

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

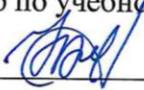
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра *Электромеханики*

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

 Н.Г. Зарипов

« *02* » *09* 2015 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**«ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ»**

Уровень подготовки: высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура)

**13.06.01 Электро- и теплотехника**

(код и наименование направления подготовки)

Направленность подготовки

**Электромеханика и электрические аппараты**

(наименование программы подготовки)

Квалификация (степень) выпускника

**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения

**очная**

Уфа 2015

ЛИСТ

согласования рабочей программы

Направление подготовки: 13.06.01 Электро- и теплотехника  
код и наименование

Направленность подготовки (программа Электромеханика и электрические аппараты)  
наименование

Дисциплина: Электромеханика и электрические аппараты

Учебный год 20 /20

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры ЭМ  
наименование кафедры

протокол № 15 от "24" июня 2015 г.  
Заведующий кафедрой Ф.Р. Исмагилов  
подпись расшифровка подписи

Исполнители:  
проф. Ф.Р. Исмагилов  
доц. О.А. Юшкова  
должность подпись расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой<sup>1</sup>  
Ф.Р. Исмагилов 28.05.15  
наименование кафедры личная подпись расшифровка подписи дата

Председатель НМС по УГСН 13.00.00 Электро- и теплоэнергетика

протокол № 1А от " 28 " 08 2015 г.  
Ф.Р. Исмагилов  
личная подпись расшифровка подписи

Библиотека С.Ф. Мустафина 01.06.15  
личная подпись расшифровка подписи дата

Начальник отдела аспирантуры Ростомов Р.К. 07.06.15  
личная подпись расшифровка подписи дата

Рабочая программа зарегистрирована в ООПМА и внесена в электронную базу данных

Начальник С.Ф. Мустафина 06.06.15  
личная подпись расшифровка подписи дата

<sup>1</sup> Согласование осуществляется с выпускающими кафедрами (для рабочих программ, подготовленных на кафедрах, обеспечивающих подготовку для других направлений и специальностей)

## Содержание

1.	Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
2.	Перечень результатов обучения.....	3
3.	Содержание и структура дисциплины (модуля).....	4
4.	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.....	8
5.	Фонд оценочных средств.....	9
6.	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля).	13
7.	Образовательные технологии.....	20
8.	Методические указания по освоению дисциплины.....	20
9.	Материально-техническое обеспечение дисциплины.....	20
10.	Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ.....	21
	Лист согласования рабочей программы дисциплины.....	22
	Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины.....	23

## 1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Электромеханика и электрические аппараты» является дисциплиной *вариативной* части.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации (аспирантура) 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от "30" июня 2014 г. № 878 и приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.04.2015 N 464 "О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации)". Является неотъемлемой частью основной образовательной профессиональной программы (ОПОП).

**Целью освоения дисциплины** является изучение принципов построения, методов моделирования и исследования электромеханических преобразователей энергии различного назначения для решения научно-исследовательских профессиональных задач с использованием современных математических и инструментальных методов.

**Задачи:** формирование навыков самостоятельной научно-исследовательской деятельности; углубленное изучение теоретических и методологических основ разработки, проектирования, эксплуатации и развития электромеханических преобразователей энергии;

### **Входные компетенции:**

Формируемые компетенции в виде образовательного результата при освоении дисциплины " Электромеханика и электрические аппараты " являются первичными в рамках ОПОП.

Определенными компетенциями обучающийся обладает за счет формирования их при получении предыдущего уровня высшего образования (специалитет, магистратура).

### **Исходящие компетенции:**

№	Компетенция	Код	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Название дисциплины (модуля), практики, научных исследований для которых данная компетенция является входной
1	Владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;	ОПК-1	базовый	Научно-исследовательская практика
			повышенный	научные исследования
			повышенный	ГИА
2	Владением предметной областью в сфере разработок и исследований современных электромеханических преобразователей энергии различного назначения	ПК-1	базовый	Научно-исследовательская практика
			повышенный	научные исследования
			повышенный	ГИА

## 2. Перечень результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций.

### Планируемые результаты обучения по дисциплине

№	Формируемые компетенции	Код	Знать	Уметь	Владеть
1	Владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;	ОПК-1	цели и задачи исследования, основные методологические подходы исследования процессов функционирования объектов профессиональной деятельности; общие принципы и закономерности в построении, функционировании и развитии, управлении и моделировании процессов объектов исследования	использовать методологии и методы научного исследования на уровнях теоретического познания и эмпирического исследования, использования общелогических методов и приемов исследования;	системными правилами выявления причин нарушения системных принципов функционирования объектов исследования
2	Владение предметной областью в сфере разработок и исследований современных электромеханических преобразователей энергии различного назначения	ПК-1	-принципы разработки электромеханических преобразователей энергии общепромышленного, авиационно-космического и специального назначения -методов улучшения основных технических характеристик преобразователей и датчиков физических величин	-анализировать закономерности электромагнитных процессов в электромеханических преобразователях энергии; - создавать новые технические решения современных средств получения и преобразования информации для улучшения их технико-экономических показателей;	- базовыми методами анализа и синтеза электромеханических преобразователей энергии; - методами работы с современными аппаратными средствами для создания и проведения исследований новых электромеханических преобразователей энергии

### 3. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет **9** зачетных единиц (**324** часа).

Трудоемкость дисциплины по видам работ

Вид работы	Трудоемкость, час.		
	2 семестр	3 семестр	4 семестр
Лекции (Л)	4	6	4
Практические занятия (ПЗ)	6	8	6
Лабораторные работы (ЛР)	-	-	-
КСР	-	-	-
Курсовая проект работа (КР)	-	-	-
Расчетно - графическая работа (РГР)	-	-	-
Самостоятельная работа (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.д.)	89	85	62
Подготовка и сдача экзамена	-	-	36
Подготовка и сдача зачета	9	9	-
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	зачет	Зачет с оценкой	экзамен

