

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

М. С. Харитонов

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по изучению дисциплины для студентов магистратуры
по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника,
профиль программы «Электроснабжение»

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 621.3

Рецензент

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

Харитонов, М. С.

Технологии производства и проектирования электрооборудования: учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины «Технологии производства и проектирования электрооборудования» для студ. магистратуры по направлению подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, профиль программы «Электроснабжение» / **М. С. Харитонов.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 35 с.

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

Табл. – 2, список литературы – 4 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 621.3

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

Оглавление

Введение	4
1 Тематический план дисциплины	7
2 Содержание дисциплины.....	8
Раздел 1. Технологии производства электрооборудования	8
Тема 1.1. Производство проводников	8
Тема 1.2. Производство материалов для магнитопроводов.....	10
Тема 1.3. Основные технологии металлообработки.....	11
Тема 1.4. Производство электрических машин.....	13
Тема 1.5. Производство электрических аппаратов	16
Тема 1.6. Производство опор линий электропередачи.....	17
Раздел 2. Технологии проектирования электрооборудования	19
Тема 2.1. Основные уравнения электростатического поля	19
Тема 2.2. Численные методы расчета электростатического поля.....	21
Тема 2.3. Анализ электрических полей с объемным зарядом	23
Тема 2.4. Анализ электрических полей тонких параллельных проводников над поверхностью земли.....	24
Тема 2.5. Анализ электрических полей объемных проводников в однородной среде.....	25
3 Методические указания по самостоятельной работе студентов	27
4 Материалы для практических занятий.....	29
Заключение.....	33
Библиографический список.....	34

Введение

Дисциплина «Технологии производства и проектирования электрооборудования» формирует у обучающихся способность и готовность анализировать технологические процессы, участвовать в производстве, проектировании и управлении процессами производства электрического оборудования. Дисциплина является составным элементом модуля «Технология проектирования электроустановок» и изучается в первом и втором семестрах при очной и заочной формах обучения.

Целью освоения дисциплины является ознакомление обучающихся с фундаментальными основами и техническими особенностями технологических процессов, применяемых при производстве электрического оборудования, и основными методами, и подходами, применяемыми при проектировании электрического оборудования.

Задачи изучения дисциплины:

- изучение особенностей технологических процессов производства электрического оборудования, электротехнических устройств и их элементов;
- изучение влияния применяемых производственных технологий на характеристики производимого оборудования;
- приобретение навыков расчета основных параметров электрического оборудования и требуемых параметров технологического процесса.
- изучение основных возможностей и особенностей использования метода конечных элементов при проектировании электрического оборудования;
- 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 «Технологии производства и проектирования электрооборудования» у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

Знание основных особенностей, преимуществ и возможных рисков современных технологий производства электрического оборудования.

Умение осуществлять и обосновывать выбор технологических решений по производству электрического оборудования с учетом особенностей производственных процессов и возможных рисков.

Владение методами расчета параметров технологических процессов изготовления электрического оборудования по заданным характеристикам.

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 для практических занятий (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 «Технология проектирования электроустановок». 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 практических заданий 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, задания для практических занятий по дисциплине, 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

Дисциплина содержит два тематических раздела: технологии производства электрооборудования (первый семестр) и технологии проектирования электрооборудования (второй семестр). 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 32 академических часа для очной формы обучения и 10 академических часов для заочной формы обучения.

Таблица 2 – Разделы и темы занятий по дисциплине

№ п/п	Темы занятий по дисциплине
1	Раздел 1. Технологии производства электрооборудования
2	Тема 1.1. Производство проводников
3	Тема 1.2. Производство материалов для магнитопроводов
4	Тема 1.3. Основные технологии металлообработки
5	Тема 1.4. Производство электрических машин
6	Тема 1.5. Производство электрических аппаратов
7	Тема 1.6. Производство опор линий электропередачи
8	Раздел 2. Технологии проектирования электрооборудования
9	Тема 2.1. Основные уравнения электростатического поля
10	Тема 2.2. Численные методы расчета электростатического поля
11	Тема 2.3. Анализ электрических полей с объемным зарядом
12	Тема 2.4. Анализ электрических полей тонких параллельных проводников над поверхностью земли
13	Тема 2.5. Анализ электрических полей объемных проводников в однородной среде

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

2 Содержание дисциплины

Раздел 1. Технологии производства электрооборудования

Тема 1.1. Производство проводников

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. Классификация кабельных изделий
2. Процесс волочения проволоки
3. Технологические этапы производства проводников
4. Особенности производства многопроволочных проводников
5. Распространенные виды изоляции кабельных изделий

Рекомендуемая литература:

1. Основы кабельной техники: учебник для студентов вузов / В.М. Леонов, И.Б. Пешков, И.Б. Рязанов, С.Д. Холодный; под ред. И.Б. Пешкова. - Москва: Академия, 2006. - 432 с.

