

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**

**Факультет приборостроения, электротехнических
и биотехнических систем
Кафедра электромеханики**



УТВЕРЖДАЮ:

Декан факультета

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
И БИОТЕХНИЧЕСКИХ
(ПОДПИСЬ)**

Тарасенко О.В.

2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РАСЧЕТЫ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИКЕ»

По направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Профиль: «Электромеханика»

Луганск – 2023

Лист согласования РПУД

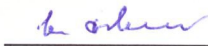
Рабочая программа учебной дисциплины «Электромагнитные расчеты в электромеханике» по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. – 31 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Электромагнитные расчеты в электромеханике» составлена с Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 с изменениями и дополнениями в соответствии с приказами МИНОБРНАУКИ РОССИИ № 1456 от 26.11.2020 г., № 83 от 08.02.2021 г., №662 от 19.07.2022).

СОСТАВИТЕЛЬ:

канд. техн. наук, доцент Безкоровайный В.С.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры электромеханики «14» 04 2023 г., протокол № 6-1

Заведующий кафедрой электромеханики  Яковенко В.В.

Переутверждена: « » 20 г., протокол №

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии факультета приборостроения, электротехнических и биотехнических систем «18» 04 2023 г., протокол № 3.

Председатель учебно-методической комиссии факультета приборостроения, электротехнических и биотехнических систем  Яременко С.П.

© Безкоровайный В.С., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – получение студентами теоретических знаний по методам расчёта электромагнитных полей в электромеханике, а также овладение практическими навыками электромагнитных расчётов, разработкой соответствующих алгоритмов программ

Задачи: научить студентов использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной техники для решения инженерных задач; освоение студентами принципов электромагнитного расчета различного электрооборудования; изучение и выбор специальных программных средств компьютерной техники для решения инженерных задач.

2. Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Электромагнитные расчеты в электромеханике» относится к циклу профессиональных дисциплин части, формируемая участниками образовательных отношений. Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знание основы теории электромагнитного поля и цепей с распределенными параметрами; принцип действия электронных устройств; умения применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников; применять системный подход для решения поставленных задач навыками количественной оценки изменений электромагнитных переменных, прогнозирования функционирования электрической цепи или электротехнического устройства при изменении этих переменных. Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин «Электрические машины», «Теоретические основы электротехники», «Компьютерная графика» и служит основой для освоения дисциплин «Теория электропривода», «Теория автоматического управления и автоматика в электромеханике», «Основы автоматического проектирования электромеханических систем».

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов
ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.1. Обладает базовыми знаниями в области физико-математических наук, необходимыми для решения профессиональных задач ОПК-3.2. Аргументированно применяет физические	Знать: математический аппарат численных методов электричества и магнетизма

	законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера ОПК-3.3. Обладает навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, решения профессиональных задач в области электроэнергетики и электротехники	Уметь: применять математические методы и алгоритмы для решения практических задач; решать задачи, используя различные методы разработки алгоритмов и выбирая наиболее подходящие алгоритмы и средства их реализации в зависимости от постановки задачи
		Владеть: построением математических моделей алгоритмов и программ; разработкой и отладкой программ на языках процедурного и объектно-ориентированного программирования: реализации разработанных алгоритмов с использованием стандартных типов данных, процедур и функций; разработки пользовательских типов, процедур и функций; разработкой и оформлением программной документации; навыками самостоятельного решения задач с помощью компьютеров, изучения новых возможностей и средств разработки программ.
ПК-01. Способен участвовать в исследованиях и испытаниях электрооборудования электроэнергетических систем	ПК-01.1. Осуществляет организацию сбора и изучения научно-технической информации по теме исследований и разработок электрооборудования электроэнергетических	Знать: методы анализа и обработки научно-технической информации по тематике исследования из отечественных и зарубежных источников
		Уметь: проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать и анализировать результаты

	систем; ПК-01.2. Проводит анализ научных данных и осуществляет теоретическое обобщение результатов экспериментов и наблюдений	исследований; проводить технико-экономическое обоснование планируемых капиталовложений Владеть: навыками составления отчетов по результатам исследований
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	216 (6 зач. ед)	180 (5 зач. ед)
Обязательная контактная работа (всего) в том числе:	102	18
Лекции	68	10
Семинарские занятия	-	-
Практические занятия	34	8
Лабораторные работы	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	36	36
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, индивидуальные задания и т.п.</i>)	-	-
Самостоятельная работа студента (всего)	114	162
Форма аттестации	зачет, экзамен	зачет, экзамен

4.2. Содержание разделов дисциплины

Семестр 5

Тема 1. Введение. Электростатические поля. Законы электростатических полей и их использование при электромагнитных расчетах.

Цели и задачи дисциплины. Физическое представление об электростатическом поле. Напряженность электростатического поля. Расчет поля по заданному заряду в объеме V .