Содержание разделов и формы текущего контроля

№	Наименование и содержание раздела	Количество часов						Литература, рекомендуемая студентам*	Виды интерактивных образовательных технологий**
		Аудиторная работа				СРС	Всего		
		Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1	Введение. Паспорт специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. Требования к кандидатским диссертациям. Общая структура кандидатской диссертации. Роль электромеханики и электрических аппаратов в современной технике.	1	-			10	11	Р. 6.1 № 1–3, 10 Р. 6.2 № 1	лекция классическая, работа в команде, опережающая самостоятельная работа
2	<b>Методы исследования электрических машин с позиций теории цепей</b> Два подхода к описанию электромагнитных процессов в электрических машинах: с позиций теории поля и теории электрических цепей. Обобщенная электрическая машина – математическая модель электрических машин всех типов.. Временные и пространственные гармоники в электрических машинах, параметры высших гармоник. Методы расчета гармоник магнитодвижущей силы (МДС) и магнитной индукции в воздушном зазоре с учетом формы зубцовой зоны сердечников и нелинейных свойств магнитной цепи. Исследование электрических машин при несинусоидальном и несимметричном напряжении. Управление электрическими двигателями от полупроводниковых преобразователей.	3	6			60	65	Р. 6.1 №1–3, 5, 6 Р. 6.2 №2–3	лекция классическая, лекция-визуализация, работа в команде
3	<b>Электромагнитное поле в электрических машинах</b> Математическое описание электромагнитного поля электрической машины. Разделение области поля на вращающуюся и неподвижную части. Граничные и начальные условия. Электромагнитная сила, действующая в	2	6			20	24	Р. 6.1 №1–3, 5, 6 Р. 6.2 №2–3	лекция классическая, работа в команде, опережающая самостоятельная работа

	<p>области паза с током в магнитном поле (распределение силы между проводом и стенками паза). Зависимость силы от величины поля, полученная из энергетических соображений. Магнитное поле в гладком зазоре между статором и ротором. Магнитное поле в ярмах статора и ротора. Методы и результаты исследования магнитного поля в зубчатом воздушном зазоре. Поле в области пазов с током и без тока при односторонней и двусторонней зубчатости. Подход к вычислению удельной проводимости зазора.. Гармонический анализ удельной магнитной проводимости воздушного зазора, МДС и магнитной индукции в воздушном зазоре машин переменного тока.</p>								
4	<p><b>Специальные электрические машины</b>  Электрические машины автоматических устройств. Многомерные электрические машины, двигатели со сферическим и коническим ротором, торцевые конструкции электрических машин, униполярные машины. Электрические машины колебательного и возвратно-поступательного движения, линейные и дугостаторные двигатели, МГД-генераторы и насосы. Электрические машины со сверхпроводящими обмотками. Емкостные электрические машины.</p>	1	-			26	31	Р. 6.1№3	<p>лекция классическая, лекция-визуализация, работа в команде, опережающая самостоятельная работа</p>
5	<p><b>Потери и тепловые явления в электрических машинах</b>  Виды потерь и физические причины их возникновения в электрических машинах. Методики расчета основных и добавочных потерь в машинах переменного и постоянного тока. Коэффициент полезного действия электрических машин и трансформаторов,</p>	2	-			20	24	Р. 6.1№1–3	<p>лекция классическая, лекция-визуализация, работа в команде, опережающая самостоятельная работа</p>

	способы его расчетного и экспериментального определения. Электроизоляционные материалы и классы их нагревостойкости. Зависимость срока службы изоляции от температуры и режимов работы электрических машин.								
6	Проблемы и задачи совершенствования электромеханических преобразователей энергии различного назначения.	1	-			20	23	Р. 6.1 № 1–3, 5, 6 Р. 6.2 №2, 3	лекция классическая, работа в команде, опережающая самостоятельная работа
7	Теоретические методы исследования электромеханических преобразователей энергии различного назначения.	2	4			40	46	Р. 6.1 № 1–3, 5, 6 Р. 6.2 №2, 3	лекция классическая, работа в команде, опережающая самостоятельная работа
8	Моделирование электрофизических, электромагнитных процессов электромеханических преобразователей энергии. Математическое моделирование, имитационное схмотехническое компьютерное моделирование, имитационное аналитическое компьютерное моделирование.	2	4			40	46	Р. 6.1 № 1–3, 5, 6 Р. 6.2 №2, 3	лекция классическая, работа в команде, опережающая самостоятельная работа
	<b>Всего</b>	14	20	-	-	236	270		

**Лабораторные работы**  
Не предусмотрены

**Практические занятия (семинары)**

№ занятия	№ раздела	Тема	Кол-во часов
1–3	2	Методы исследования электрических машин с позиций теории цепей	6
4–6	3	Электромагнитное поле в электрических машинах	6
7, 8	7	Теоретические методы исследования электромеханических преобразователей энергии различного назначения	4
9, 10	9	Моделирование электрофизических, электромагнитных процессов электромеханических преобразователей энергии.	4

**4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

**Тема 1. Коммутация коллекторных машин.**

Вопросы для самостоятельного изучения (подготовке к обсуждению):

1. Анализ факторов, влияющих на коммутацию.
2. Способы улучшения коммутации.
3. Критерии потенциальной устойчивости и меры борьбы с круговым огнем.
4. Настройка коммутации.

**Тема 2. Трансформаторы.**

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Параллельная работа трансформаторов.
2. Несимметричные режимы работы трансформаторов.
3. Переходные процессы в трансформаторах.
4. Классификация трансформаторов, их специальные типы.

**Тема 3. Электрические аппараты**

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Испытания электрических аппаратов высокого напряжения.
2. Статические (силовые электронные и магнитно–полупроводниковые) аппараты.
3. Основные виды аппаратов, их функции и классификация. Сравнительный анализ статических и электромеханических аппаратов и области их рационального применения.
4. Силовые электронные ключи. Особенности коммутации электронных ключей. Статические и динамические режимы работы ключей. Области безопасной работы и защита электронных ключей.
5. Пассивные компоненты и охладители силовых электронных приборов. Влияние повышенной частоты и несинусоидальности напряжения на работу конденсаторов и реакторно–трансформаторного оборудования.
6. Системы управления силовыми электронными аппаратами. Обобщенные структурные схемы. Основные функциональные узлы и элементная база.
7. Микропроцессоры в управлении электрическими и электронными аппаратами. Структура и функции микропроцессора, микроконтроллера и примеры их применения в различных аппаратах.
8. Статические коммутационные аппараты постоянного и переменного токов. Функциональные возможности и области рационального применения. Гибридные коммутационные аппараты.
9. Статические регуляторы постоянного тока. Примеры импульсного регулирования параметров электрической энергии. Основные схемы импульсных регуляторов постоянного тока. Тиристорные регуляторы постоянного тока.

10 Статические регуляторы переменного тока. Тиристорные регуляторы переменного тока с естественной и искусственной коммутацией. Применение силовых транзисторов в регуляторах переменного тока. Регуляторы реактивной мощности.

