

**Приложение 2 к РПД Техника высоких напряжений  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Направленность (профиль) – Высоковольтные  
электроэнергетика и электротехника  
Форма обучения – заочная  
Год набора - 2017**

**ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**1. Общие сведения**

1.	Кафедра	Физики, биологии и инженерных технологий
2.	Направление подготовки	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
3.	Направленность (профиль)	Высоковольтные электроэнергетика и электротехника
4.	Дисциплина (модуль)	Техника высоких напряжений
5.	Форма обучения	заочная
6.	Год набора	2017

**2. Перечень компетенций**

– способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (ОПК-2);

– готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности (ПК-5);

## 1. Критерии и показатели оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Этап формирования компетенции (разделы, темы дисциплины)	Формируемая компетенция	Критерии и показатели оценивания компетенций			Формы контроля сформированности компетенций
		Знать:	Уметь:	Владеть:	
<p><b>Основные положения курса.</b> Основные направления и задачи ТВН в энергетике, электротехнологии, физике. Общая характеристика содержания курса ТВН. Основные промышленные и научно-технические центры развития ТВН в России и за границей. Работы ученых в области ТВН. Основные проблемы развития электроэнергетики. Влияние энергосистем СВН и УВН на окружающую среду.</p>	ОПК-2 ПК-5	требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и устройств защиты от перенапряжений			Реферат
<p><b>Высоковольтная изоляция.</b> Внешняя изоляция. Изоляция высоковольтных ЛЭП. Роль газовых диэлектриков в изоляции электрических установок и аппаратов высокого напряжения. Общая характеристика газового разряда. Способы повышения разрядных напряжений в практических конструкциях (применение экранов, ребер, выравнивание распределения напряжения при помощи полупроводящих покрытий).</p>	ОПК-2 ПК-5		выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи	навыками измерения и анализа диагностических параметров изоляции высоковольтного оборудования, решения задач техники высоких напряжений с помощью специализированного программного обеспечения	Защита лабораторных работ, решение задач,
<p>Внутренняя изоляция. Требования, предъявляемые к изоляции, условия ее работы в электрических аппаратах и конструкциях.</p>	ОПК-2 ПК-5		выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи		Решение задач, реферат
<p><b>Изоляционные конструкции оборудования высокого напряжения.</b> Классификация видов изоляции энергетических систем и краткая их характеристика. Изоляция</p>	ОПК-2 ПК-5	требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и устройств защиты от	выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты	навыками измерения и анализа диагностических параметров изоляции	Решение задач, реферат

конденсаторов, трансформаторов, вращающихся машин и кабелей.		перенапряжений	открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи	высоковольтного оборудования, решения задач техники высоких напряжений с помощью специализированного программного обеспечения	
Задачи и цели профилактики изоляции. Явления в многослойных диэлектриках и физические основы методов профилактики.	ОПК-2 ПК-5				
Методы контроля изоляции и профилактических испытаний. Аппаратура, используемая при профилактических испытаниях. Профилактика изоляции высоковольтных конструкций.	ОПК-2 ПК-5	требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и устройств защиты от перенапряжений			
<b>Молниезащита и грозовые перенапряжения.</b> Грозозащита линий электропередачи. Разряд молнии. Физика индуцированных перенапряжений и перенапряжений прямого удара молнии. Параметры молнии. Молниеотводы и их зоны защиты.	ОПК-2 ПК-5	требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и устройств защиты от перенапряжений	выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи		Защита лабораторных работ
Определение числа грозовых отключений линии. Грозозащита подстанций от ПУМ и приходящих волн. Определение напряжения на вентильном разряднике при набегании волны с ЛЭП. Допустимое расстояние между трансформатором и разрядником.	ОПК-2 ПК-5		выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи		
Предельные параметры волн, набегающих на подстанцию. Выбор длины грозозащитного подхода. Типовая схема грозозащиты подстанции от набегающих волн.	ОПК-2 ПК-5	требования Руководящего документа “Объём и нормы испытаний электрооборудования”			
<b>Внутренние перенапряжения.</b> Классификация перенапряжений. Общая характеристика внешних и внутренних	ОПК-2 ПК-5	требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и			Решение задач, реферат