Тема 2. Понятие о скалярном потоке вектора. Теорема Гаусса.

Скалярный вектор. Теорема Гаусса. Трубка ровного потока вектора напряженности.

Тема 3. Принцип потенциальности в электростатике.

Потенциал. Принцип потенциальности. Математическая связь между потенциалом и вектором напряженности в электростатическом поле.

Тема 4. Проводящие тела в электростатическом поле.

Электростатическое поле. Емкость. Примеры расчета простейших полей с помощью теоремы Гаусса.

Тема 5. Законы Ома в стационарном поле тока. Основные понятия. Вектор плотности тока.

Стационарный электрический ток. Линия тока. Вектор плотности тока. Принцип непрерывности тока проводимости.

Тема 6. Закон Ома в дифференциальной и интегральной форме.

Обобщенный закон Ома в дифференциальной и интегральной форме.

Тема 7. Магнитное поле постоянных токов.

Основные понятия. Вектор магнитной индукции. Принцип непрерывности магнитного потока.

Тема 8. Закон полного тока.

Закон полного тока.

Тема 9. Магнитный поток и потокосцепление самоиндукции.

Поток самоиндукции. Поток взаимной индукции. Коэффициент взаимной индукции. Энергия поля и силы в магнитных полях.

Тема 10. Основные законы и уравнения стационарных электрических и магнитных полей в дифференциальной форме.

Основные законы. Дифференциальные уравнения для потенциала и граничные условия в электростатике. Основные уравнения и граничные условия в стационарном поле тока. Основные уравнения и граничные условия магнитного поля.

Тема 11. Векторный потенциал в магнитном поле.

Магнитный векторный потенциал. Уравнение Пуассона для векторного потенциала. Расчет магнитного потока с помощью векторного потенциала.

Тема 12. Уравнения Максвелла.

Первое уравнение Максвелла. Второе уравнение Максвелла.

Тема 13. Поверхностный эффект.

Электрический поверхностный эффект. Магнитный поверхностный эффект.

Тема 14. Расчет электрического поверхностного эффекта шины прямоугольного сечения.

Расчет электрического поверхностного эффекта шины прямоугольного сечения

Тема 15. Расчет комплексного сопротивления шины. Расчет комплексной мощности в листе, обтекаемом синусоидальным магнитным потоком.

Расчет комплексного сопротивления шины. Расчет комплексной мощности в листе, обтекаемом синусоидальным магнитным потоком.

Тема 16. Приближенные способы расчета комплексной мощности в стальном листе, обтекаемом магнитным потоком.

Приближенные способы расчета комплексной мощности в стальном листе, обтекаемом магнитным потоком.

Тема 17. Расчет электромагнитного поля и продольных параметров коаксиального кабеля.

Расчет электромагнитного поля и продольных параметров коаксиального кабеля.

Семестр 6.

Тема 1. Расчет одномерного магнитного поля в прямом пазу электрической машины.

Расчет одномерного магнитного поля в прямом пазу электрической машины с односторонним и двухсторонним открытием.

Тема 2. Эквивалентные схемы замещения прямоугольного паза.

Параметры П-образной схемы замещения прямоугольного паза. Каскадные магнитные схемы замещения прямоугольных пазов. Схема замещения паза при наличии технологических зазоров.

Тема 3. Эквивалентная схема замещения прямоугольного полуоткрытого паза со вспынной обмоткой.

Эквивалентная схема замещения прямоугольного полуоткрытого паза со вспынной обмоткой

Тема 4. Магнитное поле и параметры прямоугольного паза со смещенной шлицевой заной.

Магнитное поле и параметры прямоугольного паза со смещенной шлицевой заной.

Тема 5. Одномерное стационарное магнитное поле в клиновом пазу с двухсторонним открытием.

Одномерное стационарное магнитное поле в клиновом пазу с двухсторонним открытием.

Тема 6. Приближенный метод расчета магнитной проводимости пазов различных конфигураций.

Приближенный метод расчета магнитной проводимости пазов различных конфигураций.

Тема 7. Синусоидальные электромагнитные поля и параметры пазов ротора асинхронных электрических машин.

Общая характеристика проблемы. Одномерное электромагнитное поле в прямоугольном пазу с односторонним открытием.

Тема 8. Комплексное сопротивление стержня ротора асинхронной машины.

Комплексное сопротивление стержня ротора асинхронной машины. Одномерное электромагнитное поле в прямоугольной области паза с ненулевыми граничными условиями.

Тема 9. Метод расчета комплексного сопротивления стержня короткозамкнутого ротора с учетом насыщения зубцов.

Метод расчета комплексного сопротивления стержня короткозамкнутого ротора с учетом насыщения зубцов.

Тема 10. Стационарные магнитные поля и слоистые модели активных объемов явнополюсных электрических машин.

Слоистая расчетная модель активного объема обобщенной явнополюсной машины.

