

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электроэнергетика и электротехника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Техника высоких напряжений**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Белогловский А.А.
	Идентификатор	R86421057-BeloglovskyAA-22f7dae

А.А.  
Белогловский

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тулский В.Н.
	Идентификатор	R292b173d-TulskyVN-7e812984

В.Н.  
Тулский

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тулский В.Н.
	Идентификатор	R292b173d-TulskyVN-7e812984

В.Н.  
Тулский

## 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 применять знание особенностей и характеристик элементов электроэнергетических систем, способов производства и использования электроэнергии в профессиональной деятельности

ИД-3 Демонстрирует знание техники высоких напряжений

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выполнение задания

1. Ограничение коронного разряда на проводах воздушных линий электропередачи (Домашнее задание)
2. Расчёт и анализ начальных напряжений газовых разрядных промежутков (Домашнее задание)

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчётного задания «Расчёт молниезащиты открытого распределительного устройства подстанции высокого напряжения» (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторной работы "Измерение характеристик частичных разрядов в изоляции высокого напряжения электрическим методом" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы «Защита подстанций от набегающих волн грозовых перенапряжений» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы «Изучение диэлектрических потерь и явления абсорбции зарядов во внутренней изоляции» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы «Изучение перенапряжений в линиях дальних электропередач за счёт емкостного эффекта» (Лабораторная работа)
5. Защита лабораторной работы «Исследование электрических разрядов в воздухе и по поверхности твёрдого диэлектрика» (Лабораторная работа)
6. Защита лабораторной работы «Контроль состояния внутренней изоляции по тангенсу угла диэлектрических потерь» (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	12	15	16
Электрофизические процессы в газовой изоляции						

Электрофизические процессы в газовой изоляции	+	+			
Внешняя изоляция установок высокого напряжения					
Внешняя изоляция установок высокого напряжения	+	+			
Внутренняя изоляция установок высокого напряжения					
Внутренняя изоляция установок высокого напряжения			+		
Грозовые перенапряжения и молниезащита					
Грозовые перенапряжения и молниезащита				+	+
Вес КМ:	10	20	20	20	30

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9
	Срок КМ:	4	8	12	14
Коронный разряд на проводах воздушных линий электропередачи					
Коронный разряд на проводах воздушных линий электропередачи	+				
Внутренние перенапряжения в электрических сетях и защита от них					
Внутренние перенапряжения в электрических сетях и защита от них			+		
Контроль состояния внутренней изоляции установок высокого напряжения в условиях её эксплуатации и координация изоляции					
Контроль состояния внутренней изоляции установок высокого напряжения в условиях её эксплуатации				+	+
Координация изоляции установок высокого напряжения				+	+
Вес КМ:	10	30	30	30	30

§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-3ПК-1 Демонстрирует знание техники высоких напряжений	Знать: Представления об уровнях электрической изоляции электрооборудования ВН, как совокупности испытательных напряжений, определяемых на этапе координации изоляции. Источники и механизмы формирования грозовых перенапряжений в электрических сетях ВН. Процессы, приводящие в возникновению коммутационных и квазистационарных перенапряжений в электрических сетях ВН Методику расчёта потерь энергии на местный коронный разряд на воздушных линиях электропередачи ВН, способы снижения этих	Расчёт и анализ начальных напряжений газовых разрядных промежутков (Домашнее задание) Защита лабораторной работы «Исследование электрических разрядов в воздухе и по поверхности твёрдого диэлектрика» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы «Изучение диэлектрических потерь и явления абсорбции зарядов во внутренней изоляции» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы «Защита подстанций от набегающих волн грозовых перенапряжений» (Лабораторная работа) Защита расчётного задания «Расчёт молниезащиты открытого распределительного устройства подстанции высокого напряжения» (Расчетно-графическая работа) Ограничение коронного разряда на проводах воздушных линий электропередачи (Домашнее задание) Защита лабораторной работы «Изучение перенапряжений в линиях дальних электропередач за счёт емкостного эффекта» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы «Контроль состояния внутренней изоляции по тангенсу угла диэлектрических потерь» (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы "Измерение характеристик частичных разрядов в изоляции высокого напряжения электрическим методом" (Лабораторная работа)

		<p>потерь. Принципы действия и конструкции молниеотводов, принципы построения молниезащиты объектов различного назначения, методы обеспечения грозоупорности линий электропередачи и подстанций ВН, включая применение ОПН. Электрофизические процессы, лежащие в основе контроля состояния электрической изоляции ВН в процессе её эксплуатации, современные методы диагностики изоляции. Электрофизические процессы в электрической изоляции электрооборудования ВН, определяющие её длительную и кратковременную электрическую прочность, формы электрических разрядов, методы оценки электрической прочности газовой изоляции ВН. Уметь:</p>	
--	--	--	--

		<p>Находить значения параметров, характеризующих грозовые перенапряжения в электрических сетях ВН. Оценивать уровни электрической изоляции электрооборудования ВН. Определять потери энергии на местный коронный разряд на воздушных линиях электропередачи ВН. Оценивать расчётным путём электрическую прочность газовой изоляции ВН. Определять значения величин, характеризующих диэлектрические потери и абсорбцию зарядов во внутренней изоляции ВН. Вычислять показатели грозоупорности линий электропередачи и открытых распределительных устройств подстанций ВН, определять электрические параметры ОПН, необходимых для улучшения показателей. Находить значения</p>	
--	--	--	--

		параметров, характеризующих коммутационные и квазистационарные перенапряжения в электрических сетях ВН.	
--	--	--	--



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

7 семестр

### КМ-1. Расчёт и анализ начальных напряжений газовых разрядных промежутков

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Домашнее задание выполняется в письменном виде. На его выполнение студенту дается 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

Выполнение домашнего задания предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: Электрофизические процессы в электрической изоляции электрооборудования ВН, определяющие её длительную и кратковременную электрическую прочность, формы электрических разрядов, методы оценки электрической прочности газовой изоляции ВН.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Почему присутствующие в газе свободные электроны не имеют одинаковую энергию при фиксированной напряжённости электрического поля, в котором они движутся?</li><li>2. Какой физический процесс называется дрейфом заряженных частиц в газе? Чем определяется скорость дрейфа свободных электронов и ионов в газе в электрическом поле?</li><li>3. Что такое электрическая подвижность заряженных частиц? Почему подвижность отрицательных ионов в воздухе зависит от времени их существования?</li><li>4. Какой процесс называется ударной ионизацией? Какая величина характеризует его количественно?</li><li>5. Какой процесс называется прилипанием свободных электронов? В каких газах он происходит? Какая величина характеризует его количественно?</li><li>6. Что такое эффективный коэффициент ионизации? Что он характеризует?</li><li>7. Какой процесс называется фотоионизацией газа? Благодаря чему возможна фотоионизация газа излучением разряда в воздухе?</li><li>8. В чём состоит условие самостоятельности электрического разряда? Запишите его в лавинной форме для случая газового промежутка с однородным электрическим полем.</li><li>9. Что такое начальное напряжение?</li><li>10. Что такое начальная напряжённость однородного электрического поля?</li></ol>
<p>Уметь: Оценивать расчётным путём электрическую прочность газовой изоляции ВН.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Рассчитайте зависимости начальных напряжений газовых разрядных промежутков с однородным электрическим полем от их длины. Промежутки заполнены воздухом или элегазом при относительной плотности газа, равной 1, и имеют длину от 0,1 до 10</li></ol>