перенапряжений, их кратность, длительность. Внутренние перенапряжения: перенапряжения при отключении ненагруженных линий и емкостей; перенапряжения при отключении индуктивностей и ненагруженных трансформаторов; перенапряжения при несимметричных к.з.; феррорезонанс; перенапряжения в системах с изолированной нейтралью. Перенапряжения при перемежающихся дугах. Дугогасящие аппараты, смещение нейтрали. Заземление нейтралей электрических систем. Виды заземления нейтрали.		устройств защиты от перенапряжений			
<b>Координация изоляции.</b> Проблема координации изоляции. Приведение изоляции к «норме». Защитные разрядники. Типы разрядников, их назначение и основные требования к ним. Принципы защиты. Искровой защитный промежуток, принцип действия, конструкция, достоинства и недостатки. Трубочатые разрядники. Принцип действия, устройство. Достоинства и недостатки. Пределы отключаемых токов.	ОПК-2 ПК-5	требования Руководящего документа “Объем и нормы испытаний электрооборудования”	выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи	навыками измерения и анализа диагностических параметров изоляции высоковольтного оборудования, решения задач техники высоких напряжений с помощью специализированного программного обеспечения	Реферат, решение задач
Вентильные разрядники. Принцип действия. Конструкции. Характеристики искровых промежутков и рабочих сопротивлений. Вентильные разрядники с магнитным гашением дуги. Принцип действия и параметры. Высоконелинейные окисноцинковые ограничители перенапряжений. Принцип действия и конструкция. Условия работы.	ОПК-2 ПК-5		определять необходимые параметры нелинейных ограничителей перенапряжений и вентильных разрядников		
<b>Методы испытаний и диагностики изоляции.</b> Высоковольтное испытательное оборудование и измерения Методы	ОПК-2 ПК-5	требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и устройств защиты от	выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты	навыками измерения и анализа диагностических параметров изоляции	Защита лабораторных работ

<p>получения высоких постоянных и переменных напряжений их краткая характеристика. Испытательные трансформаторы.</p>		перенапряжений	открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи	высоковольтного оборудования, решения задач техники высоких напряжений с помощью специализированного программного обеспечения	
<p>Генераторы импульсных напряжений. Методы измерения высоких напряжений и импульсных токов и их краткая характеристика. Измерение высоких постоянных, переменных и импульсных напряжений шаровыми разрядниками.</p>	ОПК-2 ПК-5				Защита лабораторных работ
<p>Измерение высоких напряжений электростатическими вольтметрами. Измерение импульсных токов ферромагнитными регистраторами. Применение делителей напряжения и электронных осциллографов для измерения высоких напряжений.</p>	ОПК-2 ПК-5	<p>требования Правил устройства электроустановок применительно к выбору изоляционных расстояний и устройств защиты от перенапряжений</p>	<p>выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи</p>		Защита лабораторных работ

## Критерии и шкалы оценивания

### 1. Решение задач

3 балла выставляется, если студент решил все рекомендованные задачи, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

2 балла выставляется, если студент решил не менее 85% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

1 балла выставляется, если студент решил не менее 65% рекомендованных задач, правильно изложил все варианты их решения, аргументировав их, с обязательной ссылкой на соответствующие нормативы (если по содержанию это необходимо).

0 баллов - если студент выполнил менее 50% задания, и/или неверно указал варианты решения.

### 2. Критерии оценки реферата

Баллы	Характеристики ответа студента
3	<ul style="list-style-type: none"><li>- студент глубоко и всесторонне усвоил тему;</li><li>- уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;</li><li>- умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;</li><li>- делает выводы и обобщения;</li><li>- свободно владеет понятиями</li></ul>
2	<ul style="list-style-type: none"><li>- студент твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на знания основной литературы;</li><li>- не допускает существенных неточностей;</li><li>- аргументирует научные положения;</li><li>- делает выводы и обобщения;</li><li>- владеет системой основных понятий</li></ul>
1	<ul style="list-style-type: none"><li>- тема раскрыта недостаточно четко и полно, то есть студент освоил проблему, по существу излагает ее, опираясь на знания только основной литературы;</li><li>- допускает несущественные ошибки и неточности;</li><li>- слабо аргументирует научные положения;</li><li>- затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li><li>- частично владеет системой понятий</li></ul>
0	<ul style="list-style-type: none"><li>- студент не усвоил значительной части проблемы;</li><li>- допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении ее;</li><li>- не может аргументировать научные положения;</li><li>- не формулирует выводов и обобщений;</li><li>- не владеет понятийным аппаратом</li></ul>