Тема 11. Постановка и решение задачи о расчете магнитного поля возбуждения в системе полюс–межполюсное пространство машины постоянного тока.

Расчет магнитного поля возбуждения в системе полюс–межполюсное пространство машины постоянного тока.

Тема 12. Математическое описание магнитного поля возбуждения в объеме электрической машины постоянного тока.

Математическое описание магнитного поля возбуждения в объеме электрической машины постоянного тока.

Тема 13. Продольное и поперечное реакции якоря в машине постоянного тока.

Расчет продольной и поперечной реакции якоря в машине постоянного тока.

Тема 14. Исследование поля возбуждения при наличии распределенных токов в межполюсных пространствах.

Исследование поля возбуждения при наличии распределенных токов в межполюсных пространствах.

Тема 15. Магнитное поле электрической машины с постоянными магнитами.

Расчет магнитного поля электрической машины с постоянными магнитами.

Тема 16. Эквивалентная схема замещения воздушного зазора электрической машины.

Эквивалентная схема замещения воздушного зазора электрической машины.

Тема 17. Современный САПР для расчета электромагнитных полей электрических машин.

Программы для автоматизации расчетов электромагнитных полей электрических машин.

4.3. Лекции

Семестр 5

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Введение. Электростатические поля. Законы электростатических полей и их использование при электромагнитных расчетах	2	4
2.	Понятие о скалярном потоке вектора. Теорема Гаусса	2	
3.	Принцип потенциальности в электростатике	2	
4.	Проводящие тела в электростатическом поле	2	
5.	Законы Ома в стационарном поле тока. Основные понятия. Вектор плотности тока	2	
6.	Закон Ома в дифференциальной и интегральной форме	2	
7.	Магнитное поле постоянных токов	2	
8.	Закон полного тока	2	
9.	Магнитный поток и потокосцепление	2	

	самоиндукции		
10.	Основные законы и уравнения стационарных электрических и магнитных полей в дифференциальной форме	2	
11.	Векторный потенциал в магнитном поле	2	
12.	Уравнения Максвелла	2	
13.	Поверхностный эффект	2	
14.	Расчет электрического поверхностного эффекта шины прямоугольного сечения	2	
15.	Расчет комплексного сопротивления шины. Расчет комплексной мощности в листе, обтекаемом синусоидальным магнитным потоком	2	
16.	Приближенные способы расчета комплексной мощности в стальном листе, обтекаемом магнитным потоком	2	
17.	Расчет электромагнитного поля и продольных параметров коаксиального кабеля	2	
Итого:		34	4

Семестр 6

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1.	Расчет одномерного магнитного поля в прямом пазу электрической машины	2	6
2.	Эквивалентные схемы замещения прямоугольного паза	2	
3.	Эквивалентная схема замещения прямоугольного полуоткрытого паза со насыщенной обмоткой	2	
4.	Магнитное поле и параметры прямоугольного паза со смещенной шлицевой заной	2	
5.	Одномерное стационарное магнитное поле в клиновом пазу с двухсторонним открытием	2	
6.	Приближенный метод расчета магнитной проводимости пазов различных конфигураций	2	
7.	Синусоидальные электромагнитные поля и параметры пазов ротора асинхронных электрических машин	2	
8.	Комплексное сопротивление стержня ротора асинхронной машины	2	
9.	Метод расчета комплексного сопротивления стержня короткозамкнутого ротора с учетом насыщения зубцов	2	
10.	Стационарные магнитные поля и слоистые модели активных объемов явнополюсных электрических машин	2	
11.	Постановка и решение задачи о расчете магнитного поля возбуждения в системе	2	

	полюс–межполюсное пространство машины постоянного тока		
12.	Математическое описание магнитного поля возбуждения в объеме электрической машины постоянного тока	2	
13.	Продольное и поперечное реакции якоря в машине постоянного тока	2	
14.	Исследование поля возбуждения при наличии распределенных токов в межполюсных пространствах	2	
15.	Магнитное поле электрической машины с постоянными магнитами	2	
16.	Эквивалентная схема замещения воздушного зазора электрической машины	2	
17.	Современный САПР для расчета электромагнитных полей электрических машин	2	
Итого:		34	6

4.4. Практические (семинарские) занятия Семестр 5

№	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Расчет поля постоянного магнита с применением программ САПР.	2	2
2	Расчет поля подковообразного магнита с применением программ САПР.	2	
3	Исследование электромагнитного поля плунжерного электромагнита с применением программ САПР.	2	
4	Расчет распределения токов внутри проводника в ферромагнитном пазу электрической машины с применением программ САПР.	2	
5	Вытеснение переменного тока в шине прямоугольного сечения, уложенной в паз электрической машины с применением программ САПР.	2	
6	Расчет картины электромагнитного поля установки индукционного нагрева с применением программ САПР.	2	2
7	Расчет картины электромагнитного поля трехфазного трансформатора с применением программ САПР.	2	
8	Оптимизация конструкции трехфазного силового трансформатора с применением программ САПР.	2	
9	Расчет электромагнитного поля двигателя постоянного тока с постоянными магнитами статора с применением программ САПР.	1	
ИТОГО:		17	4