Методические материалы к занятию:

Основными конструктивными элементами всех типов кабелей, проводов и шнуров являются токопроводящие жилы, изоляции, экраны, оболочки, наружные покровы.

Токопроводящие жилы предназначены для прохождения электрического тока и выполняются преимущественно из меди или алюминия (также медная луженая, медная посеребренная и медная никелированная проволока). Изоляция представляет собой слой диэлектрика (пластмассы, резины, пропитанной бумаги и т.д.), наложенный на токопроводящую жилу. Экран – электропроводящий цилиндрический слой вокруг токопроводящей или изолированной жилы, группы жил, сердечника кабеля. Экраны выполняют в виде разделительного слоя различной конфигурации.

Оболочка кабельных изделий может быть изготовлена как из металлов, так и из электроизоляционных материалов, она представляет собой, как правило, трубку, расположенную поверх сердечника и предназначенную для защиты его

от влаги и других внешних воздействий. Поверх оболочки накладывают защитный покров – элемент кабельного изделия, обеспечивающий дополнительную защиту от внешних воздействий. В состав защитного покрова может входить металлическая броня, предназначенная для защиты от механических воздействий при прокладке и частично при эксплуатации, а в некоторых случаях для восприятия растягивающих усилий. Защитный покров выполняют также в виде шланга из пластмассы или резины. Отдельные типы кабелей, проводов и шнуров могут не иметь оболочки, экранов и наружных покровов.

В основе кабельной техники лежит производство токопроводящих жил. Токопроводящие жилы могут быть однопроволочными или многопроволочными, при этом с увеличением числа проволок в жиле увеличивается её гибкость.

По форме токопроводящие жилы подразделяют на круглые, секторные и сегментные. Кабель с секторными жилами имеет меньший диаметр, чем кабель с круглыми жилами при том же сечении токопроводящих жил. Однако на ребрах сектора напряженность электрического поля выше, чем на поверхности круглой жилы, поэтому сектор можно применить только до напряжения 10 кВ. Широкое распространение получили кабели с тремя секторными жилами, с пропитанной бумажной изоляцией в алюминиевой оболочке, которая служит нулевым проводом. В кабелях с полимерной изоляцией используют четыре сектора.

При производстве многопроволочных проводников проволоки скручиваются в жилу, а изолированные жилы в кабель для придания изделию устойчивой формы. Существует две системы скрутки жил: повивная (правильная) и пучковая (шнуровая). При повивной скрутке проволоки в жиле располагаются в строгом порядке (повивами). Центральная проволока считается за первый повив. При этом скрутка может быть левой и правой. Скрутка может быть однонаправленной (классической) и разнонаправленной.

Пучковую систему скрутки целесообразно применять в тех случаях, когда необходима особо гибкая жила. Проволоки в пучковой скрутке не располагаются правильными концентрическими повивами. По гибкости токопроводящие жилы кабелей и проводов подразделяются на шесть классов, отличающихся числом проволок. С ростом класса уменьшается диаметр проволок и увеличивается их количество, что приводит к увеличению гибкости жилы. Кабели с жилами первого и второго классов применяются для стационарной прокладки, с третьего по шестой - для нестационарной прокладки, а также для стационарной прокладки в случаях, где требуется повышенная гибкость при монтаже или вибростойкость во время эксплуатации.

