

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ**  
**ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
**(БГТУ им. В.Г. Шухова)**

  
**СОГЛАСОВАНО**  
Директор института заочного обучения  
  
М.Н. Нестеров  
« 15 » 10 2015г.

  
**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор энергетического института  
  
А.В. Белоусов  
« 15 » 10 2015г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**дисциплины**

**ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ**

направление подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электроснабжение

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

заочная

**Энергетический институт**

**Кафедра электроэнергетики и автоматики**

Белгород – 2015


Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 955 от 3 сентября 2015 г;
- плана учебного процесса БГТУ им. В.Г. Шухова, введенного в действие в 2015 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент  А.Н. Семернин

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматики

« 13 » 10 2015 г., протокол № 2

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  А.В. Белоусов

Рабочая программа одобрена методической комиссией энергетического института

« 15 » 10 2015 г., протокол № 2

Председатель: канд. техн. наук, доцент  А.Н. Семернин

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

| Формируемые компетенции     |                 |   | Требования к результатам обучения  |
|-----------------------------|-----------------|---|--|
| №                           | Код компетенции | Компетенция   |  |
| <b>Общепрофессиональные</b> |                 |   |  |
| 1                           | ОПК-2           | Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретические и экспериментальные исследования при решении профессиональных задач  | <p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>знать:</b> закономерности электрофизических процессов, протекающих в диэлектриках при воздействии высокого напряжения и их математическое описание; методы испытаний и контроля состояния изоляции с целью её проектирования и эксплуатации;</p> <p><b>уметь:</b> применять физико-математический аппарат для определения основных параметров электроразрядных процессов, выбирать рациональные условия надежного функционирования изоляции высоковольтного электрооборудования;</p> <p><b>владеть:</b> методиками выполнения расчетов и экспериментальных исследований электрофизических параметров электроизоляционных материалов с использованием специализированного программного обеспечения</p> |
| <b>Профессиональные</b>     |                 |   |  |
| 1                           | ПК-3            | Способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования. | <p>В результате освоения дисциплины обучающийся должен</p> <p><b>знать:</b> механизмы развития грозовых и внутренних перенапряжений и проектирование способов борьбы с ними;</p> <p><b>уметь:</b> выбирать изоляционные расстояния, оценивать надёжность молниезащиты открытых распределительных устройств и воздушных линий электропередачи;</p> <p><b>владеть:</b> методами определения уровня перенапряжения в сетях и расчетами потерь на корону воздушных линий электропередач при различной погоде</p>   |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Содержание дисциплины основывается и является логическим продолжением следующих дисциплин:

| № | Наименование дисциплины                   |
|---|---|
| 1 | Высшая математика                         |
| 2 | Физика                                    |
| 3 | Теоретические основы электротехники       |
| 4 | Электрические аппараты                    |
| 5 | Электротехническое материаловедение       |
| 6 | Электроснабжение                          |
| 7 | Основы электропривода                     |
| 8 | Управление электромеханическими системами |

Содержание дисциплины служит основой для изучения следующих дисциплин:

| № | Наименование дисциплины (модуля)                               |
|---|--|
| 1 | Эксплуатация систем электроснабжения                           |
| 2 | Электроэнергетические системы и сети                           |
| 3 | Релейная защита и автоматика                                   |
| 4 | Электрические станции и подстанции                             |
| 5 | Коммутационные и защитные аппараты в системах электроснабжения |
| 6 | Эксплуатация электрооборудования станций и подстанций          |
| 7 | Государственная итоговая аттестация                            |

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зач. единиц, 144 часа

| Вид учебной работы                                     | Всего часов | Семестр № 8 | Семестр № 9  |
|--|-------------|-------------|--------------|
| Общая трудоемкость дисциплины, час                     | 144         | 2           | 142          |
| <b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b> | 18          | 2           | 16           |
| лекции   | 10          | 2           | 8            |
| лабораторные   | –           | –           | –            |
| практические   | 8           | –           | 8            |
| <b>Самостоятельная работа студентов, в том числе:</b>  | 126         | –           | 126          |
| Курсовой проект  | –           | –           | –            |
| Курсовая работа  | –           | –           | –            |
| Расчетно-графические задания                           | 18          | –           | 18           |
| Индивидуальное домашнее задание                        | –           | –           | –            |
| Другие виды самостоятельной работы                     | 72          | –           | 72           |
| Форма промежуточная аттестация (зачет, экзамен)        | 36          | –           | Экзамен (36) |

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 4 Семестр 8

| № п/п   | Наименование раздела (краткое содержание)  | Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час |              |                      |                        |
|---|--|---|--------------|----------------------|------------------------|
|   |  | Лекции  | Практические | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа |
| 1. Предмет и задачи курса. Общие понятия и определения. |  |   |              |                      |                        |
| 1.1   | Цель и задачи дисциплины. Потери электрической энергии при передаче по проводам. Сокращение потерь при передаче электроэнергии. Пляска проводов на воздушных линиях электропередачи и способы борьбы с нею | 2   | -            | -                    | -                      |
| <b>ВСЕГО:</b>   |  | <b>2</b>  | <b>-</b>     | <b>-</b>             | <b>-</b>               |