**Тема 4.** Проблемы и задачи совершенствования электромеханических преобразователей энергии различного назначения

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Надежность электромеханических преобразователей энергии.
2. Электромеханические преобразователи энергии авиационного назначения.

**Тема 5.** Теоретические методы исследования электромеханических преобразователей энергии различного назначения.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Методы анализа линейных электрических цепей. Основные теоремы.
2. Методы анализа нелинейных электрических цепей.
3. Методы решения линейных и нелинейных дифференциальных уравнений.
4. Методы многокритериальной оптимизации параметров разрабатываемых электромеханических преобразователей энергии.

**Тема 6** Моделирование электрофизических, электромагнитных процессов в электромеханических преобразователях энергии.

Вопросы для самостоятельного изучения:

1. Схемотехническое компьютерное моделирование, области применения.
2. Технология имитационного аналитического компьютерного моделирования.
3. Конечно-разностные модели.

### 5. Фонд оценочных средств

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции(или ее части)	Уровень освоения, определяемый этапом формирования компетенции	Наименование оценочного средства*
1	Введение. Паспорт специальности 05.09.01 – Электромеханика и электрические аппараты. Требования к кандидатским диссертациям. Общая структура кандидатской диссертации. Роль электромеханики и электрических аппаратов в современной технике.	ПК-1	пороговый	-
2	Методы исследования электрических машин с позиций теории цепей	ПК-1	пороговый	Р Т
3	Электромагнитное поле в электрических машинах	ПК-1	пороговый	КА Т
4	Специальные электрические машины	ПК-1	пороговый	Т
5	Потери и тепловые явления в электрических машинах	ПК-1	пороговый	Т
6	Проблемы и задачи совершенствования электромеханических	ОПК-1 ПК-1	пороговый	КА Т

	преобразователей энергии различного назначения.			
7	Теоретические методы исследования электромеханических преобразователей энергии различного назначения.	ОПК-1 ПК-1	пороговый	КА Т
8	Моделирование электрофизических, электромагнитных процессов электромеханических преобразователей энергии.	ОПК-1 ПК-1	пороговый	Т

#### Вопросы к зачету (экзамену)

1. Электромеханическое преобразование энергии и физические законы, на которых оно основано.
2. Два подхода к описанию электромагнитных процессов в электрических машинах: с позиций теории поля и теории электрических цепей. Сравнительное сопоставление физического моделирования, аналитических и численных методов решения уравнений.
3. Обобщенная электрическая машина – математическая модель электрических машин всех типов. Допущения при записи уравнений обобщенной машины.
4. Дифференциальные уравнения в различных системах координат. Уравнения Парка–Горева синхронной машины. Физический смысл параметров обобщенной машины – коэффициентов в дифференциальных уравнениях.
5. Уравнения установившегося режима работы асинхронных и синхронных машин.
6. Векторные диаграммы и эквивалентные схемы замещения. О
7. Основные характеристики двигателей и генераторов.
8. Электромагнитный момент обобщенной электрической машины, уравнение движения ротора.
9. Статические и динамические механические характеристики электродвигателей.
10. Временные и пространственные гармоники в электрических машинах, параметры высших гармоник.
11. Методы расчета гармоник магнитодвижущей силы (МДС) и магнитной индукции в воздушном зазоре с учетом формы зубцовой зоны сердечников и нелинейных свойств магнитной цепи.
12. Исследование электрических машин при несинусоидальном и несимметричном напряжении.
13. Управление электрическими двигателями от полупроводниковых преобразователей.
14. Работа синхронного генератора на выпрямительную нагрузку.
15. Вентильные двигатели.
16. Многообмоточные электрические машины.
17. Математические модели асинхронных двигателей с двойной беличьей клеткой и синхронных машин с демпферными обмотками.
18. Учет влияния вихревых токов, гистерезиса и потерь в стали.
19. Несимметричные электрические машины.
20. Способы математического описания и математические модели синхронных и асинхронных машин с магнитной и электрической несимметрией статора и ротора.
21. Электрическая машина как элемент электромеханической системы..
22. Разделение области поля на вращающуюся и неподвижную части. Граничные и начальные условия.
23. Электромагнитная сила, действующая в области паза с током в магнитном поле (распределение силы между проводом и стенками паза).

24. Электродвижущая сила (ЭДС), индуцированная в проводнике, расположенном в пазу электрической машины, зависимость ее от индукции в зазоре.
25. Магнитное поле в гладком зазоре между статором и ротором.
26. Магнитное поле в ярмах статора и ротора (учет кривизны, расчет магнитного напряжения, вытеснение магнитного потока в окружающее пространство).
27. Методы и результаты исследования магнитного поля в зубчатом воздушном зазоре.
28. Поле в области пазов с током и без тока при односторонней и двусторонней зубчатости.
29. Подход к вычислению удельной проводимости зазора. Коэффициент воздушного зазора.
30. Гармонический анализ удельной магнитной проводимости воздушного зазора, МДС и магнитной индукции в воздушном зазоре машин переменного тока.
31. Взаимная индукция однофазных и многофазных обмоток для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей в машинах переменного тока.
32. Поле рассеяния в пазах различной формы. Расчет индуктивностей пазового, лобового и дифференциального рассеяния для однослойных и двухслойных однофазных обмоток.
33. Магнитное поле в области торцевых частей машины. Расчетная длина машины. Поле лобовых частей. Электромагнитные силы, действующие на лобовые части.
34. Магнитные поля и параметры синхронных машин при симметричной и несимметричной нагрузках, переходные и сверхпереходные параметры.
35. Влияние вихревых токов в проводниках, лежащих в пазу, на их активное и индуктивное сопротивление.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если студент ответил на два поставленных вопроса и показал глубокие теоретические знания;
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент ответил на два поставленных вопроса и показал хорошие теоретические знания;
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент ответил на один из поставленных вопросов и показал удовлетворительные теоретические знания;;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если студент не ответил на поставленные вопросы и показал неудовлетворительные теоретические знания;
- оценка «зачтено» выставляется студенту, если решены все кейсовые задачи на хорошо и отлично, разработаны рефераты и дан ответ на один поставленный вопрос;
- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если не решены все кейсовые задачи на хорошо и отлично или не разработаны рефераты или по рефератам получена оценка неудовлетворительно или не дан ответ на один поставленный вопрос;

### **Типовые оценочные материалы**

#### **Кейс-задача 1.**

Раздел (тема) дисциплины: Электромагнитное поле в электрических машинах.