### 3. Защита лабораторных работ

Баллы	Характеристики ответа студента
6	<ul style="list-style-type: none"><li>- в полном объеме выполнено задание;</li><li>- опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью;</li><li>- делает выводы и обобщения;</li><li>- свободно владеет понятиями</li></ul>

4	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнено не менее 85% задания;</li> <li>- студент твердо усвоил тему, грамотно и по существу излагает ее, опираясь на знания основной литературы;</li> <li>- не допускает существенных неточностей;</li> <li>- увязывает усвоенные знания с практической деятельностью;</li> <li>- аргументирует научные положения;</li> <li>- делает выводы и обобщения;</li> <li>- владеет системой основных понятий</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнено не менее 65% задания;</li> <li>- допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>- испытывает затруднения в практическом применении знаний;</li> <li>- слабо аргументирует научные положения;</li> <li>- затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>- частично владеет системой понятий</li> </ul>
0	<ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнено менее 50% задания;</li> <li>- студент не усвоил значительной части проблемы;</li> <li>- допускает существенные ошибки и неточности;</li> <li>- испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>- не может аргументировать научные положения;</li> <li>- не формулирует выводов и обобщений;</li> <li>- не владеет понятийным аппаратом</li> </ul>

***Типовые контрольные задания и методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы***

**Тематика лабораторных работ:**

- Разряды в воздухе при переменном напряжении
- Эффект полярности и влияние барьеров на электрическую прочность воздушных промежутков на постоянном напряжении
- Характеристики короны на проводах различного сечения
- Электрические разряды по поверхности твёрдого диэлектрика
- Распределение напряжения по поверхности твердого диэлектрика
- Профилактические испытания изоляции высоковольтного трансформатора
- Определение вольтамперной характеристики ограничителя перенапряжений

**Пример тем рефератов:**

1. Электрические свойства электроизоляционных материалов.
2. Внешняя изоляция электроустановок. Воздух как основной изолятор внешней изоляции.
3. Грозовые перенапряжения в электрических системах и их ограничение
4. Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничение.
5. Изоляция линий электропередач и открытых распределительных устройств.
6. Изоляция электрических машин, конденсаторов и трансформаторов.
7. Способы ограничения феррорезонансных перенапряжений.
8. Контроль состояния изоляции по интенсивности частичных разрядов
9. Схемные мероприятия и средства ограничения установившихся перенапряжений.
10. Способы защиты электрооборудования от коммутационных перенапряжений
11. Свойства твердой изоляции.
12. Газовая и вакуумная изоляции.

## Задачи

- Определить напряжение на изоляции силовых трансформаторов при набегании на подстанцию прямоугольной волны амплитудой  $2 U_n$  длиной  $2 \mu\text{с}$  при наличии на подстанции конденсатора связи ёмкостью  $3000 \text{ пФ}$ .

Решение:

Найдем крутизну поперечной волны с учетом влияния С.

$$\alpha = \frac{2 \cdot U_n}{Z_1 \cdot C} = \frac{2 \cdot 115}{3 \cdot 10^{-9} \cdot 0,4 \cdot 3000} = 6,4 \cdot 10^4 \text{ В/м} = 64 \text{ кВ/м}$$

$$U_{\max} = U_n \alpha \cdot (1 - e^{-\frac{2\mu}{T}}) = 115 \cdot (1 - e^{-\frac{2}{10^{-6}}}) = 115 \cdot 0,736 = 84,64 \text{ кВ}$$