Тема 1.2. Производство материалов для магнитопроводов

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. Классификация материалов по магнитным свойствам
2. Доменная структура ферромагнетиков
3. Магнитомягкие материалы
4. Производство и особенности анизотропных сталей
5. Производство и особенности аморфных сплавов

Рекомендуемая литература:

1. Балла, О. М. Технологии и оборудование современного машиностроения: учебник / О. М. Балла. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 392 с. - ISBN 978-5-8114-4761-9. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Лобанов, М. Л. Металлофизика материалов для электромашиностроения: учебное пособие / М. Л. Лобанов, А. А. Редикульцев, М. А. Зорина; Минво науки и высшего образования РФ. - Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. - 144 с.

Методические материалы к занятию:

К основным проблемам развития энергетики относится проблема энергосбережения как на стадии выработки электроэнергии, так и в процессе ее использования. Помимо совершенствования конструкции энергетического оборудования, важно минимизировать потери в сердечниках вращающихся и стационарных электрических систем. По некоторым оценкам в магнитопроводах электрооборудования теряется до 7 % вырабатываемой энергии. Около 15 % этих потерь приходится на генерацию, 20 % - на передачу, 25 % - на распределение и до 40 % - на потребление электроэнергии. Разработка и применение в энергомашиностроении магнитомягких материалов с пониженными удельными потерями остаются сейчас одним из основных способов энергосбережения.

В настоящее время наиболее распространенными материалами для изготовления магнитопроводов электрических машин (генераторов и электродвига-

телей) и трансформаторов являются электротехнические стали. Электротехнические стали подразделяют на изотропные (динамные), анизотропные (трансформаторные) и релейные. Для динамных и трансформаторных сталей требуется высокое значение индукции насыщения и малые потери на перемагничивание. Различие применения этих сталей в том, что в магнитопроводах из анизотропных сталей направление магнитного потока неизменно, а изотропные стали используются в магнитопроводах, в которых магнитный поток либо вращается, либо охватывает все направления в плоскости листа. Основное требование к релейным сталям - низкая коэрцитивная сила и высокая индукция насыщения (иногда в сочетании с механическими свойствами). Как правило, они представляют собой особочистые низколегированные стали, без специальной технологии производства. Поэтому далее релейные стали отдельно не рассматриваются.

Электротехническая изотропная сталь занимает до 80 % объема производства среди всех электротехнических сталей. Электротехнические изотропные стали можно подразделить по химическому составу; по способу производства: готовая полностью обработанная сталь, поставляемая по технологии «полный процесс», и полуготовая (не полностью обработанная) – по технологии «полу-процесс»; по качеству поверхности полосы (без изоляционного покрытия, с электроизоляционным покрытием с одной или с двух сторон). Возможна классификация этих сталей по химическому составу, физическим характеристикам, способу производства и характеру использования.

Тема 1.3. Основные технологии металлообработки

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. Классификация методов и средств обработки металлов
2. Механическая обработка
3. Литьё под давлением
4. Обработка металла под давлением
5. Термическая обработка
6. Аддитивные технологии

Рекомендуемая литература:

1. Балла, О. М. Технологии и оборудование современного машиностроения: учебник / О. М. Балла. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 392 с. - ISBN 978-5-8114-4761-9. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Зубарев, Ю. М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: учебное пособие / Ю. М. Зубарев. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 212 с. - ISBN 978-5-8114-2990-5. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Металлообработка необходима для того, чтобы создать определенное изделие с нужной формой, размерами и физико-химическими свойствами. Весь спектр технологий металлообработки можно разделить на несколько групп: механическая обработка, литейное производство, термическая обработка и обработка давлением.

Все виды технологий металлообработки на металлорежущих станках объединяет один основной принцип, на котором строится работа: применяется острый и твердый по отношению к заготовке инструмент, к которому прикладывают механическое усилие. Под воздействием инструмента изменяется форма или размер заготовки. Величина, на которую заготовка превышает размер конечного изделия, называется припуск.

Выделяется целый ряд способов металлообработки, основанных на механическом воздействии:

Точение. Эта технология металлообработки на токарном станке предполагает жесткое закрепление детали и ее вращение вокруг своей оси. В это время резец снимает слой металла с поверхности заготовки. Такой способ металлообработки применяется для производства деталей, имеющих форму тела вращения.

Сверление. Основная цель заключается в проделывании отверстий в заготовке. Деталь жестко фиксируют с помощью тисков и в ней сверлят отверстие быстро вращающимся сверлом. Размер отверстия зависит от параметров сверла.