#### Курс 5 Семестр 9

| № п/п                                 | Наименование раздела (краткое содержание)   | Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час |              |                      |                        |
|---------------------------------------|---|---|--------------|----------------------|------------------------|
|                                       |   | Лекции  | Практические | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа |
| 1.2                                   | История развития техники высоких напряжений. Основные виды электрической изоляции. Конфигурация электрических полей   | -   | -            | -                    | 4                      |
| 2. Электрофизические процессы в газах |   |   |              |                      |                        |
| 2.1                                   | Ионизационные процессы в газе. Ударная ионизация, ступенчатая ионизация, фотоионизация, термоионизация. Механизм развития лавины электронов под действием электрического поля. Определение числа электронов в лавине  | 1   | 2            | -                    | 4                      |
| 2.2                                   | Условие самостоятельности разряда. Механизм перехода лавинного разряда в стримерный. Закон Пашена. Разряды в неоднородных полях. Эффект полярности. Распределение напряженности поля в межэлектродном промежутке при наличии барьера и различной полярности стержня | 1   | -            | -                    | 4                      |
| 2.3                                   | Влияние времени приложения напряжения на электрическую прочность газовой изоляции. Возникновение коронного разряда. Потери энергии при  | 1   | -            | -                    | 4                      |

| №<br>п/п  | Наименование раздела<br>(краткое содержание)   | Объем на тематический<br>раздел по видам учебной<br>нагрузки, час |              |                         |                           |
|---|--|---|--------------|-------------------------|---------------------------|
|   |  | Лекции  | Практические | Лабораторные<br>занятия | Самостоятельная<br>работа |
|   | коронировании. Развитие разряда в воздухе по поверхности изоляторов. Механизм возникновения разряда вдоль загрязненной поверхности изолятора   |   |              |                         |                           |
| 3. Электрофизические процессы в жидких и твердых диэлектриках |  |   |              |                         |                           |
| 3.1   | Механизм пробоя жидких диэлектриков. Влияние влаги и микропримесей на пробой жидких диэлектриков. Влияние давления и температуры на пробой. Влияние длительности приложенного напряжения на пробой. Влияние материала электродов, расстояния между ними и полярности. Барьерный эффект | 1   | -            | -                       | 6                         |
| 3.2   | Классификация нефтяного трансформаторного масла и его электрические свойства. Зависимости электрической прочности нефтяного трансформаторного масла от содержания в нем влаги и температуры. Старение нефтяного трансформаторного масла  | -   | 2            | -                       | 6                         |
| 3.3   | Механизм пробоя твердой изоляции. Возникновение частичных разрядов и их влияние на качество изоляции. Зависимость $\tan \delta$ от напряжения для изоляции с воздушными включениями  | 1   | -            | -                       | 4                         |
| 4. Изоляционные конструкции высокого напряжения               |  |   |              |                         |                           |
| 4.1   | Изоляция воздушных линий электропередачи. Опорные изоляторы, проходные изоляторы, высоковольтные вводы   | -   | -            | -                       | 4                         |
| 4.2   | Изоляция силовых конденсаторов. Расчет емкости конденсаторов. Основные материалы, применяемые в высоковольтных конденсаторах и их характеристики. Основы электрического расчета косинусных конденсаторов   | -   | -            | -                       | 6                         |
| 4.3   | Изоляция трансформаторов высокого напряжения. Изоляция трансформаторов тока и напряжения. Изоляция силовых трансформаторов   | -   | -            | -                       | 4                         |
| 4.4   | Изоляция силовых кабелей высокого напряжения. Кабели с вязкой пропиткой, маслонеполненные кабели. Газонаполненные кабели. Кабели в стальных трубах под давлением масла или газа. Кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией. Изоляция электрических машин высокого напряжения      | -   | 2            | -                       | 6                         |
| 5. Перенапряжения и защита от них.                            |  |   |              |                         |                           |

| № п/п   | Наименование раздела (краткое содержание)  | Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час |              |                      |                        |
|---|--|---|--------------|----------------------|------------------------|
|   |  | Лекции  | Практические | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа |
| 5.1   | Молниезащита и грозовые перенапряжения. Молниеотводы и их защитное действие. Общие требования к устройству молниезащиты зданий. Категории устройства молниезащиты и тип зоны защиты. Расчет молниезащиты | 2   | -            | -                    | 4                      |
| 5.2   | Внутренние перенапряжения в сетях. Защитные разрядники. Трубочатые разрядники. Вентильные разрядники. Ограничители перенапряжений.   | -   | -            | -                    | 4                      |
| 5.3   | Защита сетей напряжением 220/380В от внутренних и внешних перенапряжений. Защита от импульсных перенапряжений – внутренняя молниезащита. Координация изоляции  | -   | -            | -                    | 4                      |
| <b>6. Методы испытания и диагностики изоляции</b> |  |   |              |                      |                        |
| 6.1   | Измерение сопротивления изоляции электрооборудования. Определение степени увлажненности изоляции. Измерение диэлектрических потерь изоляции. Профилактические испытания высоким напряжением              | 1   | -            | -                    | 2                      |
| 6.2   | Неразрушающие неэлектрические методы контроля. Методы контроля изоляции при рабочем напряжении. Методы непрерывного контроля изоляции  | -   | -            | -                    | 2                      |
| 6.3   | Методы испытания и диагностики кабельных линий с изоляцией из шитого полиэтилена. Испытания силовых трансформаторов. Тепловизионный контроль электрооборудования   | -   | 2            | -                    | 4                      |
| <b>ВСЕГО:</b>                                     |  | <b>8</b>  | <b>8</b>     | <b>-</b>             | <b>72</b>              |

