

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

Бурковский А.В.

«31» августа 2018 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Моделирование электромагнитного поля»

**Направление подготовки** 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

**Профиль** Технология проектирования и производства электрических машин для устойчивой работы в заданных условиях с учетом геометрии воздушного зазора

**Квалификация выпускника** магистр

**Нормативный период обучения** 2 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2018

Автор программы

 /Кононенко К.Е./

Заведующий кафедрой  
Электромеханических  
систем и электроснабжения

 /Шелякин В.П./

Руководитель ОПОП

 /Кононенко К.Е./

Воронеж 2018

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** сформировать способность моделировать электромагнитное поле в электрических машинах наиболее рациональным методом.

**1.2. Задачи освоения дисциплины:** Изучения методов расчета электромагнитного поля. Освоение основных технических средств исследований электромагнитного поля. Ознакомление с этапами развития теории расчетов электромагнитного поля. Ознакомление с современными программными комплексами для проведения вычислительных экспериментов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Моделирование электромагнитного поля» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование электромагнитного поля» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен проводить работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                      |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-2        | Знать современные методы моделирования электромагнитного поля.                         |
|             | Уметь выбирать наиболее подходящий метод расчета поля для заданных условий.            |
|             | Владеть основами теории электромагнитного поля и численным методом конечных элементов. |

## 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование электромагнитного поля» составляет 8 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

| Виды учебной работы               | Всего часов | Семестры |
|-----------------------------------|-------------|----------|
|                                   |             | 1        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b> | 62          | 62       |
| В том числе:                      |             |          |
| Практические занятия (ПЗ)         | 36          | 36       |
| Лабораторные работы (ЛР)          | 26          | 26       |
| <b>Самостоятельная работа</b>     | 190         | 190      |
| <b>Курсовой проект</b>            | +           | +        |

|                                                      |          |          |
|------------------------------------------------------|----------|----------|
| Часы на контроль                                     | 36       | 36       |
| Виды промежуточной аттестации - экзамен              | +        | +        |
| Общая трудоемкость:<br>академические часы<br>зач.ед. | 288<br>8 | 288<br>8 |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий очная форма обучения

| № п/п        | Наименование темы                                                       | Содержание раздела                                                                                                                                                    | Прак<br>зан. | Лаб.<br>зан. | СРС        | Всего,<br>час |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|------------|---------------|
| 1            | Основные понятия метода конечных элементов.                             | Треугольные элементы первого порядка для двумерных задач. Уравнение Лапласа. Уравнение Пуассона.                                                                      | 6            | 6            | 30         | 42            |
| 2            | Уравнения электромагнитного поля.                                       | Уравнения Максвелла. Стационарные функционалы для полей.                                                                                                              | 6            | 4            | 32         | 42            |
| 3            | Особенности расчета полевых задач от режимов работы электрических машин | Разбиение на сетку конечных элементов и задание скалярных параметров. Геометрия электрических машин, схемы обмоток, свойства материалов.                              | 6            | 4            | 32         | 42            |
| 4            | Статический анализ электромагнитного поля.                              | Моделирование электромагнитного поля в режиме холостого хода машины постоянного тока. Моделирование электромагнитного поля в пусковом режиме машины постоянного тока. | 6            | 4            | 32         | 42            |
| 5            | Гармонический анализ электромагнитного поля.                            | Моделирование асинхронных машин. Режим при неподвижном роторе. Режим с вращающимся ротором.                                                                           | 6            | 4            | 32         | 42            |
| 6            | Практическая реализация метода конечных элементов.                      | Задание геометрии модели. Задание свойств материалов. Задание токовых нагрузок и граничных условий. Решение и графическая визуализация результатов расчета.           | 6            | 4            | 32         | 42            |
| <b>Итого</b> |                                                                         |                                                                                                                                                                       | <b>36</b>    | <b>26</b>    | <b>190</b> | <b>252</b>    |

### 5.2 Перечень лабораторных работ

Моделирование электромагнитного поля в коллекторном двигателе постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита.

Моделирование электромагнитного поля в коллекторном двигателе постоянного тока с электромагнитным возбуждением.

Моделирование электромагнитного поля в основных режимах работы асинхронного двигателя.

Моделирование электромагнитного поля в бесконтактном двигателе постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита.

Моделирование электромагнитного поля в основных режимах работы синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением.

