

**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: Высоковольтные электротехнологии**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Электрофизические процессы в газах**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель  
(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Белогловский А.А.
	Идентификатор	R86421057-BeloglovskyAA-22f7da4

А.А.  
Белогловский  
(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы  
(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лебедева Н.А.
	Идентификатор	R75716a03-LebedevaNA-9930664

Н.А.  
Лебедева  
(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры  
(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db00

А.Г.  
Темников  
(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-1 Способен принимать участие в проведении научных исследований в области объектов профессиональной деятельности (высоковольтных электротехнологий)

ИД-1 Демонстрирует знания научных основ электрофизических процессов в высоковольтных электротехнологиях

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Письменная работа

1. Коронный разряд в газах (Тестирование)
2. Основы физики плазмы (Тестирование)
3. Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков (Контрольная работа)
4. Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров (Контрольная работа)
5. Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений (Тестирование)
6. Стримерный механизм развития электрического разряда в газах (Тестирование)
7. Электрофизические процессы в газах (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

1 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %							
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
	Срок КМ:	3	5	7	10	12	14	16
Введение в физику электрических разрядов в газах								
Введение в физику электрических разрядов в газах	+				+	+		+
Электрофизические процессы в газовой изоляции								
Электрофизические процессы в газовой изоляции			+	+				
Основы физики плазмы								
Основы физики плазмы			+	+				
Лавинный механизм развития электрического разряда в газах								

Лавинный механизм развития электрического разряда в газах	+			+	+		+
Стримерный механизм развития электрического разряда в газах							
Стримерный механизм развития электрического разряда в газах	+			+	+		+
Условие самостоятельности электрического разряда в газах							
Условие самостоятельности электрического разряда в газах						+	
Коронный разряд в газах							
Коронный разряд в газах	+			+	+		+
Вес КМ:	10	20	10	20	10	20	10

\$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-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знания научных основ электрофизических процессов в высоковольтных электротехнологиях	Знать: электрофизические процессы, протекающие в сильных электрических полях в газовой изоляции, сопровождающие и определяющие электрический разряд в его лавинной и стримерной стадиях современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда методики расчёта начальных напряжений воздушных изоляционных промежутков устройств	Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений (Тестирование) Электрофизические процессы в газах (Контрольная работа) Основы физики плазмы (Тестирование) Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров (Контрольная работа) Стримерный механизм развития электрического разряда в газах (Тестирование) Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков (Контрольная работа) Коронный разряд в газах (Тестирование)

		<p>ВН, позволяющие оценивать риск возникновения нежелательных электрических разрядов в воздушных изоляционных промежутках устройств ВН</p> <p>Уметь:</p> <p>определять численные значения параметров электрофизических процессов в воздушной изоляции, определяющих развитие электрического разряда</p> <p>формулировать и применять математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде</p> <p>вычислять начальные напряжения воздушных изоляционных промежутков</p>	
--	--	---	--

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

### КМ-1. Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 45 минут.

#### Краткое содержание задания:

Тест №1 посвящен теме: «Роль и место электрических разрядов в газах в технике высоких напряжений».

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Оцените роль и место электрических разрядов в технике высоких напряжений. Какие их формы находят применение в высоковольтных электротехнологиях?</li><li>2. Приведите классификацию электрических разрядов в газовых электроизоляционных промежутках конструкций установок высокого напряжения. Сформулируйте краткое определение каждой из упомянутых Вами форм разряда.</li><li>3. В каких электротехнологических установках применяются электрические разряды в газах? Какие свойства и особенности этих разрядов делают возможным такое их применение?</li><li>4. Оцените роль и место электрических разрядов в природе. С какими их формами можно в ней встретиться?</li><li>5. Какие формы электрических разрядов применяются в электротехнологических установках высокого напряжения и почему?</li><li>6. Как классифицируются электрические разряды в газах? Сформулируйте краткое определение каждой из упомянутых Вами форм разряда.</li></ol>
<p>Уметь: формулировать и применять математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Объясните, чем отличается развитие электрических разрядов в однородных и резконеоднородных электрических полях в заполненных воздухом промежутках. В чём заключаются причины этих отличий?</li><li>2. Объясните, в каких случаях в электротехнологических установках высокого напряжения, в которых применяются электрические разряды, более целесообразно использовать положительный, а в каких - отрицательный разряд? Почему?</li></ol>

## Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Отлично» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 90% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный и полный ответ.