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

| № п/п      | Наименование раздела дисциплины                            | Тема практического (семинарского) занятия   | К-во часов | К-во часов СРС |
|------------|--|---|------------|----------------|
| семестр №9 |  |   |            |                |
| 1          | Электрофизические процессы в газах                         | Экспериментальное исследование электрических разрядов в газах                                   | 2          | 2              |
| 2          | Электрофизические процессы в жидких и твердых диэлектриках | Методы испытаний трансформаторного масла на электрическую прочность и температуру вспышки паров | 2          | 2              |

| № п/п         | Наименование раздела дисциплины              | Тема практического (семинарского) занятия  | К-во часов | К-во часов СРС |
|---------------|--|--|------------|----------------|
| 3             | Изоляционные конструкции высокого напряжения | Расчет емкости силовых конденсаторов. Основы электрического расчета косинусных конденсаторов | 2          | 2              |
| 4             | Методы испытания и диагностики изоляции      | Тепловизионная диагностика высоковольтного электрооборудования                               | 2          | 2              |
| <b>ВСЕГО:</b> |  |  | <b>8</b>   | <b>8</b>       |

#### 4.3.Содержание лабораторных занятий

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены.

### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 5.1. Перечень контрольных вопросов (типовых заданий)

| № п/п | Наименование раздела дисциплины                     | Содержание вопросов (типовых заданий)  |
|-------|---|--|
| 1     | Предмет и задачи курса. Общие понятия и определения | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Потери электрической энергии при передаче по проводам и способы сокращения потерь.</li> <li>2. Причины возникновения пляски в проводах на воздушных линиях электропередачи и способы борьбы с нею.</li> <li>3. Этапы развития техники высоких напряжений.</li> <li>4. Виды электрической изоляции.</li> <li>5. Конфигурация электрических полей.</li> </ol>  |
| 2     | Электрофизические процессы в газах                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>6.Ионизационные процессы в газе.</li> <li>7. Понятия: ударная ионизация, ступенчатая ионизация, фотоионизация, термоионизация.</li> <li>8. Механизм развития лавины электронов под действием электрического поля. Определение числа электронов в лавине.</li> <li>9. Условие самостоятельности разряда.</li> <li>10. Механизм перехода лавинного разряда в стримерный</li> <li>11. Закон Пашена.</li> <li>12. Разряды в неоднородных полях.</li> <li>13. Эффект полярности несимметричных электродов.</li> <li>14. Как распределяется напряженность поля в межэлектродном промежутке при наличии барьера и различной полярности стержня.</li> </ol> |



| №<br>п/п | Наименование<br>раздела дисциплины                         | Содержание вопросов (типовых заданий)   |
|----------|--|---|
|          |  | <p>15. Влияние времени приложения напряжения на электрическую прочность газовой изоляции.</p> <p>16. Возникновение коронного разряда.</p> <p>17. Потери энергии при коронировании проводов.</p> <p>18. Развитие разряда в воздухе по поверхности изоляторов.</p> <p>19. Механизм возникновения разряда вдоль загрязненной поверхности изолятора.</p>  |
| 3        | Электрофизические процессы в жидких и твердых диэлектриках | <p>20. Механизм пробоя жидких диэлектриков.</p> <p>21. Влияние влаги и микропримесей на пробой жидких диэлектриков.</p> <p>22. Влияние давления и температуры на пробой.</p> <p>23. Влияние длительности приложенного напряжения на пробой.</p> <p>24. Влияние материала электродов, расстояния между ними и полярности.</p> <p>25. Барьерный эффект в электродном промежутке.</p> <p>26. Классификация нефтяного трансформаторного масла и его электрические свойства.</p> <p>27. Зависимости электрической прочности нефтяного трансформаторного масла от содержания в нем влаги и температуры.</p> <p>28. Старение нефтяного трансформаторного масла.</p> <p>29. Механизм пробоя твердой изоляции.</p> <p>30. Возникновение частичных разрядов и их влияние на качество изоляции.</p> <p>31. Зависимость <math>\tan \delta</math> от напряжения для изоляции с воздушными включениями.</p> |
| 4        | Изоляционные конструкции высокого напряжения               | <p>32. Изоляция воздушных линий электропередачи.</p> <p>33. Конструкция опорных, проходных изоляторов и высоковольтных вводов.</p> <p>34. Конструкция силовых конденсаторов.</p> <p>35. Материалы, применяемые в высоковольтных конденсаторах и их характеристики.</p> <p>36. Изоляция трансформаторов высокого напряжения. Изоляция силовых трансформаторов.</p> <p>37. Изоляция кабелей с вязкой пропиткой.</p> <p>38. Изоляция маслонеполненных кабелей.</p> <p>39. Конструктивные особенности газонаполненных кабелей.</p> <p>40. Конструктивные особенности кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией.</p> <p>41. Изоляция электрических машин высокого напряжения.</p>  |