Моделирование электромагнитного поля в основных режимах работы асинхронного двигателя фазным ротором.

Моделирование электромагнитного поля в основных режимах работы синхронного реактивного двигателя.

## **6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 1 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Электромагнитное поле электрической машины (тип машины согласуется с ориентировочной темой предстоящей ВКР)»

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- Построение геометрии модели машины.
- Задание начальных и граничных условий.
- Решение задачи и формулирование основных выводов.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### **7.1.1 Этап текущего контроля**

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| <b>Компетенция</b> | <b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>               | <b>Критерии оценивания</b>                                                                                            | <b>Аттестован</b>                                             | <b>Не аттестован</b>                                            |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ПК-2               | Знать современные методы моделирования электромагнитного поля.                         | Активная работа на практических и лабораторных занятиях, ответы на теоретические вопросы при защите курсового проекта | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|                    | Уметь выбирать наиболее подходящий метод расчета поля для заданных условий.            | Активная работа на практических и лабораторных занятиях, ответы на теоретические вопросы при защите курсового проекта | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|                    | Владеть основами теории электромагнитного поля и численным методом конечных элементов. | Активная работа на практических и лабораторных занятиях, ответы на теоретические вопросы при защите курсового проекта | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### **7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний**

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 1 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;  
 «удовлетворительно»;  
 «неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                      | Критерии оценивания                                      | Отлично                                                | Хорошо                                                                                | Удовл.                                                   | Неудовл.                             |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ПК-2        | Знать современные методы моделирования электромагнитного поля.                         | Тест                                                     | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%                                                            | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | Уметь выбирать наиболее подходящий метод расчета поля для заданных условий.            | Решение стандартных практических задач                   | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
|             | Владеть основами теории электромагнитного поля и численным методом конечных элементов. | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

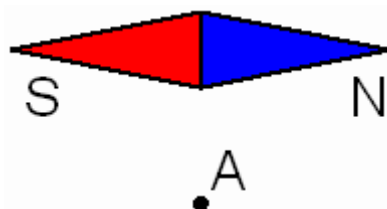
1. Магнит создает вокруг себя магнитное поле. Где будет проявляться действие этого поля наиболее сильно?

- А. Около полюсов магнита.
- Б. В центре магнита.
- В. Действие магнитного поля проявляется равномерно в каждой точке магнита.

2. При каком условии магнитное поле появляется вокруг проводника?

- А. Когда в проводнике возникает электрический ток.
- Б. Когда проводник складывают вдвое.
- В. Когда проводник нагревают.

3. На рисунке показано расположение магнитной стрелки. Как в точке А направлен вектор магнитной индукции?



- А. Вверх.
- Б. Вниз.
- В. Направо.
- Г. Налево.

4. Укажите фундаментальное свойство магнитного поля?

- А. Его силовые линии всегда имеют источники: они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных.
- Б. Магнитное поле не имеет источников. Магнитных зарядов в природе нет.
- В. Его силовые линии всегда имеют источники: они начинаются на отрицательных зарядах и оканчиваются на положительных.

5. Выберите рисунок, где изображено магнитное поле.

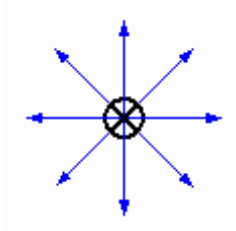


Рис. 1

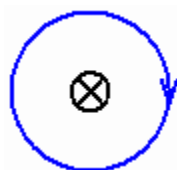
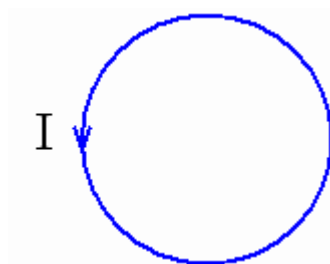


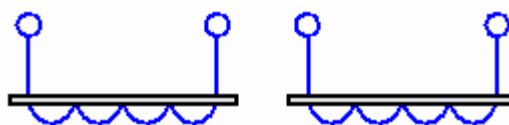
Рис. 2

6. По проволочному кольцу протекает ток. Укажите направление вектора магнитной индукции.



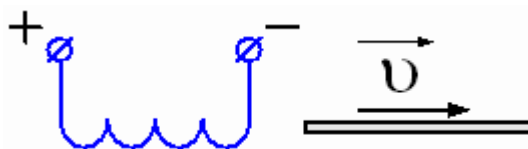
- А. Вниз.
- Б. Вверх.
- В. Направо.