	<p>см. Поверхность электродов можно считать идеально плоской и гладкой. Объясните, почему при одинаковой длине начальное напряжение промежутка, заполненного элегазом, выше, чем у воздушного промежутка?</p> <p>2. Рассчитайте зависимости начальной напряжённости электрического поля в газовых разрядных промежутках с однородным полем от их длины. Промежутки заполнены воздухом или азотом при относительной плотности газа, равной 1, и имеют длину от 0,1 до 10 см. Поверхность электродов можно считать идеально плоской и гладкой. Почему начальная напряжённость поля в промежутке, заполненном азотом, выше, чем в воздушном?</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-2. Защита лабораторной работы «Исследование электрических разрядов в воздухе и по поверхности твёрдого диэлектрика»**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторной работы выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 60 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Электрофизические процессы в электрической изоляции электрооборудования ВН, определяющие её</p>	<p>1.Что такое электронная лавина?  2.Что такое стример? В чём Вы видите особенности развития анодо- и катодонаправленных стримеров?  3.В чём состоит условие лавинно-стримерного</p>
---	---

длительную и кратковременную электрическую прочность, формы электрических разрядов, методы оценки электрической прочности газовой изоляции ВН.

- перехода? Какие параметры лавины называются критическими?
4. Что такое коронный разряд? Приведите классификацию коронных разрядов.
  5. Что такое униполярный коронный разряд? Какова его структура? Какие физические процессы протекают в различных областях разрядного промежутка с коронным разрядом?
  6. Как и почему начальное напряжение разрядных промежутков зависит от полярности приложенного напряжения в разрядных промежутках с резконеоднородным электрическим полем?
  7. Что такое пробой газового разрядного промежутка?
  8. Какие разрядные промежутки называют однородными и неоднородными?
  9. Что такое центральная силовая линия в неоднородном разрядном промежутке? Как определяется в нём начальная напряжённость электрического поля?
  10. Как и почему соотносятся начальные и пробивные напряжения в разрядных промежутках с однородным, слабонеоднородным и резконеоднородным электрическим полем?
  11. Как и почему пробивное напряжение разрядных промежутков зависит от полярности приложенного напряжения в разрядных промежутках с резконеоднородным электрическим полем?
  12. В чём Вы видите особенности развития электрического разряда в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика по сравнению с разрядом в чисто воздушном промежутке?
  13. Как влажность воздуха и гигроскопичность поверхности твёрдого диэлектрика влияет на разрядное напряжение по этой поверхности? Поясните причину такого влияния.
  14. Как и почему воздушные зазоры между диэлектриком и электродом влияют на разрядное напряжение по поверхности твёрдого диэлектрика?
  15. Каким образом и почему структура распределения напряжённости электрического поля вблизи поверхности твёрдого диэлектрика влияет на разрядное напряжение по ней?
  16. Почему и при каких условиях емкость разрядного канала относительно противолежащего электрода влияет на разрядное напряжение по поверхности изоляционной конструкции?
  17. Сопоставьте разрядные напряжения по поверхности опорного и проходного изолятора. Какое из них больше? От чего это зависит?
  18. Перечислите и поясните меры, которые принимают для повышения электрической прочности разрядных промежутков вдоль поверхности твёрдого

	<p>диэлектрика.</p> <p>19.Каким образом развивается разряд в воздухе вдоль загрязнённой и увлажнённой поверхности твёрдого диэлектрика?</p> <p>20.Как можно повысить разрядные напряжения в воздухе вдоль загрязнённой и увлажнённой поверхности твёрдого диэлектрика?</p>
<p>Уметь: Оценивать расчётным путём электрическую прочность газовой изоляции ВН.</p>	<p>1.Рассчитайте начальное напряжение и напряжённость поля для воздушного разрядного промежутка «коаксиальные цилиндры» при радиусе внутреннего высоковольтного электрода <math>R_0=0,05</math> см и внешнего заземлённого электрода – <math>R_1=4,5</math> см. Температура газа составляет <math>25^{\circ}\text{C}</math>, а давление – 750 торр.</p> <p>2.Определите, при каком напряжении, приложенном к плоскому конденсатору, в имеющемся в нём воздушном зазоре между заполняющим его диэлектриком и электродом возникнет электрический разряд. Расстояние между пластинами конденсатора составляет <math>L=3</math> см, ширина зазора <math>D=0,075</math> см, относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика <math>\epsilon_d=3</math>. Сравните полученный результат со значением начального напряжения в чисто воздушном разрядном промежутке той же самой длины <math>L</math> при тех же значениях температуры и давления.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-3. Защита лабораторной работы «Изучение диэлектрических потерь и явления абсорбции зарядов во внутренней изоляции»**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторной работы выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 60 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Электрофизические процессы, лежащие в основе контроля состояния электрической изоляции ВН в процессе её эксплуатации, современные методы диагностики изоляции.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Миграционная электрическая поляризация диэлектриков.</li> <li>2. Понятие и определение заряда абсорбции в неоднородных диэлектриках. При каких условиях не происходит его накопление?</li> <li>3. Электрические схемы замещения неоднородных диэлектриков. Определение их параметров.</li> <li>4. Понятие возвратного напряжения и его объяснение.</li> <li>5. Особенности работы с оборудованием высокого напряжения, содержащим неоднородные диэлектрики.</li> <li>6. Использование возвратного напряжения для изучения структуры неоднородного диэлектрика.</li> <li>7. Понятие диэлектрических потерь и определение их мощности.</li> <li>8. Понятие и определение угла диэлектрических потерь. Что он характеризует?</li> <li>9. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты приложенного напряжения.</li> <li>10. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры.</li> <li>11. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от напряжённости электрического поля.</li> <li>12. Определение понятия частичного разряда (ЧР). Разрушающее действие ЧР на диэлектрик.</li> <li>13. Связь напряжения пробоя газового включения с напряжением на диэлектрике. Оценка значения пробоя газового включения.</li> <li>14. Понятие и определение кажущегося заряда частичного разряда.</li> </ol>
<p>Уметь: Определять значения величин, характеризующих диэлектрические потери и абсорбцию зарядов во внутренней изоляции ВН.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пространство между пластинами плоского конденсатора толщиной <math>d=0,2</math> см заполнено двухслойным твёрдым диэлектриком со слоями равной толщины с относительной диэлектрической проницаемостью <math>\epsilon_1=3,1</math> и <math>\epsilon_2=3,3</math>. При каком отношении значений удельного объёмного сопротивления <math>r_1/r_2</math> не будет накапливаться заряд абсорбции на границе раздела между слоями? Рассчитайте значения напряжённости электрического поля в них. К конденсатору приложено напряжение <math>U=12</math> кВ.</li> <li>2. В образце твёрдого диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью <math>\epsilon=3</math>, помещённом</li> </ol>