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Хорошо» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 75% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Тест считается выполненным на оценку «Удовлетворительно» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 50% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности и не показал полноты.

## КМ-2. Электрофизические процессы в газах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 90 минут.

### Краткое содержание задания:

Контрольная работа №1 посвящена теме: «Электрофизические процессы в газах».

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: электрофизические процессы, протекающие в сильных электрических полях в газовой изоляции, сопровождающие и определяющие электрический разряд в его лавинной и стримерной стадиях	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Диффузия, дрейф электронов в электрическом поле, их подвижность и средняя длина свободного пробега.</li><li>2. Процессы возбуждения атомов и молекул газа.</li><li>3. Процессы диссоциации молекул.</li><li>4. Ударная ионизация атомов и молекул свободными электронами.</li><li>5. Процессы в газе с захватом и отрывом электронов.</li><li>6. Рекомбинация ионов и электронов.</li><li>7. Процессы в газе с участием фотонов.</li><li>8. Термическая ионизация.</li></ol>
Уметь: определять численные значения параметров электрофизических процессов в воздушной изоляции, определяющих развитие	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Рассчитайте значения скорости дрейфа и подвижность электронов в воздухе при напряжённости электрического поля 35 кВ/см. Температура воздуха составляет 10 градусов Цельсия, давление - 740 Торр.</li></ol>

электрического разряда	2. Определите значения обобщённого коэффициента ударной ионизации и эффективной ионизации свободными электронами в воздухе при напряжённости электрического поля 30 кВ/см. Температура воздуха составляет 20 градусов Цельсия, давление - 745 Торр.
------------------------	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 90% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный и полный ответ.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 75% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 50% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности и не показал полноты.

**КМ-3. Основы физики плазмы**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 45 минут.

**Краткое содержание задания:**

Тест №2 охватывает тему: «Основы физики плазмы».

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: электрофизические процессы, протекающие в сильных электрических полях в газовой изоляции, сопровождающие и определяющие электрический разряд в его лавинной и стримерной стадиях	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятие плазмы и её основные свойства.</li> <li>2. Что такое дебаевский радиус экранирования? Как и какими параметрами плазмы он определяется?</li> <li>3. В чём состоят особенности плазмы стримерного электрического разряда в газах?</li> <li>4. Что такое плазма? В чём заключаются особенности плазмы лидерного электрического разряда в газах.</li> <li>5. Что такое дебаевский радиус экранирования? Какие</li> </ol>
---	--

	<p>физические свойства плазмы определяются его величиной?</p> <p>6.Проводимость плазмы. Как и какими параметрами плазмы она определяется?</p>
<p>Уметь: определять численные значения параметров электрофизических процессов в воздушной изоляции, определяющих развитие электрического разряда</p>	<p>1.Рассчитайте значение дебаевского радиуса экранирования в низкотемпературной плазме с концентрацией свободных электронов и положительных ионов <math>3e12</math> 1/куб.см и температурой газа 50 градусов Цельсия.</p> <p>2.Рассчитайте значение проводимости низкотемпературной плазмы в азоте с концентрацией свободных электронов и положительных ионов <math>1e12</math> 1/куб.см и температурой газа 30 градусов Цельсия.</p>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Отлично» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 90% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный и полный ответ.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Хорошо» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 75% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Удовлетворительно» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 50% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности и не показал полноты.

#### **КМ-4. Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 20**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 90 минут.