#### **Задание (я):**

Провести анализ возможных причин возникновения несимметрии воздушного зазора асинхронного двигателя и способов их определения. Провести анализ влияния несимметрии воздушного зазора асинхронного двигателя на параметры его магнитного поля.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если выявлены все причины возникновения несимметрии воздушного зазора асинхронного двигателя, магнитное поле асинхронного двигателя определено правильно и проанализированы способы выявления несимметрии воздушного зазора;
- оценка «хорошо» если выявлены не все причины возникновения несимметрии воздушного зазора асинхронного двигателя, магнитное поле асинхронного двигателя определено правильно и проанализированы не все способы выявления несимметрии воздушного зазора;
- оценка «удовлетворительно» если выявлены не все причины возникновения несимметрии воздушного зазора асинхронного двигателя, магнитное поле асинхронного двигателя определено правильно и не проанализированы способы выявления несимметрии воздушного зазора.

- оценка «неудовлетворительно» если не выявлены причины возникновения несимметрии воздушного зазора асинхронного двигателя, магнитное поле асинхронного двигателя определено не правильно и не проанализированы способы выявления несимметрии воздушного зазора

### **Кейс-задача 2.**

Раздел (тема) дисциплины: Проблемы и задачи совершенствования электромеханических преобразователей энергии различного назначения.

**Задание (я):** Провести исследование истории развития конкретного электромеханического преобразователя энергии (ЭМП) в конкретной области применения и проанализировать перспективы его совершенствования.

#### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации аспиранта и проанализирована история его развития;
- оценка «хорошо» если определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента и не проанализирована история его развития;
- оценка «удовлетворительно» если не определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента, но проанализирована история его развития;
- оценка «неудовлетворительно» если не определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента и не проанализирована история его развития.

### **Кейс-задача 3.**

Раздел (тема) дисциплины: Теоретические методы исследования электромеханических преобразователей энергии различного назначения..

#### **Задание (я):**

Провести анализ существующих конструкций, характеристик, особенностей преобразования энергии в конкретной области применения электромеханического преобразователя энергии (ЭМП) (по заданию научного руководителя)

#### **Критерии оценки:**

- оценка «отлично» выставляется студенту, если определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента и проанализирована история его развития;
- оценка «хорошо» если определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента и не проанализирована история его развития;
- оценка «удовлетворительно» если не определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента, но проанализирована история его развития;
- оценка «неудовлетворительно» если не определены перспективы развития ЭМП исследуемого в диссертации студента и не проанализирована история его развития.

### **Темы для эссе (рефератов, докладов, сообщений)**

1. Принципы построения макроскопических моделей электромеханических систем электрических аппаратов.
2. Элементы, фазовые переменные, компонентные и топологические уравнения электрической, магнитной, механической и тепловой подсистем электрических аппаратов.
3. Методы анализа электромагнитных полей электрических аппаратов.
4. Численные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод интегральных уравнений) и программное обеспечение для расчетов полей электромагнитных систем.
5. Методы расчетов параметров макромоделей (ЭДС, индуктивностей, силовых характеристик) на основе анализа электромагнитного поля.
6. Магнитные материалы, применяемые в электрических аппаратах и машинах. Магнитные характеристики материалов.
7. Методы и средства измерений магнитных полей, испытаний магнитных материалов и изделий из них.
8. Электродинамические силы в электрических аппаратах. Методы их расчета.
9. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов.
10. Источники теплоты в электрических аппаратах.

11. Способы снижения потерь в электрических аппаратах.
12. Расчет коэффициентов теплопередачи.
13. Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности в электрических аппаратах.
14. Нестационарный режим нагрева и остывания электрических аппаратов.

**Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если решены все поставленные заданием задачи и полностью раскрыта тема реферата;
- оценка «не зачтено» если не решены все поставленные заданием задачи и не полностью раскрыта тема реферата;

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

**6.1. Основная литература**

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980.
2. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. М.: Высш. шк., 1990.
3. Юферов Ф.М., Осин И.Л. Электрические машины автоматических устройств. М.: Изд-во МЭИ, 1988.
4. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высш. шк., 2001.
5. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1993.
6. Основы теории электрических аппаратов /И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годжелло и др.; Под ред. И.С. Таева. М.: Высш. шк., 1987.

**6.2. Дополнительная литература**

1. Проектирование электрических машин /Под ред. И.П. Копылова. М.: Высш. шк., 2015.
2. Универсальный метод расчета электромагнитных процессов в электрических машинах /Под ред. А.В. Иванова–Смоленского. М.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. М.: Энергоатомиздат, 1988.

**6.3. Интернет-ресурсы (электронные учебно-методические издания, лицензионное программное обеспечение)**

Каждый обучающийся (аспирант) в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к следующим электронно-библиотечным системам (ЭБС «Лань» (<http://e.lanbook.com/>), ЭБС Ассоциации «Электронное образование Республики Башкортостан» <http://e-library.ufa-rb.ru>, Консорциум аэрокосмических вузов России <http://elsau.ru/>, Электронная коллекция образовательных ресурсов УГАТУ <http://www.library.ugatu.ac.ru/cgi-bin/zgate.exe?Init+ugatu-fulltxt.xml,simple-fulltxt.xsl+rus>), содержащим все издания основной литературы, перечисленные в рабочих программах дисциплин (модулей), практик, НИР сформированным на основании прямых договорных отношений с правообладателями.

Электронно-библиотечная система и электронная информационно-образовательная среда обеспечивают возможность индивидуального доступа для каждого обучающегося из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет, как на территории университета, так и вне ее.

Обучающимся обеспечен доступом к м электронным ресурсам и информационным справочным системам, перечисленным в таблице 1.

