

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



М. А. Григорьев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.М2.04 Тепловые процессы в электромеханике и электроприводе
для направления 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
уровень Магистратура
магистерская программа Электропривод, электромеханика и автоматизация
форма обучения очная
кафедра-разработчик Электропривод, мехатроника и электромеханика

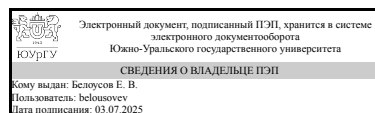
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утверждённым приказом Минобрнауки от 28.02.2018 № 147

Зав.кафедрой разработчика,
д.техн.н., проф.



М. А. Григорьев

Разработчик программы,
к.техн.н., доцент



Е. В. Белоусов

1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является освоение современных методов моделирования электромеханических систем для последующей оптимизации конструкции электромеханических преобразователей, синтеза систем управления электроприводами. Изучение математического аппарата метода конечных элементов, овладение программными продуктами конечно-элементного анализа, овладение навыками синтеза систем управления и методами расчета систем с распределенными параметрами. Курс «Компьютерный инжиниринг электротехнических систем и комплексов» предполагает освоение студентами навыков расчета электрических машин и систем электроприводов в пакете электромагнитного анализа Ansys Electromagnetic Suite. Особенностью курса является то, что студенты вместо традиционной пассивной позиции слушателя в большей степени выступают участниками решения конкретных проектных задач. Задачей курса является создание конечно-элементной модели электрической машины в программном пакете ANSYS Maxwell. Тип привода и способы регулирования, выбранные для проектирования, меняются из года в год, что исключает элемент списывания. Каждый из студентов имеет индивидуальный вариант и возможность по-своему реализовать поставленную задачу. Роль преподавателя заключается в контроле, консультировании и направлении студентов с учётом опыта реализации им реальных проектов. Таким образом обучение происходит на основе мысле-деятельностного подхода. По итогам курса студенты сдают зачет.

Краткое содержание дисциплины

В курсе изучается применение метода конечных элементов для моделирования электромеханических преобразователей и систем электроприводов. Освоив данные навыки, студенты могут решать исследовательские задачи в рамках выполнения магистерской диссертации на более высоком уровне. Выпускники магистратуры, успешно освоившие данный курс, являются востребованными на позиции инженера - проектировщика, работающего в CAD, CAE системах проектирования. Вид промежуточной аттестации - зачет.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3 Способен участвовать в научно-исследовательской работе по видам профессиональной деятельности	Знает: Основные узлы выделения тепловых потерь в электроприводе, методики снижения тепловых потерь. Перечень опасностей, возникающих в электроприводе при нарушении теплового режима элементов электропривода. Умеет: Рассчитывать тепловое состояние электропривода при проектировании, а также во время реальной эксплуатации объекта. Имеет практический опыт: Компьютерного моделирования тепловых процессов в электромеханике и электроприводе с применением современных программных пакетов.

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Испытания электрических машин, Информационные системы в энергетике, Промышленные сети в системах управления электромеханическими комплексами, Экспертные методы в оценке качества электротехнических изделий, Высокоточные следящие электроприводы, Электромагнитные процессы в электромеханике и электроприводе, Производственная практика (научно-исследовательская работа) (2 семестр), Производственная практика (научно-исследовательская работа) (1 семестр)	Не предусмотрены

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Высокоточные следящие электроприводы	Знает: Современные алгоритмы построения замкнутых систем электроприводов, работающих в функции слежения и позиционирования. Умеет: Выбирать электрический и электромеханический преобразователь для реализации следящих электроприводов по критериям максимального быстродействия отработки сигнала задания и по критерию максимальной точности отработки сигнала задания. Имеет практический опыт: Настройки следящих электроприводов.
Электромагнитные процессы в электромеханике и электроприводе	Знает: Основные зависимости электромагнитных процессов, протекающих в электроприводе во время его эксплуатации с учетом методик повышения качества рассматриваемых процессов. Умеет: Оценивать качество используемого электрооборудования и качество его работы по виду электромагнитных процессов. Имеет практический опыт: Компьютерного моделирования электромагнитных процессов в электромеханике и электроприводе с применением современных программных пакетов.
Экспертные методы в оценке качества электротехнических изделий	Знает: Основные преимущества внедрения технологий оценки качества продукции на производстве., Основные преимущества внедрения технологий оценки качества продукции на производстве. Умеет: Правильно оценивать качество продукта при прохождении последним всей технологической цепочки производства., Правильно оценивать качество продукта при прохождении последним всей

