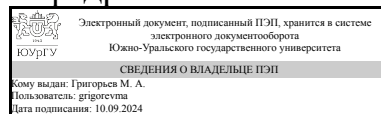


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



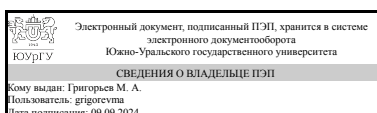
М. А. Григорьев

## 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

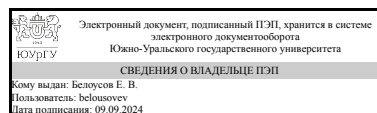
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утверждённым приказом Минобрнауки от 28.02.2018 № 147

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>Экспериментальное исследование электроприводов,</p> <p>Испытания электрических машин,</p> <p>Тепловые процессы в электромеханике и электроприводе,</p> <p>Экспертные методы в оценке качества электротехнических изделий,</p> <p>Производственная практика (научно-исследовательская работа) (2 семестр),</p> <p>Производственная практика (научно-исследовательская работа) (3 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                       |
| Подготовка к зачету.                                                       | 32          | 32                         |
| Выполнение семестровой работы №1                                           | 19,5        | 19.5                       |
| Консультации и промежуточная аттестация                                    | 8,5         | 8,5                        |
| Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)                                   | -           | экзамен                    |

## 5. Содержание дисциплины

| №<br>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

| №<br>лекции | №<br>раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия                              | Кол-<br>во<br>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

| №<br>занятия | №<br>раздела | Наименование или краткое содержание лабораторной работы                                                                                                                                                                                                                                                                      | Кол-<br>во<br>часов |
|--------------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1            | 2            | Расчет электромагнитных нагрузок, координат, статических характеристик работы электрической машины аналитическими методами.                                                                                                                                                                                                  | 2                   |
| 2            | 2            | Аналитический расчет RMExpert - геометрия машины. Создаётся 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 стале, 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 RMEExpert. 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 |
| 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           |
| 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         |

### 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:<br/> <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_k = 85 \dots 100\%</math>; «Хорошо» - <math>R_k = 75 \dots 84\%</math>; «Удовлетворительно» - <math>R_k = 60 \dots 74\%</math>; «Неудовлетворительно» - <math>R_k = 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. Сахаров А. С. Метод конечных элементов в механике твердых тел / Под ред. А. С. Сахарова, И. Альтенбаха. - Киев : Вища школа, 1982. - 480 с.
2. 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.
3. 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. Мадин; 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 | 526б<br>(1) | Компьютерный класс                                                                                                                               |