Таблица 1

№	Наименование ресурса	Объем фонда электронных ресурсов (экз.)	Доступ	Реквизиты договоров с правообладателями
	2	3	4	5
1.	ЭБС «Лань»	41716	С любого	Договор ЕД-

	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>		компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в ЭБС по сети УГАТУ	671/0208-14 от 18.07.2014. Договор № ЕД -1217/0208-15 от 03.08.2015
2.	ЭБС Ассоциации «Электронное образование Республики Башкортостан» <a href="http://e-library.ufa-rb.ru">http://e-library.ufa-rb.ru</a>	1225	С любого компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в АБИС «Руслан» на площадке библиотеки УГАТУ	ЭБС создается в партнерстве с вузами РБ. Библиотека УГАТУ – координатор проекта
3.	Консорциум аэрокосмических вузов России <a href="http://elsau.ru/">http://elsau.ru/</a>	1235	С любого компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в АБИС «Руслан» на площадке библиотеки УГАТУ	ЭБС создается в партнерстве с аэрокосмическими вузами РФ. Библиотека УГАТУ – координатор проекта
4.	Электронная коллекция образовательных ресурсов УГАТУ <a href="http://www.library.ugatu.ac.ru/cgi-bin/zgate.exe?Init+ugatu-fulltxt.xml,simple-fulltxt.xml+rus">http://www.library.ugatu.ac.ru/cgi-bin/zgate.exe?Init+ugatu-fulltxt.xml,simple-fulltxt.xml+rus</a>	528	С любого компьютера по сети УГАТУ	Свидетельство о регистрац. №2012620618 от 22.06.2012
5	Электронная библиотека диссертаций РГБ	885352 экз.	Доступ с компьютеров читальных залов библиотеки, подключенных к ресурсу	Договор №1330/0208-14 от 02.12.2014
6.	СПС «КонсультантПлюс»	2007691 экз.	По сети УГАТУ	Договор 1392/0403 -14 т 10.12.14
7.	СПС «Гарант»	6139026 экз.	Доступ с компьютеров читальных залов библиотеки, подключенных к ресурсу	ООО «Гарант-Регион, договор № 3/Б от 21.01.2013 (продолгован до 08.02.2016.)
8.	ИПС «Технорма/Документ»	36939 экз.	Локальная установка: библиотека УГАТУ-5 мест; кафедра стандартизации и метрологии-1 место; кафедра начертательной геометрии и черчения-1 место	Договор № АОСС/914-15 № 989/0208-15 от 08.06.2015.
9.	Научная электронная	9169	С любого	ООО «НАУЧНАЯ

	библиотека eLIBRARY* <a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>	полнотекстовых журналов	компьютера, имеющего выход в Интернет, после регистрации в НЭБ на площадке библиотеки УГАТУ	ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА». № 07-06/06 от 18.05.2006
10.	Тематическая коллекция полнотекстовых журналов «Mathematics» издательства Elsevier <a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>	120 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Договор №ЭА-190/0208-14 от 24.12.2014 г.
11.	Научные полнотекстовые журналы издательства Springer* <a href="http://www.springerlink.com">http://www.springerlink.com</a>	1900 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Доступ открыт по гранту РФФИ
12.	Научные полнотекстовые журналы издательства Taylor & Francis Group* <a href="http://www.tandfonline.com/">http://www.tandfonline.com/</a>	1800 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и Государственной публичной научно-технической библиотекой России (далее ГПНТБ России)
13.	Научные полнотекстовые журналы издательства Sage Publications*	650 наимен. журнал.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
14.	Научные полнотекстовые журналы издательства Oxford University Press* <a href="http://www.oxfordjournals.org/">http://www.oxfordjournals.org/</a>	275 наимен. журналов	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
15.	Научный полнотекстовый журнал Science The American Association for the Advancement of Science	1 наимен. журнала.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002

	<a href="http://www.sciencemag.org">http://www.sciencemag.org</a>			между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
16.	Научный полнотекстовый журнал Nature компании Nature Publishing Group* <a href="http://www.nature.com/">http://www.nature.com/</a>	1 наимен. журнала	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
17.	Научные полнотекстовые журналы Американского института физики <a href="http://scitation.aip.org/">http://scitation.aip.org/</a>	18 наимен. журналов	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
18.	Научные полнотекстовые ресурсы Optical Society of America* <a href="http://www.opticsinfobase.org/">http://www.opticsinfobase.org/</a>	22 наимен. журн.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	В рамках Государственного контракта от 25.02.2014 г. №14.596.11.0002 между Министерством образования и науки и ГПНТБ России
19.	База данных GreenFile компании EBSCO* <a href="http://www.greeninfoonline.com">http://www.greeninfoonline.com</a>	5800 библиографических записей, частично с полными текстами	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Доступ предоставлен компанией EBSCO российским организациям-участникам консорциума НЭЙКОН (в том числе УГАТУ - без подписания лицензионного договора)
20.	Архив научных полнотекстовых журналов зарубежных издательств*- Annual Reviews (1936-2006) Cambridge University Press (1796-2011) цифровой архив журнала Nature (1869- 2011) Oxford University Press (1849– 1995) SAGE Publications (1800-	2361 наимен. журн.	С любого компьютера по сети УГАТУ, имеющего выход в Интернет	Доступ предоставлен российским организациям-участникам консорциума НЭЙКОН (в том числе УГАТУ - без подписания лицензионного договора)

1998) цифровой архив журнала Science (1880 -1996) Taylor & Francis (1798- 1997) Институт физики Великобритании The Institute of Physics (1874- 2000)			
--	--	--	--

Кафедра, реализующая образовательную программу подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации обеспечена необходимым комплектом программного обеспечения:

Программный комплекс – операционная система Microsoft Windows (№ договора ЭФ-193/0503-14, 1800 компьютеров, на которые распространяется право пользования)

Программный комплекс –Microsoft Office (№ договора ЭФ-193/0503-14, 1800 компьютеров, на которые распространяется право пользования)

Программный комплекс –Microsoft Project Professional (№ договора ЭФ-193/0503-14, 50 компьютеров, на которые распространяется право пользования)

Программный комплекс – операционная система Microsoft Visio Pro (№ договора ЭФ-193/0503-14, 50 компьютеров, на которые распространяется право пользования)

Программный комплекс – серверная операционная система Windows Server Datacenter (№ договора ЭФ-193/0503-14, 50 компьютеров, на которые распространяется право пользования)

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса («лицензии 13С8-140128-132040, 500 users).

Dr.Web® Desktop Security Suite (КЗ) +ЦУ (АН99-VCUN-ТППЈ-6к3L, 415 рабочих станций)

ESET Smart Security Business (EAV-8424791, 500 пользователей)

Matlab – коммерческая лицензия №726128, №726130;

Elcut – пакет математических расчетов и моделирования динамических процессов в ЭМПЭ (академическая лицензия);

КОМПАС 3D v.13 лицензия № 314854068.

#### **6.4 Методические указания к практическим занятиям**

Цель практической работы: Освоить методику проведения математического анализа процессов в исследуемом электромеханическом преобразователе энергии (ЭМП). Исследование электромагнитного поля в рабочем зазоре и внешнего магнитного поля (ВМП) однофазного асинхронного двигателя (ОАД) с конденсаторным возбуждением с целью диагностики его технического состояния при изменении технологических параметров.