#### **Краткое содержание задания:**

Контрольная работа №2 посвящена теме «Расчёт развития электронной лавины в воздухе и её критических параметров»

#### **Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сформулируйте определение электронной лавины.</li> <li>2. Запишите двумерную математическую модель электронной лавины. Какие физические процессы в ней учтены и каким образом?</li> <li>3. Какие физические процессы определяют радиус электронной лавины? Чем определяется её критический радиус?</li> <li>4. Запишите в общем виде математическую модель электронной лавины. Какие допущения сделаны в её формулировке и чем они обоснованы?</li> </ol>
<p>Уметь: формулировать и применять математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассчитайте и постройте график зависимости числа электронов в лавине от времени в воздушном промежутке с однородным электрическим полем с напряжённостью 50 кВ/см. Атмосферные условия нормальные. Диапазон значений времени <math>0 &lt; t &lt; 3</math> нс.</li> <li>2. Рассчитайте критическое число электронов в лавине и её критический радиус в воздушном промежутке с однородным электрическим полем с напряжённостью 50 кВ/см. Атмосферные условия нормальные.</li> </ol>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если студент правильно выполнил практическое задание (задания) и показал при ответе на вопросы, что владеет материалом изучаемой дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если студент правильно выполнил практическое задание (задания) и в основном правильно ответил на вопросы, но допустил при этом не принципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если студент в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, а также не выполнил практическое задание (задания), но наметил правильный путь его выполнения.

#### **КМ-5. Стримерный механизм развития электрического разряда в газах**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 45 минут.

#### **Краткое содержание задания:**

Тест №3 охватывает теоретический материал по теме: «Стримерный механизм развития электрического разряда в газах»

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сформулируйте определение стримера. Чем его структура отличается от электронной лавины?</li> <li>2. Что такое анодонаправленный стример? Какие физические процессы определяют его распространение вглубь разрядного промежутка? Как и почему характерные значения его параметров отличаются от катодонаправленного стримера?</li> <li>3. Запишите двумерную математическую модель стримера. Какие физические процессы в ней учтены и каким образом?</li> <li>4. Что такое катодонаправленный стример? Какие физические процессы определяют его распространение вглубь разрядного промежутка? Приведите оценки характерных значений его параметров.</li> <li>5. В чём состоит условие лавинно-стримерного перехода? Обоснуйте его. Какие механизмы лавинно-стримерного перехода Вам известны? Чем они отличаются?</li> <li>6. Запишите математическую модель стримера в общем виде. Какие допущения сделаны в её формулировке и чем они обоснованы?</li> </ol>
<p>Уметь: формулировать и применять математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассчитайте критический путь электронной лавины в воздушном разрядном промежутке с электрическим полем с напряжённостью 40 кВ/см. Температура воздуха 20 градусов Цельсия, давление - 765 Торр.</li> <li>2. В какой форме, лавинной или стримерной, реализуется условие самостоятельности разряда в заполненном воздухом однородном разрядном промежутке длиной 1 см при давлении 500 Торр и температуре 25 градусов Цельсия?</li> </ol>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Отлично» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 90% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный и полный ответ.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Хорошо» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 75% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Удовлетворительно» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не

менее чем на 50% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности и не показал полноты.

**КМ-6. Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Контрольная работа выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 90 минут.

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа №3 касается следующей темы: «Расчёт начальных напряжений и напряжённостей воздушных разрядных промежутков»

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: методики расчёта начальных напряжений воздушных изоляционных промежутков устройств ВН, позволяющие оценивать риск возникновения нежелательных электрических разрядов в воздушных изоляционных промежутках устройств ВН</p>	<p>1. В чём заключается условие самостоятельности электрического разряда? Что такое начальное напряжение? Что такое начальная напряжённость электрического поля? 2. Что такое начальное напряжение? Какую роль играют процессы вторичной ионизации в его определении? Какие процессы относятся к вторичным?</p>
<p>Уметь: вычислять начальные напряжения воздушных изоляционных промежутков</p>	<p>1. Рассчитайте начальное напряжение для воздушного разрядного промежутка «коаксиальные цилиндры» при радиусе внутреннего цилиндра <math>R_0 = 0,1</math> см, внешнего — <math>R_1 = 5</math> см, относительной плотности воздуха 0,95. 2. Рассчитайте начальное напряжение для воздушного разрядного промежутка «провод-плоскость» при радиусе провода <math>R_0 = 0,1</math> см, расстоянии между ним и плоскостью <math>h = 5</math> см, и относительной плотности воздуха 1,05.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если студент правильно выполнил практическое задание (задания) и показал при ответе на вопросы, что владеет материалом изучаемой дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если студент правильно выполнил практическое задание (задания) и в основном правильно ответил на вопросы, но допустил при этом непринципиальные ошибки.

