

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. С. Харитонов

**МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН
И УСТРОЙСТВ**

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по изучению дисциплины для студентов магистратуры
по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника /
Electrical Power Engineering and Electrical Engineering

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.313

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
И. Е. Кажекин

Харитонов, М. С.

Метод конечных элементов в проектировании электрических машин и устройств: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины «FEM Used in Designing of Electrical Machines and Apparatus / Метод конечных элементов в проектировании электрических машин и устройства» для студ. магистратуры по направлению подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Electrical Power Engineering and Electrical Engineering / **М. С. Харитонов.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 19 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины содержится рекомендации по изучению теоретического материала и самостоятельной подготовке, дано описание видов текущего контроля, критерии оценок и условия допуска к текущей и промежуточной аттестации.

Табл. – 2, список литературы – 2 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 31.05.2023 г., протокол № 09

УДК 621.313

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.

Оглавление

Введение	4
1 Тематический план дисциплины	7
2 Содержание дисциплины.....	7
Тема 1. Основные уравнения электростатического поля	7
Тема 2. Численные методы расчета электростатического поля.....	9
Тема 3. Анализ электрических полей с объемным зарядом	11
Тема 4. Анализ электрических полей тонких параллельных проводников над поверхностью земли.....	12
Тема 5. Анализ электрических полей объемных проводников в однородной среде.....	13
3 Методические указания по самостоятельной работе студентов	15
Заключение.....	17
Библиографический список.....	18

Введение

Дисциплина «FEM Used in Designing of Electrical Machines and Apparatus/ Метод конечных элементов в проектировании электрических машин и устройств» формирует у обучающихся способность и готовность к участию в проектировании электрических машин и устройств с использованием метода конечных элементов. Дисциплина является составным элементом модуля «Technology of design and manufacture of electrical equipment / Технология проектирования и производства электрооборудования» и изучается в третьем семестре при очной и заочной формах обучения.

Целью освоения дисциплины является формирование у обучающихся знаний, умений и навыков в области основных методов и подходов, применяемых при проектировании электрического оборудования.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение основных возможностей и особенностей использования метода конечных элементов при проектировании электрических машин и устройств;
- ознакомление с современными программными средствами для моделирования и расчета параметров электрических и магнитных полей;
- изучение методов и формирование навыков расчета основных параметров электрических и магнитных цепей электрического оборудования.

По завершении изучения дисциплины «FEM Used in Designing of Electrical Machines and Apparatus / Метод конечных элементов в проектировании электрических машин и устройств» у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

Знать: основные области применения метода конечных элементов при проектировании электрических машин и устройств.

Уметь: осуществлять выбор современных программных средств для проектирования электрического оборудования.

Владеть: современными программными средствами для обоснования и оптимизации режимов работы электрического оборудования.

Текущая и промежуточная аттестация студентов

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания (для студентов всех форм обучения);
- задания и контрольные вопросы по лабораторным работам (для студентов всех форм обучения).

Задания и контрольные вопросы по лабораторным работам по дисциплине приведены в соответствующем учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ.

Промежуточная аттестация по дисциплине является составным элементом промежуточной аттестации по модулю «Technology of design and manufacture of electrical equipment / Технология проектирования и производства электрооборудования». Промежуточная аттестация по модулю проводится в форме экзамена. Экзамен проходит в форме ответа на экзаменационные вопросы, содержащиеся в экзаменационном билете. Экзаменационный билет содержит два экзаменационных вопроса. Перечень вопросов к экзамену приведен в фонде оценочных средств по модулю. Оценка за экзамен выставляется по пятибалльной шкале в соответствии с критериями, представленными в таблице 1. Допуск студентов к экзамену осуществляется при условии выполнения и защиты всех лабораторных работ с учетом результатов текущего контроля успеваемости.

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок	2	3	4	5
	0-40 %	41-60 %	61-80 %	81-100 %
Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1 Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаний и системным взглядом на изучаемый объект

2 Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3 Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4 Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Структура учебно-методического пособия

Структура учебно-методического пособия включает тематический план дисциплины, содержание каждой темы дисциплины, указания для самостоятельной работы студентов, библиографический список. По каждой теме дисциплины в учебно-методическом пособии приводятся: методические указания по проведению занятия, список рекомендуемой литературы и методические материалы к занятию.