| № п/п | Наименование раздела дисциплины         | Содержание вопросов (типовых заданий)  |
|-------|---|--|
| 5     | Перенапряжения и защита от них          | 42. Молниезащита и грозовые перенапряжения.<br>43. Молниеотводы и их защитное действие.<br>44. Общие требования к устройству молниезащиты зданий.<br>45. Категории устройства молниезащиты и тип зоны защиты.<br>46. Внутренние перенапряжения в сетях.<br>47. Защитные разрядники. Трубочатые разрядники. Вентильные разрядники. Ограничители перенапряжений.<br>48. Защита сетей напряжением 220/380В от внутренних и внешних перенапряжений.<br>49. Защита от импульсных перенапряжений – внутренняя молниезащита.  |
| 6     | Методы испытания и диагностики изоляции | 50. Измерение сопротивления изоляции электрооборудования.<br>51. Определение степени увлажненности изоляции.<br>52. Измерение диэлектрических потерь изоляции.<br>53. Профилактические испытания высоким напряжением.<br>54. Неразрушающие неэлектрические методы контроля.<br>55. Методы контроля изоляции при рабочем напряжении.<br>56. Методы непрерывного контроля изоляции.<br>57. Методы испытания и диагностики кабельных линий с изоляцией из шитого полиэтилена.<br>58. Испытания силовых трансформаторов.<br>59. Тепловизионный контроль электрооборудования. |

## **5.2. Перечень тем курсовых проектов, курсовых работ, их краткое содержание и объем**

Курсовой проект (курсовая работа) учебным планом не предусмотрен.

## **5.3. Перечень расчетно-графических заданий**

Выполнение РГЗ направлено на систематизацию, расширение и закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков студентов при самостоятельном выборе решений в соответствии с заданием и соблюдая различные технические и энергоэффективные требования. В процессе выполнения РГЗ у студентов должно сложиться четкое представление об основных свойствах и характеристиках в применяемых электротехнических конструкциях и физических процессах, происходящих в них при воздействии сильного электромагнитного поля.

РГЗ оформляется на листах формата А4 объемом до 10 страниц и включать в себя:

- титульный лист;
- лист задания;
- условие и развернутое (с пояснениями) решение задания № 1 с необходимыми расчетными схемами;
- условие и развернутое (с пояснениями) решение задания № 2 с необходимыми расчетными схемами;
- условие и развернутое (с пояснениями) решение задания № 3. По окончании расчетов необходимо представить рисунок зоны защитного одиночного стержневого молниеотвода по полученным результатам;

**Пример заданий по РГЗ:**

**Задача №1.** Высокочастотный коаксиальный кабель длиной  $l = 10$  см расположен на поверхности металлического корпуса блока (рис. 1), где цифрами обозначено: 1 — внутренний медный проводник диаметром  $D_1 = 0,7$  мм; 2 — внутренняя изоляция из полиэтилена ( $\epsilon_2 = 2,3$ ;  $\rho_2 = 10^{14}$  Ом·м); 3 — медная сетчатая оплетка с внутренним диаметром  $D_2 = 5,7$  мм и толщиной  $\delta = 0,3$  мм; 4 — наружный изолирующий слой толщиной  $h = 1$  мм, изготовленный из поливинилхлоридного пластика ( $\epsilon_4 = 6$ ;  $\rho_4 = 10^{11}$  Ом·м). Рассчитать емкость и сопротивление изоляции: а) между внутренним проводником и оплеткой, если кабель разомкнут на концах; б) между оплеткой кабеля и корпусом блока, считая, что поверхность кабеля соприкасается с корпусом 5 на участке размером  $\alpha = 1$  мм.

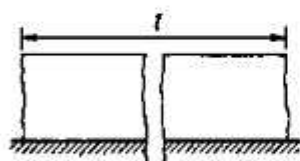


Рис. 1

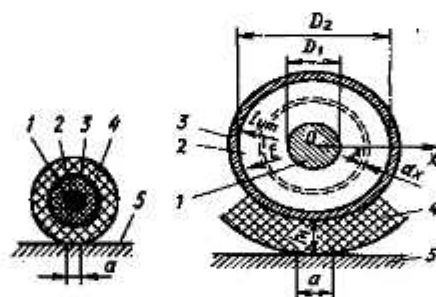


Рис. 2

**Задача №2.** Листовой изоляционный материал «миканит» состоит из девяти слоев бакелитового лака толщиной по 5 мкм, служащих диэлектрической связкой, и десяти слоев, содержащих частицы слюды толщиной по 25 мкм. Электрические свойства этих материалов указаны в приложении 4. Определить пробивное напряжение листа миканита, полагая, что для слюды  $E_{пр1} = 75$  МВ/м, для лака  $E_{пр2} = 50$  МВ/м: а) в постоянном электрическом поле; б) в переменном электрическом поле частотой 50 Гц. При расчете полагать, что параметры миканита не зависят от частоты.