7. Как ведут себя катушки с сердечниками, изображенные на рисунке.



- А. Не взаимодействуют.
- Б. Поворачиваются.
- В. Отталкиваются.

8. Из катушки с током убрали железный сердечник. Как изменится картина магнитной индукции?



- А. Густота магнитных линий многократно возрастет.
- Б. Густота магнитных линий многократно уменьшится.

В. Картина магнитных линий не изменится.

9. Каким способом можно изменить полюса магнитного катушки с током?

А. Ввести в катушку сердечник.

Б. Изменить направление тока в катушке.

В. Отключить источник тока.

Г. Увеличить силу тока.

10. Какое понятие помогает вдвое сократить количество решаемых уравнений поля?

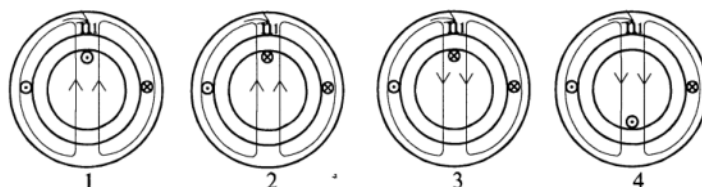
А. Векторный магнитный потенциал.

Б. Скалярный магнитный потенциал.

В. Тензоры натяжения в магнитном поле.

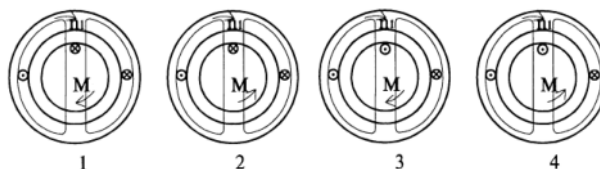
### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. На рисунке приведены четыре варианта направлений магнитных линий поля, созданного трехфазной обмоткой статора, и ЭДС в проводнике обмотки ротора при условии, что ток в катушке статора в данный момент максимален (асинхронная машина работает в режиме



двигателя). Укажите правильный вариант.

2. На рисунке приведены четыре варианта направлений тока в проводнике обмотки ротора и электромагнитного момента при условии, что ток в катушке статора в данный момент



максимален (асинхронная машина работает в режиме двигателя). Укажите правильный вариант.

3. Трехфазная асинхронная машина имеет следующие данные: число витков фазы статора  $W_1 = 68$ ; ротора  $W_2 = 27$ ; обмоточный коэффициент обмотки статора  $K_{об,1} = 0,866$ , ротора  $K_{об,2} = 0,954$ . Частота питающей сети 50 Гц, вращающийся магнитный поток  $\Phi_M = 2,7 \cdot 10^{-2}$  Вб. Определить действующие значения ЭДС, индуцированных в обмотках статора  $E_1$  и ротора  $E_2$  двигателя при неподвижном роторе. Укажите правильный ответ.

1.  $E_1 = 353$  В;  $E_2 = 154,4$  В.

3.  $E_1 = 250$  В;  $E_2 = 109,3$  В.

2.  $E_1 = 373$  В;  $E_2 = 165,6$  В.

4.  $E_1 = 272$  В;  $E_2 = 118,1$  В.

4. Трехфазная асинхронная машина имеет следующие данные: число витков фазы статора  $W_1 = 68$ ; ротора  $W_2 = 27$ ; обмоточный коэффициент обмотки статора  $K_{об,1} = 0,866$ , ротора  $K_{об,2} = 0,954$ . Частота питающей сети 50 Гц, вращающийся магнитный поток  $\Phi_M = 2,7 \cdot 10^{-2}$  Вб. Определить действующие значения ЭДС, индуцированных в обмотках статора  $E_1$  и ротора  $E_2$  двигателя при неподвижном роторе. Укажите правильный ответ.

