

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня

2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.09.02 Электротехнические материалы и изделия

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Моделирование процессов исследования, производства и эксплуатации электротехнических материалов и изделий»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.2

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа

84 час – самостоятельная работа,

18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утверждённого приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 года №878, и паспорта специальности 05.09.02 Электротехнические материалы и изделия номенклатуры специальностей научных работников, утверждённой приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. №59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является освоение методов и средств моделирования процессов, исследования, производства и эксплуатации электротехнических материалов и изделий.

Задачами дисциплины являются:

- ознакомление с моделями, используемыми при разработке, исследовании, производстве и эксплуатации электротехнических материалов и изделий;
- изучение методов расчёта электрических и тепловых полей в электротехнических материалах и изделиях;
- ознакомление с методами и средствами моделирования технологических процессов производства электротехнических материалов и изделий.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность анализировать состояние научно-технической проблемы путём подбора, изучения, анализа и интерпретации литературных и патентных источников (ПК-1);
- владение методами обработки и интерпретации экспериментальных данных, математического моделирования при разработке и исследовании электротехнических материалов и изделий (ПК-3).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯЮ ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- основные физические закономерности, качественные и количественные характеристики процессов, протекающих в электротехнических материалах и изделиях (ПК-1);

- основные методы моделирования процессов, протекающих в электротехнических материалах и изделиях (ПК-3);

уметь:

- применять современные методы моделирования при решении практических задач профессиональной деятельности (ОПК-1);

- рационально выбирать методы решения задач моделирования процессов, протекающих в электротехнических материалах и изделиях (ОПК-2);

владеть:

- методологией постановки и решения задач моделирования в профессиональной деятельности (ОПК-1);

- математическими пакетами для решения задач моделирования процессов, протекающих в электротехнических материалах и изделиях (ОПК-2).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Моделирования процессов, протекающих в электротехнических материалах и изделиях

Роль математических моделей в процессе проектирования, производства и эксплуатации электротехнических материалов и изделий. Уравнения математической физики, описывающие электрические и тепловые явления в электротехнических материалах и изделиях, граничные и

начальные условия. Краткий обзор и сравнительный анализ методов решения: аналитические и численные методы.

2. Методы расчёта электрических и тепловых полей

Аналитические методы. Метод разделения переменных на примере нестационарной тепловой задачи и распределения потенциала в круге. Метод конформных отображений и решаемые с его помощью задачи. Интеграл Кристоффеля-Шварца, его свойства и применения для решения практических задач. Метод конечных разностей. Аппроксимация, устойчивость и сходимость разностных схем. Метод конечных элементов. Метод интегральных уравнений.

3. Расчёт электрических полей высоковольтных изоляционных конструкций методом граничных элементов

Математические основы метода интегральных уравнений (МИУ). Основные соотношения. Осесимметричные и плоские поля. Применение МИУ в расчёте полей в диэлектриках, обладающих проводимостью. Расчёт электрических полей высоковольтных электроизоляционных конструкций. Кабель с двухслойной изоляцией. Регулирование распределения напряжения в изоляционной конструкции с помощью дополнительных конденсаторов.

4. Расчёт электрических полей изоляционных конструкций и высоковольтных кабелей методом конечных элементов

Постановка задачи расчета электрических полей. Задача расчета электростатических полей. Задача о растекании тока в элементах конструкции изоляционной конструкции. Применение программы ELCUT для расчета электрических полей. Электрический расчет высоковольтного ввода с металlobумажной изоляцией. Электрический расчет трехфазного кабеля. Расчет емкостных и индуктивных характеристик кабеля. Выравнивание полей в конструкциях с неоднородным полем. Расчет муфты силового кабеля. Работа электроизоляционных конструкций в нестационарных электрических полях. Расчет высоковольтного ограничителя перенапряжения.