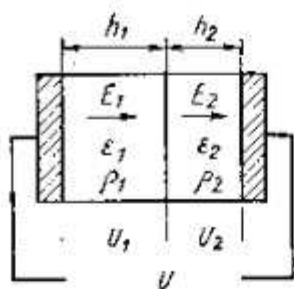


Рис.3

**Задача №3** Рассчитать высоту отдельно стоящего стержневого молниеотвода для защиты от прямых ударов молнии здания склада лакокрасочных материалов (ЛКМ) предприятия.

Здание имеет размеры:  $L = 27$  м;  $S = 18$  м;  $h = 6$  м.

#### 5.4. Перечень контрольных работ

Контрольная работа учебным планом не предусмотрена.

### 6. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### 6.1. Перечень основной литературы

1. Бочаров Ю.Н. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс]: учеб. пособие/ Ю.Н. Бочаров, С.М. Дудкин, В.В. Титков. – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 265с. – Режим доступа <http://www.iprbookshop.ru/43976.html>- ЭБС «IPRbooks», по паролю.

2. Харченко А.Ф. Техника высоких напряжений. Изоляция устройств электроснабжения железных дорог [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – М.: ФГБОУ «учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. -190с. - Режим доступа <http://www.iprbookshop.ru/26838.html> - ЭБС «IPRbooks», по паролю.

3. Важов В.Ф. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс]: курс лекций / В.Ф. Важов, В.А. Лавринович. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - 150с. Режим доступа [http://window.edu.ru/resource/234/75234/files/TVN\\_bac.pdf](http://window.edu.ru/resource/234/75234/files/TVN_bac.pdf)

#### 6.2. Перечень дополнительной литературы

1. Чайкина Л.П. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс]: Учебник. – М.: Маршрут, 2005. – 229с. - Режим доступа <http://www.iprbookshop.ru/16239.html> - ЭБС «IPRbooks», по паролю.

2. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы [Электронный ресурс]: учебн. пособие. – М.: Маршрут, 2005. – 280с. - Режим доступа <http://www.iprbookshop.ru/16281.html>- ЭБС «IPRbooks», по паролю.

3. Коробейников С.М. Электрофизические процессы в газообразных, жидких и твердых диэлектриках [Электронный ресурс]: учебн. пособие. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет,

2010. – 116с. – Режим доступа – ЭБС «IPRbooks»<http://www.iprbookshop.ru/45208.html>, по паролю.

4. Титков В.В. Физические основы техники высоких напряжений, сильных магнитных полей и токов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.В. Титков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун – та, 2011. – 185с. - Режим доступа <http://www.iprbookshop.ru/43983.html>- ЭБС «IPRbooks», по паролю.

### 6.3. Перечень интернет ресурсов

1. <http://www.energoboard.ru/articles/1208-vibratsiya-i-plyaska-provodov-na-vozdushnyh-liniyah-elektroperedachi.html> Вибрация и пляска проводов на воздушных линиях электропередачи.
2. <http://sermir.narod.ru/tryd/Posob/Index.htm> Коробейников С.М. Учебное пособие по диэлектрическим материалам. НГТУ.
3. youtube.com – “YouTube” – видеохостинг.
4. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы шестого и седьмого изд. с изм. и доп. по сост. на 1 мая 2012г. – М.: КНОРУС, 2012. – 488с. <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>
5. Справочник по электротехническим материалам. В 3 т./ Под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева – М.: Энергоатомиздат, Т. 1, 1986. – 355с. Т.2, 1987. – 457с. Т. 3, 1988. – 716с. <http://bookre.org/reader?file=532826>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Лекционные занятия проводятся в поточной аудитории оснащенной презентационной техникой (проектор, интерактивная доска).

Практические занятия проводятся в аудиториях оснащенных презентационной техникой с демонстрацией презентаций и видеофильмов (см. п. 6.3) кол-во видеофильмов 28 шт.

На практических занятиях изучаются приборы для испытания трансформаторного масла на электрический пробой АИМ -80 и АИМ – 90, прибор для определения температуры вспышки паров жидких диэлектриков ТВ-1. Измерение сопротивления изоляции выполняется мегаомметром М1101М.

Ионизационные процессы в газах изучаются с помощью бытового ионизатора “Ароион-25”, ионизатора-электрофильтра “СreenNara 10” модель: СР-10В и счетчик аэроионов МАС-01. Для измерения напряженности электрического поля используется широкополосный измеритель электрического поля “С.А. 43 (Chauvinfrinoux)”.

После завершения теоретического курса проводится экскурсия в ПАО «МРСК Центра»-«Белгородэнерго» с посещением испытательной лаборатории электроизоляционных материалов с целью практического знакомства с высоковольтным оборудованием, способами очистки и определением показателей качества трансформаторного масла, а также методами испытания средств защиты, используемых в электроустановках.

Для выполнения расчетно-графического задания студенты используют программное обеспечение:

- MathcadPrime 4.0 Express (свободно распространяемое ПО в соответствии с условиями лицензионного соглашения)
- Microsoft Windows 7 - № дог. 63-14к
- Microsoft Office 2013- № дог. 31401445414
- Solidworks 2012 - № дог. L101212-83М.

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа с изменениями, дополнениями утверждена на  
2016/2017 учебный год

Протокол № 15 заседания кафедры от « 11 » 06 2016 г.