1 Тематический план дисциплины

Темы занятий приведены в таблице 2. На изучение каждой темы дисциплины выделяется не менее 2 академических часов лекционных занятий. Общее количество лекционных занятий по дисциплине составляет 14 академических часов для очной формы и 4 академических часа для заочной формы обучения.

Таблица 2 – Тематический план дисциплины

№ п/п	Темы занятий по дисциплине
1	Тема 1. Основные уравнения электростатического поля
2	Тема 2. Численные методы расчета электростатического поля
3	Тема 3. Анализ электрических полей с объемным зарядом
4	Тема 4. Анализ электрических полей тонких параллельных проводников над поверхностью земли
5	Тема 5. Анализ электрических полей объемных проводников в однородной среде

Примечание: Чтение лекций осуществляется традиционным способом с использованием технических средств обучения.

2 Содержание дисциплины

Тема 1. Основные уравнения электростатического поля

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Математическое описание электростатического поля
2. Потенциал электростатического поля
3. Электростатические поля объектов электроэнергетики и установок высокого напряжения
4. Расчет электрических полей простейших зарядов и их систем в однородной среде

Рекомендуемая литература:

1. Клуникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем: учебное пособие / Ю. В. Клуникова. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. – 85 с. — ISBN 978-5-9275-3277-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лебедев, М. О. Решение двумерных задач методом конечных элементов на Mathcad: учебное пособие / М. О. Лебедев. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 42 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Протекание физических процессов, определяющих возникновение и распространение электрического разряда в газах, жидких и твёрдых диэлектриках, определяется значениями и характером распределения напряжённости электрического поля в пространстве, где развивается разряд. Поэтому параметры поля определяют форму и свойства разряда, а значит, и электрическую прочность разрядного промежутка. Следовательно, изменяя форму электродов, добавляя дополнительные экранирующие электроды и изоляционные вставки, можно добиться изменения разрядных характеристик межэлектродного промежутка. Инженерную деятельность такого рода называют регулированием электрических полей или управлением полями. Расчет и анализ электрических полей в инженерной практике предусматривает три этапа.

Первым из них является выбор численного метода и составление расчётной модели изучаемого объекта, описывающей его основные физические и технические характеристики и учитывающей особенности применяемого метода расчёта. При этом следует определить, какие элементы конструкции следует учесть в расчётной модели, а какими для упрощения расчёта можно пренебречь или упростить их форму, поскольку они оказывают малое влияние на поле в интересующей инженера области (например, ввиду удалённости от последней или малости влияния на решение задачи). Необходимо также определить приемлемость тех или иных принимаемых допущений, к которым, например, относится предположение об идеальной проводимости грунта или каких-либо других объектов, обладающих высокой относительной диэлектрической проницаемостью. В случае применения методов конечных разностей или конечных элементов для расчёта поля в неограниченной области следует искусственно ограничить её, введя фиктивные границы и задав на них граничные условия. К этому этапу относится также определение части расчётной области, подлежащей детальному изучению, и исследуемых в ней характеристик поля (следует ли рассчитывать напряженность или потенциал, необходимо ли построение силовых линий или эквипотенциалей поля в заданной области).

Второй этап – это собственно расчёт определённых ранее параметров поля в заданной расчётной области при помощи выбранного метода.

На третьем этапе производится обработка и анализ полученных результатов расчёта. Для этого строятся распределения параметров поля в расчётной области, силовые линии и эквипотенциали, распределения поля вдоль них. Затем выполняется инженерный анализ полученных данных, предусматривающий сопоставление полученных значений напряженности и потенциала с допустимыми значениями, расчёт электрической прочности разрядных промежутков и т.д.