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если студент в ответах на вопросы допустил существенные ошибки, а также не выполнил практическое задание (задания), но наметил правильный путь его выполнения.

### КМ-7. Коронный разряд в газах

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Тестирование выполняется в письменном виде. На выполнение студенту дается 45 минут.

**Краткое содержание задания:**

Тест №5 по теме: «Коронный разряд в газах».

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: современные математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде, позволяющие прогнозировать свойства и поведение названных форм разряда</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Коронный разряд, его формы и структура.</li><li>2.Математическое описание униполярного коронного разряда: математическая модель, описывающая процессы в его чехле и зоне дрейфа (внешней области).</li><li>3.Вольтамперные характеристики униполярного коронного разряда.</li><li>4.В чём состоят особенности процессов в биполярном коронном разряде по сравнению в униполярным?</li><li>5.Математическое описание униполярного коронного разряда: упрощённая математическая модель его внешней области. Какие допущения приняты при её построении?</li><li>6.Каковы особенности распределения напряжённости электрического поля во внешней области униполярного коронного разряда по сравнению с электростатическим полем?</li></ol>
<p>Уметь: формулировать и применять математические модели лавинной и стримерной стадий электрического разряда, а также униполярного коронного разряда в воздушной среде</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1.Рассчитайте напряжённость электростатического поля и электрического поля униполярного коронного разряда вблизи поверхности внешнего цилиндра в системе электродов “коаксиальные цилиндры”. Радиус внутреннего коронирующего цилиндра, к которому приложено напряжение 30 кВ, составляет 0,05 см, а внешнего заземлённого - 10 см. Пространство между ними заполнено воздухом при температуре 20 градусов Цельсия и давлении 720 Торр.</li><li>2.Рассчитайте плотность объёмного заряда, созданного униполярным коронным разрядом вблизи поверхности внешнего цилиндра в системе электродов “коаксиальные цилиндры”. Радиус внутреннего коронирующего цилиндра, к которому приложено напряжение 25 кВ, составляет 0,05 см, а</li></ol>

	внешнего заземлённого - 6 см. Пространство между ними заполнено воздухом при температуре 20 градусов Цельсия и давлении 770 Торр.
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Отлично» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 90% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный и полный ответ.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Хорошо» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 75% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал правильный ответ, но допустил незначительные ошибки и не показал необходимой полноты.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Тест считается выполненным на оценку «Удовлетворительно» если выполнены следующие условия: - даны правильные ответы не менее чем на 50% вопросов теста, исключая вопросы, на которые студент должен дать свободный ответ; - на все вопросы, предполагающие свободный ответ, студент дал непротиворечивый ответ, или при ответе допустил значительные неточности и не показал полноты.

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

Билет №1.

1. Роль и место электрических разрядов в технике высоких напряжений.
2. Особенности слабо ионизированной низкотемпературной плазмы электрического разряда в газах.
3. Задача. Рассчитайте начальное напряжение для воздушного разрядного промежутка «коаксиальные цилиндры» при радиусе внутреннего цилиндра  $R_0=0,1$  см, внешнего —  $R_1=7,5$  см, относительной плотности воздуха 0,95.

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 60 минут.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1ПК-1 Демонстрирует знания научных основ электрофизических процессов в высоковольтных электротехнологиях

### Вопросы, задания

1. Билет №2.

