектировании энергетических и электротехнологических установок. Основные уравнения и граничные условия, описывающие электростатическое поле. Постановка задачи расчета электрического поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики и в электротехнологических установках.

92. Методы эквивалентных зарядов и интегральных уравнений для случаев однородной и неоднородной сред. Численное решение интегрального уравнения. Применение метода эквивалентных зарядов для расчёта электрических полей вблизи воздушных линий электропередачи. Применение метода интегральных уравнений для расчёта электрических полей устройств высокого напряжения. Проблема обусловленности систем линейных алгебраических уравнений при расчете электрических полей методами эквивалентных зарядов и интегральных уравнений.

93. Принципы расчёта электрических полей методом конечных элементов.

94. Метод конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах. Конечно-разностная аппроксимация уравнения Пуассона. Решение трёхточечных разностных уравнений методом прогонки. Итерационные методы решения пятиточечных разностных уравнений. Применение итерационных методов решения уравнения Пуассона для расчёта самосогласованного электрического поля в электрическом разряде в воздухе.

95. Понятие самосогласованного электрического поля с объёмным зарядом на примере математического описания распространения лавины электронов в воздухе. Способы конечно-разностной аппроксимации производной, порядок

умножители. Принцип работы, характеристики. Электронно-оптические преобразователи. Нетрадиционные способы измерения напряжения и тока.

77. Электромагнитные помехи при измерениях в лабораториях высоких напряжений и способы их устранения. Регистрация сигналов. Современные цифровые регистраторы и их возможности.

78. Электрофизические установки высокого напряжения. Ускорители макротел. Рельсотроны, индукционные ускорители. Мощные ускорители элементарных частиц (протонов, электронов). Формирование и ускорение электронных пучков. Источники питания исследовательских термоядерных установок. Генераторы рентгеновских, сверхвысокочастотных и сверхширокополосных импульсов. Источники питания мощных лазеров.

79. Направления применения высоких напряжений и сильных токов в технологических процессах. Роль электротехнологий в промышленном производстве и их место среди традиционных технологических процессов.

80. Характеристика аэрозольных систем. Зарядка аэрозольных частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Сопротивление среды движению частиц. Числа Рейнольдса и Стокса. Электрическая и механическая подвижности частиц. Осаждение частиц. Эффективность осаждения частиц из ламинарного и турбулентного потока.

81. Процессы на осадительном электроде. Силы адгезии частиц к электроду. Поведение отдельно взятой частицы в электрическом поле и при коронном разряде. Характеристики порошкового слоя. Поведение слоя частиц на электроде в электрическом поле коронного разряда. Зарядка и разрядка слоя на электроде. Обратная корона. Время возникновения обратной короны. Сила, действующая на слой в электрическом поле коронного разряда. Влияние слоя на вольт-амперную характеристику коронного разряда.

82. Коллективные процессы в аэрозольных системах. Электростатическое рассеяние монодисперсного аэрозоля. Влияние концентрации частиц на характеристики коронного разряда. Движение частиц по силовым линиям электрического поля. Движение частиц поперек силовых линий. Характеристики полидисперсного аэрозоля.

83. Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей. Очистка газов от аэрозольных частиц электрофильтрами. Конструкция электрофильтров. Степень очистки газов в электрофильтрах. Особенности определения эффективности осаждения в электрофильтрах. Способы борьбы с обратной короной в электрофильтрах.

84. Электросепарация. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Трибоэлектростатическая сепарация. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация.

85. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электроокраска. Электропневмораспылители. Нанесение порошковых покрытий. Электропечать. Электрофотография. Электрокаплеструйная печать.

86. Обезвоживание нефтепродуктов. Физические основы обезвоживания нефтепродуктов. Конструкция промышленных технологических установок для

её точности и предъявляемые к ней требования. Примеры разностных аппроксимаций уравнений Пуассона и неразрывности потока заряженных частиц. Явная и неявная схемы первого порядка точности для уравнения неразрывности. Конечно-объёмные схемы второго порядка точности для уравнения неразрывности.

96. Постановка задачи расчета магнитного поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики. Магнитные поля систем проводников с током. Магнитные поля в пролете воздушных линий электропередачи.

97. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики. Источники электромагнитных воздействий на объектах электроэнергетики. Чувствительные к электромагнитным воздействиям оборудование и системы на объектах электроэнергетики. Каналы передачи помех. Кондуктивные и полевые помехи. Особенности распространения помех на объектах электроэнергетики.

98. Биологические проблемы обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики.

99. Нормативная база обеспечения ЭМС на объектах электроэнергетики. Закон об ЭМС. Нормативные документы по обеспечению ЭМС при проектировании, строительстве и эксплуатации энергетических объектов. Помехоустойчивость оборудования и систем. Допустимые уровни электромагнитных помех на объектах электроэнергетики. Допустимые электрические и магнитные поля для населения и персонала на рабочих местах.