	технологической цепочки производства. Имеет практический опыт: Корректирования экспертных методов оценки качества при модернизации производственных процессов., Корректирования экспертных методов оценки качества при модернизации производственных процессов.
Информационные системы в энергетике	Знает: Современные методы и способы энерго- и ресурсосбережения с помощью электропривода, меры по модернизации электропривода с целью повышения его энергетической эффективности. Умеет: Применять современные способы и методы энерго- и ресурсосбережения с помощью электропривода, осуществлять модернизацию устаревшего и ввод в строй нового оборудования с целью повышения энергетической эффективности электротехнического и технологического оборудования, следить за соблюдением установленных требований, действующих норм, правил и стандартов в области энерго- и ресурсосбережения. Имеет практический опыт: Освоения нового электротехнического оборудования, расчета параметров электротехнических устройств и электроустановок, систем защиты и автоматики, анализа режимов работы электротехнического оборудования и систем.
Промышленные сети в системах управления электромеханическими комплексами	Знает: Последние достижения отечественной и зарубежной науки и техники в системах автоматизации управления технологическими процессами и устройствами., Коммуникации в технике автоматизации, в частности, сети Profibus-DP, Profibus-PA, ASInterface; Industrial Ethernet. Умеет: Осуществлять поиск и анализ научной информации автоматизированного объекта, требующего в основном систему циклового программного управления., Изучать и анализировать необходимую информацию систем автоматизации, технические данные автоматизированного объекта, показатели и результаты экспериментальной работы, обобщать и систематизировать их, проводить необходимые расчеты, используя современные технические средства и информационные технологии. Имеет практический опыт: Выбора элементной базы для реализации системы автоматизации, составления функциональных и принципиальных схем системы автоматизации., Осуществления экспериментальных исследований.
Испытания электрических машин	Знает: Методы испытаний электрических машин, а также требования техники безопасности при проведении испытаний как во время выпуска продукции, так и во время эксплуатации технического объекта., Основные требования к оборудованию и измерительным приборам для

	испытаний электрических машин для научно-исследовательской деятельности в том числе в рамках реального производства. Умеет: Составлять программу испытаний электрических машин и проводить анализ полученных данных., Проводить компьютерную обработку результатов испытаний электрических машин с использованием современных программных пакетов. Имеет практический опыт: Определения основных электрических, прочностных характеристик электрических машин, а также прогнозирования ресурса работы эксплуатируемых электрических машин., Работы автоматизированными испытательно-диагностическими системами для контроля и управления качеством электрических машин.
Производственная практика (научно-исследовательская работа) (2 семестр)	Знает: Основные методы информационного поиска статей, диссертаций и прочих публикаций в области конкретного исследования. Умеет: Производить информационный поиск материала по конкретному научно-техническому исследованию или тематикам смежных исследований. Имеет практический опыт: Проведения обзора литературы по конкретной исследовательской тематике.
Производственная практика (научно-исследовательская работа) (1 семестр)	Знает: Основные мировые тенденции развития науки и техники в области электропривода, силовой электроники и автоматизации промышленных установок. Умеет: Оценивать применимость отдельных современных технологий для конкретного производственного процесса. Имеет практический опыт: Участия в создании проекта по модернизации производственного объекта с применением современных технологий повышения производительности либо энергоэффективности.

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 54,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		3
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48
Лекции (Л)	0	0
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	48	48
Лабораторные работы (ЛР)	0	0

Самостоятельная работа (СРС)	53,75	53,75
Семестровая работа № 3 "Расчет созданной модели Maxwell"	23,75	23.75
Подготовка к зачету	2	2
Семестровая работа №2 "Расчет электромеханической системы с учетом тепловых процессов в электромеханическом преобразователе"	16	16
Семестровая работа №1 "Расчет статических характеристик"	12	12
Консультации и промежуточная аттестация	6,25	6,25
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение. Методы проектирования электромеханических преобразователей и систем электроприводов. Системы с распределенными параметрами.	2	0	2	0
2	Моделирование процесса работы электрической машины методом конечных элементов	46	0	46	0

5.1. Лекции

Не предусмотрены

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Семестровая работа №1. Расчет электромагнитных нагрузок, координат, статических характеристик работы электрической машины аналитическими методами.	2
2	2	Аналитический расчет RmExpert - геометрия машины. Создается новый проект в системе аналитического расчёта RmExpert. Приводится геометрия электрической машины в поперечном разрезе. Производится выбор типа электрической машины. Вводятся общие параметры машины, задаются линейные размеры статора, включая размеры пазов.	2
3	2	Аналитический расчет RmExpert - обмоточные данные. Вводятся обмоточные данные статора и ротора машины. Вводятся линейные размеры ротора машины.	2
4	2	Аналитический расчет RmExpert. Геометрия ротора. Задаются параметрические размеры паза ротора. В обмотке ротора заполняются размеры короткозамыкающего кольца. Указывается материал статора, ротора, обмоток.	2
5	2	Создание в библиотеке материалов сталей, требуемых для расчета машины по каталожным данным.	2
6	2	Аналитический расчет RmExpert - статические характеристики. Задаются параметры расчета: шаг, время расчета, указываются точки сохранения картины полей для анализа на этапе постпроцессинга.	2
7	2	Проверка параметров электрической машины. Для самопроверки есть	2