##### **6.4.1. Теоретическая часть**

При производстве ОАД на комплексное сопротивление обмоток оказывает значительное влияние возникновение таких технологических факторов как: статический эксцентриситет; ошибки в числе витков и погрешности формы секции (секцовой обмотки); чрезмерное натяжение провода при намотке секции; отклонение параметров конденсатора, что, в конечном счете, приводит к эллипсности поля в рабочем зазоре ОАД, при которой, появляются дополнительные электромагнитные потери, ухудшаются механические и эксплуатационные характеристики, повышается потребление энергии.

##### **6.4.2. Исследование электромагнитного поля в рабочем зазоре однофазного асинхронного двигателя**

Расчётная схема ОАД представлена на рис. 6.1.

Допущения, принятые при решении задачи: активная длина ОАД принята бесконечно большой; на сердечниках статора и ротора отсутствуют пазы; статор имеет гладкую наружную цилиндрическую круговую поверхность; обмотка управления представлена в виде бесконечно

тонкого токового слоя, покрывающего расточку статора, создающего основную гармонику намагничивающей силы, изменяющуюся по синусоидальному закону вдоль расточки; магнитная проницаемость рабочего зазора равна проницаемости вакуума –  $\mu_0$ , стали индуктора  $\mu = \infty$ .

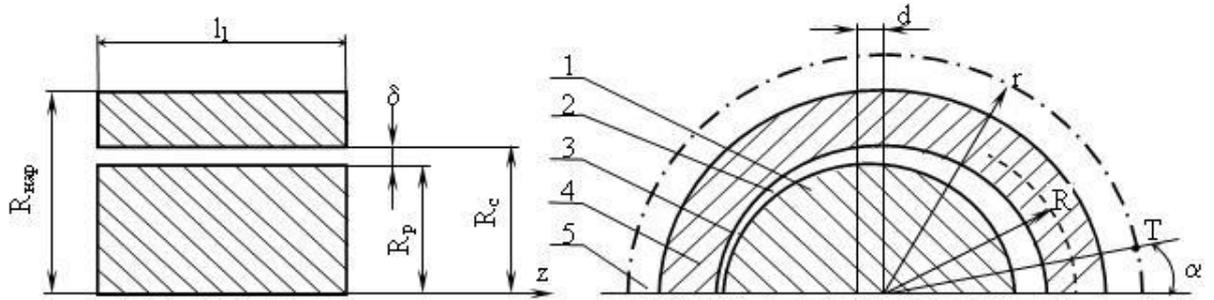


Рис. 6.1. Расчетная схема однофазного асинхронного двигателя

1 – ротор; 2 – рабочий зазор; 3 – токовый слой; 4 – статор;  
5 – внешняя среда ОАД, Т – точка пространства, в которой определяется внешнее магнитное поле

Рабочая гармоника линейной токовой нагрузки с  $p$  парами полюсов выражается как

$$A = A_m \sin(p\alpha - \omega t). \quad (6.1)$$

Выражение для оценки магнитного поля, в рабочем зазоре, с учётом технологической погрешности может быть представлено в виде при  $p > 1$

$$H_{\delta 1} = A_m h_i, \quad (6.2)$$

$$h_i = \frac{r' u_{\kappa}}{\left( \frac{1}{l_1 \sqrt{l_1}} \left( \sqrt{\int_0^{l_1} f_{ic} g_{ic} dz} - \sqrt{\int_0^{l_1} f_{ip} g_{ip} dz} \right) - \rho'_c \cos(\alpha/2) \right)} \times \left\{ \cos(p\alpha - \omega t) + \frac{e_{ct}}{2u_{\kappa}} \left[ \cos((p+1)\alpha - (\omega + \omega_{e_{ct}})t) + \cos((p-1)\alpha - (\omega - \omega_{e_{ct}})t) \right] \right\}, \quad (6.3)$$

где  $A_m$  – амплитуда линейной токовой нагрузки;  $l_1$  – активная длина машины;  $f_{ic}$ ,  $g_{ic}$ ,  $f_{ip}$ ,  $g_{ip}$  – функции изменения погрешности диаметра статора и ротора по их длине;  $r' = \frac{R_c}{l_1}$  –

относительный радиус статора;  $\rho'_c = \frac{\rho_c}{l_1}$  – реальный профиль поверхностей статора и ротора,

образующих рабочий зазор и позволяющий оценить электромагнитный фон от технологической погрешности;  $R_c$  – номинальный радиус внутренней расточки статора;  $R_p$  – номинальный радиус ротора;  $p$  – число пар полюсов ОАД;  $\alpha$  – координата, в системе, неподвижной относительно статора;  $\omega$  – угловая частота сети  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  – частота сети;  $e_{ct}$  – относительный статический эксцентриситет;  $d$  – расстояние смещения осей ротора и статора;  $\delta = R_c - R_p$  – номинальный рабочий зазор;  $\omega_{e_{ct}}$  – частота токов (гармоники), вызванная эксцентриситетом, скорректированная

по скольжению  $\omega_{e_{ct}} = (1-s)\frac{\omega}{p}$ , при заторможенном роторе  $\omega_{e_{ct}} = 0$ ;  $s$  – скольжение прямо вращающейся волны первой гармоники магнитной индукции относительно ротора;

$$u_k = \frac{1}{\sqrt{1-e_{ct}^2}}; \vartheta = 2 \frac{1-\sqrt{1-e_{ct}^2}}{e_{ct}^2 \sqrt{1-e_{ct}^2}}.$$

Упрощенная формула для расчёта ЭМП в зазоре ОАД:

$$H_{\delta} = \frac{A_m R_c \cos(p\alpha - \omega t)}{\delta(1 - e_{ct} \cos(\alpha - \omega_e t))}. \quad (6.4)$$

Из сравнительного анализа выражений (2.2) и (2.4) можно установить, что расчетное значение напряженности магнитного поля  $H_{\delta}$  при усредненном значении неравномерности рабочего зазора, на 11 % меньше, значения напряженности магнитного поля  $H_{\delta 1}$  при интегральной оценке неравномерности рабочего зазора.

Выражение для оценки электромагнитного фона в статоре от технологической погрешности может быть получено из (6.3) с учётом насыщения стали статора

$$H_{инд} = H_{\delta 1} \frac{R_c}{\mu_r R}, \quad (6.5)$$

где  $R_c \leq R \leq R_{нар}$ ,  $R_{нар}$  – наружный радиус магнитопровода;  $\mu_r = f(H)$  – относительная магнитная проницаемость материала статора.

