

Утверждаю
Директор ЭНИН

 В.М. Завьялов
«24»  2016 г.

БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Расчет и конструирование электроизоляционных систем

Направление ООП 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки

Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника

Квалификация (степень) бакалавр

Базовый учебный план приема 2016 г.

Курс 4 семестр 8

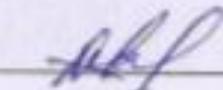
Количество кредитов 6

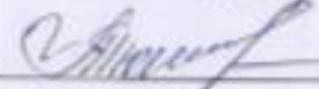
Код дисциплины Б1.ВМ5.10.4

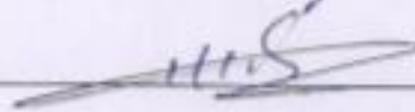
Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч	27
Практические занятия, ч	22
Лабораторные занятия, ч	16
Аудиторные занятия, ч	66
Самостоятельная работа, ч	150
ИТОГО, ч	216

Вид промежуточной аттестации – экзамен, дифзачет КП

Обеспечивающее подразделение кафедра ЭКМ

Заведующий кафедрой  Гарганеев А.Г.

Руководитель ООП  Тютеева П.В.

Преподаватель  Меркулов В.И.

2016 г.

1. Цели освоения дисциплины

Основными целями дисциплины являются: формирование у обучающихся знаний об общих закономерностях электрических и физических процессов, происходящих в диэлектрических материалах под воздействием электрического поля, связанных с разработкой, расчетом, конструированием и изготовлением электроизоляционных изделий.

В результате освоения данной дисциплины обеспечивается достижение целей **Ц1**, **Ц4** и **Ц5** основной образовательной программы «Электроэнергетика и электротехника»; приобретенные знания, умения и навыки позволят подготовить выпускника:

- к проектно-конструкторской деятельности, способного к расчету, анализу и проектированию электроизоляционных систем с использованием современных средств автоматизации проектных разработок (**Ц1**);
- производственной деятельности в сфере производства, ремонта, эксплуатации, монтажа и наладки, сервисного обслуживания и испытаний, диагностики и мониторинга состояния изоляции различных электротехнических систем (**Ц4**);
- к самостоятельному обучению и освоению новых знаний и умений для реализации своей профессиональной карьеры (**Ц5**).

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Расчет и конструирование электроизоляционных систем и электротехнических изделий» относится к вариативной части междисциплинарного профессионального модуля вариативных дисциплин.

Дисциплине «Расчет и конструирование электроизоляционных систем и электротехнических изделий» предшествует освоение дисциплин (ПРЕРЕКВИЗИТЫ):

- Основы электроизоляционной и кабельной техники

Содержание разделов дисциплины согласовано с содержанием дисциплин, изучаемых параллельно (КОРЕКВИЗИТЫ):

- Технологические процессы в ЭИТ

3. Результаты освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т. ч. в соответствии с ФГОС (представлено в Таблице 1):

Таблица 1

Декомпозиция планируемых результатов обучения

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
P1	31.1	основных понятий и содержание классических разделов высшей математики (аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, теорий вероятности, математической статистики, функций комплексного переменного и численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений)	У1.1	применять методы математического анализа при проведении научных исследований и решении прикладных задач в профессиональной сфере	В1.1	использования современных технических средства и программных продуктов (MathCAD, Excel) для расчета изоляции электроизоляционных изделий
	31.2	основных физических явлений и законов механики, электротехники, органической и неорганической химии теплотехники, оптики, ядерной физики и их математическое описание	У1.2	выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах различной физической природы и выполнять применительно к ним простые технические расчеты	В1.2	анализа физических явлений в электрических устройствах, объектах и системах
P2	32.1	универсальных методов инженерного анализа (системный, структурный, функциональный, статистический, кластерный, ранговый, корреляционный)	У2.1	использовать методы анализа, моделирования и расчетов режимов сложных систем, изделий, устройств и установок электроэнергетического и электротехнического назначения с использованием современных компьютерных технологий и специализированных программ	В2.1	формирования допущений для упрощения анализа сложных систем и процессов, использования методов имитационного моделирования
	32.3	состояния и современных тенденций развития технического прогресса в области электротехники и электроэнергетики в индустриально развитых странах)	У2.2	осуществлять подготовку исходных данных для выработки стратегии развития предприятия (организации, компании и т.п.)	В2.2	обоснования итоговых рекомендаций и разработки технической документации при решении задач исследовательского анализа
P3	33.1	стадий ведения проектных работ изделий, устройств, объектов, систем и состава проектной документации	У3.1	использовать нормативные документы, регламентирующие проектные разработки изделий, устройств, объектов, систем электротехнического и электроэнергетического назначения	В3.1	работы с документацией, стандартами, патентами и другими источниками отечественной и зарубежной научно-технической информации