5. Расчеты тепловых полей изоляционных конструкций и высоковольтных кабелей

Постановка задач расчета тепловых полей. Стационарная и нестационарная задачи. Механизмы теплопередачи. Источники тепла в высоковольтных изоляционных конструкциях и кабелях: потери в жиле, диэлектрические потери, потери в оболочках и экранах. Применение теплового закона Ома для расчета стационарных и нестационарных тепловых полей. Анализ тепловых полей с помощью конечно-элементной программы ELCUT. Совместное решение в ELCUT тепловых, электрических и магнитных задач. Применение модулей статистического моделирования и многовариантных расчетов для исследования влияния конструкции силовой кабельной системы, условий эксплуатации на тепловой режим кабелей постоянного и переменного тока. Расчет допустимых токов короткого замыкания силовых кабелей. Тепловой расчет высоковольтных вводов.

6. Моделирование технологических процессов термообработки изоляции

Технологические процессы с применением термообработки изоляции кабелей и проводов. Математическая модель процесса химической кинетики при термообработке полимерной изоляции. Тепло и массообмен в технологических процессах. Моделирование нестационарных процессов тепло и массообмена. Аналитические и численные решения уравнений тепло и массообмена.

Задачи моделирования технологических режимов. Расчет процессов вулканизации изоляции. Расчет процесса сушки бумажной изоляции кабелей. Расчет процесса эмалирования проводов. Расчет высокочастотного нагрева жил кабелей. Расчет высокочастотного нагрева изоляции и оболочек кабелей.

7. Моделирование процессов деградации в электротехнических материалах и изделиях, расчет показателей надежности

Процессы старения в изоляционных материалах и их моделирование. Количественные показатели надежности электроизоляционных изделий и их оценка.

Ускоренные испытания как средство оценки количественных показателей надежности. Статистическое моделирование ускоренных испытаний конденсаторов и предсказания пробивного напряжения бумажно-масляной изоляции по значениям кажущегося заряда частичных разрядов.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 1ый семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

1. Какие уравнения математической физики применяются для моделирования стационарных процессов, протекающих в электротехнических материалах и изделиях.
2. Какие требования, предъявляются к моделям, используемым при разработке и исследовании электротехнических материалов и изделий.
3. Сравните аналитические и численные методы, используемые при моделировании электрических и тепловых процессов. Укажите их области применения, преимущества и недостатки.
4. Сравните аналитические методы разделения переменных и конформных отображений для решения задач моделирования электрических и тепловых полей, укажите их области применения, преимущества и недостатки.
5. Сравните методы конечных разностей и конечных элементов, укажите их преимущества и недостатки.
6. Охарактеризуйте метод интегральных уравнений, сравните его с методом конечных разностей, укажите области применения.

7. Охарактеризуйте основные этапы расчета электрических полей высоковольтных электроизоляционных конструкций. Какое программное обеспечение требуется для этого.
8. Основные положения метода конечных элементов. Преимущества и недостатки применения метода конечных элементов для расчета электрических полей в изделия сложной формы.
9. Охарактеризуйте виды геометрических элементов, применяемые в методе конечных элементов. Как влияет число элементов на погрешность? Когда и зачем нужно применять неравномерное разбиение областей?
10. Чем отличаются задачи моделирования стационарных и нестационарных тепловых полей?
11. Охарактеризуйте основные этапы решения стационарных и нестационарных задач расчета тепловых полей методом электротепловой аналогии.
12. В чем состоит трудность решения задач химической кинетики. Какими методами преодолеваются эти трудности.
13. Какие методы применяются для расчета высокочастотного нагрева изоляции.
14. Перечислите и охарактеризуйте физические механизмы старения изоляционных материалов.
15. Перечислите основные условия, необходимые для корректной оценки количественных показателей надежности при проведении ускоренных испытаний.
16. Уравнения математической физики, описывающие электрические и тепловые явления в электротехнических материалах и изделиях, граничные и начальные условия.
17. Проведите сравнение аналитических и численных методов решения задач расчета тепловых и электрических полей.