1.  $E_1 = 353 \text{ В}; E_2 = 154,4 \text{ В}.$

2.  $E_1 = 373 \text{ В}; E_2 = 165,6 \text{ В}.$

3.  $E_1 = 250 \text{ В}; E_2 = 109,3 \text{ В}.$

4.  $E_1 = 272 \text{ В}; E_2 = 118,1 \text{ В}.$

**5.** Принимая синусоидальное распределение индукции в воздушном зазоре, определить основной магнитный поток асинхронной машины при соединении обмоток статора звездой, если число последовательно соединенных витков фазы статора  $W_1 = 336$ , обмоточный коэффициент  $K_{об,1} = 0,96$ . Напряжение сети  $U_c = 380 \text{ В}$ , частота  $f = 50 \text{ Гц}$ . Известно также, что падение напряжения на сопротивлениях статорной обмотки составляет 4% от фазного напряжения. Укажите правильный ответ.

1.  $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$

2.  $2,9 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$

3.  $5 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$

4.  $5,4 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}.$

**6.** Почему ротор в турбогенераторах выполняется массивным из стальной поковки? Укажите наиболее правильный ответ.

1. Из технологических соображений (производство такого ротора наиболее дешево).
2. Для обеспечения необходимой механической прочности.
3. Для уменьшения магнитного сопротивления машины.
4. Для уменьшения потерь в стали.

**7.** Почему сердечник статора синхронной машины обязательно набирают из тонких изолированных листов электротехнической стали, а сердечник ротора может быть и массивным, как например, в турбогенераторах? Укажите неправильный ответ.

1. Сердечник статора перемагничивается с частотой тока в сети.
2. Магнитный поток в сердечнике ротора во много раз меньше, чем в сердечнике статора.
3. Магнитный поток неподвижен относительно сердечника ротора, так как обмотка возбуждения, расположенная на роторе, подключена к источнику постоянного тока.
4. Для уменьшения потерь в сердечнике статора на вихревые токи.

**8.** Какими мероприятиями обеспечивается синусоидальность напряжения на зажимах синхронного генератора? Укажите неправильный ответ.

1. Обмотка возбуждения подключается к источнику постоянного тока.
2. Обмотка статора (якоря) выполняется распределенной с укороченным шагом.
3. В явнополюсных машинах выбирается определенная форма полюсных наконечников (воздушный зазор под краями полюсных наконечников увеличивается).
4. В неявнополюсных машинах выбирается определенное отношение обмотанной части полюса ко всему полюсному делению ротора.

**9.** Какая реакция якоря возникает в синхронном явнополюсном генераторе при установившемся трехфазном коротком замыкании, если активное сопротивление обмотки якоря мало и им можно пренебречь? Укажите правильный ответ.

1. Продольная размагничивающая.
2. Продольная намагничивающая.
3. Поперечная размагничивающая.
4. Продольная и поперечная намагничивающие.



**10.** Как проявляется поперечная реакция якоря в синхронной машине? Укажите неправильный ответ.

1. Размагничивает машину с ненасыщенной магнитной цепью.
2. Размагничивает машину с насыщенной магнитной цепью.
3. Искажает магнитное поле в зазоре машины с ненасыщенной магнитной цепью.
4. Искажает магнитное поле в зазоре машины с насыщенной магнитной цепью.

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

**1.** В качестве объекта исследования выберем асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором серии 4А типа 4АА63А2У3. Согласно справочным данным двигатель типа 4АА63А2У3 имеет параметры и размеры, указанные в таблице.

Таблица – Основные параметры и размеры двигателя 4АА63А2У3

| Параметр или размер                                        | Значение |
|------------------------------------------------------------|----------|
| Номинальная мощность, кВт                                  | 0,37     |
| Номинальное линейное напряжение, В                         | 380      |
| Синхронная частота вращения, об/мин                        | 3000     |
| Номинальное скольжение, %                                  | 8,3      |
| Номинальный КПД, %                                         | 70       |
| Номинальный коэффициент мощности, %                        | 86       |
| Номинальный ток, А                                         | 0,94     |
| Номинальный момент, Н·м                                    | 1,28     |
| Пусковой ток, А                                            | 4,23     |
| Пусковой момент, Н·м                                       | 2,56     |
| Внешний диаметр сердечника статора, мм                     | 100      |
| Внутренний диаметр сердечника статора, мм                  | 54       |
| Длина сердечника статора, мм                               | 56       |
| Односторонний воздушный зазор между статором и ротором, мм | 0,3      |
| Число пазов статора                                        | 24       |