		возможность посмотреть трехмерную модель получившейся машины. Запуск расчета.	
8	2	Семестровая работа №2. Анализ результатов расчета RMExpert. Необходимо сопоставить полученные результаты в RM-Expert (а именно координаты ключевых точек статических характеристик, индукцию в зазоре, линейную нагрузку) с рассчитанными аналитически ранее и с каталожными данными. Для этого необходимо построить зависимость момента и тока от скорости.	2
9	2	Создание модели конечных элементов в Maxwell. После того, как в результате расчета в RM-Expert получена аналитическая модель электрической машины, необходимо приступить к созданию конечно-элементной модели в Ansys Maxwell. Для этого необходимо экспортировать данные расчета	2
10	2	Настройка модели конечных элементов в Maxwell. Задание граничных условий, параметров расчета, настройка сетки конечных элементов, задание электромагнитных нагрузок.	2
11	2	Моделирование процесса пуска на холостом ходу и с набросом нагрузки	2
12	2	Анализ осциллограмм переходных процессов пуска	2
13-14	2	Моделирование процесса наброса нагрузки.	4
15-16	2	Анализ картины полей. По завершению расчета процесса пуска на холостом ходу с последующим набросом нагрузки, необходимо провести качественный анализ получившихся результатов. Для этого необходимо получить картины полей машины.	4
17-18	2	Семестровая работа №3. Анализ картины полей по полилиниям. Помимо визуального представления картины полей, в Maxwell имеется возможность построить график распределения той или иной электромагнитной величины по конкретному пути. Так, например, большой интерес представляет распределение электромагнитной индукции в зазоре электрической машины, которое невозможно оценить визуально.	4
19-20	2	Создание модели теплового распределения поля в режиме статического нагрева обмоток за счет протекания постоянного тока.	4
21-22	2	Создание модели междисциплинарного расчета электромагнитных полей с учетом изменения сопротивлений обмоток, обусловленного нагревом.	4
23-24	2	Зачет. Сравнительных анализ полученных результатов. Сравнение статических характеристик, полученных в результате самостоятельного расчета, расчета в системе RM-Expert и методом конечных элементов в Maxwell.	4

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Семестровая работа № 3 "Расчет созданной модели Maxwell"	ЭУМД: УМО для СРС [1], с 3-6, Отечественные и зарубежные журналы по дисциплине: [1], Программное обеспечение: [1], [2], Методические пособия для самостоятельной работы студента: [1].	3	23,75

Подготовка к зачету	ПУМД: [Осн. лит., 3], с. 44 - 56, ЭУМД: УМО для СРС [1], с 3-6, Профессиональные базы данных и информационные справочные системы: [1], Программное обеспечение: [1], [2].	3	2
Семестровая работа №2 "Расчет электромеханической системы с учетом тепловых процессов в электромеханическом преобразователе"	ПУМД: [Осн. лит., 1], с. 324-351, [Осн. лит., 2], с. 36-50, Программное обеспечение: [1], [2], Методические пособия для самостоятельной работы студента: [1].	3	16
Семестровая работа №1 "Расчет статических характеристик"	ПУМД: [Осн. лит., 1], с. 12-18., [Доп. лит., 2], с. 314-328, Программное обеспечение: [1], [2].	3	12

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	3	Текущий контроль	Семестровая работа №1 "Расчет статических характеристик"	1	5	Семестровая работа №1 по разделу 1 проводится на занятии №1 в письменной форме. Оценивается по следующим критериям: 5 баллов - приведены исходные данные для расчета, расчеты ключевых точек произведены верно, работа оформлена в соответствии с требованиями; 4 балла - расчеты проведены верно, нет описания исходных данных; 3 балла - в расчетах не более двух ключевых точек допущены ошибки; 2 балла - в расчетах двух и более ключевых точек допущены ошибки.	зачет
2	3	Текущий контроль	Семестровая работа №2 "Валидация аналитической модели RmExpert"	1	5	Семестровая работа №2 (по разделу 2) выполняется на занятии № 8 в письменной форме. В семестровой работе приводятся результаты моделирования. За выполненную работу начисляются баллы по следующим критериям: 5 баллов - ключевые точки статических характеристик, полученных на математической модели совпадают с рассчитанными аналитически	зачет