Ответ:  $U_{\max} = 84,64 \text{ кВ}$

- В процессе экспериментального исследования электрической прочности газового промежутка в десяти опытах были измерены следующие значения разрядных напряжений: 40; 40,5; 37; 40; 42; 41; 43; 40; 39; 39,5 кВ. Оценить 50 %-ное значение разрядного напряжения и его среднее квадрати-ческое отклонение.
- Определить расчетное напряжение промышленной частоты при нормальных атмосферных условиях для воздушного промежутка игла - заземленная плоскость с расстоянием между электродами  $27 \text{ см}$ .
- Определить расчетное напряжение полного грозового импульса отрицательной полярности при нормальных атмосферных условиях для воздушного промежутка стержень - заземленная плоскость. Длина изоляци-онного промежутка равна  $70 \text{ см}$ .
- Между пластинами плоскопараллельного конденсатора находится диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$ . Расстояние между пластинами конденсатора  $s = 0,5 \text{ см}$ . К конденсатору приложено напряжение  $1000 \text{ В}$ . Найти величину электрического смещения  $D$  в диэлектрике. Электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ .
- Оценить величину  $\text{tg} \delta$  для промышленного трансформаторного масла на частоте переменного электрического поля  $50 \text{ Гц}$  при температуре  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Удельное сопротивление масла в нормальных условиях равно  $10^{13} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ; действительная относительная диэлектрическая проницаемость -  $2,2$ ; температурный коэффициент для проводимости -  $0,02$ ; электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ .
- Оценить мощность диэлектрических потерь переменного электрического поля частотой  $50 \text{ Гц}$  с напряженностью  $100 \text{ кВ/см}$  в  $1 \text{ см}^3$  промышленного трансформаторного масла. Для масла  $\text{tg} \delta = 1,6 \cdot 10^{-3}$ , относительная диэлектрическая проницаемость -  $2,2$ .
- Определить расчетное напряжение частотой  $50 \text{ Гц}$  для промежутка между двумя коаксиальными цилиндрами с наружным и внутренним радиусами, равными соответственно  $10$  и  $1 \text{ см}$ .
- Определить расчетное напряжение полного грозового импульса отрицательной полярности для масляного промежутка игла - плоскость. Длина изоляционного промежутка равна  $33 \text{ см}$ .
- В твердом диэлектрике с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_d = 4$ , расположенном между электродами плоского конденсатора, имеются газовые включения. Расстояние между электродами  $s = 0,5 \text{ см}$ . Относительная диэлектрическая проницаемость газа включения  $\epsilon_r = 1$ . Известно, что самостоятельные разряды в данных включениях возникают при достижении напряженности электрического поля величины  $E_\delta = 27 \text{ кВ/см}$ .



Определить напряжение между электродами, при котором в конденсаторе начнут возникать частичные разряды.

– Между плоскопараллельными металлическими пластинами конденсатора помещен диэлектрик толщиной 4 мм с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_d = 4$ . Оставшаяся часть межэлектродного пространства толщиной 6 мм заполнена при нормальных условиях воздухом. Определить величину постоянного напряжения между пластинами конденсатора, при котором в его воздушном слое начнет возникать самостоятельный разряд.

– К конденсатору, между пластинами которого находится твердый диэлектрик, приложено напряжение 5 кВ. Определить величину энергии, рассеиваемой в газовом включении твердого диэлектрика при частичном разряде с кажущимся зарядом  $10^{-15}$  Кл.

– Между пластинами плоского конденсатора площадью  $100 \text{ см}^2$  расположена двухслойная изоляция толщиной по 1 мм каждый слой. Относительные диэлектрические проницаемости изоляции каждого слоя равны  $\epsilon_1 = 2,5$ ;  $\epsilon_2 = 4,5$ , а их проводимости - соответственно  $\sigma_1 = 10^{-16} \text{ См/см}$ ;  $\sigma_2 = 10^{-17} \text{ См/см}$ . К конденсатору приложили постоянное напряжение 1 кВ. Определить величину заряда на пластинах конденсатора и величину заряда абсорбции на границе слоев изоляции через 30 мин после приложения напряжения. Внутренним сопротивлением источника напряжения пренебречь. Электрическая постоянная  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2/(\text{Н м}^2)$ .

– Рассчитать сопротивление и импульсный коэффициент заземлителя подстанции в виде сетки из горизонтальных полос, по периметру которой в узлах сетки установлены вертикальные электроды длиной 10 м. Размер подстанции –  $25 \times 25$  м, размер ячейки сетки –  $5 \times 5$  м; удельное сопротивление грунта  $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ; ток молнии 50 кА.