	<p>между пластинами плоского конденсатора с расстоянием <math>d=2</math> см между ними, присутствует сферическое газовое включение диаметром <math>2a=6</math> мкм, заполненное воздухом. Температура и давление нормальные. Определите начальную напряжённость поля в газовом включении в указанных условиях и соответствующее ей напряжение <math>U_{\text{ЧР}}</math> возникновения частичного разряда в нём (имеется в виду напряжение между пластинами конденсатора).</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

**КМ-4. Защита лабораторной работы «Защита подстанций от набегающих волн грозовых перенапряжений»**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторной работы выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 60 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Источники и механизмы формирования грозовых перенапряжений в электрических сетях ВН.</p>	<p>1. Каково происхождение волн (импульсов) высокого напряжения, набегающих на подстанцию?  2. Может ли набегающая на подстанцию волна иметь вертикальный фронт? Обоснуйте свой ответ.  3. Перечислите факторы, влияющие на уровень грозовых перенапряжений на подстанции.</p>
<p>Знать: Принципы действия и конструкции молниеотводов, принципы построения</p>	<p>1. Какие преимущества дает защита изоляции электрооборудования подстанции при помощи нелинейного ограничителя перенапряжений (ОПН)</p>

<p>молниезащиты объектов различного назначения, методы обеспечения грозоупорности линий электропередачи и подстанций ВН, включая применение ОПН.</p>	<p>по сравнению с вентильным разрядником?  2. Почему ОПН можно эксплуатировать без искрового промежутка, а вентильный разрядник нельзя?  3. Нарисуйте типичную форму импульсного напряжения на электрооборудовании, расположенном до и после защитного аппарата по ходу распространения волны.  4. Как влияют отходящие от подстанции линии электропередачи на значения грозовых перенапряжений?  5. На какой подстанции (тупиковой, проходной, с большим числом отходящих линий) перенапряжения могут быть наибольшими?  6. Влияет ли место включения отходящей линии на перенапряжения на изоляции электрооборудования?  7. Почему трансформатор представляется в расчетной схеме ёмкостью?  8. В течение какого времени справедлива схема «2Упад»?  9. С каким напряжением, характеризующим электрическую прочность изоляции, надо сравнивать расчётное напряжение на внешней изоляции электрооборудования?  10. С каким напряжением, характеризующим электрическую прочность изоляции, надо сравнивать расчетное напряжение на внутренней изоляции электрооборудования?  11. Какой параметр используется в качестве показателя надёжности защиты подстанции от набегающих волн? Каковы его допустимые значения?  12. Что такое критическая крутизна фронта набегающей волны?  13. Что такое опасная зона? От чего зависит её длина опасной зоны?  14. Что такое защищённый подход к подстанции?  15. Зависит ли критическая крутизна набегающей волны от расположения оборудования и схемы подстанции?  16. Зависит ли опасная зона от конструкции линии?  17. Как влияет число отходящих линий на среднее число лет безаварийной работы подстанции?  18. Зависит ли число лет безаварийной работы подстанции от импульсного сопротивления заземления опор отходящих линий?  19. Какова роль тросовой защиты линии в пределах защищенного подхода?  20. Какую модель ошиновки нужно использовать в расчётах волновых переходных процессов на подстанции?  21. Перечислите основные мероприятия по защите подстанции от набегающих волн.</p>
<p>Уметь: Вычислять показатели</p>	<p>1. По ошиновке подстанции высокого напряжения</p>

<p>грозоупорности линий электропередачи и открытых распределительных устройств подстанций ВН, определять электрические параметры ОПН, необходимых для улучшения показателей.</p>	<p>распространяется волна с косоугольным фронтом длительностью 1,5 мкс и амплитудой 650 кВ. Волновое сопротивление ошиновки составляет 400 Ом. В её конце установлен трансформатор, который в схеме замещения можно заменить сосредоточенной ёмкостью. Рассчитайте и постройте зависимости напряжения на трансформаторе от времени для двух случаев: значение эквивалентирующей его ёмкости равно 0 или 1500 пФ.</p> <p>2. Для условий предыдущей задачи рассчитайте и постройте зависимости максимального напряжения на трансформаторе от расстояния между ним и защищающим его ОПН. Расстояние варьируется от 10 до 100 м. Ёмкость трансформатора примите равной нулю. Для его защиты используется ОПН-110/73/10/650.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-5. Защита расчётного задания «Расчёт молниезащиты открытого распределительного устройства подстанции высокого напряжения»**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита расчётного задания выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 90 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита расчётного задания предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Источники и механизмы формирования грозовых</p>	<p>1. Что такое молния? Каковы механизмы её ориентации на наземные объекты и их поражения</p>
---	---



<p>перенапряжений электрических сетях ВН.</p>	<p>в молнией? 2.Какой этап развития разряда молнии определяет её воздействие на поражаемые объекты? 3.Перечислите параметры (характеристики) грозовой деятельности.</p>
<p>Знать: Принципы действия и конструкции молниеотводов, принципы построения молниезащиты объектов различного назначения, методы обеспечения грозоупорности линий электропередачи и подстанций ВН, включая применение ОПН.</p>	<p>1.Что такое молниеотвод? Каково его назначение? Какие виды молниеотводов Вам известны? 2.Поясните принцип действия молниеотвода. Перечислите основные элементы его конструкции и поясните их назначение. Каковы предъявляемые к ним требования? 3.Что такое зона защиты молниеотвода? Что её характеризует? 4.Каково математическое описание геометрической формы зоны защиты стержневого молниеотвода? 5.Как определить вероятность проникновения молнии к фазным проводам воздушной линии электропередачи, защищаемой тросовым молниеотводом? 6.Каково назначение заземлителя молниеотвода? Какими физическими процессами определяется его сопротивление? 7.Какие требования предъявляются к сопротивлению заземлителей подстанций и опор воздушных линий электропередачи высокого напряжения? Чем они определяются? 8.Какими причинами может быть вызвано отключение подстанции высокого напряжения под действием грозowych перенапряжений? Каким образом они учтены Вами в ходе выполнения расчётного задания? 9.Какой параметр используется в качестве показателя надёжности молниезащиты подстанции? Каковы порядок его определения и допустимые значения?</p>
<p>Уметь: Находить значения параметров, характеризующих грозовые перенапряжения в электрических сетях ВН.</p>	<p>1.Определите вероятность обратного перекрытия гирлянды изоляторов воздушной линии (ВЛ) электропередачи, которое происходит в результате разряда молнии с амплитудой тока <math>I_m</math> в вершину опоры ВЛ типа «ёлка». Линия не имеет молниезащитных тросов. Фазные провода подвешены на гирляндах длиной 1,5 м, закреплённых на траверсах на высоте 10 м над землёй. Импульсное сопротивление заземлителя опоры составляет 3 Ом. Крутизну фронта тока молнии предлагается принять равной 30 кА/мкс, а удельную индуктивность опоры – 1,7 мкГн/м. 2.Фазный провод воздушной линии (ВЛ) электропередачи на железобетонных опорах поражён молнией с амплитудой тока <math>I_m</math> в середине пролёта, соседнего с опорой ВЛ типа «ёлка». Волновое сопротивление провода составляет 250 Ом. Определите вероятность перекрытия гирлянды</p>

	<p>изоляторов длиной 2,3 м, на которой подвешен провод.</p> <p>3. Рассчитайте вероятность прорыва молнии к фазным проводам воздушной линии (ВЛ) электропередачи на опорах типа «ёлка». Их молниезащита обеспечивается 1 тросом, расположенным на высоте 20 м над землёй. Верхний провод подвешен на высоте 12 м, а нижние – 7 м. Верхний провод смещён по горизонтали на 3 м вправо от троса, а нижние – на 3 м влево и 4 м вправо.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**8 семестр**

**КМ-6. Ограничение коронного разряда на проводах воздушных линий электропередачи**

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Домашнее задание выполняется в письменном виде. На его выполнение студенту дается 90 минут.