Тема 2. Численные методы расчета электростатического поля

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Краткая характеристика численных методов расчета электростатических полей
2. Метод конечных разностей
3. Метод конечных элементов
4. Основные принципы интегральных численных методов
5. Выбор численных методов расчета электрических полей

Рекомендуемая литература:

1. Клунникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем: учебное пособие / Ю. В. Клунникова. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. – 85 с. – ISBN 978-5-9275-3277-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лебедев, М. О. Решение двумерных задач методом конечных элементов на Mathcad: учебное пособие / М. О. Лебедев. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 42 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Задача расчета электрического поля в области, заполненной однородной, изотропной и линейной средой с объемным зарядом с плотностью ρ , сводится к решению уравнения Пуассона, дополненному граничными условиями. В их качестве выступают заданные распределения потенциала φ по границе области (условие первого рода) или его производной по нормали к границе $d\varphi/dn$ (условие второго рода).

Среди множества численных методов расчета электрического поля можно выделить три группы методов, наиболее широко применяющихся на практике:

- метод конечных разностей (применяют прямые и итерационные методы);
- метод конечных элементов;
- интегральные методы.

Широкое распространение приобрел метод конечных элементов. Его популярность обусловлена приемлемой точностью решения, возможностью описания криволинейных границ области любой сложности, лёгкостью учета граничных условий различных типов и расчёта поля с объемным зарядом, автоматическим расчётом значений потенциала во всех узлах сетки конечных элементов и, следовательно, быстротой вычисления потенциала и напряженности в любой точке области. Метод обеспечивает прекрасные возможности визуализации результатов расчёта, поскольку в его ходе вся область разбивается на конечные элементы, являющиеся простыми геометрическими фигурами, которые используются в компьютерной графике для последующего отображения. Кроме того, он позволяет решать широкий спектр задач — от расчета механических напряжений в элементах конструкций до анализа электрических и магнитных полей. Поэтому он широко применяется в пакетах программ, используемых в машиностроении.

Вместе с тем метод конечных элементов не лишён недостатков, к которым относится сложность его программной реализации, необходимость создания сетки конечных элементов во всей области, что требует большого объема компьютерной памяти. Также его применение приводит к большим погрешностям расчёта вблизи поверхностей электродов, чем в межэлектродном пространстве. Последнее не характерно для интегральных методов, которые дают одинаковые погрешности во всей расчётной области. Кроме того, метод конечных элементов позволяет точно рассчитывать распределение потенциала, но погрешности в значениях напряженности оказываются на порядки больше.

Тема 3. Анализ электрических полей с объемным зарядом

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Расчет электрического поля в емкости с заряженным веществом
2. Метод расчета электрического поля в плоском конденсаторе
3. Метод расчета электрического поля в коаксиальном конденсаторе

Рекомендуемая литература:

1. Клуникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем: учебное пособие / Ю. В. Клуникова. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. – 85 с. – ISBN 978-5-9275-3277-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лебедев, М. О. Решение двумерных задач методом конечных элементов на Mathcad: учебное пособие / М. О. Лебедев. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 42 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Задача расчета электрического поля в некоторой области, заполненной объемным зарядом с плотностью ρ сводится к решению уравнения Пуассона, дополняемого граничными условиями.

В произвольном двумерном (и более) случае задача расчета электрического поля с использованием метода конечных разностей требует существенных компьютерных ресурсов, а их программная реализация – хороших навыков в области программирования. Тем не менее существует класс задач, связанных с расчетом полей в плоских и коаксиальных конденсаторах, поля вблизи заряженных струй и т.п., в которых поле изменяется лишь вдоль одной координатной оси, оставаясь неизменным вдоль двух оставшихся. Решение таких задач позволяет в достаточной мере овладеть принципами, на которых базируется метод конечных разностей, и приобрести навыки его практической реализации, достаточные для перехода в дальнейшем к более сложным задачам.

