

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) 05.14.12 Техника высоких напряжений

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Современные методы расчёта электрических и магнитных полей в
технике высоких напряжений»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.2

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе 6 часов – контактная работа,
48 часов – 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,

код и название направления

утвержденного приказом Минобрнауки России от 30 июля 2014 г. № 878, и паспорта специальности, указанной в номенклатуре специальностей научных работников

05.14.12 Техника высоких напряжений,

шифр и название специальности

утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование углублённых знаний об интегральных, конечно-разностных и конечно-элементных численных методах и основанных на них вычислительных алгоритмах расчёта полей, методах расчёта электрических и магнитных полей воздушных линий электропередачи в задачах экологии.

Задачами дисциплины являются:

1. Изучение характерных физико-математических задач техники высоких напряжений, требующих расчёта электрических и магнитных полей;
2. Изучение интегральных методов расчёта электрических полей (методов эквивалентных зарядов и интегральных уравнений);
3. Изучение прямых и итерационных конечно-разностных методов расчёта электрических полей;
4. Ознакомление с основами метода конечных элементов;
5. Освоение методов расчёта электрических и магнитных полей воздушных линий электропередачи и ошинок открытых распределительных устройств высокого напряжения.

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

1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

2. Готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4).

3. Способностью следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5).

4. Способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

5. Владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2).

6. Способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3).

7. Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-5).

8. Способность к разработке физических основ проектирования и конструирования, эксплуатации и методов диагностики изоляционных конструкций высокого напряжения (ПК-2).

9. Способность к экспериментальным и теоретическим исследованиям воздействия электрических разрядов, сильных электрических и магнитных полей на дисперсные системы, твердые и жидкие материалы (ПК-4).

10. Способность к разработке методов и средств координации изоляции и защиты от перенапряжений, к обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики, промышленности, связи, транспорта и других отраслей (ПК-6).

11. Владение современными методами и средствами расчёта электрических и магнитных полей, диагностики изоляции и испытания оборудования высокого напряжения (ПК-7).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- современное состояние проблемы расчета электрических и магнитных полей в энергетических и электротехнологических установках высокого напряжения (ПК-9);
- основные уравнения и граничные условия, описывающие распределения электрических и магнитных полей в установках высокого напряжения (ПК-9);
- интегральные и конечно-разностные методы расчёта электростатических полей и электрических полей с объёмным зарядом в однородных средах (ПК-9);
- основные положения метода конечных элементов (ПК-9);
- алгоритм и методику расчёта самосогласованных электрических полей униполярного коронного разряда (ПК-9);
- методы расчёта электрических и магнитных полей в пролёте воздушных линий электропередачи и ошинок открытых распределительных устройств (ПК-9);
- методы ограничения электрических и магнитных полей (ПК-2).

уметь:

- выполнять расчёт слабо- и резконеоднородных электрических полей в воздушных изоляционных промежутках методом эквивалентных зарядов (ПК-9);
- применять метод конечных разностей для расчёта электрических полей с объёмным зарядом, включая поле униполярного коронного разряда (ПК-9);
- вычислять значения напряжённости электрического и магнитного полей в пролёте воздушных линий электропередачи (ПК-9).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Роль расчета и анализа электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений.

Роль расчета и анализа электрических и магнитных полей в математическом моделировании физических процессов в высоковольтных энергетических и электротехнологических установках и в их проектировании. Постановка задач математического моделирования физических процессов в устройствах высокого напряжения на основе анализа полей и их регулирования при проектировании энергетического и электротехнологического оборудования. Краткая характеристика современного состояния проблемы расчета электрических и магнитных полей в установках высокого напряжения. Основные уравнения и граничные условия.

2. Интегральные методы расчета электрических полей (8 часов)

Понятие об интегральных методах расчёта электрических полей (методах вторичных источников), их классификация. Метод эквивалентных зарядов для случая однородной среды. Расчет двумерного плоскопараллельного электрического поля методом эквивалентных зарядов. Метод интегральных уравнений для случая однородной среды. Численное решение интегрального уравнения.

3. Расчет электрических полей воздушных линий электропередачи высокого напряжения и их ограничение.

Постановка задачи расчета электрических полей в пролете воздушных линий электропередачи и ошинок открытых распределительных устройств высокого напряжения. Методика расчета. Характерные значения напряженности электрического поля вблизи объектов электроэнергетики. Допустимые уровни напряженности электрических полей, воздействующих на персонал и население. Регулирование электрических полей при помощи тросовых электростатических экранов.

4. Расчет электрических полей методом конечных разностей.

