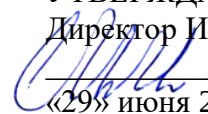


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИШЭ

 А.С. Матвеев
«29» июня 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2020 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Расчёт и конструирование электроизоляционных систем

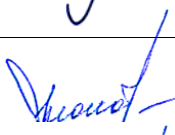
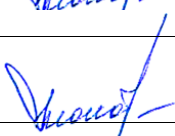
Направление подготовки	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника		
Образовательная программа	Электроизоляционные системы, высоковольтная и кабельная техника		
Специализация	Электроизоляционная и кабельная техника		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	2	семестр	3
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции		24
	Практические занятия		24
	Лабораторные занятия		16
	ВСЕГО		64
Самостоятельная работа, ч			152
в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с выделенной промежуточной аттестацией (курсовой проект, курсовая работа)			Курсовой проект
ИТОГО, ч			216

Вид промежуточной аттестации

Экзамен	Обеспечивающее подразделение	ОЭЭ ИШЭ
----------------	------------------------------	----------------

И.о. заведующего кафедрой -
руководителя отделения на
правах кафедры
Руководитель ООП

Преподаватель

	А.С. Ивашутенко
	А.П. Леонов
	А.П. Леонов

2020 г

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.4 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции (СУОС)	Наименование компетенции (СУОС)	Индикаторы достижения компетенции		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код	Наименование	Код	Владение опытом
ОПК (У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	И. ОПК (У)-2.1	Выбирает необходимый метод исследования для решения поставленной задачи	ОПК (У)-2.1В1	Владеет опытом применения пакетов прикладных программ для создания моделей электроизоляционных конструкций и систем
				ОПК (У)-2.1У1	Умеет создавать цифровую модель из отдельных компонентов
				ОПК (У)-2.1З1	Знает принципы и методы создания цифровых моделей электроизоляционных конструкций и систем
ПК(У)-3	Способен разрабатывать новые и модифицировать существующие конструкции кабельных изделий, электроизоляционные и высоковольтные системы	И.ПК(У)-3.1	Осуществляет решение задач по разработке и модификации существующих конструкций кабельных изделий, электроизоляционных и высоковольтных систем	ПК(У)-3.1У1	Умеет рассчитывать конструктивные и эксплуатационные параметры, проводить электрический и тепловой расчет электроизоляционных, высоковольтных систем и кабельных изделий

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к блоку 1 «Дисциплины» учебного плана ООП: вариативная часть. Вариативный междисциплинарный профессиональный модуль М1.ВМ3.1.1.1.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД 1	Уметь рассчитывать показатели надежности и безотказности как отдельных структурных элементов, так и изделий в целом	И. ОПК (У)-2.1
РД 2	Уметь использовать современные математические пакеты и программные продукты для решения задач по проектированию систем электрической изоляции	И. ОПК (У)-2.1
РД 3	Применять знания об электрических свойствах материалов для улучшения характеристик моделируемых электротехнических изделий	И.ПК(У)-3.1
РД 4	Оценивать величину тепловых и электрических полей в электроизоляционных конструкциях	И.ПК(У)-3.1

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел 1. Основные положения курса. Принципы моделирования и расчета электрических полей в ЭИС	РД 1, РД 3	Лекции	8
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	16
Раздел 2. Регулирование электрических полей в ЭИК	РД 4	Лекции	2
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	16
Раздел 3. Основы моделирования и расчета ЭИК	РД 1, РД 3	Лекции	4
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	16
Раздел 4. Моделирование и расчет газовой изоляции	РД 1-4	Лекции	2
		Практические занятия	4
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	16
Раздел 5. Моделирование и расчет жидкой изоляции	РД 1-4	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	0
		Самостоятельная работа	16
Раздел 6. Моделирование и расчет твердой и комбинированной изоляции	РД 1-4	Лекции	2
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	16
Раздел 7. Основы теплового расчета ЭИК	РД 1-4	Лекции	0
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	16
Раздел 8. Основы механического и конструктивного расчета в ЭИК	РД 1-4	Лекции	0
		Практические занятия	2
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	16
Раздел 9. Моделирование и расчет надежности ЭИК	РД 3-4	Лекции	4
		Практические занятия	0
		Лабораторные занятия	4
		Самостоятельная работа	24