Фрезерование. Фрезеровальный станок дает возможность создавать детали практически любой требуемой формы. Это обеспечивается тем, что рабочая поверхность фрезы может перемещаться практически в любом направлении.

Строгание. Резец движется относительно неподвижно закрепленной детали, каждый раз снимая продольную полоску металла. Применяется для создания продольных пазов.

Шлифование. Заготовка обрабатывается посредством воздействия шлифовальным кругом, который крутится продольно, поперечно или вокруг заготовки.

В результате получается высокоточная деталь. Эта технология металлообработки нужна для подготовки поверхности к нанесению покрытий.

При изготовлении металлической детали может понадобиться различное оборудование. Зачастую все операции комбинируются и группируются для достижения наилучшего результата, снижения затрат и упрощения процессов.

Тема 1.4. Производство электрических машин

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 вопросы технологии электромашиностроения
2. Механическая обработка деталей, изготовление сердечников, магнитопроводов, коллекторов и контактных колец
3. Технология производства обмоточно-изолирующих работ
4. Сборка и испытание электрических машин

Рекомендуемая литература:

1. Балла, О. М. Технологии и оборудование современного машиностроения: учебник / О. М. Балла. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 392 с. - ISBN 978-5-8114-4761-9. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Зубарев, Ю. М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: учебное пособие / Ю. М. Зубарев. - Санкт-Петербург: Лань, 2018. - 212 с. - ISBN 978-5-8114-2990-5. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Методические материалы к занятию:

Основной особенностью технологии производства электрических машин является чрезвычайное разнообразие технологических процессов. Технология машиностроения изучает лишь механическую обработку и сборку деталей.

Изготовление электрической машины представляет собой совокупность различных технологических процессов, состоящих из: |

- получения заготовок деталей машины;
- механической обработки деталей;

- штамповки деталей из тонколистовой стали, цветных металлов и изоляционных материалов;
- изготовления и укладки обмоток;
- сборки сборочных единиц и машины в целом;
- контроля и испытания обмоток.

Рассмотрим кратко эти процессы. Заготовки получают отливкой из чугуна и стали в земляные и металлические формы деталей машин, имеющих сложную конфигурацию (станины, подшипниковые шиты, детали якоря и др.); отливкой деталей из цветных металлов, чаще всего из алюминия в кокиль и под давлением (станины и подшипниковые шиты машин небольшой мощности, вентиляторы, короткозамкнутые роторы); изготовление заготовок остовов сваркой из аустеновой стали, созданием штампосварных конструкций; ковкой или штамповкой заготовок валов и других деталей.

Механической обработке на токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных станках подвергаются станины, подшипниковые шиты, валы, крышки подшипников, детали якорной группы (втулки и конусы коллектора, обмоткодержатели, нажимные шайбы).

Качество выполнения этих процессов в значительной степени определяет такие важные свойства машины, как надежность ее работы, искрение под щетками, потери в стальных сердечниках, нагрев отдельных частей и др. Качество изготовления такого сложного узла, каким является коллектор, в сильной степени зависит от рационального технологического процесса.

В общей трудоемкости изготовления электрической машины механическая обработка занимает значительное место. При обработке деталей применяют универсальное металлорежущее оборудование, полуавтоматы, агрегатные станки и автоматические линии, обеспечивающие наибольшую производительность. Однако использование полуавтоматических станков и автоматических линий бывает экономически целесообразно только при большом выпуске деталей одного типоразмера, т.е. в условиях массового и крупносерийного производства.

В единичном и мелкосерийном производстве часто бывает экономически нецелесообразно изготавливать специальные приспособления для отработки деталей. Вместо них для повышения производительности труда применяют универсально-сборные приспособления (УСП).

УСП представляют собой различные приспособления, которые собирают из нормализованных деталей, а когда они не нужны, их разбирают на составные элементы.

В крупных электромашиностроительных объединениях созданы прокатные базы УСП, которые имеют по несколько комплектов нормализованных деталей, и из них по заказам заводов собирают нужные приспособления. В один

комплект УСП входит до 25 тыс. различных нормализованных деталей: корпусов, втулок, призм, планок, прихватов, опор, направляющих элементов и т.п.

Штамповка деталей из тонколистовой стали, цветных металлов и изоляционных материалов является одним из высокопроизводительных процессов.