Заведующий кафедрой ЭиА  А.В. Белоусов

Директор института ЭИТУС  А.В. Белоусов

### Список изменений и дополнений в рабочей программе

*В пункт 6.2 добавлены следующие литературные источники:*

1. Титков В.В. Перенапряжения и молниезащита [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.В. Титков, Ф.Х. Халилов. — Электрон. текстовые данные. — СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2011. — 222 с. — 978-5-7422-3546-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/43965.html>

2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003 [Электронный ресурс]/. — Электрон. текстовые данные. — М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2013. — 64 с. — 978-5-98908-103-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22686.html>

**Рабочая программа с изменениями, дополнениями утверждена на  
2017/2018 учебный год**

Протокол № 15 заседания кафедры от « 10 » 06 2017 г.

Заведующий кафедрой ЭиА  А.В. Белоусов

Директор института ЭИТУС  А.В. Белоусов

**Список изменений и дополнений в рабочей программе**

*В пункт 6.2 добавлены следующие литературные источники:*

1. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике [Электронный ресурс]: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков [и др.]. — Электрон. текстовые данные. — М.: Издательский дом МЭИ, 2016. — 543 с. — 978-5-383-00973-4. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55879.html>



Рабочая программа без изменений и дополнений утверждена на  
2018/2019 учебный год

Протокол № 10 заседания кафедры от « 14 » 05 2018 г.

Заведующий кафедрой ЭиА  А.В. Белоусов

Директор института ЭИТУС  А.В. Белоусов

Список изменений и дополнений в рабочей программе

Рабочая программа без изменений утверждена на 2019/2020 учебный год.

Протокол № 13 заседания кафедры от « 07 » июня 2019 г.

Заведующий кафедрой ЭиА \_\_\_\_\_ А.В. Белоусов

Директор института ЭИТУС \_\_\_\_\_ А.В. Белоусов

## 8. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа без изменений утверждена на 20~~20~~/20~~21~~ учебный год.

Протокол № 10 заседания кафедры от «14» июня 20~~20~~г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

подпись, ФИО



А.В. Белоусов

Директор института \_\_\_\_\_

подпись, ФИО



А.В. Белоусов

**Утверждение рабочей программы без изменений.**

Рабочая программа без изменений утверждена на 2021/2022 учебный год.

Протокол № 11 заседания кафедры от «15» мая 2021 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  А.В. Белоусов

Директор института \_\_\_\_\_  А.В. Белоусов

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Техника высоких напряжений имеет широкий спектр применений во многих сферах деятельности человека. Главное место она занимает в развитии электроэнергетики для передачи электрической энергии на большие расстояния и обеспечения стабильной работы электроэнергетических систем. Основное преимущество высокого напряжения при электропередаче состоит в увеличении передаваемой мощности. В связи с этим большое значение приобретают вопросы создания нового и совершенствования существующего комплекса высоковольтного оборудования, предназначенного для генерирования, передачи и распределения электрической энергии: генераторов, трансформаторов, конденсаторов, изоляции линий электропередачи и подстанций. Высокое напряжение используется в электрофизических установках для решения задач мощной импульсной энергетики. Применяется в технологических процессах, таких как электросепарация, электрофльтрация, электроокраска, магнитоимпульсная обработка, электрогидравлическая штамповка, плазмохимия, получение озона и др. В связи с этим изучение дисциплины «Техника высоких напряжений» является актуальной для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Главными задачами дисциплины «Техника высоких напряжений» являются: изучение основных фундаментальных процессов возникновения и исчезновения заряженных частиц в диэлектрических средах и механизмы пробоя различных диэлектриков; виды изоляции высоковольтного оборудования и методы контроля ее состояния и причины, приводящие к выходу изоляции из строя; способы получения и измерения высоких напряжений; физическая природа возникновения перенапряжений и способы защиты от них.

Дисциплина состоит из шести разделов:

- Предмет и задачи курса. Общие понятия и определения.
- Электрофизические процессы в газах.
- Электрофизические процессы в жидких и твердых диэлектриках.
- Изоляционные конструкции высокого напряжения.
- Перенапряжения и защита от них.
- Методы испытания и диагностики изоляции.

**Методические рекомендации студентам по самостоятельному изучению дисциплины «Техника высоких напряжений».**

### **Предмет и задачи курса. Общие понятия и определения.**

Техника высоких напряжений (ТВН) возникла в связи с необходимостью электропередачи больших электрических мощностей на дальние расстояния. В 1880 году профессор Петербургского лесного

института Д. А. Лачинов разработал и изложил теорию передачи электроэнергии на большие расстояния – повышение напряжения и уменьшение тока по мере увеличения дальности и передаваемой мощности.

В настоящее время номинальное напряжение ЛЭП достигает 1 150 кВ, а передаваемая мощность по одной цепи такой линии составляет 6 ГВт. Общая протяженность электрических сетей в России с номинальным напряжением 35–1150 кВ превосходит 800 000 км. Чрезвычайно большое значение при этом приобретают вопросы создания и эксплуатации комплекса оборудования, необходимого для генерирования, передачи, преобразования и распределения электрической энергии: генераторов, трансформаторов, воздушных и кабельных линий, конденсаторов и др. аппаратов.

