

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электромеханическое преобразование энергии и методы его исследования**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Надежность электротехнических устройств**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец   | Качалина Е.В.                  |
|  | Идентификатор                                      | R5bd572ca-KachalinaYV-02a9e99f |

(подпись)

Е.В.

Качалина

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

|  |  |                                 |
|--|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                 |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                 |
|  | Владелец   | Ширинский С.В.                  |
|  | Идентификатор                                      | Rac9f4bfa-ShirinskiiSV-a85b725f |

(подпись)

С.В.

Ширинский

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Киселев М.Г.                 |
|  | Идентификатор                                      | R572ca413-KiselevMG-f37ee096 |

(подпись)

М.Г. Киселев

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способен оптимально выбирать наиболее эффективные из известных и проектировать новые технические решения в области профессиональной деятельности в рамках сформулированной задачи  
ИД-2 Проводит многокритериальную оценку качества проектных решений
2. ПК-3 Способен проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений  
ИД-1 Анализирует надежность электромеханических преобразователей энергии на стадии проектирования  
ИД-2 Анализирует надежность электромеханических преобразователей энергии по результатам испытаний

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Законы распределения непрерывных случайных величин (Контрольная работа)
2. Надежность щеточно-коллекторного узла (Контрольная работа)
3. Структурная надежность электромеханических систем (Контрольная работа)
4. Эксплуатационная надежность (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

3 семестр

| Раздел дисциплины   | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |
|---|---------------------------------|------|------|------|------|
|   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|   | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 16   |
| Общие вопросы надежности электромеханических систем   |                                 |      |      |      |      |
| Современная концепция надежности электрических машин и электромеханических систем. Возникновение проблемы и пути ее решения. Причины повышения требований к надежности технических изделий. Общие аспекты обеспечения и повышения надежности. | +                               | +    |      |      |      |
| Показатели надежности. Распределение вероятностей для описания надежности.  |                                 |      |      |      |      |
| Основные понятия и термины. Показатели надежности невозстанавливаемых изделий. Периоды работы ("кривая жизни").   |                                 |      |      | +    |      |

|   |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|
| Надежность асинхронных машин.   |    |    |    |    |
| Анализ объекта исследования. Статистика отказов и анализ повреждаемости. Надежность обмоток. Основы расчета долговечности изоляции. Факторы, влияющие на долговечности изоляции. Модель "слабейшего звена". |    | +  |    |    |
| Надежность машин постоянного тока.  |    |    |    |    |
| Надежность машин постоянного тока. Статистика отказов машин постоянного тока. Методы расчета надежности основных узлов машины.  |    | +  | +  |    |
| Надежность синхронных машин.  |    |    |    |    |
| Надежность синхронных машин. Статистика отказов синхронных машин. Методы расчета надежности основных узлов синхронных машин.  |    | +  |    |    |
| Надежность элементов электромеханических систем.  |    |    |    |    |
| Надежность механических узлов.  | +  | +  |    |    |
| Надежность электрических аппаратов  |    |    |    |    |
| Модели надежности электрических аппаратов. Методы оценки.   | +  | +  |    |    |
| Методы экспериментальной оценки надежности.   |    |    |    |    |
| Методы экспериментальной оценки надежности.   | +  | +  | +  | +  |
| Обеспечение надежности электротехнических изделий при изготовлении и эксплуатации.  |    |    |    |    |
| Обеспечение надежности электротехнических изделий при изготовлении и эксплуатации.  |    | +  | +  |    |
| Вес КМ:   | 20 | 30 | 25 | 25 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор   | Запланированные результаты обучения по дисциплине  | Контрольная точка   |
|--------------------|---|--|---|
| ПК-2               | ИД-2 <sub>ПК-2</sub> Проводит многокритериальную оценку качества проектных решений                                | Знать:<br>показатели надежности, законы распределения отказов элементов и систем<br>современные концепции надежности электрических машин и электромеханических систем<br>Уметь:<br>анализировать надежность сложных электромеханических систем; учитывать вопросы надежности на этапе проектирования электрических машин | Законы распределения непрерывных случайных величин (Контрольная работа)<br>Структурная надежность электромеханических систем (Контрольная работа)   |
| ПК-3               | ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Анализирует надежность электромеханических преобразователей энергии на стадии проектирования | Знать:<br>статистику отказов и анализ повреждаемости машин постоянного тока<br>статистику отказов и анализ повреждаемости синхронных машин   | Законы распределения непрерывных случайных величин (Контрольная работа)<br>Структурная надежность электромеханических систем (Контрольная работа)<br>Надежность щеточно-коллекторного узла (Контрольная работа)<br>Эксплуатационная надежность (Контрольная работа) |

|      |   |   |   |
|------|---|---|---|
|      |   | <p>статистику отказов и анализ повреждаемости асинхронных методы экспериментальной оценки надежности</p> <p>Уметь:<br/>получать статистические данные об отказах;<br/>проводить определительные и контрольные испытания на надежность</p> |   |
| ПК-3 | ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Анализирует надежность электромеханических преобразователей энергии по результатам испытаний | <p>Знать:<br/>методы экспериментальной оценки надежности</p> <p>Уметь:<br/>проводить диагностику и прогнозирование надежности</p>   | <p>Структурная надежность электромеханических систем (Контрольная работа)</p> <p>Надежность щеточно-коллекторного узла (Контрольная работа)</p> <p>Эксплуатационная надежность (Контрольная работа)</p> |