Тема 4. Анализ электрических полей тонких параллельных проводников над поверхностью земли

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Метод расчета поля тонких параллельных проводников над поверхностью земли
2. Расчет электрического поля трехпроводной линии электропередачи
3. Расчет электрического поля одноцепной и двухцепной линий электропередачи

Рекомендуемая литература:

1. Клунникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем: учебное пособие / Ю. В. Клунникова. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. – 85 с. – ISBN 978-5-9275-3277-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лебедев, М. О. Решение двумерных задач методом конечных элементов на Mathcad : учебное пособие / М. О. Лебедев. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 42 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Задачи расчета электрического поля тонких параллельных проводников круглого сечения, находящихся над поверхностью земли, относятся к классу плоскопараллельных, поскольку в любой плоскости, перпендикулярной проводам и поверхности земли, распределение поля будет одинаковым. Эти задачи имеют ясную практическую интерпретацию: расчет поля в пролете воздушной линии электропередачи (ВЛ). Действительно, в середине пролета ВЛ на удалении от опор влиянием последних можно пренебречь, провода здесь идут параллельно друг другу и практически параллельно земле. Данная задача является, пожалуй, одной из наиболее актуальных задач с плоскопараллельным полем.

Вблизи любых трехфазных систем переменного тока, к которым относятся и воздушные линии электропередачи, в любой точке пространства вектор напряженности электрического поля, изменяясь во времени, за период промышленной частоты описывает эллипс. Действующими нормативами ограничивается большая полуось этого эллипса, то есть наибольшее значение напряженности поля за период. В строгой постановке задачи о расчете поля в пролете ВЛ последнее является трехмерным. Это обусловлено, прежде всего, влиянием опор и провесом проводов линии, а также неровностями рельефа местности, по которой она проходит. Подобная задача может быть решена при помощи метода эквивалентных зарядов, причем в качестве эквивалентных зарядов в данном случае следует использовать прямолинейные отрезки с линейным распределением плотности заряда по длине, которые хорошо аппроксимируют распределение заряда по отрезкам проводов, элементам конструкций опор и т.д.

Однако если необходимо определить лишь наибольшие значения напряженности поля в пролете линии вблизи земли, то расчет можно упростить, приняв во внимание следующие соображения. Во-первых, благодаря провесу фазных проводов и экранирующему действию опор, у поверхности земли максимальные значения напряженности будут достигаться в середине пролета ВЛ, там, где высота проводов наименьшая. Во-вторых, в середине пролета, которая нас, таким образом, интересует, провода идут почти параллельно земле. В-третьих, линии электропередачи прокладываются, как правило, в сравнительно ровной местности, и потому неровностями рельефа в первом приближении можно пренебречь. Следовательно, поле в середине пролета ВЛ можно считать плоскопараллельным, т.е. можно использовать упрощенную расчетную модель.

Тема 5. Анализ электрических полей объемных проводников в однородной среде

Методические указания по проведению занятия:

Лекционное занятие предполагает связанное, последовательное представление материала в соответствии с новейшими данными науки и актуальными инженерно-техническими сведениями с целью изложения студентам основного содержания темы дисциплины в целостном, систематизированном виде. Форма проведения занятий и методы изложения материала, в том числе с использованием мультимедийных средств, определяются преподавателем из соображений обеспечения удобства и качества усвоения учебного материала.

В рамках лекционных занятий по данной теме дисциплины рассматриваются следующие ключевые вопросы:

1. Общие положения расчета поля объемных проводников
2. Расчет электрического поля круглого проводника над землей

3. Расчет электрического поля в пролете воздушной линии над неровностью местности

Рекомендуемая литература:

1. Клуникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем: учебное пособие / Ю. В. Клуникова. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. – 85 с. – ISBN 978-5-9275-3277-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лебедев, М. О. Решение двумерных задач методом конечных элементов на Mathcad: учебное пособие / М. О. Лебедев. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 42 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Существует широкий круг полевых задач, в которых проводники, составляющие полеобразующую систему, имеют форму, отличную от цилиндрической, и потому их заряд не может быть аппроксимирован единственным эквивалентным зарядом. Таковы, например, задачи о расчете поля в различных изоляционных конструкциях, электротехнологических установках и т.п. Более того, даже если проводники имеют цилиндрическую форму, но расположены поблизости друг от друга или от поверхности земли, то и в этом случае с удовлетворительной точностью аппроксимировать их заряд единственной заряженной осью невозможно. Сюда относятся задачи о расчете поля провода, проходящего близ заземленной поверхности, о расчете поля вблизи расщепленного фазного провода и множество других.