Поскольку основной причиной выхода из строя высоковольтного оборудования являются отказы изоляции, то наибольшие усилия направляются на сохранение ее в целостности. Особую роль играет знание закономерностей зарождения и развития разрядов в изоляции. Подробно познакомится с данным материалом можно по лит. [1, стр. 5-9] и лит. [2, стр.5-12].

Изучение вопроса “Пляска проводов на воздушных линиях электропередачи и способы борьбы с нею” необходимо по лит.[8] и интернет – ресурсу [1] “Вибрация и пляска проводов на воздушных линиях электропередачи”. Визуализацию этого явления можно посмотреть на видеохостинге “YouTube”.

Диэлектрики служат для изоляции токоведущих электродов разной полярности друг от друга. Изолируемые электроды (шины распределительных устройств, провода линий электропередач, наружные токоведущие части электрических аппаратов и т. п.) создают электрические поля различной конфигурации. С конфигурацией электрических полей можно познакомится по лит. [3, стр.8-10].

### **Электрофизические процессы в газах**

Электропроводность газообразных диэлектриков (например, воздуха) обусловлена наличием в них заряженных частиц — ионов и электронов. В зависимости от причин, вызывающих ионизацию молекул газа, различают электропроводность несамостоятельную и самостоятельную. Ионизация — это процесс, когда под действием ионизирующего излучения (рентгеновских, космических или солнечных лучей, радиоактивного облучения и т.п.) или сильного электрического поля молекула газа теряет электрон и превращается в положительный ион. Электропроводность, обусловленная ионами и электронами, образующимися в сильных электрических полях (при  $E \geq E_{кр}$ ) в результате электронной ударной ионизации, фотоионизации и холодной эмиссии электронов из катода, называется самостоятельной. Несамостоятельная электропроводность осуществляется за счет ионов и электронов, образующихся в результате ионизации, вызванной внешним энергетическим воздействием, таким как космические и солнечные лучи, радиоактивное излучение Земли и т.п. Напряженность, разделяющую слабые

и сильные поля, называют критической напряженностью  $E_{кр}$ .

Одновременно с процессом ионизации протекает обратный процесс — рекомбинация, когда разноименные заряды (например, положительный ион и электрон) образуют нейтральную молекулу. Рекомбинация препятствует безграничному росту концентрации ионов и электронов.

В отсутствие внешнего электрического поля частицы газа находятся в состоянии хаотического (теплого) движения, постоянно сталкиваясь с другими частицами. Наличие внешнего электрического поля приводит к возникновению направленного движения заряженных частиц, т.е. к появлению в газе электрического тока.

Различают объемную и поверхностную ионизации. Объемная ионизация — образование заряженных частиц в объеме газа между электродами. Поверхностная ионизация — излучение (эмиссия) заряженных частиц с поверхности электродов. Механизм развития лавины электронов под действием электрического поля рекомендуется изучить по лит. [1, стр. 10-20]. Остальные вопросы данного раздела содержатся с лит. [2, стр. 16-70] и лит. [3, стр. 12-44].

#### **Электрофизические процессы в жидких и твердых диэлектриках.**

В третьем разделе дисциплины рассматривается механизм пробоя жидких диэлектриков. Наличие влаги и микропримесей на поверхности твердых диэлектриков и в жидких диэлектриках существенно снижают электрическую прочность изоляции, приводят к нагреву и пробоям диэлектриков. С увеличением давления растет и значение пробивного напряжения жидких диэлектриков, особенно с повышением их степени очистки. Значение температуры для чистых жидких диэлектриков практически не оказывает влияние на электрическую прочность, однако при наличии примесей электрическая прочность становится зависимой от температуры. Электрическая прочность имеет низкие значения при температурах  $-10^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$ , высокие значения при  $80^{\circ}\text{C}$ .

Электрическая прочность жидких диэлектриков существенно зависит от длительности приложения напряжения. Чем больше примесей в жидкости (особенно влаги и волокон), тем сильнее эта зависимость. Экспериментальные результаты по пробоям жидких диэлектриков показывают наличие, как минимум, двух областей, связанных с временем воздействия напряжения, появление которых объясняется различными механизмами пробоя.

Геометрическая форма электродов создает поля разной степени неоднородности, и чем больше коэффициент неоднородности, тем ниже пробивное напряжение. Даже незначительное увеличение радиуса кривизны электродов в резконеоднородных полях дает более существенное увеличение электрической прочности по сравнению с воздухом. Увеличение расстояния между электродами приводит к увеличению пробивного напряжения. На величину пробивного напряжения при неизменном расстоянии оказывает влияние площадь электродов и объем жидкости между электродами. Состояние поверхности электродов также оказывает влияние на

электрическую прочность жидких диэлектриков. Загрязнение, окисление и плохая полировка поверхности электродов снижают пробивное напряжение.

Для повышения электрической прочности масляной изоляции применяются барьеры выполненные из твердого изоляционного материала, устанавливаемые в масле между электродами. При наличии барьеров электрическая прочность разрядного промежутка значительно возрастает. Это обуславливается тем, что барьер непроницаем для ионов жидкости и затрудняет образование сплошных проводящих мостиков из волокнистых веществ, находящихся в масле.