Семестр 6

№	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Расчет картины магнитного поля бесщеточного двигателя постоянного тока с постоянными магнитами ротора и	4	4

	трехфазной коммутируемой обмоткой на статоре с применением программ САПР.		
2	Электромагнитный расчет линейного асинхронного двигателя с применением программ САПР.	2	
3	Расчет магнитных полей в 2-х полюсных 3-ти фазных турбогенераторах с применением программ САПР.	3	
4	Расчет магнитных полей в 2-х полюсных 6-ти фазных синхронных машинах с применением программ САПР.	4	
5	Расчет магнитных полей в синхронных реактивных электрических машинах с применением программ САПР.	4	
	ИТОГО:	17	4

4.5. Лабораторные работы

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1.	Расчет поля постоянного магнита с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	11
2.	Расчет поля подковообразного магнита с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	11
3.	Исследование электромагнитного поля плунжерного электромагнита с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	11
4.	Расчет распределения токов внутри проводника в ферромагнитном пазу электрической машины с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	11
5.	Вытеснение переменного тока в шине прямоугольного сечения, уложенной в паз электрической машины с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	11
6.	Расчет картины электромагнитного поля установки индукционного нагрева с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	11

		работам		
7.	Расчет картины электромагнитного поля трехфазного трансформатора с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	12
8.	Оптимизация конструкции трехфазного силового трансформатора с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	12
9.	Расчет электромагнитного поля двигателя постоянного тока с постоянными магнитами статора с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	12
10.	Расчет картины магнитного поля бесщеточного двигателя постоянного тока с постоянными магнитами ротора и трехфазной коммутируемой обмоткой на статоре с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	12
11.	Электромагнитный расчет линейного асинхронного двигателя с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	12
12.	Расчет магнитных полей в 2-х полюсных 3-ти фазных турбогенераторах с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	8	12
13.	Расчет магнитных полей в 2-х полюсных 6-ти фазных синхронных машинах с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	9	12
14.	Расчет магнитных полей в синхронных реактивных электрических машинах с применением программ САПР.	Подготовка к практическим работам, оформление отчетов по практическим работам	9	12
Итого:			114	162

4.7. Курсовые работы/проекты по дисциплине «Электромагнитные расчеты в электромеханике».

Курсовая работа (6-й семестр) выполняется на тему: «Расчет картины электромагнитного поля асинхронного двигателя».

Студенту предлагается рассчитать картину электромагнитного поля асинхронного двигателя, создать и рассчитать геометрическую модель асинхронного двигателя в программе Elcut, указать свойства материалов, задать граничные условия, построить сетку конечных элементов, определить максимальное значение магнитной индукции, и картину электромагнитного поля.

Графическая часть содержит один лист формата A1, на котором приведены геометрическая модель асинхронного двигателя, сетка конечных элементов, картина электромагнитного и теплового поля асинхронного двигателя.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий: объяснительно-иллюстративного обучения (технология поддерживающего обучения, технология проведения учебной дискуссии), информационных технологий (презентационные материалы), развивающих и инновационных образовательных технологий.

Практические занятия проводятся с использованием развивающих, проблемных, проектных, информационных образовательных технологий.

6. Формы контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы преподавателем(ями), ведущими практические занятия и лабораторные работы по дисциплине в следующих формах:

- вопросы к практическим занятиям;
- вопросы к зачету;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме устного/письменного зачета/экзамена (включает в себя ответы на теоретические вопросы). Студенты, выполнившие 75% текущих и контрольных мероприятий на «отлично», а остальные 25 % на «хорошо», имеют право на получение итоговой оценки.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по шкале, приведенной в таблице.

Шкала оценивания (зачет/экзамен)	Характеристика знания предмета и ответов	Зачеты
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает	зачтено

	принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.	
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.	
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.	
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.	не зачтено

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Инкин А.И. Электромагнитные поля и параметры электрических машин. Учебное пособие. – Новосибирск: ООО «Издательство ЮКЭА», 2002. – 464 с. Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://ru-knigi.org/2017/08/28/ai-inkin-elektromagnitnye-polya-i-parametry-elektricheskikh-mashin.html>

2. Кондратьев В.А., Модельно-ориентированное проектирование комплектных электромагнитных приводов / Кондратьев В.А. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 160 с. - ISBN 978-5-7782-2967-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229679.html>

3. Копылов И.П., Проектирование электрических машин и САПР : Учеб. для вузов / И.П. Копылов. - М. : Абрис, 2012. - 767 с. - ISBN 978-5-4372-0041-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200414.html>

4. Петренко Ю.В., Теоретические основы электротехники. Переходные процессы в линейных электрических цепях : учебное пособие / Петренко Ю.В. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 84 с. - ISBN 978-57782-2812-2 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778228122.html>

б) дополнительная литература:

1. Туровский. Я. Электромагнитные расчеты элементов электрических машин: Пер. с польск. – М.: Электроатомиздат, 1986. – 200с.