**Краткое содержание задания:**

Выполнение домашнего задания предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Методику расчёта потерь энергии на местный коронный разряд на воздушных линиях электропередачи ВЛ, способы снижения этих потерь.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое коронный разряд? Какие его формы Вам известны?</li> <li>2. Какая форма коронного разряда формируется на фазных проводах воздушных линий электропередачи высокого напряжения?</li> <li>3. Почему начальная напряжённость, при которой возникает коронный разряд на фазных проводах</li> </ol>
--	--

	<p>воздушных линий электропередачи, ниже начальной напряжённости для гладкого цилиндрического провода того же самого радиуса?</p> <p>4.Почему мощность потерь на корону на фазных проводах воздушных линий электропередачи зависит от характера погоды?</p> <p>5.В какую погоду мощность потерь на корону на фазных проводах воздушных линий электропередачи наибольшая? Обоснуйте Ваш ответ.</p> <p>6.Опишите порядок расчёта потерь на корону на фазных проводах воздушных линий электропередачи.</p> <p>7.Какие меры принимают, чтобы снизить потери на корону на фазных проводах воздушных линий электропередачи?</p>
<p>Уметь: Определять потери энергии на местный коронный разряд на воздушных линиях электропередачи ВЛ.</p>	<p>1.Рассчитайте начальное напряжение для центрального и крайнего фазных проводов воздушной линии электропередачи на порталных опорах. Провода находятся на одинаковой высоте 8 м над землёй, имеют радиус 0,15 см и разделены расстоянием 6 м. Длина проводов много больше высоты их подвеса. Поверхность земли можно считать идеально гладкой, грунт – идеально проводящим.</p> <p>2.Определите расстояние между проводниками расщеплённого фазного провода, минимизирующее значение начального напряжения. Проводники параллельны друг другу и поверхности земли, их радиус равен 0,2 см. Фазный провод подвешен на высоте 8 м над землёй, а его длина много больше высоты подвеса. Поверхность земли можно считать идеально гладкой, грунт – идеально проводящим.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-7. Защита лабораторной работы «Изучение перенапряжений в линиях дальних электропередач за счёт емкостного эффекта»**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторной работы выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 60 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Процессы, приводящие в возникновению коммутационных и квазистационарных перенапряжений в электрических сетях ВН</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Какими основными параметрами характеризуется линия электропередачи? Каков физический смысл этих параметров?</li><li>2. Что является причиной повышения напряжения вдоль разомкнутой на конце или малонагруженной линии?</li><li>3.1. Какой вид имеет распределение напряжения вдоль разомкнутой на конце линии при длине меньше 1500 км, больше 1500 км? Рассмотрите и сравните распределения для 2 случаев:<ol style="list-style-type: none"><li>а) идеальная линия без потерь;</li><li>линия с продольными и поперечными активными потерями.</li></ol></li><li>4. Что такое входное сопротивление линии? Чем определяется значение и характер входного сопротивления линии?</li><li>5. Каким образом индуктивное внутреннее сопротивление источника влияет на уровень перенапряжений?</li><li>6. При каких условиях возникают резонансные перенапряжения в линии дальней электропередачи? Какими параметрами определяется максимальное значение напряжения в конце разомкнутой линии в режиме резонанса?</li><li>7. Каковы условия возникновения резонанса для линии, присоединенной к источнику с нулевым внутренним сопротивлением и с индуктивным внутренним сопротивлением?</li><li>8. Что ограничивает резонансные перенапряжения в линии дальней электропередачи высокого напряжения?</li><li>9. Какие технические решения Вы можете предложить, чтобы максимальное значение напряжения в линии дальней электропередачи высокого напряжения не превысило бы её наибольшего рабочего напряжения?</li><li>10. Определите значение мощности шунтирующего</li></ol>
---	--

	<p>реактора, необходимой для полной компенсации емкостного тока в начале линии при включении реактора в начале, конце и середине линии.</p> <p>11. Какой вид имеют распределения напряжения вдоль линии электропередачи с двусторонним питанием в режимах передачи натуральной мощности и холостого хода?</p>
<p>Уметь: Находить значения параметров, характеризующих коммутационные и квазистационарные перенапряжения в электрических сетях ВН.</p>	<p>1. Рассчитайте и постройте распределения напряжения вдоль разомкнутой длинной линии с номинальным напряжением <math>U_{ном}=500</math> кВ при значениях сопротивления источника высокого напряжения <math>X_i=0</math> и <math>100</math> Ом. Активное удельное продольное сопротивление линии составляет <math>r'=2,5 \times 10^{-5}</math> Ом/м, удельная индуктивность – <math>L'=10^{-6}</math> Гн/м, ёмкость <math>C'=10^{-12}</math> Ф/м, длина <math>l=700</math> км.</p> <p>2. Рассчитайте и постройте зависимости напряжения в конце длинной линии с номинальным напряжением <math>U_{ном}=500</math> кВ от её длины. Значения сопротивления источника высокого напряжения <math>X_i=0</math> и <math>100</math> Ом. Активное удельное продольное сопротивление линии составляет <math>r'=2,5 \times 10^{-5}</math> Ом/м, удельная индуктивность – <math>L'=10^{-6}</math> Гн/м, ёмкость <math>C'=10^{-12}</math> Ф/м, длина линии варьируется в пределах <math>l=100 \div 1500</math> км.</p>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