Продолжение таблицы

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| Число пазов ротора                   | 18  |
| Число эффективных проводников в пазу | 126 |
| Число параллельных ветвей обмотки    | 1   |
| Число пазов на полюс и фазу          | 4   |

|                                            |            |  |
|--------------------------------------------|------------|--|
| Форма паза статора                         | Рисунок 21 |  |
| Высота паза статора, $h_c$ , мм            | 9,0        |  |
| Большая ширина паза статора, $b_{1c}$ , мм | 6,3        |  |
| Меньшая ширина паза статора, $b_{2c}$ , мм | 4,8        |  |
| Ширина шлица паза статора, $m_c$ , мм      | 1,8        |  |
| Высота шлица паза статора, $e_c$ , мм      | 0,5        |  |
| Форма паза ротора                          | Рисунок 21 |  |
| Высота паза ротора, $h_p$ , мм             | 10,5       |  |
| Большая ширина паза ротора, $b_{1p}$ , мм  | 4,4        |  |
| Меньшая ширина паза ротора, $b_{2p}$ , мм  | 1,9        |  |
| Ширина шлица паза ротора, $m_p$ , мм       | 1,0        |  |
| Высота шлица паза ротора, $e_p$ , мм       | 0,5        |  |

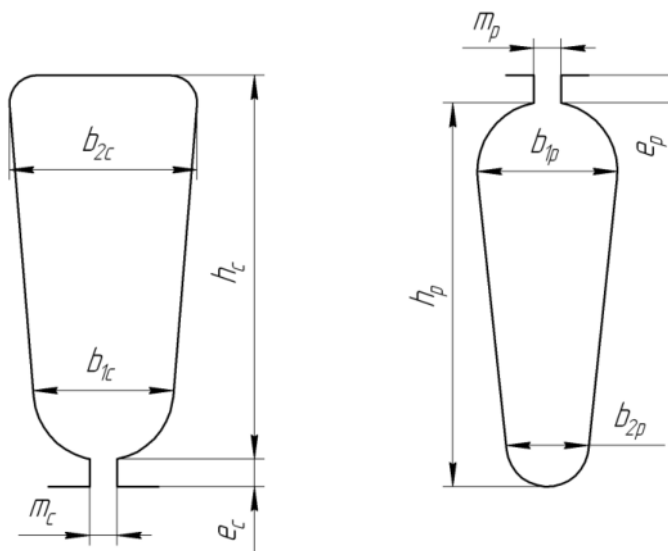


Рисунок 2.1 – Форма пазов статора и ротора исследуемого двигателя

Начертить геометрию и задать свойства материалов. Использовать любой доступный пакет МКЭ.

2. Используя задание п.1 посчитать режим идеального холостого хода в части насыщения участков магнитной цепи.

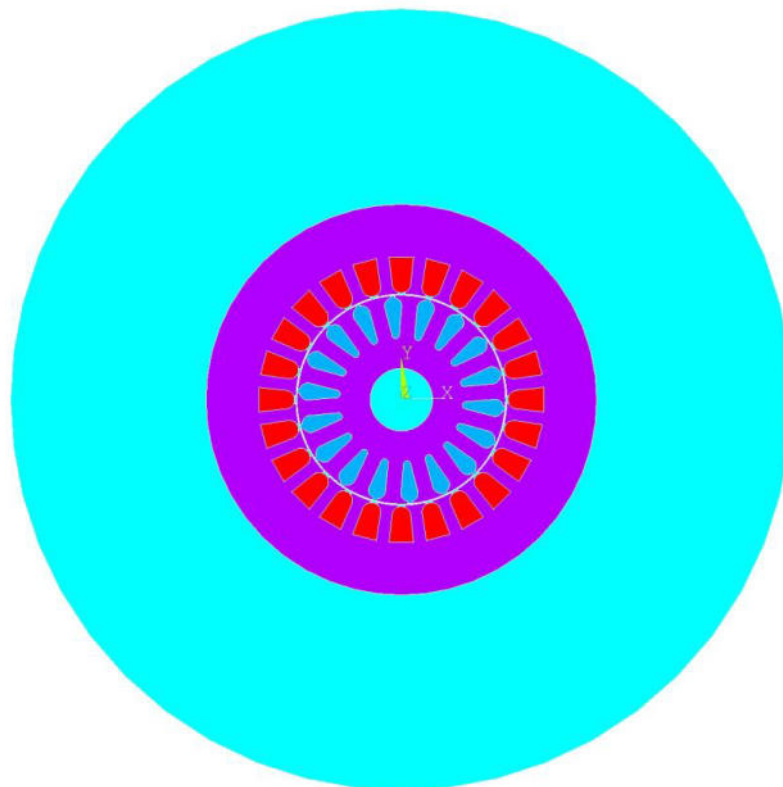
3. Пользуясь справочными данными п.1 рассчитать номинальный режим.