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Основные положения курса. Принципы моделирования и расчета электрических полей в ЭИС

Основные конструктивные модели ЭИС. Классификация электрических полей, создаваемых электродными системами в ЭИК и методы их исследования. Основные закономерности и свойства электростатических полей. Закон Кулона. Уравнения Максвелла Лапласа и Пуассона. Теорема Гаусса в дифференциальной и интегральной формах. Методы расчета электрических полей в модельных ЭИК. Поле с объемными зарядами. Характеристики поля на границе раздела диэлектрических сред. Аналитические методы расчета простейших электрических полей. Методы эквивалентных зарядов, зеркальных отображений и конформных преобразований. Особенности расчета электрических полей в реальных ЭИК.

Темы лекций:

1. Виды, назначение и конструкция систем электрической изоляции.
2. Основные понятия об электрическом поле в изоляционных конструкциях.
3. Математические методы расчёта электрических полей.
4. Аналитические методы расчёта электрических полей.

Темы практических занятий:

1. Расчет наружной изоляции.
2. Расчет внутренней изоляции

Раздел 2. Регулирование электрических полей в ЭИК
--

Физические принципы конструктивного управления электрическими полями. Подбор радиусов кривизны поверхностей электродов. Применение экранов и их расчет. Принудительное распределение потенциалов, применение барьеров. Градирование изоляции. Применение полупроводящих покрытий. Регулирование поля конденсаторными обкладками.

Темы лекций:

1. Градирование электрической изоляции

Темы практических занятий:

1. Механический расчет изолятора
2. Расчет фарфоровой крышки

Раздел 3. Основы моделирования и расчета ЭИК

Условия работы ЭИК. Электрические воздействия на ЭИК: номинальное и рабочее напряжения, коммутационные и атмосферные перенапряжения, испытательные напряжения грозовых импульсов, кратковременные испытания напряжением промышленной частоты. Температурные условия работы ЭИК. Категории размещения и исполнения ЭИК. Влияние атмосферных загрязнений на внешнюю изоляцию. Степень загрязненности районов и нормированная величина удельной эффективной длины пути утечки тока. Механические нагрузки, ионизирующие излучения, прочие виды воздействия. Технические условия и

расчетное задание. Выбор диэлектрика и определение его толщины. Выбор рабочей напряженности электрического поля.

Темы лекций:

1. Условия работы и факторы старения электрической изоляции.
2. Разработка технической документации для проектирования систем электрической изоляции.

Темы практических занятий:

1. Расчет узла крепления крышки и фланца к корпусу
2. Тепловой расчет изолятора

Раздел 4. Моделирование и расчет газовой изоляции
--

Характеристика газов как электрической изоляции. Высокопрочные газы. Области применения газовой изоляции и требования к ней. Расчет пробивного напряжения воздуха в равномерном, слабо неравномерном и резко неравномерном электрическом поле. Статистические закономерности пробоя воздуха. Моделирование газоразрядных явлений на поверхности твердого диэлектрика. Расчет пробивного напряжения воздуха при разрядах на поверхности твердой изоляции. Образование коронных скользящих разрядов, влияние состояния поверхности на напряжение перекрытия. Сухоразрядное и мокроразрядное напряжения. Длина пути утечки тока и ее зависимость от уровня загрязненности атмосферы.

Темы лекций:

1. Влияние давления и влажности на пробивное напряжение воздуха.

Темы практических занятий:

1. Расчет срока службы
2. Конструктивный расчет

Раздел 5. Моделирование и расчет жидкой изоляции

Разновидности и характеристики изоляционных жидкостей. Природные, минеральные и синтетические изоляционные жидкости, область их применения. Зависимость электрической прочности жидких диэлектриков от наличия примесей, длительности приложения напряжения и т.д. Особенности расчета их пробивного напряжения в слабо неравномерном и резко неравномерном электрическом поле.

Маслобарьерная изоляция, расчет допустимой напряженности электрического поля.

Темы лекций:

1. Перекрытие твердых диэлектриков в изоляционных жидкостях

Темы практических занятий:

1. Расчет экрана.