100. Методы и средства защиты от электромагнитных воздействий вторичного оборудования и систем связи. Способы и средства защиты от помех, ограничение уровня помех. Компонировка энергетического объекта с учетом требований по ЭМС. Выполнение заземляющих устройств, молниезащиты и кабельной канализации на объектах электроэнергетики. Устройства ограничения перенапряжений. Экранирование вторичного оборудования и систем на объектах электроэнергетики.

101. Методы и средства определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики. Расчетно-экспериментальное определение наибольших уровней электромагнитных воздействий. Программы для расчета уровней электромагнитных воздействий. Измерительные комплексы и технические средства для имитации электромагнитных воздействий. Анализ результатов измерений электромагнитной обстановки.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. И.М. Бортник, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин, Ю.Н. Вершинин, А.В. Калинин, Г.С. Кучинский, В.П. Ларионов, А.Е. Монастырский, А.В. Орлов, А.Г. Темников, Ю.С. Пинталь, Ю.Г. Сергеев, М.В. Соколова, С.И. Хренов, Л.А. Дарьян. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник, под ред. И.П. Верещагина. – 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 732 с.

2. Бортник И.М., Белогловский А.А., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н., Калинин А.В., Кучинский Г.С., Ларионов В.П., Монастырский А.Е., Орлов А.В., Пинталь Ю.С., Сергеев Ю.Г., Соколова М.В., Темников А.Г. Электрофизические основы техники высоких напряжений. Учебник для вузов / Под ред. Верещагина И.П. – М: Издательский дом МЭИ, 2010. – 704 с.

3. А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов, А.В. Жуков, И.П. Кужекин, А.Г. Темников. Электромагнитная совместимость и молниезащита в современной электроэнергетике: учебн. пособие, под ред. Б.К. Максимова. – 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 688 с.

4. А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.Г. Темников, А.В. Жуков. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике. Учебник для вузов, 2-е издание, исправл. и дополн. – М.:

Издательский дом МЭИ, 2011. – 544 с.

5. Высоковольтные электротехнологии. Учеб. пособие / О.А. Аношин, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; Под ред. И.П. Верещагина. М.: – Изд-во МЭИ, 2000.

6. М.В. Соколова, С.А. Кривов, Л.Л. Черненский, В.В. Воеводин, А.В. Лазукин, Н.Ю. Лысов, А.Г. Темников. Поверхностный электрический разряд в электротехнологических устройствах и изоляционных конструкциях: учебн. пособие, - 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Издательство МЭИ, 2018. – 128 с.

7. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие / И.П. Белоедова, Ю.В. Елисеев, Е.С. Колечицкий и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

8. Е. Куффель, В. Цаенгль, Дж. Куффель. Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 520 с.

9. Электрические сети сверх- и ультравысокого напряжения ЕЭС России. Теоретические и практические основы. В 3-х томах / общ. ред. А. Ф. Дьяков. – М.: Энергопрогресс, 2012. - ISBN 978-5-905918-04-9.

10. Корявин, А. Р. Электрическая прочность внешней изоляции: учебное пособие – М.: Изд-во МЭИ, 2018. – 224 с.

Дополнительная литература:

11. Физико-математические основы техники высоких напряжений. Учеб. пособие для вузов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, Е.С. Колечицкий и др.; Под ред. К.П. Кадомской. – М.: Энергоатомиздат, 1995.

12. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.

13. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Издательство Интеллект, 2009.

14. А.Г. Темников, И.П. Верещагин, С.А. Кривов, Г.З. Мирзабекян, В.В. Панюшкин. Сборник задач по высоковольтным электротехнологиям: Учебное пособие / Под ред. Темникова А.Г. - М.: Издательство МЭИ, 2004. – 64 с.

15. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учеб. для вузов / Под ред. В.П. Ларионова. 3-е изд., перераб. и дополн. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

16. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учеб. для вузов / М.: Энергоатомиздат, 1987.

17. Авруцкий В.А., Кужекин П.П., Чернов Е.Н. Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента. Учеб. пособие / Под ред. И.П. Кужекина. – М.: МЭИ, 1983.

18. Лабораторные работы по технике высоких напряжений. Учеб. пособие / М.А. Аронов, В.В. Базуткин, и др. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

19. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. Учебное пособие для вузов / И.П.Верещагин, В.И.Левитов, Г.З.Мирзабекян, М.П. Пашин. - М.:

Энергия, 1974.

20. А. Шваб. Измерения на высоком напряжении. Измерительные приборы и способы измерений. Изд. 2-е. Пер. с нем. И.П. Кужекина. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

21. Самарский А.А. Введение в численные методы: учебное пособие для вузов. - М.: Лань, 2005.

22. Хаушильд, В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений. : пер. с нем. / В. Хаушильд, В. Мош ; Переводчик М. К. Ярмаркин . – Ленинград : Энергоатомиздат, 1989 . – 311 с.

23. Ограничители перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ : Методическое и справочное пособие / М. А. Аронов, и др. – М. : Знак, 2001 . – 240 с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому
регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>
Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Заведующий кафедрой

Техники и электрофизики высоких напряжений

к.т.н., доцент

А.Г. Темников

Директор ИЭЭ

к.т.н., доцент

В.Н. Тульский