2. Компьютерные модели электромеханических систем. Модели основных компонентов электромеханических систем [Электронный ресурс] / Липай Б.Р. - М.: Издательский дом МЭИ, 2019. Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013519.html>

3. Черевко А.И., Теоретические основы электротехники / А.И. Черевко, М.Л. Ивлев - Архангельск : ИД САФУ, 2015. - 94 с. - ISBN 978-5-261-01024-1 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785261010241.html>

в) методические рекомендации:

1. Методические указания к практическим работам по дисциплине «Электромагнитные расчеты в электромеханике» (для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника») /Сост.: В.В. Яковенко, В.С. Безкоровайный – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2018. – 35 с.

2. Методические указания для выполнения курсовой работы по дисциплине «Электромагнитные расчеты в электромеханике», (для студентов, обучающихся по направлениям 13.03.02) /Сост.: доц. В.С. Безкоровайный, – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2019. – 15 с.

г) интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

8. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Освоение дисциплины «Электромагнитные расчеты в электромеханике» предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/
САПР	ELCUT	https://elcut.ru/

9. Оценочные средства по дисциплине

Паспорт оценочных средств по учебной дисциплине «Электромагнитные расчеты в электромеханике» Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые темы учебной дисциплины, практики	Этапы формирования (семестр изучения)
1	ОПК-3.	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.1. Обладает базовыми знаниями в области физико-математических наук, необходимыми для решения профессиональных задач ОПК-3.2. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера ОПК-3.3. Обладает навыками теоретического и экспериментального	Тема 1. Введение. Электростатическое поле. Законы электростатических полей и их использование при электромагнитных расчетах	5
				Тема 2. Понятие о скалярном потоке вектора. Теорема Гаусса	5
				Тема 3. Принцип потенциальности в электростатике	5
				Тема 4. Проводящие тела в электростатическом поле	5
				Тема 5. Проводящие тела в электростатическом поле	5
				Тема 6. Закон Ома в дифференциальной и интегральной	5

			исследования объектов профессиональной деятельности и, решения профессиональных задач в области электроэнергетики и электротехники	форме	
				Тема 7. Магнитное поле постоянных токов	5
				Тема 8. Закон полного тока	5
				Тема 9. Магнитный поток и потокоцепление самоиндукции	5
				Тема 10. Основные законы и уравнения стационарных электрических и магнитных полей в дифференциальной форме	5
				Тема 11. Векторный потенциал в магнитном поле	5
				Тема 12. Уравнения Максвелла	5
				Тема 13. Поверхностный эффект	5
				Тема 14. Расчет электрического поверхностного эффекта шины прямоугольного сечения	5
				Тема 15. Расчет комплексного сопротивления шины. Расчет комплексной мощности в листе, обтекаемом синусоидальным магнитным потоком	5
				Тема 16. Приближенные способы расчета комплексной мощности в стальном листе, обтекаемом	5

				магнитным потоком	
				Тема 17. Расчет электромагнитного поля и продольных параметров коаксиального кабеля	5
2	ПК-01	Способен участвовать в исследованиях и испытаниях электрооборудования электроэнергетических систем	ПК-01.1. Осуществляет организацию сбора и изучения научно-технической информации по теме исследований и разработок электрооборудования электроэнергетических систем; ПК-01.2. Проводит анализ научных данных и осуществляет теоретическое обобщение результатов экспериментов и наблюдений	Тема 1. Ведение. Электростатическое поле. Законы электростатических полей и их использование при электромагнитных расчетах	6
				Тема 2. Понятие о скалярном потоке вектора. Теорема Гаусса	6
				Тема 3. Принцип потенциальности в электростатике	6
				Тема 4. Проводящие тела в электростатическом поле	6
				Тема 5. Проводящие тела в электростатическом поле	6
				Тема 6. Закон Ома в дифференциальной и интегральной форме	6
				Тема 7. Магнитное поле постоянных токов	6
				Тема 8. Закон полного тока	6
				Тема 9. Магнитный поток и потокосцепление	6

				самоиндукции	
				Тема 10. Основные законы и уравнения стационарных электрических и магнитных полей в дифференциальной форме	6
				Тема 11. Векторный потенциал в магнитном поле	6
				Тема 12. Уравнения Максвелла	6
				Тема 13. Поверхностный эффект	6
				Тема 14. Расчет электрического поверхностного эффекта шины прямоугольного сечения	6
				Тема 15. Расчет комплексного сопротивления шины. Расчет комплексной мощности в листе, обтекаемом синусоидальным магнитным потоком	6
				Тема 16. Приближенные способы расчета комплексной мощности в стальном листе, обтекаемом магнитным потоком	6
				Тема 17. Расчет электромагнитного поля и продольных параметров коаксиального кабеля	6

