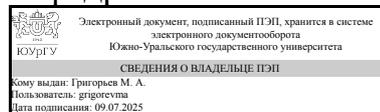


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



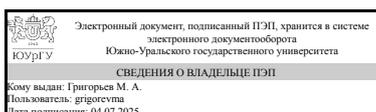
М. А. Григорьев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.М2.02 Электромагнитные 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

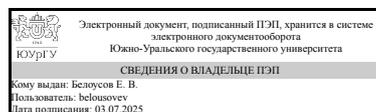
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утверждённым приказом Минобрнауки от 28.02.2018 № 147

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. Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач: 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. Курс рассчитан на два семестра. Задачей первого семестра является создание конечно-элементной модели электрической машины в программном пакете ANSYS Maxwell. В следующем семестре ставится задача синтеза системы управления электроприводом, в которую должна быть интегрирована разработанная в первом семестре конечно-элементная модель. Синтез системы управления выполняется в пакете Ansys Twin Builder и рассчитывается аналитическими и численными методами. 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 первого семестра студенты сдают зачет. По итогам второго - курсовую работу и экзамен.

## 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. Курс рассчитан на два семестра. Вид промежуточной аттестации - зачет. Во втором семестре студенты готовят курсовой проект и сдают экзамен.

## 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 зависимости электромагнитных процессов, протекающих в электроприводе во время его эксплуатации с учетом методик повышения качества рассматриваемых процессов.

	<p>Умеет: Оценивать качество используемого электрооборудования и качество его работы по виду электромагнитных процессов.</p> <p>Имеет практический опыт: Компьютерного моделирования электромагнитных процессов в электромеханике и электроприводе с применением современных программных пакетов.</p>
--	---

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Нет	<p>Экспертные методы в оценке качества электротехнических изделий,</p> <p>Экспериментальное исследование электроприводов,</p> <p>Испытания электрических машин,</p> <p>Тепловые процессы в электромеханике и электроприводе,</p> <p>Производственная практика (научно-исследовательская работа) (3 семестр),</p> <p>Производственная практика (научно-исследовательская работа) (2 семестр)</p>

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

Нет

### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 56,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		1
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48
Лекции (Л)	24	24
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	0	0
Лабораторные работы (ЛР)	24	24
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	51,5	51,5
Выполнение семестровой работы №1	19,5	19,5
Подготовка к зачету.	32	32
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

## 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.	20	20	0	0
2	Моделирование процесса работы электрической машины методом конечных элементов	28	4	0	24

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Обзор методов математического моделирования работы электромагнитных систем	2
2-3	1	Обзор численных методов решения уравнений	4
4-5	1	Метод конечных элементов в плоско-параллельной постановке задачи	4
6-7	1	Метод конечных элементов в пространственной постановке задачи	4
8	1	Метод конечных разностей	2
9-10	1	Расчет электромагнитных систем с распределенными параметрами	4
11	2	Методы распараллеливания расчетов	2
12	2	Суперкомпьютерное моделирование. Решение задач на удалённом сервере.	2

### 5.2. Практические занятия, семинары

Не предусмотрены

### 5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	2	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 статей, требуемых для расчета машины по каталожным данным.	2
6	2	Аналитический расчет RmExpert - статические характеристики. Задаются	2

		параметры расчета: шаг, время расчета, указываются точки сохранения картины полей для анализа на этапе постпроцессинга.	
7	2	Проверка параметров электрической машины. Для самопроверки есть возможность посмотреть трехмерную модель получившейся машины. Запуск расчета.	2
8	2	Семестровая работа №1. 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.	2
12	2	Анализ осциллограмм переходных процессов пуска	2

#### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Выполнение семестровой работы №1	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].	1	19,5
Подготовка к зачету.	ПУМД: [Осн. лит., 2], с. 36-50, с. 54- 61, [Доп. лит., 1], с. 144 - 156, Программное обеспечение: [1], [2].	1	32

#### 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	1	Текущий контроль	Семестровая работа №1 "Валидация"	0,5	5	Семестровая работа №1 (по разделам №1, 2) выполняется на занятии № 10 в письменной форме. В семестровой	экзамен