#### **КМ-8. Защита лабораторной работы «Контроль состояния внутренней изоляции по тангенсу угла диэлектрических потерь»**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторной работы выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 60 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Представления об уровнях электрической изоляции электрооборудования ВН, как совокупности испытательных напряжений, определяемых на этапе координации изоляции.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Что входит в понятие диэлектрических потерь в электрической изоляции?</li> <li>2.Понятие и определение тангенса угла диэлектрических потерь и мощности диэлектрических потерь.</li> <li>3.Что характеризует и чем определяется величина тангенса угла диэлектрических потерь?</li> <li>4.В чём заключаются особенности тангенса угла диэлектрических потерь как диагностического параметра электрической изоляции?</li> <li>5.Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты приложенного переменного напряжения.</li> <li>6.Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от амплитуды приложенного переменного напряжения. О чём свидетельствует рост значения тангенса угла диэлектрических потерь с увеличением амплитуды?</li> <li>7.Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от температуры внутренней изоляции.</li> <li>8.Принцип измерения тангенса угла диэлектрических потерь во внутренней изоляции. Прямая и перевернутая схемы измерений.</li> <li>9.Особенности измерения тангенса угла диэлектрических потерь во внутренней изоляции действующего оборудования подстанций высокого напряжения.</li> <li>10.Какие Вам известны способы компенсации погрешностей измерения тангенса угла диэлектрических потерь во внутренней изоляции действующего оборудования высокого напряжения?</li> </ol>
<p>Уметь: Оценивать уровни электрической изоляции электрооборудования ВН</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.К изоляции приложено напряжение промышленной частоты. Её ёмкость составляет 1500 пФ, а сопротивление - 25 МОм. Определите значения тангенса угла диэлектрических потерь для двух схем замещения изоляции: <ul style="list-style-type: none"> <li>• - для параллельной схемы замещения изоляции (сопротивление и ёмкость соединены параллельно);</li> <li>• - для последовательной схемы замещения (сопротивление и ёмкость соединены последовательно).</li> </ul> Нарисуйте векторную диаграмму для последовательной схемы замещения и обозначьте на ней угол диэлектрических потерь. </li> </ol>

	2. Как изменится тангенс угла диэлектрических потерь изоляции при увеличении её температуры на 50 оС? Температурный коэффициент составляет 0,025 1/оС.
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-9. Защита лабораторной работы "Измерение характеристик частичных разрядов в изоляции высокого напряжения электрическим методом"**

**Формы реализации:** Смешанная форма

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Защита лабораторной работы выполняется в смешанной устной и письменной форме. На её выполнение студенту дается 60 минут.

**Краткое содержание задания:**

Защита лабораторной работы предусматривает ответ на теоретические вопросы на знания и решение задач на умения.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: Представления об уровнях электрической изоляции электрооборудования ВН, как совокупности испытательных напряжений, определяемых на этапе координации изоляции.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. В чём заключается понятие частичных разрядов (ЧР) в электрической изоляции высокого напряжения? Какое действие ЧР оказывают на диэлектрик, в котором они развиваются?</li> <li>2. Приведите и поясните эквивалентную схему замещения образца диэлектрика с газовым включением, в котором развивается ЧР.</li> <li>3. Что такое кажущийся заряд ЧР? Поясните физический смысл этого понятия.</li> <li>4. В чём заключаются особенности развития ЧР при переменном напряжении? Каким образом и почему изменяется напряжение на газовом включении с ЧР при переменном напряжении?</li> <li>5. В чём заключаются особенности развития ЧР при</li> </ol>
--	---

	<p>постоянном напряжении? Каким образом и почему изменяется напряжение на газовом включении с ЧР при постоянном напряжении?</p> <p>6.Как и почему зависит напряжение возникновения ЧР от толщины диэлектрика?</p> <p>7.Какие методы измерения характеристик ЧР Вам известны? Чем отличаются их возможности?</p> <p>8.Приведите принципиальную схему измерения характеристик ЧР электрическим методом. Какие параметры ЧР он позволяет определить?</p>
<p>Уметь: Оценивать уровни электрической изоляции электрооборудования ВН</p>	<p>1.Образец твёрдой изоляции с относительной диэлектрической проницаемостью 3,5 имеет поперечные размеры 2,5х2,5 см и толщину 0,25 см. Он помещён между пластинами плоского конденсатора, расстояние между которыми равно толщине образца. Длина и ширина обкладок конденсатора и образца диэлектрика совпадают. У поверхности одной из обкладок конденсатора имеется плоское воздушное включение, которое в первом приближении можно считать плоским цилиндром высотой 0,01 см и радиусом 0,05 см. Определите напряжение возникновения ЧР и его кажущийся заряд. Температура и давление соответствуют нормальным атмосферным условиям.</p> <p>2.В образце твёрдого диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью 3, помещённом между пластинами плоского конденсатора с расстоянием 2 см между ними, присутствует сферическое газовое включение диаметром 0,005 см. Оно заполнено воздухом при нормальных значениях температуры и давления. Определите начальную напряжённость поля в газовом включении и напряжение возникновения ЧР в нём.</p>

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*





# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 7 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет с оценкой

### Пример билета

Зачётный билет №1.

1. В чём состоит условие самостоятельности электрического разряда? Запишите его в лавинной форме для случая газового промежутка с однородным электрическим полем.
2. Перечислите и поясните факторы, влияющие на уровень грозовых перенапряжений на подстанции.
3. Задача. Фазный провод воздушной линии (ВЛ) электропередачи на железобетонных опорах поражён молнией с амплитудой тока  $I_m$  в середине пролёта, соседнего с опорой ВЛ типа «ёлка». Волновое сопротивление провода составляет 250 Ом. Определите вероятность перекрытия гирлянды изоляторов длиной 2,3 м, на которой подвешен провод.

### Процедура проведения

Зачёт 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-3пк-1 Демонстрирует знание техники высоких напряжений

### Вопросы, задания

1. Почему присутствующие в газе свободные электроны не имеют одинаковую энергию при фиксированной напряжённости электрического поля, в котором они движутся?
2. Какой физический процесс называется дрейфом заряженных частиц в газе? Чем определяется скорость дрейфа свободных электронов и ионов в газе в электрическом поле?
3. Что такое электрическая подвижность заряженных частиц? Почему подвижность отрицательных ионов в воздухе зависит от времени их существования?
4. Какой физический процесс называется ударной ионизацией? Какая величина характеризует его количественно?
5. Какой процесс называется прилипанием свободных электронов? В каких газах он происходит? Какая величина характеризует его количественно?
6. Что такое эффективный коэффициент ионизации? Что он характеризует?
7. Какой процесс называется фотоионизацией газа? Благодаря чему возможна фотоионизация газа излучением разряда в воздухе?
8. В чём состоит условие самостоятельности электрического разряда? Запишите его в лавинной форме для случая газового промежутка с однородным электрическим полем.
9. Что такое начальное напряжение? Что такое начальная напряжённость однородного электрического поля? Какие разрядные промежутки называют однородными и неоднородными? Что такое центральная силовая линия в неоднородном промежутке? Как определяется в нём начальная напряжённость электрического поля?
10. Что такое электронная лавина?
11. Что такое стример? В чём состоит условие лавинно-стримерного перехода? Какие параметры электронной лавины называются критическими?