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/ п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые темы учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ОПК-3.	ОПК-3.1. Обладает базовыми знаниями в области физико-математических наук, необходимыми для решения профессиональных задач ОПК-3.2. Аргументированно применяет физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера ОПК-3.3. Обладает навыками теоретического и экспериментального исследования объектов профессиональной деятельности, решения профессиональных задач в области электроэнергетики и электротехники	Знать: математический аппарат численных методов электричества и магнетизма Уметь: применять математические методы и алгоритмы для решения практических задач; решать задачи, используя различные методы разработки алгоритмов и выбирая наиболее подходящие алгоритмы и средства их реализации в зависимости от постановки задачи Владеть: построением математических моделей алгоритмов программ; разработкой и отладкой программ на языках	Тема 1. Расчет одномерного магнитного поля в прямом пазу электрической машины. Тема 2. Эквивалентные схемы замещения прямоугольного паза. Тема 3. Эквивалентная схема замещения прямоугольного полуоткрытого паза со ввыпной обмоткой. Тема 4. Магнитное поле и параметры прямоугольного паза со смещенной шлицевой заной. Тема 5. Одномерное стационарное магнитное поле в клиновом пазу с двухсторонним открытием. Тема 6. Приближенный метод расчета магнитной проводимости пазов различных конфигураций. Тема 7. Синусоидальные электромагнитные поля и параметры пазов ротора асинхронных электрических машин. Тема 8.	Вопросы к практическим заданиям, вопросы к зачету; вопросы к экзамену

			процедурного и объектно-ориентированного программирования: реализации разработанных алгоритмов с использованием стандартных типов данных, процедур и функций; разработки пользовательских типов, процедур и функций; разработкой и оформлением программной документации; навыками самостоятельного решения задач с помощью компьютеров, изучения новых возможностей и средств разработки программ	Комплексное сопротивление стержня ротора асинхронной машины. Тема 9. Метод расчета комплексного сопротивления стержня короткозамкнутого ротора с учетом насыщения зубцов. Тема 10. Стационарные магнитные поля и слоистые модели активных объемов явнополюсных электрических машин. Тема 11. Постановка и решение задачи о расчете магнитного поля возбуждения в системе полюс–межполюсное пространство машины постоянного тока. Тема 12. Математическое описание магнитного поля возбуждения в объеме электрической машины постоянного тока. Тема 13. Продольное и поперечное реакции якоря в машине постоянного тока. Тема 14. Исследование поля возбуждения при наличии распределенных токов в межполюсных пространствах.	
--	--	--	---	---	--

				Тема 15. Магнитное поле электрической машины с постоянными магнитами. Тема 16. Эквивалентная схема замещения воздушного зазора электрической машины. Тема 17. Современный САПР для расчета электромагнитных полей электрических машин	
2	ПК-01.	ПК-01.1. Осуществляет организацию сбора и изучения научно-технической информации по теме исследований и разработок электрооборудования электроэнергетических систем; ПК-01.2. Проводит анализ научных данных и осуществляет теоретическое обобщение результатов экспериментов и наблюдений	Знать: методы анализа и обработки научно-технической информации по тематике исследования из отечественных и зарубежных источников Уметь: проводить эксперименты по заданной методике, обрабатывать и анализировать результаты исследований; проводить технико-экономическое обоснование планируемых капиталовложений Владеть: навыками составления отчетов по результатам исследований	Тема 1. Расчет одномерного магнитного поля в прямом пазу электрической машины. Тема 2. Эквивалентные схемы замещения прямоугольного паза. Тема 3. Эквивалентная схема замещения прямоугольного полуоткрытого паза со всыпной обмоткой. Тема 4. Магнитное поле и параметры прямоугольного паза со смещенной шлицевой заной. Тема 5. Одномерное стационарное магнитное поле в клиновом пазу с двухсторонним открытием. Тема 6. Приближенный метод расчета магнитной проводимости пазов различных конфигураций. Тема 7. Синусоидальные	Вопросы к практически м заданиям, вопросы к зачету; вопросы к экзамену

				электромагнитные поля и параметры пазов ротора асинхронных электрических машин. Тема 8. Комплексное сопротивление стержня ротора асинхронной машины. Тема 9. Метод расчета комплексного сопротивления стержня короткозамкнутого ротора с учетом насыщения зубцов. Тема 10. Стационарные магнитные поля и слоистые модели активных объемов явнополюсных электрических машин. Тема 11. Постановка и решение задачи о расчете магнитного поля возбуждения в системе полюс–межполюсное пространство машины постоянного тока. Тема 12. Математическое описание магнитного поля возбуждения в объеме электрической машины постоянного тока. Тема 13. Продольное и поперечное реакции якоря в машине постоянного тока. Тема 14. Исследование поля	
--	--	--	--	---	--