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Законы распределения непрерывных случайных величин

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач

#### Краткое содержание задания:

1. В партии из 20 изделий, среди которых три бракованных (известно априори), проверяется 10 случайно отобранных изделий. Определить вероятность того, что партия будет принята, если условиями приема не допускается ни одного бракованного изделия среди проверенных.
2. На завод поступила партия подшипников – 100 000 шт. Вероятность того, что подшипник бракованный, равна 0,0001. Найти вероятность того, что в партии ровно пять бракованных подшипников.

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Знать: показатели надежности, законы распределения отказов элементов и систем  | 1. Законы распределения случайных величин<br>2. Формула полной вероятности              |
| Уметь: анализировать надежность сложных электромеханических систем; учитывать вопросы надежности на этапе проектирования электрических машин | 1. Какому закону подчиняются отказы подшипниковых узлов                                 |
| Уметь: получать статистические данные об отказах; проводить определительные и контрольные испытания на надежность                            | 1. Биномиальный закон распределения дискретной случайной величины<br>2. Формула Бернули |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

## КМ-2. Структурная надежность электромеханических систем

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задач

### Краткое содержание задания:

1. Определить надежность двойного выключателя В, если выключатель выполняет следующие функции: а) размыкает цепь; б) замыкает цепь; в) замыкает и размыкает цепь. Сравнить с одинарным выключателем во всех трех предыдущих случаях.
2. В энергосистеме при превышении тока нагрузки на 30 % выключатель отключает генератор. Надежность срабатывания выключателя  $P_v = 0,98$ .

### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Знать: современные концепции надежности электрических машин и электромеханических систем   | 1. Что понимают под структурной надежностью<br>2. Как определить вероятность безотказной работы при последовательном соединении элементов                                     |
| Знать: статистику отказов и анализ повреждаемости асинхронных  | 1. На какие слабые звенья можно разделить асинхронный двигатель с фазным ротором?<br>2. На какие слабые звенья можно разбить асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором |
| Знать: статистику отказов и анализ повреждаемости синхронных машин   | 1. Как по методу слабых звеньев можно представить синхронный гидрогенератор   |
| Уметь: анализировать надежность сложных электромеханических систем; учитывать вопросы надежности на этапе проектирования электрических машин | 1. Как определить вероятность безотказной работы при параллельном соединении элементов<br>2. Как определить вероятность безотказной работы при смешанном включении            |
| Уметь: проводить диагностику и прогнозирование надежности  | 1. Как по методу слабых звеньев можно представить машину постоянного тока   |

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

### КМ-3. Надежность щеточно-коллекторного узла

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задачи по теме

#### Краткое содержание задания:

Исследуется работа электрощеток тяговой электрической машины ГП-311. Высота электрощетки  $h = 80$  мм, Отказ фиксируется, когда высота щетки уменьшится до  $h_{пр} = 0,5h$ .

Определить параметры распределения скорости износа электрощеток. Построить кривую вероятности безотказной работы электрощеток в функции наработки.

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Знать: статистику отказов и анализ повреждаемости машин постоянного тока | 1. Почему надежность машин постоянного тока ниже, чем надежность асинхронных двигателей |
| Уметь: проводить диагностику и прогнозирование надежности                | 1. Какими законами описывают надежность основных узлов машины постоянного тока          |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-4. Эксплуатационная надежность

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Решение задачи по теме

#### Краткое содержание задания:

1. Определить среднюю наработку до отказа  $T_{ср}$  и вероятность безотказной работы асинхронных двигателей для времени  $t_i = 10\ 000, 20\ 000, 30\ 000, 40\ 000$  ч при следующих значениях эксплуатационных параметров:  $\Theta_{ф} = 130$  °С;  $n_{ф} = 100$  1/ч;  $v_{ф} = 10$  мм/с.

2 В результате улучшения проектирования и модернизации технологии изготовления была повышена надежность асинхронных двигателей.

Определить постоянную  $K$ , характеризующую уровень надежности двигателей, достигнутый на стадии проектирования и изготовления. Рассчитать вероятность безотказной работы для  $t_{ср} = 20\ 000$  ч до и после модернизации, если в результате

испытаний модернизированных электродвигателей при  $\Theta = 155 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $n = 150 \text{ 1/ч}$ ,  $v = 300 \text{ мм/с}$  было получено значение средней наработки до отказа  $T_{ср} = 61 \text{ 084 ч}$  (до модернизации  $K = 6,2$ ).