12. Что такое коронный разряд? Приведите и поясните классификацию коронных разрядов.
13. Что такое униполярный коронный разряд (УКР)? Какие области выделяются в промежутке с УКР? Какие физические процессы в них протекают?
14. Как и почему начальное напряжение разрядных промежутков зависит от полярности приложенного напряжения в разрядных промежутках с резконеоднородным электрическим полем?
15. Что такое пробой газового разрядного промежутка?
16. Как и почему соотносятся начальные и пробивные напряжения в разрядных промежутках с однородным, слабонеоднородным и резконеоднородным электрическим полем?
17. Как и почему пробивное напряжение разрядных промежутков зависит от полярности приложенного напряжения в разрядных промежутках с резконеоднородным электрическим полем?
18. В чём Вы видите особенности развития электрического разряда в воздухе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика по сравнению с разрядом в чисто воздушном промежутке?
19. Как влажность воздуха и гигроскопичность поверхности твёрдого диэлектрика влияет на разрядное напряжение по этой поверхности? Поясните причину такого влияния.
20. Как и почему воздушные зазоры между диэлектриком и электродом влияют на разрядное напряжение по поверхности твёрдого диэлектрика?
21. Каким образом и почему распределение напряжённости электрического поля вблизи поверхности твёрдого диэлектрика влияет на разрядное напряжение по ней?
22. Почему и при каких условиях ёмкость разрядного канала относительно противоположного электрода влияет на разрядное напряжение по поверхности изоляционной конструкции?
23. Сопоставьте разрядные напряжения по поверхности опорного и проходного изолятора. Какое из них больше? От чего это зависит?
24. Перечислите и поясните меры, которые принимают для повышения электрической прочности разрядных промежутков вдоль поверхности твёрдого диэлектрика.
25. Каким образом развивается разряд в воздухе вдоль загрязнённой и увлажнённой поверхности твёрдого диэлектрика?
26. Как можно повысить разрядные напряжения в воздухе вдоль загрязнённой и увлажнённой поверхности твёрдого диэлектрика?
27. Миграционная электрическая поляризация диэлектриков. Понятие и определение заряда абсорбции в неоднородных диэлектриках. При каких условиях не происходит его накопление?
28. Электрические схемы замещения неоднородных диэлектриков. Определение их параметров.
29. Понятие возвратного напряжения и его объяснение. Особенности работы с оборудованием высокого напряжения, содержащим неоднородные диэлектрики.
30. Понятие диэлектрических потерь и определение их мощности. Понятие и определение угла диэлектрических потерь. Что он характеризует?
31. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты приложенного напряжения и температуры диэлектрика.
32. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от напряжённости электрического поля.
33. Определение понятия частичного разряда (ЧР). Разрушающее действие ЧР на диэлектрик.
34. Связь напряжения пробоя газового включения с напряжением на диэлектрике. Оценка напряжения пробоя газового включения.
35. Понятие и определение кажущегося заряда частичного разряда.

36. Каковы источники и причины возникновения волн высокого набегающих на подстанцию? Может ли набегающая на подстанцию волна иметь вертикальный фронт? Обоснуйте свой ответ.
37. Перечислите и поясните факторы, влияющие на уровень грозовых перенапряжений на подстанции.
38. Какие преимущества даёт защита изоляции электрооборудования подстанции при помощи нелинейного ограничителя перенапряжений по сравнению с вентильным разрядником?
39. Нарисуйте типичные зависимости от времени импульсного напряжения на электрооборудовании, расположенном до и после защитного аппарата по ходу распространения волны высокого напряжения.
40. Как влияют отходящие от подстанции линии электропередачи на значения грозовых перенапряжений? На какой подстанции (тупиковой, проходной, с большим числом отходящих линий) перенапряжения могут быть наибольшими?
41. Почему при определении грозовых перенапряжений трансформатор представляется ёмкостью в схеме замещения подстанции?
42. В течение какого времени при определении грозовых перенапряжений справедлива схема замещения оборудования подстанции с источником напряжения «2Uпад»?
43. С какими значениями напряжения, характеризующими электрическую прочность изоляции, следует сравнивать расчётное напряжение на внешней и внутренней изоляции электрооборудования?
44. Какой параметр используется в качестве показателя надёжности защиты подстанции от набегающих волн? Каковы его допустимые значения?
45. Что такое критическая крутизна фронта набегающей волны? Зависит ли она от расположения оборудования и схемы подстанции? Зависит ли она от конструкции воздушной линии, по которой набегают волны высокого напряжения?
46. Что такое опасная зона? От чего зависит её длина? Что такое защищённый подход к подстанции? Чем отличаются понятия опасной зоны и защищённого подхода?
47. Как влияет число отходящих линий на среднее число лет безаварийной работы подстанции? Зависит ли оно от импульсного сопротивления заземления опор отходящих линий?
48. Перечислите основные мероприятия по защите подстанции от набегающих волн.
49. Что такое молния? Какой этап развития разряда молнии определяет её воздействие на поражаемые объекты? Перечислите параметры (характеристики) грозовой деятельности.
50. Что такое молниеотвод? Какие виды молниеотводов Вам известны? Поясните принцип действия молниеотвода. Перечислите основные элементы его конструкции и поясните их назначение. Каковы предъявляемые к ним требования?
51. Что такое зона защиты молниеотвода? Что её характеризует? Каково математическое описание геометрической формы зоны защиты стержневого молниеотвода?
52. Как определить вероятность проникновения молнии к фазным проводам воздушной линии электропередачи, защищаемой тросовым молниеотводом?
53. Каково назначение заземлителя молниеотвода? Какими физическими процессами определяется его сопротивление? Какие требования предъявляются к сопротивлению заземлителей подстанций и опор воздушных линий электропередачи высокого напряжения? Чем они определяются?
54. Какими причинами может быть вызвано отключение подстанции высокого напряжения под действием грозовых перенапряжений? Каким образом они учтены Вами в ходе выполнения расчётного задания?
55. Какой параметр используется в качестве показателя надёжности молниезащиты подстанции? Каковы порядок его определения и допустимые значения?

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Чем отличается движение (дрейф) заряженных частиц (свободных электронов и ионов) в электрическом поле в газах от их движения в вакууме?

Ответы:

- 1 - ничем;
- 2 - скорость дрейфа заряженных частиц определяется балансом энергии, приобретаемой благодаря внешнему полю, и энергии, теряемой ими в результате столкновений с нейтральными частицами в газе.
- 3 - скорость дрейфа заряженных частиц определяется только их собственным электрическим полем;
- 4 - скорость дрейфа заряженных частиц определяется только их ускорением во внешнем электрическом поле.

Верный ответ: 2

2. Какой физический процесс является определяющим для развития лавинной и стримерной форм электрического разряда в газах?

Ответы:

- 1 - ударная ионизация молекул и атомов свободными электронами;
- 2 - термическая ионизация молекул и атомов;
- 3 - прилипание свободных электронов с образованием отрицательных ионов;
- 4 - рекомбинация электронов и положительных ионов.

Верный ответ: 1

3. Благодаря какому физическому свойству элегаз (SF<sub>6</sub>) находит широкое применение в качестве изолирующей среды в энергетическом оборудовании высокого напряжения?

Ответы:

- 1 - высокая интенсивность ударной ионизации;
- 2 - химическая нейтральность;
- 3 - безопасность для окружающей среды;
- 4 - высокая интенсивность прилипания свободных электронов.

Верный ответ: 4

4. Почему в разрядных промежутках с резконеоднородным электрическим полем его начальная напряжённость ниже, если электрод с малым радиусом кривизны поверхности имеет отрицательную полярность, нежели при его положительной полярности?