4. Определить электромагнитный вращающий момент в режиме пуска в разных положениях ротора. Поворачивая ротор на 1 градус 10 раз.

5. Пользуясь данными п.3 видоизменить пазовую зону и найти максимум электромагнитного вращающего момента.

6. Пользуясь данными п.4 видоизменить пазовую зону и найти максимум электромагнитного вращающего момента в начальный момент пуска.

7. Вид геометрической модели двигателя представлен на рисунке.



|                                                                                     |                  |                                                                                     |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|  | – воздух;        |  | – обмотка статора; |
|  | – магнитопровод; |  | – клетка ротора.   |

Рисунок – Геометрия модели асинхронного двигателя

Как изменится электромагнитный вращающий момент в номинальном режиме если менять магнитную проницаемость вала? Приведите пример.

**8.** При двумерном анализе магнитного поля наиболее удобным является разбиение геометрии на конечные элементы, имеющие 4 или 3 вершины и 8 узлов (рисунок). Элементы данного типа позволяют моделировать кривые намагничивания электротехнических сталей и кривые размагничивания постоянных магнитов при магнитостатическом или гармоническом анализе поля. В результате расчета поля становятся известными значения индукции и напряженности магнитного поля в каждом узле элемента.

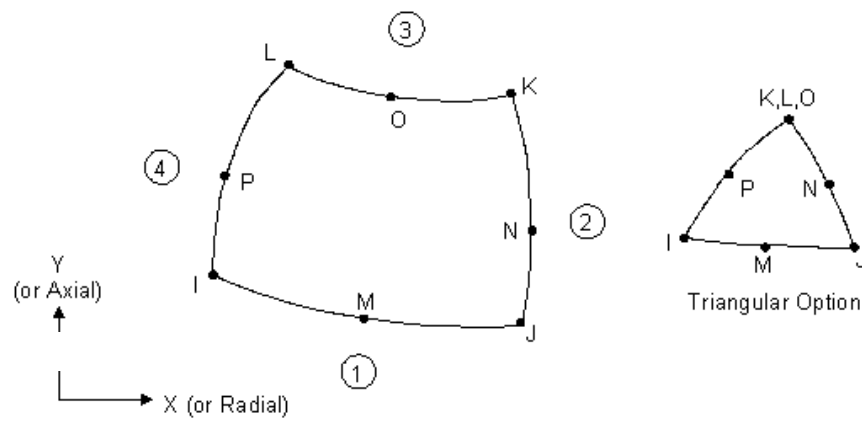


Рисунок – Вид конечного элемента

Какой вид конечного элемента целесообразно использовать при расчетах поля в электрических машинах с малой величиной воздушного зазора?

9. В каком режиме работы асинхронного двигателя силовые линии поля имеют такое распределение? Смотреть рисунок ниже.