Упомянутое множество задач можно условно разделить на две категории. К первой из них относятся задачи, связанные с конструированием разнообразных установок высокого напряжения и требующие расчета поля на поверхности тел полеобразующей системы или вблизи нее. Сюда относятся, например, задачи выбора конфигурации расщепленных фазных проводов ВЛ, токоведущих шин, электростатических экранов и т.д. Ко второй категории относятся задачи ограничения воздействия электрических полей объектов электроэнергетики на живые организмы, в которых необходим расчет параметров поля у поверхности земли. Это, например, задача расчета поля в окрестности воздушной линии электропередачи.

3 Методические указания по самостоятельной работе студентов

Самостоятельная работа студентов – это планируемая работа, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия, является одним из основных видов деятельности обучающихся. Самостоятельная работа студентов включает в себя изучение лекционного материала и первоисточников, подготовку ко всем видам аудиторных занятий, текущему контролю и промежуточной аттестации.

Целью самостоятельной работы является более глубокое изучение студентами отдельных вопросов дисциплины с использованием рекомендуемой дополнительной литературы и других информационных источников.

Задачами самостоятельной работы обучающихся являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умения использовать научно-техническую, нормативную и справочную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности, творческой инициативы, ответственности и организованности.

Основными формами внеаудиторной самостоятельной работы, используемыми при изучении дисциплины «FEM Used in Designing of Electrical Machines and Apparatus/ Метод конечных элементов в проектировании электрических машин и устройства», являются:

- изучение программного материала дисциплины (работа с учебником, конспектом лекции и иными информационными ресурсами);
- изучение и конспектирование рекомендуемых источников;
- работа с электронными информационными ресурсами (ЭИОС КГТУ) и ресурсами Internet;
- работа с компьютерными программами;
- получение консультаций по вопросам изучаемой дисциплины (аудиторно, в дни консультаций по расписанию; в любой доступной форме в электронной образовательной среде ЭИОС КГТУ и другими доступными способами);
- поиск (подбор) литературы (в том числе электронных источников информации) по заданной теме;
- подготовка к текущему контролю и промежуточной аттестации.

Для подготовки к занятиям, текущему контролю и промежуточной аттестации обучающиеся могут воспользоваться электронной библиотекой Университета, где имеется возможность получить доступ к учебно-методическим материалам как библиотеки Университета, так и иных электронных библиотечных

систем. Также студенты могут взять на дом необходимую литературу на абонементе или воспользоваться читальным залом. Ответы на вопросы, выносимые для самостоятельного изучения (повторения), должны быть кратко законспектированы в тетради для лекций. При подготовке к лабораторным работам студентам рекомендуется изучить соответствующий лекционный материал, а также вопросы, выносимые для самостоятельного изучения.

Заключение

В учебно-методическом пособии даны рекомендации по изучению дисциплины «FEM Used in Designing of Electrical Machines and Apparatus / Метод конечных элементов в проектировании электрических машин и устройства». Объем сведений, рассматриваемых на аудиторных занятиях по данной дисциплине, обеспечивает формирование базового уровня знаний и умений студентов и предполагает значительный объем самостоятельной работы для более широкого и качественного освоения основных тем дисциплины.

В пособии содержатся рекомендации по изучению теоретического материала и самостоятельной подготовке. Знания, умения и навыки в соответствующем разделе электроэнергетики и электротехники, приобретенные в ходе изучения дисциплины, позволят будущим специалистам в дальнейшем успешно решать практические задачи в профессиональной деятельности.

Библиографический список

1. Клуникова, Ю. В. Метод конечных элементов для моделирования устройств и систем: учебное пособие / Ю. В. Клуникова. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019. – 85 с. – ISBN 978-5-9275-3277-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лебедев, М. О. Решение двумерных задач методом конечных элементов на Mathcad : учебное пособие / М. О. Лебедев. – Санкт-Петербург: БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2018. – 42 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Локальный электронный методический материал

Максим Сергеевич Харитонов

МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОЕКТИРОВАНИИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И УСТРОЙСТВ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 1,3. Печ. л. 1,2.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1