Метод конечных разностей для расчета электрических полей в

однородных средах, конечно-разностная аппроксимация уравнения Пуассона, классификация разностных методов его решения. Прямые методы: методы прогонки, матричной прогонки, быстрого преобразования Фурье. Итерационные методы: явные и неявные схемы итераций, методы Якоби, Зейделя, верхней релаксации, переменных направлений, попеременно-треугольный метод. Расчет двумерного электрического поля с объемным зарядом итерационным конечно-разностным методом верхней релаксации.

5. Основные положения метода конечных элементов.

Вариационная постановка задачи отыскания распределения потенциала в расчётной области. Метод Ритца. Понятие конечного элемента. Метод конечных элементов 1-го порядка. Прямые и итерационные методы решения задачи.

6. Расчёт самосогласованных электрических полей с объёмным зарядом в высоковольтных электротехнологических установках.

Постановка задачи расчёта самосогласованных электрических полей с объёмным зарядом, их математическое описание. Электрическое поле униполярного коронного разряда (УКР) как пример самосогласованного поля с объёмным зарядом, его математическое описание. Итерационный алгоритм совместного решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих УКР. Конечно-разностное решение уравнения неразрывности потока ионов в УКР. Пример расчета самосогласованного поля УКР в электрофильтре с цилиндрическими коронирующими электродами.

7. Магнитные поля в пролете воздушных линий электропередачи высокого напряжения.

Постановка задачи расчета магнитного поля промышленной частоты в пролете воздушных линий электропередачи и ошиновок открытых распределительных устройств высокого напряжения. Методика расчета. Характерные значения напряженности магнитного поля вблизи объектов электроэнергетики. Допустимые уровни магнитных полей промышленной частоты на рабочих местах персонала. Принципы экранирования магнитных

полей промышленной частоты. Расчёт распределения напряжённости магнитного поля в пролёте трехфазной воздушной линии, создаваемого ею вблизи поверхности земли.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины:

5 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и проведения зачета

Вопросы для самоконтроля

1. Какова роль расчета и анализа электрических и магнитных полей в математическом моделировании физических процессов в высоковольтных установках?
2. Дайте характеристику современного состояния проблемы расчета электрических и магнитных полей в установках высокого напряжения.
3. Запишите уравнения и граничные условия, описывающие распределение электрических и магнитных полей в установках высокого напряжения.
4. В чём заключаются основные положения интегральных методов расчёта электрических полей? Почему их называют методами вторичных источников поля? Какова их классификация?
5. Сформулируйте в общем виде метод эквивалентных зарядов для случая однородной среды.
6. Каков порядок расчета двумерного плоскопараллельного электрического поля методом эквивалентных зарядов?
7. Сформулируйте в общем виде метод интегральных уравнений для случая однородной среды. Каким образом решается численно интегральное уравнение?
8. В чём заключается постановка задачи расчета электрических полей в

пролете воздушных линий электропередачи высокого напряжения?

9. Какова методика расчета электрических полей в пролете воздушных линий электропередачи высокого напряжения?

10. Сопоставьте характерные значения напряженности электрического поля вблизи объектов электроэнергетики и её допустимые уровни для персонала и населения.

11. Как можно ограничить уровни напряжённости электрических полей, воздействующих на персонал и население?

12. Сформулируйте основные положения метода конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах.

13. Запишите конечно-разностную аппроксимацию двумерного уравнения Пуассона. Какова классификация разностных методов его решения?

14. Чем отличаются друг от друга прямые и итерационные конечно-разностные методы численного решения уравнения Пуассона? Как различаются области их применения?

15. Какие Вы знаете прямые конечно-разностные методы численного решения уравнения Пуассона?

16. Какие Вы знаете итерационные конечно-разностные методы численного решения уравнения Пуассона?

17. Запишите алгоритм расчета распределения напряжённости двумерного электрического поля с объемным зарядом в прямоугольной области с использованием метода верхней релаксации.

18. В чём заключается вариационная постановка задачи отыскания распределения потенциала в расчётной области?

19. На примере метода конечных элементов 1-го порядка поясните его основные идеи. Что такое конечный элемент?

20. Какое электрическое поле является самосогласованным? В чём заключаются особенности математического описания таких полей?

21. Запишите математическую модель электрического поля униполярного коронного разряда в его внешней области. Является ли это поле

самосогласованным? Почему?

22. Опишите итерационный алгоритм совместного решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих внешнюю область униполярного коронного разряда.

23. Как решается уравнение неразрывности потока ионов во внешней области униполярного коронного разряда.

24. Расчет самосогласованного поля униполярного коронного разряда в электрофилт্রে с цилиндрическими коронирующими электродами.

25. Сформулируйте постановку задачи расчета магнитного поля промышленной частоты в пролете воздушных линий электропередачи.