Наибольший удельный вес среди деталей, получаемых штамповкой, составляют листы сердечников магнитопроводов. Листы статора, ротора или якоря в зависимости от типа производства штампуют пазовыми штампами на специальных прессах, совмещенными - на универсальных прессах и последовательными - на прессах-автоматах.

Наиболее производительной является штамповка листов сердечников на четырехпозиционных прессах-автоматах. Однако на таких прессах можно вырубать листы сердечников сравнительно небольших размеров. Потери от вихревых токов в сердечниках электротехнической стали существенно зависят от технологии штамповки листов, сборки и обработки сердечников. При низком качестве штамповки и шихтовки листов потери в сердечниках могут в 2...3 раза превышать расчетные, определяемые по удельным потерям в образцах данного сорта электротехнической стали.

Процессы изготовления и укладки обмоток являются специфическими процессами, присущими электромашиностроению.

При изготовлении обмоток применяют не стандартизированное оборудование, т.е. оборудование, которое не выпускается станкостроительной промышленностью, а изготавливается электромашиностроительными заводами по их чертежам. Конструкции таких станков менее совершенны, а станки менее производительны, чем стандартизированное оборудование.

Механизация и автоматизация процессов изготовления обмоток зависят во многом от исходных изоляционных материалов. Так, наложение наружной изоляции катушек возбуждения удалось механизировать после замены механически непрочной микалентной изоляции на более прочную стеклоизоляцию.

В производстве обмоток исключительно важное значение имеют чистота в цехе и точное выполнение технологических процессов. Пыль и грязь, попадающие на изоляцию, снижают срок службы изоляции, а ничтожная металлическая стружка, как правило, приводит к пробое изоляции на испытательной станции или в эксплуатации.

Поэтому при планировании производственных участков необходимо предусмотреть, чтобы работы, связанные с обработкой металлов, не производились вблизи обмоточных и изоляционных участков, и, кроме того, необходимо обеспечить продувку сжатым воздухом пазов перед укладкой обмотки.

При изготовлении обмоток и особенно при укладке их в пазы сердечников в основном преобладает ручной труд.

К сборочным процессам относят изготовление сборочных единиц (сердечник, коллектор, контактные кольца, якорь и др.) и сборку машины в целом. Изготовление сборочных единиц имеет особенности, связанные с применением изоляционных материалов. Например, при изготовлении коллекторов операции сборки перемежаются с операциями нагрева и выпечки собираемых изделий в специальных печах.

Контроль и испытание обмоток производят как в процессе их изготовления, так и в готовой матине. Для этого на производственных участках создаются испытательные станции, оборудованные различными электротехническими установками.

Тема 1.5. Производство электрических аппаратов

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 вопросы производства электрических аппаратов
2. Производства коммутационных аппаратов
3. Производство измерительных трансформаторов
4. Производство электромагнитов

Рекомендуемая литература:

1. Балла, О. М. Технологии и оборудование современного машиностроения: учебник / О. М. Балла. - Санкт-Петербург: Лань, 2020. - 392 с. - ISBN 978-5-8114-4761-9. - Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Технология производства электрических аппаратов управления и защиты / А.В. Волков и др. - Ленинград: Энергия, 1977. - 240 с.

Методические материалы к занятию:

Значительная часть деталей и сборочных единиц электрических аппаратов изготавливается из металлов с применением металлообработки резанием, что является характерным для машиностроения. Поэтому электроаппаратостроение в

некоторой части можно считать разновидностью машиностроения. Однако электроаппаратостроение имеет и некоторое отличие от машиностроения, связанное со спецификой некоторых технологических операций, как, например: изготовление деталей и сборочных единиц из изоляционных материалов, намотка катушек и их пропитка, изготовление магнитопроводов, объемный и печатный электро-монтаж, сборка электроаппаратов и их испытание при низком или высоком напряжениях и другие виды специальных технологических операций, что в основном и отличает электроаппаратостроение от машиностроения

При изготовлении электрических аппаратов применяют в основном почти такие же технологические процессы, как и в машиностроении.

Однако в связи с необходимостью изготавливать детали и сборочные единицы из металлов, электрических проводов с изоляцией и без нее, а также из электроизоляционных материалов в электроаппаратостроении применяются специальные виды технологических процессов, оборудование, инструмента и оснастка.