				возбуждения при наличии распределенных токов в межполюсных пространствах. Тема 15. Магнитное поле электрической машины с постоянными магнитами. Тема 16. Эквивалентная схема замещения воздушного зазора электрической машины. Тема 17. Современный САПР для расчета электромагнитных полей электрических машин	
--	--	--	--	--	--

**Фонды оценочных средств по дисциплине
«Электромагнитные расчеты в электромеханике»**

Вопросы для обсуждения на практических занятиях

1. Методы исследования электромагнитных полей.
2. Современные программные средства для исследования электромагнитных полей.
3. Возможности программных пакетов ELCUT, FEMM, ANSYS и сравнительные характеристики программ.
4. Область применения программы ELCUT.
5. Структура программы ELCUT.
6. Особенности моделирования магнитного поля переменных токов.
7. Моделирование магнитного поля электрических машин.
8. Аналитические методы исследования электромагнитных полей.
9. Основные соотношения для анализа электромагнитных полей.
10. Использование интегральных и дифференциальных соотношений для анализа электромагнитных полей.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству текущего контроля (практическая работа):

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	выполнены все задания практической работы, студент четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы, нет погрешностей в оформлении работы.
хорошо (4)	задания практической работы выполнены с

	несущественными недочетами или неточностями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями, присутствуют некоторые погрешности в оформлении.
удовлетворительно (3)	выполнены все задания практической работы с замечаниями; студент ответил на все контрольные вопросы с замечаниями, допущено небрежность и неточность у оформлении.
незачтено (2)	Студентом допущены серьезные ошибки по содержанию работы или задания практической работы выполнены неправильно; студент ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на контрольные вопросы.

Оценочные средства для промежуточной аттестации (курсовой проект):

Вопросы к курсовому проекту:

1. Существующие методы анализ электрических машин.
2. Опишите уравнения Максвелла
3. Полевые методы расчета и анализа электрических машин.
4. Цепные методы расчета и анализа электрических машин.
5. Расчет распределения поля в объеме электрических машин.
6. Расчет эквивалентной схемы замещения магнитной цепи электрической машины.
7. Поправочные коэффициенты
8. Линейная магнитная цепь.
9. Расчет переходных процессов.
10. Учет насыщения стали.
11. Замена участка цепи на эквивалентную проводимость.
12. Эквивалентная схема замещения магнитной цепи.
13. Магнитное поле от токов обмотки
14. Особенности магнитного поля в электрических машинах.
15. Форма магнитного поля.
16. Метод зубцовых контуров.
17. Схема замещения магнитной цепи зубцового контура
18. Определение тока зубцовых контуров
19. Определение потокоцепления зубцовых контуров.
20. Нелинейная магнитная цепь.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль (курсовой проект):

Шкала оценивания	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом умеет пользоваться основной, дополнительной и справочной литературой, грамотно и самостоятельно формулирует решения, проявляет инициативу и старательность, убедительно защищает свою точку зрения. Работает систематически, аккуратно выполняя график работ. Проект оформлен в соответствии с установленной

	нормативной документацией; приведенные расчеты выполнены правильно; графическая часть выполнена с соблюдением требований ЕСКД; выводы содержат результаты расчетов и верно отражают картину исследуемого физического процесса.
хорошо (4)	Студент твердо усвоил теоретический материал, может применять его на практике самостоятельно и по указанию преподавателя. Правильно отвечает на вопросы по защите, работает в целом по графику и систематически, умеет пользоваться основной, дополнительной и справочной литературой. Проект оформлен в соответствии с установленной нормативной документацией; приведенные расчеты выполнены с незначительными ошибками, неточностями; графическая часть выполнена с соблюдением требований ЕСКД, но с некоторыми ошибками в оформлении; выводы содержат результаты расчетов и, в целом, верно отражают картину исследуемого физического процесса.
удовлетворительно (3)	Студент освоил только основные разделы теоретического материала и по указанию преподавателя применяет его практически. Проект оформлен в соответствии с установленной нормативной документацией; приведенные расчеты содержат ошибки, которые искажают картину исследуемого физического процесса и не позволяют сделать верные выводы; графическая часть выполнена с соблюдением требований ЕСКД не в полном объеме.
неудовлетворительно (2)	Студент не может защитить свои решения, допускает грубые фактические ошибки. Отказывается от ответов на дополнительные вопросы. Проект обучающегося не соответствует установленной нормативной документации; приведенные расчеты содержат ошибки, которые искажают картину исследуемого физического процесса и не позволяют сделать верные выводы; графическая часть проекта выполнена с существенными ошибками в оформлении или не выполнена.