– Рассчитать и построить зону защиты двухстержневого молниеотвода. Высота каждого молниеотвода – 30 м, расстояние между молниеотводами – 100 м.

– Рассчитать вероятность прорыва молнии через тросовую защиту линии электропередачи 220 кВ. Высота стальной опоры П220-3 – 36 м; высота расположения троса относительно верхней траверсы – 4 м; длина верхней траверсы – 3,5 м; длина поддерживающей гирлянды – 2,4 м.

### Контрольные вопросы по всему курсу

1. Историческая справка развития техники высокого напряжения.
2. Что изучает наука ТВН?
3. Что относится к внутренней изоляции электроустановок?
4. Что относится к внешней изоляции электроустановок?
5. Какие виды перенапряжений в электроустановках Вы знаете?
6. Возможно ли ограничение перенапряжений?
7. Дайте определение свободным и связанным зарядам. Какие реально существующие частицы могут быть свободными заряженными частицами, а какие считаются связанными?
8. Какое действие производит электрическое поле на свободный заряд и на связанный?
9. Дайте определение понятий – качественная и количественная характеристики свойств материалов.
10. Что такое поляризация диэлектриков?
11. Что такое электропроводность материалов?
12. Что такое диэлектрические потери?
13. Что такое электрический пробой диэлектрика?
14. Объясните зависимость количественных характеристик свойств материалов от внешних условий ( температуры, давления, влажности и т.д. )
15. Дайте общую характеристику внешней изоляции электроустановок и ЛЭП.

16. Какую роль играет атмосферный воздух во внешней изоляции?
17. Назначение и типы изоляторов.
18. Какие виды и условия испытаний элементов внешней изоляции?
19. Объясните условия и технологию испытаний внешней изоляции переменным напряжением.
20. Объясните условия и технологию испытаний внешней изоляции грозowymi импульсами.
21. Что такое электрический пробой диэлектрика?
22. Какие виды ионизации Вы знаете при пробое воздушного промежутка?
23. Электрические разряды по поверхности твердых диэлектриков.
24. Распределение напряжения по длине гирлянды изоляторов.
25. Что включает в себя внутренняя изоляция?
26. Какие требования предъявляются к внутренней изоляции электроустановок?
27. Что такое старение внутренней изоляции? Какие разновидности старения Вы знаете?
28. Как зависит электрическая прочность внутренней изоляции от времени приложения напряжения?
29. Вольт-секундные характеристики внутренней изоляции.
30. Объясните устройство масло – барьерной изоляции.
31. Свойства твердой изоляции.
32. Объясните технологию изготовления бумажно-масляной изоляции.
33. Газовая и вакуумная изоляции.
34. Что такое градирование изоляции?
35. Применение конденсаторных обкладок для выравнивания однородности электрического поля во внутренней изоляции.
36. Применение полупроводниковых покрытий для выравнивания однородности электрического поля во внутренней изоляции.
37. Какие рабочие напряжения приняты в электрических системах России?
38. Коронный разряд на линиях электропередач. Виды и характеристики коронного разряда на проводах линий электропередач.
39. Потери энергии на корону. Экологическое влияние коронного разряда.
40. Как выбираются изоляторы в зависимости от загрязнённости атмосферы?
41. Какие разновидности старения внутренней изоляции Вы знаете?
42. Частичные разряды во внутренней изоляции. Как они влияют на интенсивность старения изоляции?
43. Влияние механических и тепловых нагрузок на скорость старения изоляции.
44. Какие способы контроля существуют для контроля качества внутренней изоляции?
45. Молния как источник грозowych перенапряжений.
46. Электрические характеристики молнии.
47. Расскажите о принципе действия молниеотводов.
48. Как определяется зона защиты молниеотвода?
49. Заземление молниеотводов.
50. Конструкция молниеотводов.
51. Какие основные способы защиты от грозowych перенапряжений Вы знаете?
52. Объясните принцип работы вентильных ограничителей перенапряжений.
53. Как осуществляется молниезащита воздушных линий электропередач? подстанций?