Объем и состав оснастки, используемой в производстве тех или иных аппаратов, неодинаковы в различных отраслях электроаппаратостроения. Оснащенность штампами, кондукторами, пресс-формами, а также прочими приспособлениями и инструментами зависит от объема, производства, т. е. от количества электроаппаратов, выпускаемых в единицу времени. При серийном производстве, например аппаратов распределительных устройств высокого напряжения применяется много литых деталей. Поэтому в составе оснастки много моделей, металлических форм и пресс-форм для литья, много также приспособлений для обработки этих деталей на металлорежущих станках. При крупносерийном и массовом производстве контакторов, реле, магнитных пускателей большинство деталей - холодноштампованные из металлов и пресованные из пластмасс. Поэтому в составе оснастки производства таких аппаратов много штампов и пресс-форм.

Тема 1.6. Производство опор линий электропередачи

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. Классификация опор линий электропередачи
2. Деревянные опоры
3. Железобетонные опоры
4. Металлические опоры
5. Композитные опоры

Рекомендуемая литература:

1. Гунгер, Ю.Р. Стальные многогранные облегченные опоры для ВЛ 35-220 кВ / Ю.Р. Гунгер, Ю.А. Лавров // Новости электротехники. - 2009. - № 5.
2. Бочаров, Ю.Н. К вопросу о композитных опорах воздушных линий / Ю.Н. Бочаров, В.В. Жук // Труды Кольского научного центра РАН. - 2012. - Т. 4

Методические материалы к занятию:

Опоры воздушных линий поддерживают провода на необходимом расстоянии от поверхности земли, проводов других линий, крыш зданий и являются одним из самых сложных элементов ЛЭП. При проектировании и строительстве этих сооружений необходимо принимать во внимание как климатические, так и грунтовые характеристики местности. В настоящее время производители опор стремятся к удешевлению производства и повышению прочностных характеристик изделий. В виду этого разрабатываются различные конструкции, позволяющие снизить нагрузки на фундамент и обеспечить устойчивую эксплуатацию в различных режимах работы.

В процессе развития линий электропередачи утвердились четыре вида опор по материалу, из которого они изготавливаются: деревянные, железобетонные, металлические и композитные.

К числу современных решений относятся композитные опоры. При их изготовлении используется многокомпонентный материал с полимерной матрицей на основе полиэфирной или эпоксидной смолы, армированной стекляннм, базальтовым или углеволокном. Это хорошая альтернатива традиционным материалам, которая превосходит их по некоторым эксплуатационным параметрам.

Композитные опоры применяются для установки на воздушных ЛЭП классов напряжений 220, 110, 35 и 10 кВ. На линиях более высокого напряжения композитные опоры еще не нашли широкого применения и используются достаточно ограничено. Конструкции обладают высокой упругостью, поэтому хорошо переносят сильные порывы ветра и нагрузку от обледенения. Срок службы композитных опор достигает 70 лет, что сравнимо со стальными опорами.

Опоры представляют собой многослойное изделие, состоящее минимум из двух материалов: армирующей сетки из стекловолокна и полиэфирной смолы. Опора изготавливается из нескольких слоев этих материалов, что обеспечивает механическую прочность и надежность конструкции. Для изготовления композитных опор применяется метод намотки.

Композитный модуль опоры изготавливают следующим образом. Волокнистый наполнитель наматывают на вращающую оправку, образуя слои и формируя требуемую толщину и структуру модуля. В одном технологическом процессе совмещают пропитку волокнистого наполнителя и формирование конического модуля композитной опоры. Стеклонити волокнистого наполнителя сматывают с бобин, собирают в жгут, который пропитывается, проходя через ванну с жидкой полимерной основой. Сформированный композитный модуль выдерживают до отверждения и на его отвержденную поверхность с помощью кисти или краскопульта наносят корундовое покрытие. Корундовое покрытие после высыхания образует на поверхности композитного модуля сверхтонкую высокопористую теплоизоляцию, которая работает за счет создания высокого термического сопротивления трех видов теплопередачи и защищает композитную опору от низовых пожаров.

Раздел 2. Технологии проектирования электрооборудования

Тема 2.1. 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. Сипайлова, Н. Ю. Электрические и электронные аппараты. Проектирование: учебное пособие для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00746-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт.