1. Классификация электрических разрядов в газах.
2. Электронная лавина в газе и её математическая модель.
3. Задача. Рассчитайте и постройте график зависимости числа электронов в лавине от времени в воздушном промежутке с однородным электрическим полем с напряжённостью 55 кВ/см. Атмосферные условия нормальные. Диапазон значений времени  $0 < t < 2,5$  нс.
2. Математическая модель униполярного коронного разряда.
3. Коронный разряд, его формы и структура.
4. Условие самостоятельности электрического разряда в стримерной форме.
5. Закон подобия электрических разрядов.
6. Особенности реализации условия самостоятельности электрического разряда в резконеоднородном поле, определение начальной напряжённости электрического поля.
7. Закон Пашена.
8. Условие самостоятельности электрического разряда в лавинной форме, определение начального напряжения.
9. Катодонаправленный и анодонаправленный стримеры, сопоставление их параметров и его объяснение.
10. Определение стримера, его структура, характерные значения его параметров.
11. Условие лавинно-стримерного перехода, критические параметры электронной лавины.
12. Электронная лавина в газе и её математическая модель.

13. Особенности слабо ионизированной низкотемпературной плазмы электрического разряда в газах.
14. Дебаевский радиус экранирования в плазме.
15. Понятие плазмы и её основные свойства.
16. Термическая ионизация.
17. Дрейф электронов в электрическом поле, их подвижность и средняя длина свободного пробега.
18. Диффузия заряженных частиц в газе. Амбиполярная диффузия.
19. Процессы на электродах и вблизи их поверхности в электрическом разряде в газах.
20. Процессы в газе с участием фотонов.
21. Рекомбинация ионов и электронов.
22. Процессы в газе с захватом и отрывом электронов.
23. Ударная ионизация атомов и молекул свободными электронами.
24. Процессы диссоциации молекул.
25. Процессы возбуждения атомов и молекул газа.
26. Классификация электрических разрядов в газах.
27. Роль и место электрических разрядов в технике высоких напряжений.
28. Билет №3.

1. Процессы возбуждения атомов и молекул газа.
2. Условие лавинно-стримерного перехода, критические параметры электронной лавины.
3. Задача. Рассчитайте начальное напряжение для воздушного разрядного промежутка «провод-плоскость» при радиусе провода  $R_0=0,05$  см, расстоянии между ним и плоскостью  $h=5$  см, и относительной плотности воздуха 1,025.
29. Математическая модель внешней области униполярного коронного разряда.
30. Вольтамперные характеристики униполярного коронного разряда.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Формирование какого из перечисленных далее природных процессов определяется развитием электрического разряда в атмосфере?

Ответы:

- 1 - извержение вулкана;
- 2 - поражение молнией объекта на поверхности земли;
- 3 - выпадение осадков;
- 4 - течения воды в водоёмах.

Верный ответ: 2

2. Какая из названных ниже электротехнологий не основана на применении электрических разрядов?

Ответы:

- 1 - очистка топочных газов в электрофильтрах;
- 2 - электросинтез озона;
- 3 - электромагнитная штамповка;
- 4 - конверсия газообразных примесей в воздушной среде.

Верный ответ: 3

3. Что такое ионизация газа?

Ответы:

- 1 - образование свободного электрона и положительного иона в результате взаимодействия нейтральной молекулы (атома) с квантом излучения, свободным электроном или другой молекулой, которые обладают достаточной для этого энергией;
- 2 - образование возбуждённых молекул (атомов) в результате их взаимодействия друг с другом, если они обладают достаточной для этого энергией;

- 3 - образование свободного электрона в результате взаимодействия фотона с электродом (катодом), если фотон обладает достаточной для этого энергией;
- 4 - образование отрицательного иона в результате взаимодействия свободного электрона и нейтральной молекулы.

Верный ответ: 1

4. Что такое электронная лавина?

Ответы:

- 1 - термоионизованный плазменный канал, соединяющий электроды с разной полярностью;
- 2 - нетермоионизованный квазинейтральный плазменный канал с избыточным зарядом на его конце, в поле которого происходит ударная ионизация;
- 3 - поток электронов, ускоряемых внешним электрическим полем;
- 4 - компактная группа электронов, дрейфующих в газе в электрическом поле и совершающих на своём пути акты ударной ионизации.