Раздел 6. Моделирование и расчет твердой и комбинированной изоляции

Выбор материала для конструирования твердой изоляции. Расчет пробивного напряжения, выбор допустимой и испытательной напряженности электрического поля. Расчет напряжения появления коронных и скользящих разрядов. Способы повышения устойчивости твердой изоляции к частичным разрядам, возникновению и развитию треинга. Электрическая прочность и пробивное напряжение комбинированной изоляции. Частичные разряды в комбинированной изоляции и их роль в процессе электрического старения. Выбор допустимых рабочих и испытательных напряженностей электрического поля в комбинированной изоляции. Расчет напряжения появления коронных и скользящих разрядов в комбинированной изоляции. Способы защиты комбинированной изоляции от воздействия внешней среды.

Пример конструирования и расчета проходных изоляторов (вводов) и конденсаторов с комбинированной бумажно-масляной и маслобарьерной изоляцией.

Темы лекций:

1. Конструкция комбинированной изоляции, область ее применения

Темы практических занятий:

1. Расчет маслорасширителя.

Названия лабораторных работ:

1. Исследование распределения потенциалов в слоистой изоляции

Раздел 7. Основы теплового расчета ЭИК

Задачи теплового расчета, расчет тепловыделений в ЭИК при воздействии различных электрических и тепловых нагрузок.

Теплопередача в ЭИК. Конвекция, теплопроводность, излучение. Тепловой закон Ома и его применение при расчетах перепадов температур на отдельных участках ЭИК. Расчет коэффициентов теплоотвода.

Моделирование и расчет тепловых полей в ЭИК. Расчет распределения температуры в ЭИК, определение максимальной температуры, диаграмма тепловой устойчивости ЭИК на примере проходного изолятора (ввода) с комбинированной бумажно-масляной и маслобарьерной изоляцией.

Методы улучшения теплового режима ЭИК. Выбор материалов, устройство теплоотводящих каналов, радиаторов. Применение принудительного охлаждения.

Темы практических занятий:

1. Расчет цилиндрических витых пружин.

Названия лабораторных работ:

1. Градирование изоляции, как метод выравнивания электрического поля в силовых и высоковольтных кабелях

Раздел 8. Основы механического и конструктивного расчета в ЭИК

Типовые конфигурации несущих элементов ЭИК. Требования к механическим свойствам изоляции. Расчет механической прочности основных элементов ЭИК. Механический и конструктивный расчеты на примере проходных изоляторов (вводов).

Темы практических занятий:

1. Расчет механической прочности токопроводящего стержня на растяжение.

Названия лабораторных работ:

1. Определение параметров уравнения надежности электрической изоляции

Раздел 9. Моделирование и расчет надежности ЭИК

Факторы, определяющие надежность ЭИК в процессе эксплуатации. Физические модели надежности электрической изоляции. Частичные разряды и их роль в старении диэлектриков. Основные характеристики и механизм развития частичных разрядов на постоянном и переменном напряжениях. Процесс разрушения органической изоляции частичными разрядами. Взаимосвязь интенсивности частичных разрядов с допустимой напряженностью электрического поля и временем до пробоя. Роль частичных разрядов в старении неорганической изоляции. Изменение тока со временем ее старения. Механизм электролитического старения.

Математические модели надежности ЭИК. Закономерности электрического старения диэлектриков. Уравнения кривой жизни изоляции, основанные на эмпирических закономерностях. Термофлуктуационная теория разрушения электрической изоляции. Уравнение надежности электрической изоляции и методика расчета времени до пробоя при заданной вероятности безотказной работы.

Темы лекций:

1. Определение электрических характеристик частичного разряда в слоистом диэлектрике.
2. Вероятностная модель надёжности электроизоляционной конструкции.

Названия лабораторных работ:

1. Определение параметров функции распределения вероятностей пробивных напряженностей поля

Тематика курсовых проектов:

- Высоковольтные вводы с бумажно-масляной изоляцией на напряжение 35-750 кВ.
- Высоковольтные вводы с комбинированной бумажно-масляной изоляцией на напряжение 35-750 кВ.
- Высоковольтные вводы с масло-барьерной изоляцией на напряжение 20-220 кВ.
- Высоковольтные вводы с бумажно-бакелитовой изоляцией на напряжение 35-500 кВ.
- Высоковольтные вводы с бумажно-эпоксидной изоляцией на напряжение 35-500 кВ.