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 2.2. 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. Сипайлова, Н. Ю. Электрические и электронные аппараты. Проектирование: учебное пособие для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00746-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт.

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 2.3. 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. 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. Сипайлова, Н. Ю. Электрические и электронные аппараты. Проектирование: учебное пособие для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00746-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт.

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 2.4. 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. 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. Сипайлова, Н. Ю. Электрические и электронные аппараты. Проектирование: учебное пособие для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00746-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт.

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 2.5. 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 объёмных 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. Сипайлова, Н. Ю. Электрические и электронные аппараты. Проектирование: учебное пособие для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00746-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт.

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 «Технологии производства и проектирования электрооборудования», 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.

4 Материалы для практических занятий

Задания для практических занятий предусмотрены для закрепления теоретического материала, изученного на лекционных занятиях. Задания предполагают проведение расчетов для основных технологических вопросов в области производства кабельно-проводниковых изделий. Содержание заданий приведено ниже, данные для расчетов выдаются преподавателем индивидуально.

Тема 1. Скрутка токопроводящих жил кабельных изделий

Цель занятия: Изучение конструкций крутильных машин, методики расчета и реализации режима скрутки токопроводящих жил на крутильных машинах.

Задание:

1. Из ГОСТ 22483-77 на ТПЖ находится количество и диаметры проволок жилы для заданного сечения определяется конструкция жилы: для жил I-III классов - количество повивов, форма скрутки, диаметры повивов; для жил IV-VI классов - количество проволок, стренг, форма скрутки, диаметры стренг и повивов.
2. Выбрать способ скрутки (с откруткой или без открутки).
3. В соответствии с конструктивными данными жилы и способом скрутки выбрать необходимые для скрутки крутильные машины и ознакомиться с их техническими характеристиками.
4. Ознакомиться с конструкциями основных узлов и кинематической схемой машины, системами регулирования скорости тягового и частотой вращения крутильного устройств.
5. Рассчитать режим скрутки, т. е. найти h_p и размеры калибров для каждого повива.
6. Изобразить кинематическую схему машины.
7. По кинематической схеме произвести расчет практических шагов скрутки.
8. Выбрать практический режим скрутки.
9. Составить карту технологической операции скрутки.

Контрольные вопросы:

1. От чего зависит гибкость токопроводящих жил?
2. Какие виды и способы скрутки применяются при формировании жил?
3. Какое влияние оказывает направление скрутки повивов на жиле?
4. Как обеспечивается изменение шага скрутки повивов жилы на крутильной машине?
5. Какие виды и способы скрутки реализуются на клетьевых, сигарных и рамочных машинах?

Тема 2. Изолирование токопроводящих жил кабельных изделий методом обмотки

Цель занятия: Изучение метода обмотки токопроводящих жил кабельных изделий лентами, расчет кинематических схем обмоточных машин и выбор режима изолирования.

Задание:

1. Составить таблицу с геометрическими размерами изделия и радиальной толщиной изоляции.
2. Выбрать марку и толщину пленки для изолирования жилы.
3. Подобрать обмоточную машину, записать ее технические характеристики, количество обмотчиков, начертить кинематическую схему и определить практические шаги обмотки, реализуемые на машине.
4. Выбрать теоретический угол обмотки и рассчитать теоретический шаг обмотки.
5. По рассчитанному теоретическому шагу обмотки выбрать ближайший типовой.
6. Определить практический угол обмотки
7. Определить количество лент, необходимое для наложения изоляции заданной толщины.
8. Рассчитать ширину ленты и выбрать направление обмотки. По результатам расчета составить карту эскиза технологического процесса обмотки.

Контрольные вопросы:

1. Методы обмотки токопроводящих жил лентами и их применение.
2. Какие параметры обмотки влияют на гибкость изоляции?
3. Как определить практический шаг обмотки?
4. Какое влияние оказывает величина зазора или перекрытия на механические и электрические свойства изоляции?

Тема 3. Экструзия полимерной изоляции и оболочки

Цель занятия: Изучение влияния режима экструзии на качество изоляции и расчет параметров процесса экструзии.