18. Аналитические методы расчета электрических и тепловых полей. Метод разделения переменных в декартовых и цилиндрических координатах,
19. Аналитические методы расчета электрических и тепловых полей. Метод конформных отображений.
20. Метод конечных разностей. Аппроксимация, устойчивость и сходимость разностных схем.
21. Метод конечных элементов. Основные этапы расчета электрических и тепловых полей методом конечных элементов.
22. Основные соотношения метода интегральных уравнений для расчета электрических и магнитных полей.
23. Расчет электрических полей высоковольтных электроизоляционных конструкций с помощью метода интегральных уравнений.
24. Решение задачи Регулирование распределения напряжения в изоляционной конструкции с помощью дополнительных конденсаторов.
25. Основные типы задач, решаемые с помощью пакета программ Elcut.
26. Электрический расчет высоковольтного ввода с металlobумажной изоляцией с помощью метода конечных элементов.
27. Электрический расчет трехфазного тока с помощью метода конечных элементов.
28. Решение задачи выравнивание полей в конструкциях с неоднородным полем методом конечных элементов.
29. Расчет муфты силового кабеля методом конечных элементов.
30. Решение нестационарных задач расчета электрических полей методом конечных элементов.
31. Расчет высоковольтного ограничителя перенапряжения методом конечных элементов.
32. Основные механизмы теплопередачи.

33. Источники тепла в высоковольтных изоляционных конструкциях и кабелях: потери в жиле, диэлектрические потери, потери в оболочках и экранах.
34. Использование метода электротепловой аналогии для расчета тепловых полей. Области применения и ограничения метода.
35. Совместное решение в ELCUT тепловых, электрических и магнитных задач.
36. Применение модулей статистического моделирования и многовариантных расчетов пакета Elcut для решения задач моделирования.
37. Расчет допустимых токов короткого замыкания силовых кабелей с помощью пакета Elcut.
38. Тепловой расчет высоковольтных вводов с помощью пакета Elcut.
39. Математическое моделирование задач химической кинетики при термообработке полимерной изоляции.
40. Моделирование нестационарных процессов тепло и массообмена.
41. Аналитические и численные решения уравнений тепло и массообмена.
42. Моделирование процессов вулканизации изоляции.
43. Расчет процесса сушки бумажной изоляции кабелей.
44. Расчет процесса эмалирования проводов.
45. Расчет высокочастотного нагрева жил кабелей.
46. Расчет высокочастотного нагрева изоляции и оболочек кабелей.
47. Основные соотношения, связывающие количественные показатели надежности электроизоляционных изделий.
48. Методы оценки количественных показателей надежности электроизоляционных изделий и их оценка.
49. Методы оценки количественных показателей надежности с помощью ускоренных испытаний. Основные условия проведения ускоренных испытаний.

50. Статистическое моделирование ускоренных испытаний конденсаторов и предсказания пробивного напряжения бумажно-масляной изоляции по значениям кажущегося заряда частичных разрядов.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 года.

РЕКОМЕНДУМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Основы кабельной техники. / В. М. Леонов и др.; под ред. И. Б. Пешкова. – Москва: Академия, 2006, 432 с.
2. Кабели и провода. Основы кабельной техники / А. И. Балашов и др.; под ред. И. Б. Пешкова. – М. : Энергоатомиздат, 2009, 470 с.
3. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения. /И.П.Белоедова и др.; под ред. Е.С.Колечицкого. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008, 246 с.
4. Методы расчета электрических полей в примерах и задачах: учебное пособие по курсу "Методы расчета электрических и магнитных полей" по специальности "Высоковольтные электроэнергетика и электротехника" / А. А. Белогловский и др.; под ред. И.П.Верещагина. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2007, 84 с.
6. Холодный С.Д., Серебрянников С.В., Боев М.А. Методы испытаний и диагностики в электроизоляционной и кабельной технике. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2009, 456 с.
7. Воробьев А.С., Геча Э.Я., Рязанов И.Б. Диффузия в многослойных электроизоляционных и кабельных конструкциях: учебное пособие по курсу "Основы электроизоляционной, кабельной и конденсаторной техники" по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии". – Москва: Издательский дом МЭИ, 2008 . 112 с.

