

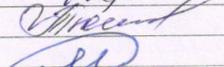
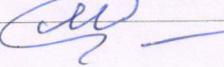
УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ЭНИН  
 Завьялов В.М.  
 « 30 » 06 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
 БАЗОВАЯ**

**Расчет и конструирование электроизоляционных систем и  
 электротехнических изделий**

Направление ООП	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника		
Профиль подготовки	Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника		
Квалификация	Бакалавр		
Базовый учебный план приема	2017 год		
Курс	4	семестр	8
Трудоемкость в кредитах	6		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения		
Лекции, ч	27		
Практические занятия, ч	22		
Лабораторные занятия, ч	16		
Контактная (аудиторная) работа (ВСЕГО), ч	66		
Самостоятельная работа, ч	150		
ИТОГО, ч	216		

Вид промежуточной аттестации	Экзамен Дифзачет	Обеспечивающее подразделение	Кафедра ЭКМ
------------------------------	---------------------	------------------------------	----------------

Заведующий кафедрой Руководитель ООП Преподаватель		Гаргансеев А.Г.
		Тютеева П.В.
		Меркулов В.И.

2017г.

## **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного состава компетенций (результатов освоения) для подготовки к профессиональной деятельности (в соответствии с п. 3).

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Теория электромеханического преобразования энергии» относится к блоку 1 «Дисциплины» учебного плана ООП: вариативная часть. Вариативный междисциплинарный профессиональный модуль.

### **Пререквизиты:**

1. Электротехническое материаловедение

### **Кореквизиты:**

1. Основы электроизоляционной и кабельной техники
2. Технологические процессы в электроизоляционной технике
3. Математическое моделирование в электроизоляционной кабельной и конденсаторной технике

## **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины «Расчет и конструирование электроизоляционных систем и электротехнических изделий» направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов освоения ООП), в т.ч. в соответствии с ФГОС ВО и профессиональными стандартами (табл.1):

Таблица 1

## Составляющие результатов освоения ООП

Результаты освоения ООП	Компетенции по ФГОС, СУОС	Составляющие результатов освоения					
		Код	Владение опытом	Код	Умения	Код	Знания
Р7 Применение фундаментальных знаний.	УК-1, УК-2, УК-3, УК-4, ОПК-1, ОПК-2	В.7.1	методов математического и физического моделирования режимов, процессов, состояний объектов электроэнергетики и электротехники	У.7.1	применять методы математического анализа при проведении научных исследований и решении прикладных задач в профессиональной сфере	З.7.1	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)
		В.7.2	анализа физических явлений в электрических устройствах, объектах и системах				
Р8. Инженерный анализ.	УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3 УК-2, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3	В.8.1	формирования допущений для упрощения анализа сложных систем и процессов, использования методов имитационного моделирования	У.8.1	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	З.8.1	универсальных методов инженерного анализа (системный, структурный, функциональный, статистический, кластерный, ранговый, корреляционный)
		В.8.2	обоснования итоговых рекомендаций и разработки технической документации при решении задач исследовательского анализа				
Р11. Инженерная практика.	ОПК-2, ОПК-3, ПК-11, ПК-13, ПК-18	В.11.1	использования прикладных программ и средствами автоматизированного проектирования при решении инженерных задач электроэнергетики и электротехники	У.11.1	рассчитывать режимы работы электроэнергетических и электротехнических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических и электротехнических объектов	З.11.1	инструментария для решения задач проектного и исследовательского характера в сфере профессиональной деятельности по электроэнергетике и электротехнике

В результате освоения дисциплины студентом должны быть достигнуты следующие результаты (табл. 2):

Таблица 2

*Планируемые результаты обучения по дисциплине*

№ п/п	Результат
РД7	Опыт использования современных математических пакетов и программных продуктов для решения задач по проектированию систем электрической изоляции
РД8	Умение анализировать фактические явления в объектах электроэнергетики и электротехники, формировать допущения при анализе объектов
РД11	Обосновывать рекомендации и разрабатывать техническую документацию с целью подтверждения результатов исследования

#### **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 напря-

женностей 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 маслобарьерной 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 самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в видах и формах, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

### *Основные виды и формы самостоятельной работы*

<b>Виды самостоятельной работы</b>	<b>Объем времени, ч</b>
Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса	20
Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку	25
Поиск, анализ, структурирование и презентация информации	10
Выполнение домашних заданий, расчетно-графических работ и домашних контрольных работ	20
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	25
Выполнение курсовой работы или проекта, работа над междисциплинарным проектом	25
Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме	15
Подготовка к контрольной работе и коллоквиуму, к зачету, экзамену	10

## **6. Оценка качества освоения дисциплины**

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации студентов Томского политехнического университета».