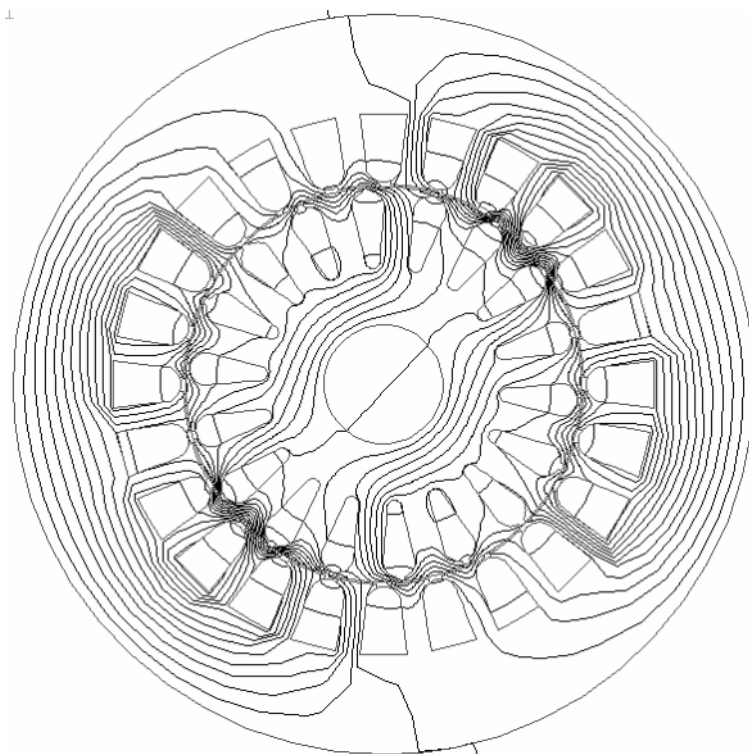


Рисунок к заданию 9

10. Чем отличается от предыдущего режим работы асинхронного двигателя распределение поля в котором показано на следующем рисунке?

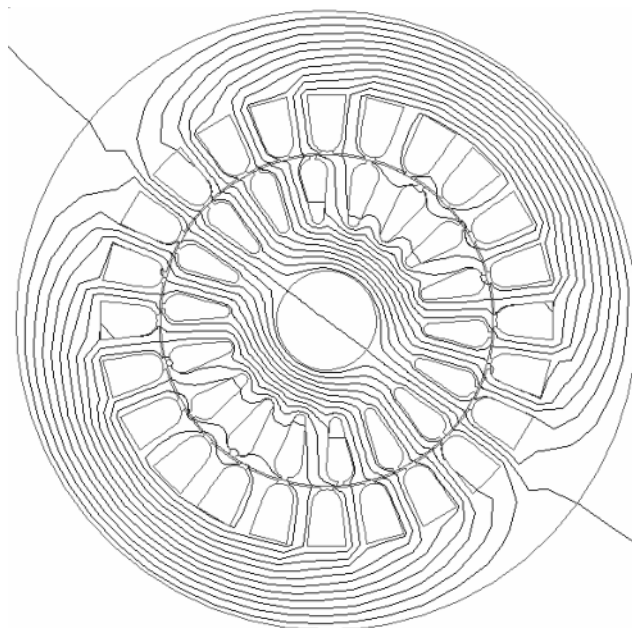


Рисунок к заданию 10

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету** Не предусмотрено учебным планом

#### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для экзамена**

1. Введение в метод конечных элементов. Уравнение Лапласа.
2. Элементы первого порядка.
3. Уравнение Пуассона. Моделирование источника.
4. Практическая реализация граничных условий.
5. Структура данных при программировании МКЭ.
6. Объединение элементов.
7. Представление электромагнитных полей. Уравнения Максвелла.
8. Уравнения для потенциалов.
9. Стационарные функционалы для потенциалов.
10. Функционал для уравнения Гельмгольца.
11. Стационарные функционалы для полей.
12. Формулировка задач для потенциалов в задачах с трансляционной симметрией.
13. Задача для скалярного магнитного потенциала.
14. Задача для векторного магнитного потенциала.
15. Формулировка осесимметричных задач для потенциалов.
16. Распространение волн в однородных волноводах.
17. Трехмерные скалярные задачи Лапласа и Гельмгольца.
18. Треугольные элементы для скалярного уравнения Гельмгольца.
19. Симплексные координаты. Интерполяция на симплексах.

20. Плоские треугольные элементы.
21. Матрицы для треугольных элементов второго порядка.
22. Использование треугольных элементов высоких порядков.
23. Элементы высоких порядков для расчета волноводов.
24. Осесимметричные скалярные поля.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины                                | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Основные понятия метода конечных элементов.                             | ПК-2                           | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту. |
| 2     | Уравнения электромагнитного поля.                                       | ПК-2                           | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту. |
| 3     | Особенности расчета полевых задач от режимов работы электрических машин | ПК-2                           | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту. |
| 4     | Статический анализ электромагнитного поля.                              | ПК-2                           | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту. |
| 5     | Гармонический анализ электромагнитного поля.                            | ПК-2                           | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту. |
| 6     | Практическая реализация метода конечных элементов.                      | ПК-2                           | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту. |

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

Кононенко А.В. Математическое моделирование асинхронных двигателей [электронный ресурс]. Кононенко А.В., Кононенко К.Е. учеб. Пособие. – Воронеж, 2014, - 125 с. № Гос. Регистрации 0321403443.