Ответы:

- 1 - благодаря фотоионизации газа излучением разряда;
- 2 - благодаря меньшей напряжённости поля на поверхности электрода с отрицательной полярностью;
- 3 - благодаря тому, что при положительной полярности электрода с меньшим радиусом кривизны поверхности генерацию вторичных электронов обеспечивает только фотоионизация в объёме газа, а при его отрицательной полярности к ней добавляются фотоэффект на катоде и бомбардировка последнего положительными ионами; поэтому при отрицательной полярности коэффициент вторичной ионизации больше;
- 4 - благодаря большей интенсивности ударной ионизации вблизи электрода с отрицательной полярностью.

Верный ответ: 3

5. Какой фактор определяет напряжение пробоя разрядного промежутка по поверхности изоляционной конструкции высокого напряжения?

Ответы:

- 1 - увлажнение и загрязнение поверхности изоляционной конструкции;
- 2 - материал поверхности изоляционной конструкции;
- 3 - высота над уровнем моря местности, в которой используется эта конструкция;
- 4 - диаметр изоляционной конструкции.

Верный ответ: 1

6. Какое электрическое воздействие должна выдерживать гирлянда изоляторов или стержневой полимерный изолятор трёхфазной воздушной линии электропередачи высокого напряжения?

Ответы:

- 1 - наибольшее рабочее линейное напряжение;
- 2 - коммутационные перенапряжения напряжения расчётной кратности;
- 3 - грозовые перенапряжения;
- 4 - наибольшее рабочее фазное напряжение.

Верный ответ: 4

7. Какие процессы определяют диэлектрические потери в изоляционных конструкциях высокого напряжения?

Ответы:

- 1 - активная проводимость диэлектрика;
- 2 - поляризация диэлектрика во внешнем электрическом поле;
- 3 - частичные разряды в изоляционной конструкции;
- 4 - активная проводимость, поляризация диэлектрика и частичные разряды совместно.

Верный ответ: 4

8. О чём свидетельствует увеличение тангенса угла диэлектрических потерь в изоляционной конструкции с увеличением приложенного к ней напряжения?

Ответы:

- 1 - о пробое изоляционной конструкции;
- 2 - о возможном появлении частичных разрядов в ней;
- 3 - о начале механического разрушения изоляционной конструкции;
- 4 - об увлажнении диэлектрика.

Верный ответ: 2

9. Какой вид воздействия тока молнии на поражаемый ею энергетический объект в первую очередь определяет повреждение объекта?

Ответы:

- 1 - создание электромагнитных помех в радиочастотном диапазоне;
- 2 - наведение токов в цепях управления и связи;
- 3 - термическое и электромагнитное воздействие на электрооборудование высокого напряжения.

Верный ответ: 3

10. Что такое зона защиты молниеотвода?

Ответы:

- 1 - область вблизи молниеотвода, в которой вероятность поражения защищаемого объекта молнией не превышает заданной малой величины;
- 2 - область вблизи молниеотвода, в которой поражение защищаемого объекта молнией полностью исключено;
- 3 - область вблизи молниеотвода, в которой поражение защищаемого объекта молнией полностью гарантировано.

Верный ответ: 1

11. Что такое обратное перекрытие?

Ответы:

- 1 - электрический разряд с поражённых молнией фазного провода или ошиновки на опору воздушной линии или портал подстанции;
- 2 - электрический разряд с поражённых молнией опоры воздушной линии или портала подстанции на фазный провод или ошиновку;
- 3 - прорыв молнии сквозь молниезащиту с последующим поражением фазного провода линии или ошиновку открытого распределительного устройства подстанции.

Верный ответ: 2

12. Что такое защищённый подход к подстанции?

Ответы:

- 1 - дорожка вблизи подстанции, по которой можно безопасно гулять во время грозы;
- 2 - участок воздушной линии вблизи подстанции, защищённый её молниеотводами от разрядов молнии;
- 3 - участок воздушной линии вблизи подстанции, на котором молниезащита фазных проводов и заземление опор линии выполняются так, чтобы минимизировать вероятность поражения фаз молнии молнией или в результате обратных перекрытий.

Верный ответ: 3

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

## **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.

### **8 семестр**

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### **Пример билета**

Экзаменационный билет №1.

1. Методы контроля электрической изоляции установок высокого напряжения.
2. Что такое кажущийся заряд ЧР? Поясните физический смысл понятия.
3. Задача. Определите расстояние между проводниками расщеплённого на 2 составляющие фазного провода, минимизирующее значение начального напряжения. Проводники параллельны друг другу и поверхности земли, их радиус равен 0,2 см. Фазный провод подвешен на высоте 8 м над землёй, а его длина много больше высоты подвеса. Коэффициент гладкости провода 0,93. Поверхность земли можно считать идеально гладкой, грунт – идеально проводящим.

## Процедура проведения

Экзамен 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-3<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание техники высоких напряжений

#### **Вопросы, задания**

1. Что такое коронный разряд? Какие его формы Вам известны? Какая форма коронного разряда формируется на фазных проводах воздушных линий электропередачи (ВЛ) высокого напряжения?
2. Почему начальная напряжённость, при которой возникает коронный разряд на фазных проводах ВЛ, ниже начальной напряжённости для гладкого цилиндрического провода того же самого радиуса?
3. Почему мощность потерь на корону на фазных проводах ВЛ зависит от характера погоды?
4. В какую погоду мощность потерь на корону на фазных проводах ВЛ электропередачи наибольшая? Поясните почему?
5. Опишите порядок расчёта потерь на корону на фазных проводах ВЛ.
6. Какие меры принимают, чтобы снизить потери на корону на фазных проводах ВЛ?
7. Общая характеристика и классификация внутренних перенапряжений.
8. Режимы заземления нейтрали в электрических сетях.
9. Феррорезонансные явления в электрических сетях с изолированной и заземленной нейтралью.
10. Перенапряжения при отключении малых индуктивных токов.
11. Перенапряжения при однофазных замыканиях на землю в сетях с изолированной нейтралью.
12. Способы ограничения внутренних перенапряжений.
13. Какими основными параметрами характеризуется линия электропередачи? Каков физический смысл этих параметров?
14. Что является причиной повышения напряжения вдоль разомкнутой на конце или малонагруженной линии?
15. Какой вид имеет распределение напряжения вдоль разомкнутой на конце линии при длине меньше 1500 км? Больше 1500 км? Рассмотрите и сравните распределения для 2 случаев:
  - а) идеальная линия без потерь;
  - б) линия с продольными и поперечными активными потерями.
16. Что такое входное сопротивление линии? Чем определяются его значение и характер?
17. Каким и почему индуктивное внутреннее сопротивление источника напряжения влияет на уровень перенапряжений в длинной линии?
18. При каких условиях возникают резонансные перенапряжения в линии дальней электропередачи? Какими параметрами определяется максимальное значение напряжения в конце разомкнутой линии в режиме резонанса?
19. Каковы условия возникновения резонанса для линии, присоединенной к источнику с нулевым внутренним сопротивлением и с индуктивным внутренним сопротивлением?
20. Что ограничивает резонансные перенапряжения в линии дальней электропередачи высокого напряжения?
21. Какие технические решения Вы можете предложить, чтобы максимальное значение напряжения в линии дальней электропередачи высокого напряжения не превысило бы её наибольшего рабочего напряжения?