					4 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются не более, чем на 10%, студент может объяснить причину расхождения 3 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются не более, чем на 10%, студент не может объяснить причину расхождения 2 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются более, чем на 10%, студент может объяснить причину расхождения 0 баллов - ключевые точки статических характеристик отличаются более, чем на 10%, студент не может объяснить причину расхождения	
3	3	Текущий контроль	Семестровая работа №3 "Валидация модели Maxwell"	1	5 Семестровая работа №3 (по разделу №2) выполняется на занятии № 15 в письменной форме. В семестровой работе приводятся результаты моделирования. За выполненную работу начисляются баллы по следующим критериям: 5 баллов - ключевые точки статических характеристик, полученных на КЭ модели Maxwell совпадают с рассчитанными в аналитической системе RmExpert 4 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются не более, чем на 10%, студент может объяснить причину расхождения 3 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются не более, чем на 10%, студент не может объяснить причину расхождения 2 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются более, чем на 10%, студент может объяснить причину расхождения 0 баллов - ключевые точки статических характеристик отличаются более, чем на 10%, студент не может объяснить причину расхождения	зачет
4	3	Промежуточная аттестация	Зачет	-	5 Зачет проводится в устной форме. К зачету допускаются студенты, выполнившие все семестровые задания. На зачете студент получает вопрос по проделанной работе. Ответ оценивается преподавателем по следующим критериям: 5 баллов - студент может объяснить результаты моделирования с учетом теоретических аспектов 4 балла - студент может объяснить результаты моделирования	зачет

					3 балла - студент отвечает на вопрос по выполненной работе, но не способен ответить на уточняющие вопросы 2 балла - студент не может ответить на поставленный вопрос.	
--	--	--	--	--	--	--

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	К зачету допускаются студенты, выполнившие все тесты по всем разделам курса. Зачет проводится в форме компьютерного тестирования. В аудитории находится преподаватель и не более 15 человек из числа студентов. Во время проведения зачета студентам запрещается иметь при себе и использовать средства связи (сотовые телефоны, микрофоны и пр.). Оценка на зачете рассчитывается по рейтингу обучающегося по дисциплине R_d на основе рейтинга по текущему контролю $R_{тек}$ плюс бонусные баллы R_b (максимум 15) по формуле: $R_d = R_{тек} + R_b$, где $R_{тек} = 0,2 KM1 + 0,2 KM2 + 0,2 KM3 + 0,2 KM4 + 0,2 KM5$ рассчитывается на основе баллов, набранных обучающимся по результатам текущего контроля с учетом весовых коэффициентов. Но студент вправе улучшить свой результат при помощи сдачи промежуточной аттестации, тогда рейтинг обучающегося по дисциплине рассчитывается по формуле: $R_d = 0,6 R_{тек} + 0,4 R_{па} + R_b$, где $R_{па}$ – рейтинг за промежуточную аттестацию. Критерии оценивания: «Зачтено» – R_d больше или равно 60%; «Не зачтено» – R_d меньше 60%.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ KM			
		1	2	3	4
ПК-3	Знает: Основные узлы выделения тепловых потерь в электроприводе, методики снижения тепловых потерь. Перечень опасностей, возникающих в электроприводе при нарушении теплового режима элементов электропривода.	+		++	
ПК-3	Умеет: Рассчитывать тепловое состояние электропривода при проектировании, а также во время реальной эксплуатации объекта.	++	++	++	++
ПК-3	Имеет практический опыт: Компьютерного моделирования тепловых процессов в электромеханике и электроприводе с применением современных программных пакетов.	++	++	++	++

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Драчев Г. И. Теория электропривода : учеб. пособие . Ч. 2 / Г. И. Драчев ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Электропривод и автоматизация

промышленных установок ; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2006. - 202, [1] с.. URL:

http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000308275

2. Драчев Г. И. Теория электропривода : учеб. пособие . Ч. 1 / Г. И. Драчев ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Электропривод и автоматизация пром. установок ; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2005. - 208, [1] с. : ил.. URL: http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000305379

б) дополнительная литература:

1. Автоматизированный электропривод : Учеб. пособие к лаб. работам / Г. И. Драчев, О. И. Осипов, Ю. С. Усынин и др.; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Электропривод и автоматизация пром. установок; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2000. - 79,[1] с. : ил.

2. Теория электропривода : Учеб. пособие для студентов специальности 1804-"Электропривод и автоматизация пром. установок и технол. комплексов" . Ч. 3 / ЮУрГУ, Каф. Электропривод и автоматизация пром. установок и технол. комплексов; О. И. Осипов, Ю. С. Усынин, Г. И. Драчев, С. М. Бутаков. - Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 1998. - 89,[1] с. : ил.. URL: http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000153743

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

1. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика / Юж.-Урал. гос. ун-т; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2001-. -. URL: <http://vestnik.susu.ac.ru/>

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Е.В. Белоусов. Конечно-элементная модель асинхронного двигателя

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Е.В. Белоусов. Конечно-элементная модель асинхронного двигателя

Электронная учебно-методическая документация

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

1. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	526б (1)	Компьютерный класс