Для номинальных электромагнитных нагрузок серийных ОАД

$$H_{инд} = H_{\delta 1} \frac{R_c}{3\mu_n - 26 \frac{\mu_n}{H_{нас}^2} (H - 0,4H_{нас})^2 R}, \quad (6.6)$$

где  $H_{нас}$  – напряженность насыщения стали статора;  $\mu_n$  – начальная относительная магнитная проницаемость материала статора (при  $H = 0$ ).

Для холостого хода и малых электромагнитных нагрузок

$$H_{инд} = H_{\delta 1} \frac{R_c}{\left(25 \frac{\mu_n}{H_{нас}^2} H^2 + \mu_n\right) R}. \quad (6.7)$$

Основное электромагнитное поле определяется выражениями (6.1)-(6.6). ВМП ОАД может быть определено через коэффициент, равный отношению напряженности магнитного поля в первичной среде к напряженности магнитного поля во вторичной среде. При этом рассматриваются радиальные составляющие напряженности – нормальные к наружной поверхности машины.

Анализ получаемых таким образом уравнений для зоны перехода от статора к окружающему пространству показал, что ВМП может быть представлено в виде:

$$H_{\epsilon, мпв} = H_{инд} \frac{\sqrt{\psi_n \psi_{\epsilon}} \exp(2n_m \pi (\zeta_n - \zeta_{\epsilon}))}{r_{\epsilon n} (\psi_n + \psi_{\epsilon}) \operatorname{ch}(\xi_n - \xi_{\epsilon}) + (1 + \psi_n \psi_{\epsilon}) \operatorname{sh}(\xi_n - \xi_{\epsilon})} \times$$

$$\times \left( \frac{2R_{нар} + r_{\epsilon n}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\omega \mu_r}} \right),$$

$$H_{ВМП} = \sum_1^n H_{ВМПv},$$

Где  $r_{\epsilon n} \geq R_{нар}$ ;  $R_{нар}$  – наружный радиус магнитопровода статора;  $\psi_n = \frac{\xi_n}{\zeta_n \mu_r}$ ;  $\psi_{\epsilon} = \frac{\xi_{\epsilon}}{\zeta_{\epsilon} \mu_r}$ ;

$\xi_n = j \sqrt{j \omega p_{vi} \mu \gamma R_{нар}^2 + \zeta_n^2}$ ;  $\zeta_n = \sqrt{(\lambda_r R_{нар})^2 + p_{vi}^2}$ ;  $\xi_{\epsilon} = j \sqrt{j \omega p_{vi} \mu \gamma R_{нар}^2 + \zeta_{\epsilon}^2}$ ;  $\zeta_{\epsilon} = \sqrt{(\lambda_r R_{\epsilon})^2 - p_{vi}^2}$ ;

$$\lambda_r = \frac{\pi(2n-1)}{l_1}; n=1,2,3\dots; n_m = 4; p_{vi} - \text{число пар полюсов произвольной гармоники м.д.с. Статора};$$

для основной гармоники  $p_{vi} = p$ ;  $\gamma$  – удельная электрическая проводимость материала статора.

Упрощенные формулы расчета напряженности ВМП:

$$H_{\text{инд}} = \frac{A_m R_c^2 \cos(p\alpha - \omega t)}{\delta \mu_r R (1 - e_{\text{ст}} \cos(\alpha - \omega_\epsilon t))}, \quad (6.9)$$

$$H_{\text{ВМПV}} = H_{\text{инд}} \frac{\sqrt{\psi_n \psi_\epsilon} \exp(2n_m \pi (\zeta_n - \zeta_\epsilon))}{r_{\text{вн}} (\psi_n + \psi_\epsilon) \text{ch}(\xi_n - \xi_\epsilon) + (1 + \psi_n \psi_\epsilon) \text{sh}(\xi_n - \xi_\epsilon)} \times$$

$$\times \left( \frac{2R_{\text{нар}} + r_{\text{вн}}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\omega \gamma \mu_r}} \right). \quad (6.10)$$

При решении задачи по определению ВМП не учитываются конструктивные факторы, влияющие на его распределение, такие как пазы и ферромагнитные продольные выступы на поверхности статора, ферромагнитные примыкающие конструктивные детали (стяжные шпильки, скобы, ребра и т.п.). Например, наиболее характерным является наличие пазов на поверхности магнитопровода статора для размещения скоб или сварного шва; выступов, образующих продольные вентиляционные каналы. Если эти конструктивные факторы носят единичный непериодический характер или имеют достаточно удаление от поверхности статора, то их влиянием на распределение ВМП, при определении расчетных значений ВМП, можно пренебречь.

## 6.5. Задание к лабораторной работе

6.5.1. Изучить теоретические сведения.

6.5.2. Получить задание для исследования электромагнитного поля в рабочем зазоре ОАД у преподавателя.

6.5.3. Определить параметры электромагнитного поля в рабочем зазоре ОАД

Определить параметры электромагнитного поля в зазоре ОАД в зависимости от величины эксцентриситета  $e_{\text{ст}}$ . Полученные значения занести в таблицу 2.1.

Таблица 6.1

$e_{\text{ст}}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$H_\delta$					

Определить параметры ВМП на поверхности ОАД в зависимости от величины эксцентриситета  $e_{\text{ст}}$ . Полученные значения занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2

$e_{\text{ст}}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
$H_{\text{ВМП}}$					

При выполнении данной практической работы командой аспирантов должны быть рассмотрены различные методы математического анализа ЭМП и произведен анализ процессов в исследуемом ЭМП. В результате выполнения практической работы студенты должны овладеть компетенциями ОПК-1, ПК-1.

## 7. Образовательные технологии

При реализации ОПОП ВО подготовки кадров высшей квалификации при реализации различных видов учебной работы применяются информационные технологии (использование компьютерных тестирующих средств оценки уровня знаний обучаемых, использование мультимедийного сопровождения лекций, электронных мультимедийных учебных пособий и др.) и интерактивные методы и технологии обучения (лекции-визуализации, тренинг), с учетом содержания дисциплины и видов занятий, предусмотренных учебным планом.

### **8. Методические указания по освоению дисциплины**

При изучении дисциплины студент должен посещать все лекции, а также практические занятия. Подготовить два реферата. В процессе изучения дисциплины студентам рекомендуется подготовка статьи в которой будет изложена математическая модель ЭМП исследуемого аспирантом.