22. Определите значение мощности шунтирующего реактора, необходимой для полной компенсации емкостного тока в начале линии при включении реактора в начале, конце и середине линии.
23. Какой вид имеют распределения напряжения вдоль линии электропередачи с двусторонним питанием в режимах передачи натуральной мощности и холостого хода?
24. Методы контроля электрической изоляции установок высокого напряжения.
25. Что входит в понятие диэлектрических потерь в электрической изоляции? Понятие и определение тангенса угла диэлектрических потерь и мощности диэлектрических потерь.
26. Что характеризует и чем определяется величина тангенса угла диэлектрических потерь? В чём заключаются особенности тангенса угла диэлектрических потерь как диагностического параметра электрической изоляции?
27. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты приложенного переменного напряжения и температуры внутренней изоляции.
28. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от амплитуды приложенного переменного напряжения. О чём свидетельствует рост значения тангенса угла диэлектрических потерь с увеличением амплитуды?
29. Принцип измерения тангенса угла диэлектрических потерь во внутренней изоляции. Прямая и перевернутая схемы измерений.
30. Особенности измерения тангенса угла диэлектрических потерь во внутренней изоляции действующего оборудования подстанций высокого напряжения.
31. Какие Вам известны способы компенсации погрешностей измерения тангенса угла диэлектрических потерь во внутренней изоляции действующего оборудования высокого напряжения?
32. В чём заключается понятие частичных разрядов (ЧР) в электрической изоляции высокого напряжения? Какое действие ЧР оказывают на диэлектрик, в котором они развиваются?
33. Приведите и поясните эквивалентную схему замещения образца диэлектрика с газовым включением, в котором развивается ЧР.
34. Что такое кажущийся заряд ЧР? Поясните физический смысл этого понятия.
35. В чём заключаются особенности развития ЧР при переменном напряжении? Каким образом и почему изменяется напряжение на газовом включении с ЧР при переменном напряжении?
36. В чём заключаются особенности развития ЧР при постоянном напряжении? Каким образом и почему изменяется напряжение на газовом включении с ЧР при постоянном напряжении?
37. Как и почему зависит напряжение возникновения ЧР от толщины диэлектрика?
38. Какие методы измерения характеристик ЧР Вам известны? Чем отличаются их возможности?
39. Приведите принципиальную схему измерения характеристик ЧР электрическим методом. Какие параметры ЧР он позволяет определить?
40. Воздействия на изоляцию в условиях эксплуатации. Номинальные и наибольшие рабочие напряжения.
41. Понятие координации изоляции.
42. Испытательные напряжения внешней и внутренней изоляции напряжением промышленной частоты.
43. Испытательные напряжения внешней и внутренней изоляции грозовыми импульсами.
44. Испытательные напряжения внешней и внутренней изоляции коммутационными импульсами.

### **Материалы для проверки остаточных знаний**

1. Что такое коронный разряд?

Ответы:

- 1 - форма самостоятельного электрического разряда, формирующегося в однородном электрическом поле;
- 2 - форма несамостоятельного электрического разряда;
- 3 - электрический разряд в газе, развивающийся по поверхности твёрдого или жидкого диэлектрика;
- 4 - форма самостоятельного электрического разряда, развивающегося в газе в резконеоднородном электрическом поле, в которой условие самостоятельности разряда выполняется в малой области вблизи электрода с малым радиусом кривизны поверхности.

Верный ответ: 4

2. В какую погоду мощность потерь на корону на фазных проводах воздушных линий электропередачи наибольшая?

Ответы:

- 1 - хорошая погода;
- 2 - сухой снег;
- 3 - изморозь, иней, гололёд;
- 4 - дождь и мокрый снег.

Верный ответ: 3

3. Что является причиной повышения напряжения вдоль разомкнутой на конце или малонагруженной дальней линии электропередачи?

Ответы:

- 1 - протекание ёмкостного тока по распределённой индуктивности линии;
- 2 - протекание реактивного тока по распределённому активному сопротивлению линии;
- 3 - протекание индуктивного тока по распределённой ёмкости линии;
- 4 - резонанс в RLC-контуре, образуемой ёмкостью проводов линии, их индуктивностью и активным сопротивлением.

Верный ответ: 1

4. Какие технические решения Вы можете предложить, чтобы максимальное значение напряжения в дальней линии электропередачи высокого напряжения не превысило бы её наибольшего рабочего напряжения?

Ответы:

- 1 - включение индуктивности в рассечку линии;
- 2 - включение ёмкости между линией и землёй;
- 3 - включение ёмкости в рассечку линии в её середине;
- 4 - включение шунтирующего реактора (индуктивности) между линией и землёй в середине или в конце линии.

Верный ответ: 3 и 4

5. Какие физические процессы объединяет в себе понятие диэлектрических потерь в электрической изоляции?

Ответы:

- 1 - затраты энергии на поляризацию диэлектрика;
- 2 - потери энергии на поляризацию диэлектрика, его нагрев протекающим в нём активным током и частичными разрядами (если они имеют место);
- 3 - затраты энергии на нагрев диэлектрика протекающим в нём активным током;
- 4 - затраты энергии на нагрев диэлектрика частичными разрядами (если они возникают).

Верный ответ: 2

6. Что определяет тангенс угла диэлектрических потерь?

Ответы:

- 1 - суммарную величину диэлектрических потерь в изоляции;
- 2 - мощность тепловых потерь в изоляции;
- 3 - мощность потерь в изоляции, обусловленных частичными разрядами;

4 - мощность диэлектрических потерь в изоляции.

Верный ответ: 4

7. Что такое частичный разряд в электрической изоляции?

Ответы:

1 - электрический пробой твёрдого диэлектрика;

2 - электрический пробой разрядного промежутка по поверхности твёрдого диэлектрика;

3 - электрический разряд в газовом включении в жидком или твёрдом диэлектрике;

4 - механическое разрушение твёрдого диэлектрика вследствие его электрического пробоя.

Верный ответ: 3

8. Какое влияние оказывает длительное существование частичных разрядов на диэлектрик, в котором они развиваются?

Ответы:

1 - деполимеризация диэлектрика, вследствие которой увеличивается газовое включение в нём и возникают условия для последующего пробоя изоляции;

2 - увеличение интенсивности старения изоляции;

3 - пробой изоляции;

4 - механическое старение изоляции.

Верный ответ: 1 и 2

9. Что означает увеличение тангенса угла диэлектрических потерь с ростом напряжения, приложенного к изоляционной конструкции?

Ответы:

1 - электрический пробой одного из слоёв диэлектрика в многослойной изоляционной конструкции;

2 - пробой всей изоляционной конструкции;

3 - появление частичных разрядов в изоляционной конструкции;

4 - начало развития скользящих разрядов по поверхности изоляционной конструкции.

Верный ответ: 3

10. Что такое  $U_{чр}$ ?

Ответы:

1 - напряжение, приложенное к изоляционной конструкции, в момент появления в ней частичных разрядов;

2 - напряжение, приложенное к газовому включению в изоляционной конструкции, в момент появления в нём частичного разряда;

3 - напряжение на источнике питания в момент появления в изоляционной конструкции частичных разрядов.

Верный ответ: 1

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 70*

*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

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***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.