26. Как рассчитать магнитное поле промышленной частоты в пролете воздушных линий электропередачи?

27. Сопоставьте характерные значения напряженности магнитного поля вблизи объектов электроэнергетики и её допустимые уровни на рабочих местах персонала.

28. Каковы принципы экранирования магнитных полей промышленной частоты?

29. Запишите последовательность расчёта напряжённости магнитного поля в пролёте трехфазной воздушной линии электропередачи, создаваемого ею вблизи поверхности земли.

Вопросы, включаемые в билеты для проведения зачета

1. Роль расчета и анализа электрических и магнитных полей в математическом моделировании физических процессов в высоковольтных установках и в их проектировании.

2. Постановка задач математического моделирования физических процессов в устройствах высокого напряжения на основе анализа полей.

3. Характеристика современного состояния проблемы расчета электрических и магнитных полей в установках высокого напряжения.

4. Основные уравнения и граничные условия, описывающие распределение электрических и магнитных полей в установках высокого

напряжения.

5. Основные положения интегральных методов расчёта электрических полей (методов вторичных источников), их классификация.

6. Метод эквивалентных зарядов для случая однородной среды.

7. Расчет двумерного плоскопараллельного электрического поля методом эквивалентных зарядов.

8. Метод интегральных уравнений для случая однородной среды. Численное решение интегрального уравнения.

9. Постановка задачи расчета электрических полей в пролете воздушных линий электропередачи и ошинок открытых распределительных устройств высокого напряжения.

10. Методика расчета электрических полей в пролете воздушных линий электропередачи высокого напряжения.

11. Характерные значения напряженности электрического поля вблизи объектов электроэнергетики.

12. Допустимые уровни напряженности электрических полей, воздействующих на персонал и население.

13. Регулирование электрических полей при помощи тросовых электростатических экранов.

14. Метод конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах, конечно-разностная аппроксимация уравнения Пуассона, классификация разностных методов его решения.

15. Прямые конечно-разностные методы численного решения уравнения Пуассона: методы прогонки, матричной прогонки, быстрого преобразования Фурье.

16. Итерационные конечно-разностные методы численного решения уравнения Пуассона: явные и неявные схемы итераций, методы Якоби, Зейделя, верхней релаксации, переменных направлений, попеременно-треугольный метод.

17. Расчет двумерного электрического поля с объемным зарядом

итерационным конечно-разностным методом верхней релаксации.

18. Вариационная постановка задачи отыскания распределения потенциала в расчётной области. Метод Ритца.

19. Понятие конечного элемента. Метод конечных элементов 1-го порядка. Прямые и итерационные методы решения задачи.

20. Постановка задачи расчёта самосогласованных электрических полей с объёмным зарядом, их математическое описание.

21. Электрическое поле униполярного коронного разряда как пример самосогласованного поля с объёмным зарядом, его математическое описание.

22. Итерационный алгоритм совместного решения системы дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих униполярный коронный разряд.

23. Конечно-разностное решение уравнения неразрывности потока ионов в униполярном коронном разряде.

24. Расчет самосогласованного поля униполярного коронного разряда в электрофилт্রে с цилиндрическими коронирующими электродами.

25. Постановка задачи расчета магнитного поля промышленной частоты в пролете воздушных линий электропередачи и ошиновок открытых распределительных устройств высокого напряжения.

26. Методика расчета магнитного поля промышленной частоты в пролете воздушных линий электропередачи.

27. Характерные значения напряженности магнитного поля вблизи объектов электроэнергетики.

28. Допустимые уровни магнитных полей промышленной частоты на рабочих местах персонала.

29. Принципы экранирования магнитных полей промышленной частоты.

30. Расчёт распределения напряжённости магнитного поля в пролёте трехфазной воздушной линии, создаваемого ею вблизи поверхности земли.

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

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Куффель Е., Цаенгель В., Куффель Дж. Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011.
2. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие / И.П. Белоедова, Ю.В. Елисеев, Е.С. Колечицкий и др. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
3. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: – М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
4. Белогловский А.А., Пашинин И.В. Методы расчета электрических полей в примерах и задачах: учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
5. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы: учебное пособие для физико-математических специальностей вузов. – 6-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008.
6. Калиткин Н.Н. Численные методы: учебное пособие для вузов / Н.Н. Калиткин; ред. А.А. Самарский. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014.

Дополнительная литература:

7. Электрофизические основы техники высоких напряжений: учебник для вузов / И.М. Бортник и др.; под общ. ред. И.П. Верещагина. – 2-е изд., перераб., и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
8. Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. MATLAB 7. Программирование, численные методы. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2005.