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
	33.2	(в зависимости от профиля подготовки): технических условий проектных разработок простых конструкций электротехнических устройств (микропроцессорных и гибридных электрических аппаратов; аппаратов автоматики и управления; конденсаторных установок и кабельных изделий, электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока и др.); объектов электроэнергетики (электрических станций и подстанций; схем электроснабжения городов и предприятий, электроэнергетических сетей и систем, релейной защиты и автоматики, электрооборудования высокого напряжения)	У3.2	учитывать экологические факторы воздействия объектов электроэнергетики на окружающую среду и обслуживающий персонал в проектных разработках	В3.2	(в зависимости от профиля подготовки в рамках выполнения курсовых проектов и работ): проектных разработок простых конструкций электротехнических устройств (микропроцессорных и гибридных электрических аппаратов; аппаратов автоматики и управления; конденсаторных установок и кабельных изделий, электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока и др.); объектов электроэнергетики (электрических станций и подстанций; схем электроснабжения городов и предприятий, электроэнергетических сетей и систем, релейной защиты и автоматики, электрооборудования высокого напряжения)

В результате освоения дисциплины «Расчет и конструирование электроизоляционных систем и электротехнических изделий» студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

Планируемые результаты освоения дисциплины

№ п/п	Результат
РД 1	Знание основных физических явлений и законов электротехники и их математическое описание, владение опытом использования современных технических средства и программных продуктов (MathCAD, Excel) для расчета изоляции электроизоляционных изделий
РД 2	Знание универсальных методов инженерного анализа, состояния и современных тенденций развития технического прогресса в области электротехники и электроэнергетики в индустриально развитых странах
РД 3	использовать нормативные документы, регламентирующие проектные разработки изделий, устройств, объектов, систем электротехнического и электро-энергетического назначения

4. Структура и содержание 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.

Практические занятия:

Тема № 1. Составление технического задания на проектирование. Уточнение технических условий

Лабораторная работа 1. Исследование электрического поля в электроизоляционных конструкциях путем моделирования в проводящей среде и численными методами

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.

Практические занятия:

Тема № 2. Выбор материала диэлектрика, рабочей напряженности поля. Определение толщины изоляции

Лабораторная работа 2. Влияние экрана на распределение напряженности электрического поля в опорных изоляторах.

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.

Практические занятия:

Тема № 3. Расчет наружной изоляции. Определение числа и размеров ребер

Тема № 4. Расчет внутренней изоляции. Определение длин и радиусов уравнивающих обкладок.

Лабораторная работа 3. Определение параметров функции распределения вероятностей пробивных напряженностей поля.

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. Влияние давления и влажности на пробивное напряжение воздуха. 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.

Практические занятия:

Тема № 5. Анализ распределения поля в конструкции. Разработка метода регулирования (выравнивания) поля

Лабораторная работа 4. Влияние числа элементов стержневых изоляторов на напряжение перекрытия

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.

Перекрытие твердых диэлектриков в изоляционных жидкостях. Маслобарьерная изоляция, расчет допустимой напряженности электрического поля.

Практические занятия:

Тема № 6. Тепловая схема замещения теплопередачи. Тепловой закон Ома.

Лабораторная работа 5. Исследование распределения потенциалов в слоистой изоляции ЭИК

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.

Конструкция комбинированной изоляции, область ее применения. 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.

Практические занятия:

Тема № 7. Критерии теплового подобия. Определение температуроперепада в воздухе.

Лабораторная работа 6. Исследование распределения потенциалов по поверхности опорных

изоляторов

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 маслобумажной изоляцией.

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

Практические занятия:

Тема № 8. Механический расчет узла крепления фарфоровой крышки к фланцу.

Лабораторная работа 7. Исследование распределения напряженности электрического поля при градировании изоляции

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).

Практические занятия:

Тема № 9. Механический расчет маслорасширителя.

Тема № 10. Расчет тепловой устойчивости электроизоляционной конструкции.

Лабораторная работа 8. Определение параметров уравнения "кривой жизни" 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.

Практические занятия:

Тема № 11. Оценка срока службы изоляции на основе теоретических представлений.

Тема № 12. Конструктивные расчеты.

5. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

5.1. Виды и формы самостоятельной работы:

Текущая самостоятельная работа, направленная на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений включает:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуальному заданию;
- опережающую самостоятельную работу;
- выполнение домашних заданий;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;

- подготовку к лабораторным работам, к практическим занятиям;
- подготовку к контрольным работам, зачету, экзамену;

Творческая проблемно – ориентированная самостоятельная работа (ТСР) предусматривает:

- поиск, анализ, структурирование и презентацию информации;
- углубленное исследование вопросов по тематике лабораторных работ.