Кононенко К.Е. Лабораторный практикум по курсу «Электрические машины» [электронный ресурс]. Кононенко К.Е., Писаревский Ю.В., Кононенко А.В., Писаревский А.Ю. учеб. Пособие. – Воронеж, 2017, - 141 с. № Гос. Регистрации 0321702096.

Фурсов, В.Б. Теория поля : Учеб. пособие. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011. - 101 с. - 57-65;

Фурсов, В.Б. Компьютерное моделирование электрических цепей и электромагнитных полей : Учеб. пособие. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 106 с. - 105-39; 250 экз.

Приступ А.Г. Моделирование магнитных полей в программе FEMM : учебно-методическое пособие / Приступ А.Г., Червяков А.В.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 92 с. — ISBN 978-5-7782-1936-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/45400.html>. —

Режим доступа: для авторизир. пользователей

Панасюк Ю.Н. Электромагнитные поля : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям 211000, 210400 / Панасюк Ю.Н., Пудовкин А.П.. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. — 96 с. — ISBN 978-5-8265-1266-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/63926.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

Электромагнитные поля и волны : учебное пособие / В.А. Замотринский [и др.]. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 181 с. — ISBN 5-86889-318-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/72228.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

Ким В.Ф. Электромагнитное поле : учебное пособие / Ким В.Ф.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2018. — 146 с. — ISBN 978-5-7782-3502-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91494.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

### **8.2.1 Программное обеспечение**

- Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic
- SMath Studio;
- OpenOffice;
- Adobe Acrobat Reader
- Internet explorer;
- FEMM 4.2;
- Компас-График LT

### **8.2.2 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- Российское образование. Федеральный портал. <http://www.edu.ru/>
- Образовательный портал ВГТУ <https://education.cchgeu.ru/>

### **8.2.3 Информационные справочные системы**

- <http://window.edu.ru>
- <https://wiki.cchgeu.ru/>



#### 8.2.4 Современные профессиональные базы данных

- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru>
- Единая система конструкторской документации. URL: [https://standartgost.ru/0/2871-edinaya\\_sistema\\_konstruktorskoy\\_dokumentatsii](https://standartgost.ru/0/2871-edinaya_sistema_konstruktorskoy_dokumentatsii)
- Федеральный институт промышленной собственности. Информационно-поисковая система. URL: [www1.fips.ru](http://www1.fips.ru)
- Национальная электронная библиотека. URL: [elibrary.ru](http://elibrary.ru)
- Electrical 4U. Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник». Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>
- All about circuits. Одно из самых крупных онлайн-сообществ в области электротехники. На сайте размещены статьи, форум, учебные материалы (учебные пособия, видеолекции, разработки, вебинары) и другая информация. Адрес ресурса: <https://www.allaboutcircuits.com>
- Netelectro. Новости электротехники, оборудование и средства автоматизации. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления. Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>
- Marketelectro. Отраслевой электротехнический портал. Представлены новости отрасли и компаний, объявления, статьи, информация о мероприятиях, фотогалерея, видеоматериалы, нормативы и стандарты, библиотека, электромаркетинг. Адрес ресурса: <https://marketelectro.ru/>
- Библиотека Адрес ресурса: WWER <http://lib.wwer.ru/>
- Каталог электротехнического оборудования. URL: <https://electro.mashinform.ru;>
- Электродвигатели. <http://www.elecab.ru/dvig.shtml>

### **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

**Специализированная аудитория**, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

**Компьютерный класс** для магистров.

### **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Моделирование электромагнитного поля» проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета задач из области электромагнитного поля. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

| Вид учебных занятий                   | Деятельность студента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Практическое занятие                  | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.                                                                                                                                                                                                                                           |
| Лабораторная работа                   | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.                                                                      |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:<br>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;<br>- выполнение домашних заданий и расчетов;<br>- работа над темами для самостоятельного изучения;<br>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;<br>- подготовка к промежуточной аттестации. |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.                                                                                                                                                                                                                   |

### Лист регистрации изменений

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений                                                                                                                                                | Дата<br>внесения<br>изменений | Подпись<br>заведующего<br>кафедрой,<br>ответственной за<br>реализацию ОПОП           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем | 31.08.2019                    |   |
| 2        | Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем | 31.08.2020                    |  |
| 3        |                                                                                                                                                                            |                               |                                                                                      |