Максимальное количество баллов по дисциплине в семестре – 100 баллов, в т.ч.:

- в рамках текущего контроля – 60 баллов,
- за промежуточную аттестацию (экзамен) – 40 баллов.

Максимальное количество баллов за выполнение курсового проекта в семестре – 100 баллов, в т.ч.:

- в рамках текущего контроля – 40 баллов,
- за промежуточную аттестацию (защиту) – 60 баллов.

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам оценочных мероприятий.

Оценочные мероприятия текущего контроля по разделам и видам учебной деятельности приведены в Приложении «Календарный рейтинг-план изучения дисциплины», «Календарный рейтинг-план выполнения курсового проекта».

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **7.1 Методическое обеспечение**

Основная литература:

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

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C217473>

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.

<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2010/m214.pdf>

3. Косенко И.И. Моделирование и виртуальное прототипирование : учебное пособие / И. И. Косенко [и др.]. — Москва: Инфра-М Альфа-М Уникум Сервис, 2015. — 176 с.: ил.. — Технологический сервис. —Магистратура. — Библиогр.: с. 174.. — ISBN 978-5-98281-280-3. — ISBN 978-5-16-005167-3.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C292846>

Дополнительная литература:

1. Меркулов В.И. Математическое моделирование в электроизоляционных конструкциях: Методические указания к выполнению лабораторных работ. – ТПУ, Томск, 2001. – 56 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C46065>

2. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. - М.: Энергоиздат, 1981. – 392 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C33856>

3. Кучинский Г.С. и др. Изоляция установок высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C34081>

4. Синявский В.Н. Расчет, конструирование и испытания изоляторов высокого напряжения. – М.: Энергия, 1985. – 198 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C69444>

## 7.2 Информационное обеспечение

Используемое лицензионное программное обеспечение (в соответствии с Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ<sup>1</sup>):

1. Microsoft office

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Основное материально-техническое обеспечение дисциплины представлено в табл. 4.

---

<sup>1</sup> - <http://portal.tpu.ru:7777/standard/design/samples/Tab5>

Таблица 4

## Материально-техническое обеспечение дисциплины

Расчет и конструирование электроизоляционных систем	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий: проектор – 1 шт., моноблок – 1 шт., экран – 1 шт.	634034 Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, Учебный корпус №8, аудитория 312	Оперативное управление	Свидетельство о государственной регистрации права, серия 70-АВ №587267 от 14.07.2014 г.	Microsoft Word; Microsoft Excel; MathCAD
	Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий: Компьютерный класс: Компьютер – 15 шт., сетевой коммутатор	634034 Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, Учебный корпус №8, аудитория 121	Оперативное управление	Свидетельство о государственной регистрации права, серия 70-АВ №587267 от 14.07.2014 г.	Microsoft Word; Microsoft Excel; MathCAD
	Учебная аудитория для проведения практических занятий: Компьютерный класс: Компьютер – 15 шт., сетевой коммутатор	634034 Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, Учебный корпус №8, аудитория 119	Оперативное управление	Свидетельство о государственной регистрации права, серия 70-АВ №587267 от 14.07.2014 г.	Microsoft Word; Microsoft Excel; MathCAD
	Аудитория для самостоятельной работы: компьютер – 32 шт.	634034 Томская область, г. Томск, Усова улица, 7, Учебный корпус №8, аудитория 127	Оперативное управление	Свидетельство о государственной регистрации права, серия 70-АВ №587267 от 14.07.2014 г.	Microsoft Word; Microsoft Excel; MathCAD

Базовая рабочая программа составлена на основе Общей характеристики ООП ТПУ по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (приема 2017 г.).

Программа одобрена на заседании кафедры ЭКМ (протокол № 70 от « 26 » мая 2017 г.).

Автор:  
Доцент кафедры ЭКМ  /Меркулов В.И./  
подпись

Рецензент:  
Ассистент кафедры ЭКМ  /Супуева А.С./  
подпись