- Высоковольтные вводы с бумажно-плёночной изоляцией на напряжение 35-500 кВ.
- Расчет косинусного конденсатора на номинальное напряжение 10 кВ с бумажно-масляной изоляцией.
- Расчет косинусного конденсатора на номинальное напряжение 6,3 кВ с комбинированной изоляцией.
- Расчет электротермического конденсатора на номинальное напряжение 10 кВ с бумажно-масляной изоляцией.
- Расчет электротермического конденсатора на номинальное напряжение 6,3 кВ с комбинированной бумажно-плёночной изоляцией.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Подготовка к лабораторным работам, к практическим занятиям;
- Выполнение курсовой работы;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям;

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 Учебно-методическое обеспечение

Основная литература:

1. Меркулов В.И. Расчет и конструирование электроизоляционных систем и электротехнических изделий: методические указания / В. И. Меркулов — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 89 с. — Библиография: с 87. — Алфавитный указатель: с. 87-88. — ISBN 5-98298-223-7.
2. Богородицкий Н. П. Электротехнические материалы: учебник / Н. П. Богородицкий, В. В. Пасынков, Б. М. Тареев. — 8-е изд., перераб. и доп. — Екатеринбург: Юланд, 2016. — 304 с. — Библиография: с. 299. — Алфавитный указатель: с. 299-302. — ISBN 5-283-03806-3.
3. Сипайлова, Н. Ю. Вопросы проектирования электрических аппаратов : учебное пособие / Н. Ю. Сипайлова. — Томск : ТПУ, 2014. — 168 с. — Книга из коллекции Лань — Инженерно-технические науки. — URL: <https://e.lanbook.com/book/62929> (дата обращения: 21.03.2020).

Дополнительная литература:

1. Меркулов В.И. Математическое моделирование в электроизоляционных конструкциях: Методические указания к выполнению лабораторных работ. — ТПУ, Томск, 2001. — 56 с.
2. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. - М.: Энергоиздат, 1981. — 392 с.
3. Кучинский Г.С. и др. Изоляция установок высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1987. — 368 с.
4. Синявский В.Н. Расчет, конструирование и испытания изоляторов высокого напряжения. — М.: Энергия, 1985. — 198 с.
5. Меркулов В.И. Расчет и конструирование электроизоляционных систем и электротехнических изделий: методические указания / В.И.Меркулов, Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. — 89 с.

6.2 Информационное и программное обеспечение

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; Design Science MathType 6.9 Lite; Document Foundation LibreOffice; Google Chrome; MathWorks MATLAB Full Suite R2017b; PTC Mathcad 15 Academic Floating

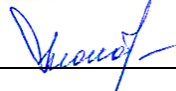
7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, 326	Комплект оборудования для проведения занятий: Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 44 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. Google Chrome; Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic;
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, 325	Комплект оборудования для проведения занятий: Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 28 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. Google Chrome; Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic;
3.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, 306	Комплект оборудования для проведения занятий: Доска аудиторная настенная - 2 шт.; Комплект учебной мебели на 50 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. Google Chrome; Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic;
4.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, 312	Доска аудиторная настенная - 2 Комплект оборудования для проведения занятий: шт.; Комплект учебной мебели на 56 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. Google Chrome; Microsoft Office 2013 Standard Russian Academic;
5.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, 126	Комплект оборудования для проведения занятий: Комплект учебной мебели на 16 посадочных мест; Компьютер - 20 шт.

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы «Электроизоляционные системы, высоковольтная и кабельная техника» по специализации «Электроизоляционная и кабельная техника» направления 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (прием 2020 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	Подпись	ФИО
Ассистент ОЭЭ		С.В. Колесников
Доцент ОЭЭ		А.П. Леонов

Программа одобрена на заседании отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ (протокол от 22.05.2020 г. № 5).

И.о. заведующего кафедрой - руководителя отделения
на правах кафедры ОЭЭ ИШЭ, к.т.н.



/А.С. Ивашутенко/