5.2. Контроль самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов и качество освоения отдельных модулей дисциплины осуществляется посредством:

- защиты лабораторных работ в соответствии с графиком выполнения;
- защиты рефератов по выполненным обзорным работам и проведенным исследованиям;
- представления выполненного материала по курсовой работе (домашних заданий);
- результатов ответов на контрольные вопросы (контрольные вопросы имеются в электронной форме и в распечатанном виде);
- опроса студентов на практических занятиях;
- защиты курсового проекта (работы).

Оценка текущей успеваемости студентов определяется в баллах в соответствии рейтингом – планом, предусматривающим все виды учебной деятельности.

6. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения Дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Выполнение и защита лабораторных работ и практических заданий	РД1
Защита индивидуальных заданий	РД3
Презентации по тематике исследований во время проведения конференц-недели	РД2
Тестирование (контрольные работы)	РД1
Защита курсового проекта (работы)	РД3
Экзамен	РД1, РД2, РД3

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрены следующие средства:

- список контрольных вопросов по отдельным темам и разделам (приведен в «Приложении»);
- перечень тем рефератов по наиболее проблемным задачам и вопросам теоретического и практического плана изучаемой дисциплины (представлены в п. 6.3);
- комплект задач для закрепления теоретического материала;
- методические указания к лабораторным работам и отчеты по результатам их выполнения;
- задания по курсовой работе (домашним заданиям);

6.1. Требования к содержанию экзаменационных вопросов

Экзаменационные билеты включают три теоретических вопроса.

6.2. Примеры экзаменационных вопросов

1. Расчет напряженности поля плоского конденсатора на основе дифференциальных уравнений.
2. Особенность электрического расчета ЭИК с жидким диэлектриком. Роль барьеров.
3. Тепловой расчет пластинчатых конденсаторов с неорганической изоляцией.

6.3. Перечень тем рефератов

- Разработка и конструирование высоковольтных вводов на основе полимерных диэлектриков.
- Современные методы диагностики частичных разрядов в высоковольтных электроизоляционных конструкциях без снятия напряжения.
- Современные методы выравнивания электрического поля в высоковольтных электроизоляционных конструкциях.
- Теоретические подходы при расчете надежности высоковольтных электроизоляционных конструкций.

7. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 88/од от 27.12.2013 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

8. Учебно – методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная

1. Меркулов В.И. Расчет электроизоляционных конструкций [Электронный ресурс]: учебное пособие /В.И.Меркулов, Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 112 с.
2. 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.

Дополнительная

3. Меркулов В.И. Математическое моделирование в электроизоляционных конструкциях: Методические указания к выполнению лабораторных работ. – ТПУ, Томск, 2001. – 56 с.
4. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. - М.: Энергоиздат, 1961. – 372 с.
5. Кучинский Г.С. и др. Изоляция установок высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
6. Колечитинский Е.С. Расчет электрических полей устройства высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 168 с.
7. Синявский В.Н. Расчет, конструирование и испытания изоляторов высокого напряжения. – М.: Энергия, 1985. – 198 с.
8. Афанасьев В.В. и др. Электрические аппараты высокого напряжения. Атлас конструкций. – Л.: Энергия, 1977. – 184 с.
9. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения. Под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
10. ГОСТ 1516.1-76, Электрооборудование переменного тока на напряжение от 3 до 500 кВ. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 61 с.

7. Синявский В.Н. Расчет, конструирование и испытания изоляторов высокого напряжения. – М.: Энергия, 1985. – 198 с.
8. Афанасьев В.В. и др. Электрические аппараты высокого напряжения. Атлас конструкций. – Л.: Энергия, 1977. – 184 с.
9. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения. Под ред. В.В. Афанасьева. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 544 с.
10. ГОСТ 1516.1-76, Электрооборудование переменного тока на напряжение от 3 до 500 кВ. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 61 с.
11. Шишенок Н.А. и др. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – М.: Изд-во "Советское радио", 1978. – 284 с.
12. Сканин Г.И. Физика диэлектриков. – М.: ГИФМЛ, 1958. – 907 с

Программное обеспечение и Internet –ресурсы

<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m277.pdf>. Учебное пособие по курсу «Расчет электроизоляционных конструкций»

9. Материально – техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, ауд., количество установок
1	Лаборатория моделирования электроизоляционных конструкций	8 корпус, 229 ауд., 4 установок
3	Компьютерный класс	8 корпус, 126 ауд., 12 компьютеров

Лекции читаются в учебных аудиториях с использованием технических средств; материал лекций представлен в виде презентаций в *Power Point*;

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению ООП 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» подготовки бакалавров; профиль – «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника»

Программа одобрена на заседании кафедры «Электромеханические комплексы и материалы» (протокол № 63 от 19.02.2016 г.)

Авторы:

В.И. Меркулов, к.т.н., доцент



Рецензент:

А.П. Леонов, к.т.н., доцент