Верный ответ: 4

5. Что такое критическое число электронов в лавине?

Ответы:

- 1 - количество электронов в лавине в момент начала её формирования;
- 2 - количество электронов в лавине в момент достижения ею анода;
- 3 - количество электронов, накопившееся в лавине к моменту её перехода в стример;
- 4 - количество электронов, накопившееся в лавине за время пересечения ею всего разрядного промежутка.

Верный ответ: 3

6. Что такое начальное напряжение разрядного промежутка?

Ответы:

- 1 - это минимальное значение напряжения, приложенного к промежутку, при котором происходит полная потеря его электрической прочности;
- 2 - это минимальное значение напряжения, при котором в промежутке выполняется условие самостоятельности электрического разряда;
- 3 - это минимальное значение напряжения, при котором в промежутке становится возможной эффективная ударная ионизация;
- 4 - это минимальное значение напряжения, при котором в промежутке возникает коронный разряд.

Верный ответ: 2

7. Что такое пробивное напряжение разрядного промежутка?

Ответы:

- 1 - это минимальное значение напряжения, приложенного к промежутку, при котором происходит полная потеря его электрической прочности;
- 2 - это минимальное значение напряжения, при котором в промежутке выполняется условие самостоятельности электрического разряда;
- 3 - это минимальное значение напряжения, при котором в промежутке становится возможной эффективная ударная ионизация;
- 4 - это минимальное значение напряжения, при котором в промежутке возникает коронный разряд.

Верный ответ: 1

8. Чем структура лидера отличается от структуры стримера?

Ответы:

- 1 - ничем, кроме того, что плазменный канал лидера термоионизирован;
- 2 - лидер имеет плазменный канал, а стример - нет;
- 3 - с головки лидера развивается лавинный коронный разряд;
- 4 - с головки лидера развивается стримерная корона.

Верный ответ: 4

9. Что такое Дебаевский радиус экранирования?

Ответы:

- 1 - расстояние между разноимёнными электродами в разрядном промежутке;
- 2 - размер области, занятой плазмой в межэлектродном пространстве;
- 3 - минимальный размер занятой плазмой области, в пределах которой плазму можно считать квазинейтральной;
- 4 - размер зоны ионизации вокруг коронирующего электрода.

Верный ответ: 3

10. Какой физический процесс определяет трансформацию стримера в лидер?

Ответы:

- 1 - прямая ударная ионизация молекул и атомов газа свободными электронами;
- 2 - разогрев газа в стримерном канале током стримерной вспышки до температуры, при которой становится возможной трёхчастичная и ассоциативная ионизация молекул и атомов газа;
- 3 - прилипание свободных электронов с образованием отрицательных ионов;
- 4 - рекомбинация заряженных частиц.

Верный ответ: 2

11. Какова основная роль фотоионизации молекул и атомов газа излучением разряда в развитии последнего?

Ответы:

- 1 - обеспечивает генерацию вторичных электронов, инициирующих формирование новых лавин;
- 2 - способствует увеличению концентрации свободных электронов в разрядной плазме;
- 3 - обеспечивает инактивацию бактерий и вирусов в окружающей разряд воздушной среде;
- 4 - способствует образованию отрицательных ионов.

Верный ответ: 1

12. Что такое коронный электрический разряд?

Ответы:

- 1 - это форма несамостоятельного разряда в однородном электрическом поле;
- 2 - это форма самостоятельного разряда в однородном электрическом поле;
- 3 - это форма самостоятельного разряда в резконеоднородном электрическом поле, при которой эффективная ударная ионизация газа происходит вблизи электрода с малым радиусом кривизны;
- 4 - это форма самостоятельного разряда в резконеоднородном электрическом поле, при которой условие самостоятельности разряда выполняется вблизи электрода с малым радиусом кривизны.

Верный ответ: 4

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на

вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.