			аналитической модели RmExpert"			<p>работе приводятся результаты моделирования. За выполненную работу начисляются баллы по следующим критериям:</p> <p>5 баллов - ключевые точки статических характеристик, полученных на математической модели совпадают с рассчитанными аналитически</p> <p>4 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются не более, чем на 10%, студент может объяснить причину расхождения</p> <p>3 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются не более, чем на 10%, студент не может объяснить причину расхождения</p> <p>2 балла - ключевые точки статических характеристик отличаются более, чем на 10%, студент может объяснить причину расхождения</p> <p>0 баллов - ключевые точки статических характеристик отличаются более, чем на 10%, студент не может объяснить причину расхождения</p>	
2	1	Промежуточная аттестация	Экзамен	-	5	<p>Экзамен проводится в устной форме. Каждому студенту выдается билет, в котором присутствует вопрос, ответ на который требует понимания теории предмета и практических навыков моделирования. Ответ оценивается по следующим критериям:</p> <p>5 баллов - студент может объяснить результаты моделирования с учетом теоретических аспектов</p> <p>4 балла - студент может объяснить результаты моделирования</p> <p>3 балла - студент отвечает на вопрос по выполненной работе, но не способен ответить на уточняющие вопросы</p> <p>2 балла - студент не может ответить на поставленный вопрос.</p>	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	К экзамену допускаются студенты, выполнившие семестровую работу. Экзамен проводится в устной форме. Каждому студенту выдается билет с вопросом по семестровой работе. Оценка за экзамен рассчитывается по рейтингу обучающегося по дисциплине Рд на основе рейтинга по текущему контролю	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	<p>Ртек и рейтинга промежуточной аттестации <math>R_{па}</math> по формуле:  <math>R_{д}=0,6 R_{тек}+0,4 R_{па}</math>, где <math>R_{тек}=0,1 KМ1+0,1 KМ2+ 0,1 KМ3+0,3 KМ4 +0,4 KМ5</math> рассчитывается на основе баллов, набранных обучающимся по результатам текущего контроля с учетом весового коэффициента. Шкала перевода рейтинга в оценку: «Отлично» - <math>R_{к} = 85 \dots 100\%</math>; «Хорошо» - <math>R_{к} = 75 \dots 84\%</math>; « Удовлетворительно» - <math>R_{к} = 60 \dots 74\%</math>; « Неудовлетворительно» - <math>R_{к} = 0 \dots 59\%</math>.</p>	
--	---	--

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ	
		1	2
ПК-3	Знает: Основные зависимости электромагнитных процессов, протекающих в электроприводе во время его эксплуатации с учетом методик повышения качества рассматриваемых процессов.	+	+
ПК-3	Умеет: Оценивать качество используемого электрооборудования и качество его работы по виду электромагнитных процессов.	+	+
ПК-3	Имеет практический опыт: Компьютерного моделирования электромагнитных 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. 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. 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](http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000308275)

#### б) дополнительная литература:

1. Системы управления электроприводов : учеб. пособие к курсовому проектированию / Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Электропривод и автоматизация пром. установок; Ю. С. Усынин, С. М. Бутаков, Р. З. Хусаинов, В. П. Мацин; ЮУрГУ. - Челябинск : Издательство ЮУрГУ, 2000. - 46,[1] с. : ил.
2. Электротехника : учеб. пособие для вузов по направлениям подгот. и специальностям в обл. техники и технологии : в 3 кн. . Кн. 3 / под ред. П. А. Бутырина и др. ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т) ; ЮУрГУ. - Челябинск ; М. : Издательство ЮУрГУ, 2005. - 638 с. : ил.

#### 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. Методическое пособие по выполнению семестровых работ по дисциплине Компьютерный инжиниринг электротехнических комплексов и систем, 2021 г.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Е.В. Белоусов. Методическое пособие по выполнению семестровых работ по дисциплине Компьютерный инжиниринг электротехнических комплексов и систем, 2021 г.

### Электронная учебно-методическая документация

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Math Works-MATLAB, Simulink R2014b(бессрочно)
2. 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
Лабораторные занятия	5266 (1)	Компьютерный класс