Дополнительная литература:

1. Компьютерное моделирование / А. Л. Королев. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013 . – 230 с. – (Педагогическое образование)
2. Заводинский В.Г. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем. – М.: ФИЗМАТЛИТ 2013. – 174 с.
3. Атомистическое компьютерное моделирование структуры и свойств неорганических кристаллов и минералов, их дефектов и твердых растворов / В. С. Урусов, Н. Н. Еремин, Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова (МГУ), Рос. фонд фундаментальных исследований . – М. : ГЕОС, 2012 . – 428 с.
4. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : учебное пособие / С. В. Поршнева . – 2-е изд., испр . – СПб. : Лань, 2011 . – 736 с.

Лицензионное программное обеспечение

1. Пакет пакета конечно-элементного моделирования. В 2014 была закуплена сетевая лицензия на пакет. Пакет установлен на 15 рабочих мест компьютерного класса кафедры ФТЭМК, Е-310.

Рекомендуемые веб-ресурсы

1. <http://elcut.ru> – сайт пакета конечно-элементного моделирования. На этом сайте можно скачать студенческую версию пакета ELCUT; в разделах «Применение» и «Поддержка» можно найти многочисленные примеры решения задач моделирования с помощью пакета и видеоролики, связанные с моделированием электрических и тепловых полей в кабелях и электроизоляционных конструкциях.
2. Апплеты моделирования ускоренных испытаний, разработанные на кафедре ФЭМАЭК, опубликованные по адресу <http://va.mpei.ac.ru/apps11/content/acceleratedtests>
3. Ограничитель перенапряжений. Применение ELCUT. Типовые примеры. http://elcut.ru/advanced/telec2_r.htm
4. Четырехпроводный силовой электрический кабель. Применение ELCUT. Типовые примеры. http://elcut.ru/advanced/cable_r.htm

5. Грешняков Г.В., Нарышкин Е. Импульсный низкоиндуктивный высоковольтный силовоточный кабель. Силовая Электроника, №4, 2009 г. (http://www.power-e.ru/2009_4_42.php)
6. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д. Комбинированный способ снижения неравномерности электрического поля в муфтах силовых кабелей. Силовая Электроника, №2, 2010 г. (http://www.power-e.ru/2010_2_81.php)
7. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д. Математическое моделирование электрического поля в муфтах силовых кабелей. Силовая Электроника, №3, 2010 г. (http://www.power-e.ru/2010_3_88.php)
8. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д., Коровкин Н.В. К вопросу о конструировании кабельных муфт высокого напряжения. Силовая Электроника, №1, 2014 г. (http://www.power-e.ru/2014_1_76.php)
9. Грешняков Г.В., Ковалев Г.Г., Дубицкий С.Д. К вопросу о выборе предельно допустимых токов силовых кабелей. Кабели и провода, №6, 2011г. (http://www.kp-info.ru/images/File/2011_6_12-16.pdf)
10. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д., Ковалёв Г.Г., Коровкин Н.В. Численное моделирование электрического поля в усиливающей изоляции кабельной муфты. Кабели и провода, №4, 2013г. (http://www.kp-info.ru/images/File/2013_4_9-14.pdf)
11. Грешняков Г.В., Дубицкий С.Д., Ковалёв Г.Г., Коровкин Н.В. Электромагнитный и тепловой расчет токовой нагрузки кабельной системы методом конечных элементов. Кабели и провода, №4, 2013г. (http://www.kp-info.ru/images/File/2013_4_15-21.pdf)
12. Титков В.В. К оценке теплового режима трехфазной линии из СПЭ-кабеля. Кабель-news, №10, 2009 г. (http://www.kabel-news.ru/netcat_files/90/100/October_K_otsenke_teplovogo_rezhima.pdf)