Оценочные средства для промежуточной аттестации (зачет)

Теоретические вопросы

1. Физическое представление об электростатическом поле.
2. Напряженность электростатического поля.
3. Расчет поля по заданному заряду в объеме V .
4. Скалярный вектор.
5. Теорема Гаусса.
6. Трубка равного потока вектора напряженности.
7. Потенциал.
8. Принцип потенциальности.
9. Математическая связь между потенциалом и вектором напряженности в электростатическом поле.

10. Электростатическое поле.
11. Емкость.
12. Стационарный электрический ток.
13. Линия тока.
14. Вектор плотности тока.
15. Принцип непрерывности тока проводимости.
16. Магнитное поле постоянных токов. Основные понятия.
17. Вектор магнитной индукции.
18. Принцип непрерывности магнитного потока.
19. Закон полного тока.
20. Поток самоиндукции.
21. Поток взаимной индукции.
22. Коэффициент взаимной индукции.
23. Энергия поля и силы в магнитных полях.
24. Уравнения Максвелла
25. Электрический поверхностный эффект. Магнитный поверхностный эффект.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль («зачет»)

Шкала оценивания	Критерий оценивания
Зачтено	Студент показывает хорошие знания учебного материала по дисциплине, знает сущность и характеристику основных понятий, владеет терминологией. Студент способен логично и последовательно изложить учебный материал по дисциплине, раскрыть смысл вопросов по темам, дает удовлетворительные ответы на дополнительные вопросы, систематически активен на практических занятиях и лабораторных работах.
Незачтено	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки, владеет отрывочными знаниями основных понятий, дает неполные или неверные ответы на вопросы по темам курса. Текущая успеваемость по дисциплине неудовлетворительная, студент не участвует в работе на практических занятиях и лабораторных работах. Выполняет не все виды работ по дисциплине

Оценочные средства для промежуточной аттестации (экзамен) Теоретические вопросы

1. Опишите расчет одномерного магнитного поля в прямом пазу электрической машины с односторонним и двухсторонним открытием.
2. Раскройте параметры П-образной схемы замещения прямоугольного паза.

3. Опишите каскадные магнитные схемы замещения прямоугольных пазов.
4. Схема замещения паза при наличии технологических зазоров.
5. Эквивалентная схема замещения прямоугольного полуоткрытого паза со всыпной обмоткой.
6. Магнитное поле и параметры прямоугольного паза со смещенной шлицевой заной.
7. Одномерное стационарное магнитное поле в клиновом пазу с двухсторонним открытием.
8. Опишите приближенный метод расчета магнитной проводимости пазов различных конфигураций
9. Синусоидальные электромагнитные поля и параметры пазов ротора асинхронных электрических машин.
10. Одномерное электромагнитное поле в прямоугольном пазу с односторонним открытием.
11. Комплексное сопротивление стержня ротора асинхронной машины.
12. Одномерное электромагнитное поле в прямоугольной области паза с ненулевыми граничными условиями.
15. Опишите метод расчета комплексного сопротивления стержня короткозамкнутого ротора с учетом насыщения зубцов.
16. Стационарные магнитные поля и слоистые модели активных объемов явнополусных электрических машин
17. Расчет магнитного поля возбуждения в системе полюс–межполюсное пространство машины постоянного тока.
18. Математическое описание магнитного поля возбуждения в объеме электрической машины постоянного тока.
19. Расчет продольной и поперечной реакции якоря в машине постоянного тока.
20. Исследование поля возбуждения при наличии распределенных токов в межполюсных пространствах.
21. Расчет магнитного поля электрической машины с постоянными магнитами.
22. Эквивалентная схема замещения воздушного зазора электрической машины.
23. Программы для автоматизации расчетов электромагнитных полей электрических машин.
24. Дайте описание и сравнительную характеристику программ ANSYS, Femlab, Elcut.
25. Обобщенная методика решения полевой задачи.
26. Вычисление импеданса в среде Elcut.
27. Двумерная постановка полевой задачи в программе Elcut.
28. Структура файлов пользователя в программе Elcut.
29. Раскройте преимущества и область применения программного комплекса Elcut.

30. Описание геометрии задачи в среде Elcut.
40. Раскройте преимущества и особенности программного комплекс ANSYS.
41. Постоянные магниты в среде Elcut.
42. Создание геометрической модели в среде Elcut.
43. Раскройте преимущества и особенности программного комплекса Femlab.
44. Вычисление индуктивностей в среде Elcut.
45. Дублирование или перемещение объектов в среде Elcut.
46. Задача электростатики в среде Elcut.
47. Основные этапы решения полевой задачи в Elcut.
48. Задача растекания токов в среде Elcut.
49. Двумерная постановка полевой задачи в программе Elcut
50. Задача магнитостатики в среде Elcut.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточный контроль («экзамен»)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объёме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно чёткие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)