При самостоятельной подготовки студент должен пользоваться не только учебно-методической литературой, но и периодической научной литературой. В частности журналами «Электротехника», «Электричество», «Известия РАН. Энергетика» и т.д, а также зарубежной литературой и периодическими изданиями.

### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническая база обеспечивается наличием:

- лекционных аудиторий с современными средствами демонстрации: 4-204, 4-206, 4-209, 4-211;
- кафедральных лабораторий, обеспечивающих реализацию ОПОП ВО: «Компьютерный класс» (4-202); «Проектирования специальных ЭМПЭ – УГАТУ-РУСЭЛПРОМ» (4-201); «Электроэнергетики» (4-204); «Основ электропривода» (4-209); «УИЛ Магнетрон» (4-208); «Электрических машин» (4-211); «Электрических и электронных аппаратов» (4-212), «Электроэнергетических систем и сетей» (4-116), «Электрических машин и микромашин. Технологии изготовления ЭМПЭ» (4-214), «Релейной защиты и автоматики» (4-122).

#### **Технические установки:**

Модернизированные экспериментальные установки: комплексное испытательное устройство «Сатурн-М1»; адаптивное векторное управление мощной машинно-вентильной системой "Преобразователь частоты - асинхронный двигатель"; машинно-вентильная система "Преобразователь частоты - синхронный двигатель"; машинно-вентильная система "Тиристорный преобразователь - высокомоментный ДПТ на постоянных магнитах"; машинно-вентильная система "Широтно-импульсный регулятор напряжения - ДПТ с НВ"; машинно-вентильная система "Тиристорный преобразователь-ДПТ с НВ"; тиристорный преобразователь напряжения. Режимы источника тока и источника напряжения. R-нагрузка и L-R нагрузка. Исследование системы импульсного фазового управления (СИФУ); вентильная система – «Блок управления симисторами и тиристорами - силовая сборка»; широтно-импульсный преобразователь. R-нагрузка и L-R нагрузка. Режимы источника тока и источника напряжения.

#### **Технические средства обучения:**

Компьютерный класс, оснащенный двенадцатью 2-х ядерных компьютерами, подключенными к сети Internet. Программное обеспечение включает в себя средства разработки 3D моделей: COSMOS, CADMech и др.; средства разработки 2D чертежей: КОМПАС V9, AutoCAD rus, CADMech; а также Maple, Mathcad, Windows 2003 Server, MS Windows XP, Adobe Acrobat Reader, Microsoft Office, TechCard, EdgeCAM, Ansys CFX, ELCUT и другие. Активно используются запатентованные программные средства собственной разработки.

#### **Оборудование:**

Исследовательское оборудование: преобразователь частоты ATV08HUN4; конвертор RS485/RS232 ACE909-2; аналого-цифровой преобразователь HANDPROBE 5 (со специальным программным обеспечением); фазометры Ф2-16, Д5781; осциллографы PDS-5022S, Gwinstek, Owon; программатор PicProg; вольтметр GDM8135; измеритель мощности цифровой DM2436AB; латр TDGC2-10 (10кВт, 40А); тахометры АТТ-6000, АТТ-6006.

Электромеханические преобразователи энергии: двигатели постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ с НВ) и с последовательным возбуждением (ДПТ с ПВ); асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (с цифровым ваттметром) и с фазным ротором; синхронный трехфазный генератор (4 кВт); вентильный электродвигатель постоянного тока на постоянных магнитах.

#### **10. Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

**ЛИСТ**

**согласования рабочей программы**

Направление подготовки: 13.06.01 Электро- и теплотехника  
код и наименование

Направленность подготовки (программа) Электромеханика и электрические аппараты  
наименование

Дисциплина: Электромеханика и электрические аппараты

Учебный год 20 /20

РЕКОМЕНДОВАНА заседанием кафедры ЭМ  
наименование кафедры

протокол № 15 от "24" июня 2015 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
подпись Ф.Р. Исмагилов  
расшифровка подписи

Исполнители:

проф. \_\_\_\_\_ Ф.Р. Исмагилов  
доц. \_\_\_\_\_ О.А. Юшкова  
должность подпись расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой<sup>1</sup>

\_\_\_\_\_ Ф.Р. Исмагилов  
наименование кафедры личная подпись расшифровка подписи дата

Председатель НМС по УГСН 13.00.00 Электро- и теплоэнергетика

протокол № 1А от " 28 " 08 2015 г.

\_\_\_\_\_ Ф.Р. Исмагилов  
личная подпись расшифровка подписи

Библиотека \_\_\_\_\_  
личная подпись расшифровка подписи дата

Начальник отдела аспирантуры \_\_\_\_\_  
личная подпись расшифровка подписи дата

Рабочая программа зарегистрирована в ООПМА и внесена в электронную базу данных

Начальник \_\_\_\_\_  
личная подпись расшифровка подписи дата

<sup>1</sup> Согласование осуществляется с выпускающими кафедрами (для рабочих программ, подготовленных на кафедрах, обеспечивающих подготовку для других направлений и специальностей)

**Дополнения и изменения в рабочей программе учебной дисциплины  
на 20\_\_/20\_\_ уч. год**

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета АВИЭТ

\_\_\_\_\_ Ю.О. Уразбахтина

(подпись)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

В рабочую программу по дисциплине Электромеханика и электрические аппараты для направления 13.06.01 Электро- и теплотехника направленность (программа) Электромеханика и электрические аппараты вносятся следующие изменения:

1)

.....

2)

.....

ПЕРЕСМОТРЕНА на заседании кафедры Электромеханика

наименование кафедры

протокол № \_\_\_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2015 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

подпись

расшифровка подписи

ОДОБРЕНА на заседании НМС по УГСН 13.00.00 Электро- и теплоэнергетика

протокол № \_\_\_\_\_ от "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель \_\_\_\_\_ Ф.Р. Исмагилов

личная подпись

расшифровка подписи

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

наименование кафедры

личная подпись

Ф.Р. Исмагилов

расшифровка подписи

дата

Библиотека<sup>3</sup> \_\_\_\_\_

личная подпись

расшифровка подписи

дата

Дополнения и изменения внесены в базу данных рабочих программ дисциплин

Начальник ООПМА \_\_\_\_\_

личная подпись

расшифровка подписи

дата

<sup>2</sup> Согласование осуществляется с выпускающими кафедрами (для рабочих программ, подготовленных на кафедрах, обеспечивающих подготовку для других направлений подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации)

<sup>3</sup> Только при внесении изменений в список литературы