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |  |
|--|--|
| <p>Знать: методы экспериментальной оценки надежности</p>   | <p>1.Что такое эксплуатационная надежность<br/>2.Кривая жизни асинхронного двигателя<br/>3.Какому закону подчиняются отказы асинхронных двигателей в период приработки</p> |
| <p>Уметь: получать статистические данные об отказах; проводить определительные и контрольные испытания на надежность</p> | <p>1.Какие факторы влияют на эксплуатационную надежность</p>   |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 3 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Современная концепция надежности электрических машин и электромеханических систем. Возникновение проблемы и пути ее решения.
2. Надежность асинхронных машин. Анализ объекта исследования. Статистика отказов и анализ повреждаемости.

### Процедура проведения

Экзамен проводится устно по билетам

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-2 Проводит многокритериальную оценку качества проектных решений

### Вопросы, задания

- 1.1. Причины повышения требований к надежности технических изделий. Общие аспекты обеспечения и повышения надежности.
2. Надежность обмоток асинхронных двигателей. Основы расчета долговечности изоляции. Факторы, влияющие на долговечности изоляции.
  - 2.1. Элементы теории вероятностей. Теоремы теории вероятностей: сложения, умножения.
  2. Правило ‘8-ми градусов’.
  - 3.1. Законы распределения случайных величин.
  2. Надежность щеточно-коллекторного узла. Физика отказов. Критерии работоспособности и критерии отказов.
  4. 1. Числовые характеристики случайных величин.
    2. Расчет надежности коллекторно-щеточного узла с целым и дробным коэффициентом резервирования.
    5. 1. Законы распределения дискретных величин: биномиальный, гипергеометрический.
      2. Надежность синхронных машин. Анализ объекта исследования. Особенность получения статистических данных об отказах синхронных машин.
      6. 1. Законы распределения дискретных величин: биномиальный, Пуассона.
        2. Надежность синхронных машин. Анализ объекта исследования. Особенность получения статистических данных об отказах синхронных машин.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что подразумевается под методом "слабых звеньев" в теории надежности?

Ответы:

1. Система разбивается на узлы, которые могут отказать 2. Для системы проводятся ускоренные испытания на надежность

Верный ответ: 1

2. Как по методу "слабых звеньев" представляют асинхронный двигатель с фазным ротором.

Ответы:

1. Обмотка статора, подшипники. 2. Обмотка статора, подшипники, обмотка ротора, контактные кольца.

Верный ответ: 2

3. Какой узел является самым слабым в машинах постоянного тока?

Ответы:

1 Обмотка добавочных полюсов. 2 Обмотка якоря. 3 Обмотка главных полюсов. 4 Щеточно-коллекторный узел.

Верный ответ: 4

4. В какой последовательности происходят "этапы жизни" технического изделия.

Ответы:

1 Период "нормальной эксплуатации"; Период "старения и износа"; Период "приработки". 2 Период "приработки"; Период "нормальной эксплуатации"; Период "старения и износа".

Верный ответ: 2

5. Чем обусловлены отказы на этапе приработки технического изделия?

Ответы:

1 технологическими, конструкционными, производственными недостатками 2 старением материалов, конструкции или самого изделия.

Верный ответ: 1

6. Чем обусловлены отказы на этапе "старения и износа" технического изделия?

Ответы:

1 технологическими, конструкционными, производственными недостатками 2 старением материалов, конструкции или самого изделия.

Верный ответ: 2

7. Чем обусловлены отказы на этапе "нормальной эксплуатации" технического изделия?

Ответы:

1 технологическими, конструкционными, производственными недостатками 2 неожиданная концентрация нагрузок внутри изделия

Верный ответ: 2

8. Что называется структурной надежностью изделия?

Ответы:

1 Результирующая надежность при заданной структуре 2 Надежность при последовательном соединении элементов

Верный ответ: 1

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-1пк-3 Анализирует надежность электромеханических преобразователей энергии на стадии проектирования

### Вопросы, задания

1.1. Теорема полной вероятности.

2. Модель "слабейшего звена" асинхронного двигателя с КЗ ротором.

2.1. Повторение испытаний. Формула Бернулли.

2. Надежность машин постоянного тока. Статистика отказов и анализ повреждаемости.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Как по методу "слабых звеньев" представляют асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Ответы:

1. Обмотка статора, подшипники. 2. Обмотка статора, подшипники, обмотка ротора, контактные кольца.

Верный ответ: 1

**3. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-3 Анализирует надежность электромеханических преобразователей энергии по результатам испытаний

**Вопросы, задания**

- 1.1. Современная концепция надежности электрических машин и электромеханических систем. Возникновение проблемы и пути ее решения.
2. Надежность асинхронных машин. Анализ объекта исследования. Статистика отказов и анализ повреждаемости.
  - 2.1. Теорема гипотез (формула Бейеса).
  2. Эксплуатационная надежность. Математическая модель эксплуатационной надежности асинхронных двигателей.

**Материалы для проверки остаточных знаний**

1. На сколько сократится срок службы технического изделия с изоляцией класса А, если температура изделия будет на 8 градусов выше допустимой?

Ответы:

- 1 В два раза 2 В пять раз 3 Не сократиться

Верный ответ: 1

**II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

**III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**