Задание:

1. Ознакомиться с конструкцией кабельного изделия, для которого необходимо рассчитать параметры процесса изолирования.
2. Выбрать формующий инструмент (дорн, матрицу), зарисовать и записать их основные размеры.
3. Определить основные параметры червяка экструдера.
4. Выбрать технологический параметр экструзии и выявить диапазон его изменения.

5. Рассчитать производительность экструдера и скорость экструзии. Установить влияние параметров режима экструзии, параметров червяка и инструмента на производительность и скорость экструзии.
6. Выбрать параметр качества изоляции и оценить влияние экструзии на величину его параметра (представить в виде графика).

Контрольные вопросы:

1. Эффективная вязкость. Какие факторы оказывают влияние на ее величину?
2. Как влияют параметры червяка на производительность прессы?
3. Влияние температуры термопластичного материала на производительность прессы.
4. Влияние надмолекулярной структуры на электрические свойства изоляции.
5. Влияние внутренних механических напряжений на электрические свойства изоляции.
6. Назначение и основные узлы экструзионного агрегата.

Тема 4. Производство кабельных изделий с резиновой изоляцией и оболочкой

Цель занятия: Изучение конструкции линий кабельных непрерывной вулканизации, технологии изготовления кабельного изделия с резиновой изоляцией и оболочкой, расчет технологического режима вулканизации.

Задание:

1. По ГОСТ или ТУ ознакомиться с конструкцией кабеля, для которого необходимо рассчитать параметры процесса производства на ЛКНВ. Определить основные размеры кабеля: диаметр жил, толщину и диаметры по изоляции и оболочке, марки материалов, резиновых смесей, применяемых в кабеле.
2. Ознакомиться с конструкцией формующего инструмента: дорна и матрицы. В соответствии с размерами изделия выбрать, основные размеры инструмента.
3. Определить параметры нарезки червяка экструдера ЛКНВ.
4. Теоретически рассчитать время и скорость вулканизации изоляции (оболочки) для трех значений температуры и определить частоту вращения червяка.

Контрольные вопросы:

1. Технология изготовления кабельных изделий с резиновой изоляцией.
2. Особенности конструкции линий кабельной непрерывной вулканизации.
3. Каковы особенности процесса вулканизации?
4. Как производится расчет технологического режима вулканизации?

Тема 5. Оплетка кабельных изделий

Цель занятия: Ознакомление с конструкцией оплеточной машины, изучение влияния режима процессов оплетки на эксплуатационные свойства оплетки.

Задание:

1. Определить основные технологические характеристики и начертить кинематическую схему оплеточной машины.
2. Ознакомиться с конструкцией кабельного изделия, для которого необходимо рассчитать параметры процесса наложения оплетки.
3. По ГОСТ или ТУ установить требования к оплетке данного изделия, материалу оплетки, линейной плотности волокнистых материалов или диаметру проволоки.
4. Задать четыре значения параметра оплетки и для каждого рассчитать режим оплетки.
5. Согласно результатам расчета режимов процесса оплетки, составить карту эскизов (технологическую карту).

Контрольные вопросы:

1. Поверхностная и линейная плотности. Определение и взаимная связь.
2. Основные технологические параметры оплеток и их взаимная связь.
3. Размеры пряди и линейная плотность.
4. Как влияет угол оплетки на производительность оплеточных машин?

Заключение

В учебно-методическом пособии даны рекомендации по изучению дисциплины «Технологии производства и проектирования электрооборудования». 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. Сысоев, С. К. Технология машиностроения. Проектирование технологических процессов: учеб. пособие / С. К. Сысоев, А. С. Сысоев, В. А. Левко. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2016. – 352 с. – ISBN 978-5-8114-1140-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

2. Балла, О. М. Технологии и оборудование современного машиностроения: учебник / О. М. Балла. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 392 с. – ISBN 978-5-8114-4761-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

3. Зубарев, Ю. М. Динамические процессы в технологии машиностроения. Основы конструирования машин: учеб. пособие / Ю. М. Зубарев. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 212 с. – ISBN 978-5-8114-2990-5. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

4. Сипайлова, Н. Ю. Электрические и электронные аппараты. Проектирование: учебное пособие для вузов / Н. Ю. Сипайлова. – Москва: Издательство Юрайт, 2021. – 167 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00746-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт.

Локальный электронный методический материал

Максим Сергеевич Харитонов

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 2,4. Печ. л. 2,2.

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