Нефтяное трансформаторное масло классифицируют на: свежее, чистое (сухое), регенерированное, отработанное. Его электрические свойства зависят от степени очистки, содержания в нем влаги и температуры. Для повышения стойкости масла к старению широко применяют ингибирующие присадки (антиокислители) в концентрации от 0,1 до 0,5 мас.%. Во всех отечественных нефтяных электроизоляционных маслах в качестве антиокислителя используют *ионол*, содержание которого зависит от марки масла, но должно быть не менее 0,2 мас.%. Старение масла в присутствии ионولا протекает в 2—3 раза медленнее, чем без него.

Электрическая прочность твердой изоляции выше, чем газообразной и жидкой. Электрическая прочность твердой изоляции зависит: от формы электрического поля; вида напряжения и полярности; времени воздействия напряжения; однородности диэлектрика; электрофизических характеристик; температуры. Различают три вида пробоя твердого диэлектрика: электрический; тепловой; старение. Наиболее сильное влияние на электрическую прочность твердой изоляции оказывают время приложения напряжения, температура, толщина.

Особое внимание при изучении материала следует уделить возникновению в твердом диэлектрике частичных электрических разрядов (ЧР). Под действием высокой напряженности электрического поля в изоляции в местах с пониженной электрической прочностью возникают частичные разряды (ЧР), которые представляют собой пробой газовых включений, локальные пробои малых объемов твердого диэлектрика. Условия возникновения ЧР определяются конфигурацией электрического поля изоляционной конструкции и электрическими характеристиками рассматриваемой области изоляции. ЧР обычно не приводят к сквозному пробое диэлектрика, однако приводят к местному разрушению изоляции, а при длительном существовании могут привести и к сквозному пробое. Возникновение ЧР всегда свидетельствует о местной неоднородности диэлектрика. В связи с этим регистрация характеристик ЧР позволяет оценивать качество изготовления изоляции и выявлять местные дефекты.

Напряжение, при котором образуются ЧР оказывает влияние на эксплуатационные характеристики изоляции и сокращает время “жизни изоляции” при рабочих напряжениях существенно превышающих  $U_{чр}$ . Вопросы 3-го раздела подробно рассмотрены в лит. [3, стр. 4-59].

**Изоляционные конструкции высокого напряжения.**



В разделе рассматриваются конструкции изоляторов различных видов: опорные, проходные, высоковольтные вводы.

Силовые конденсаторы используются в цепях электроэнергетических установок, где осуществляется преобразование и передача больших мощностей или накопление больших количеств энергии. Они применяются в силовой электротехнике для улучшения коэффициента мощности, в технике связи, импульсной технике и т.д. В качестве изоляции силовых конденсаторов используются: газ, жидкости, твердые неорганические материалы, твердые органические материалы. Твердая изоляция в высоковольтных конденсаторах (чаще органическая) – бумага, пленки с пропиткой маслом. Расчет конденсатора заключается в том, чтобы по заданным значениям электрических характеристик определить наиболее оптимальные размеры и срок службы конденсатора.

Трансформаторы напряжения предназначены для преобразования высокого напряжения сети до величины, позволяющей производить измерение обычными измерительными приборами. Трансформаторы напряжения могут быть в сухом (воздушная, газовая, литая изоляция) и масляном исполнении. По конструктивному исполнению изоляция силовых трансформаторов до 35 кВ не имеет принципиальных отличий от изоляции трансформаторов напряжения.

Особенностью главной изоляции высоковольтных обмоток трансформаторов на напряжение 110 кВ и выше является наличие не одного, а нескольких изоляционных цилиндров, количество которых зависит от номинального напряжения трансформатора. Изоляция между обмотками различных фаз трансформатора осуществляется с помощью плоских Г-образные барьеров, представляющие собой междуфазные перегородки, выполненные из электрокартона.

Силовые кабели предназначены для передачи и распределения электрической энергии в условиях, когда прокладка воздушных линий оказывается трудновыполнимой или невозможной, экономически невыгодной или нежелательной по эстетическим, природоохранным и другим соображениям. Основным конструктивным элементом кабеля является токоведущая жила (ТВЖ) круглой, сегментной или секторной формы, изготовленной из меди или алюминия. Для обеспечения гибкости кабеля с большим сечением ТВЖ скручиваются из отдельных проволок. На жилу накладывается изоляция в виде пропитанных бумажных лент из кабельной бумаги, резины или пластмасс. В качестве изоляции силовых кабелей могут быть использованы высокопрочные газы. Поверх изоляции накладываются защитные свинцовые или алюминиевые оболочки, а также оболочки на основе резины или пластмасс (полиэтилен, полихлорвинил). Для выравнивания поля и повышения напряжения ионизации на ТВЖ и на наружную поверхность изоляции накладываются экраны из медных лент или полупроводящей бумаги, резины, полиэтилена. Металлическая оболочка кабеля покрывается защитными покровами, поверх которых накладывается броня из стальных лент или проволок.

Силовые кабели с пропитанной бумажно-масляной изоляцией являются одним из самых распространенных видов кабельных изделий, используемых при передаче и распределении электрической энергии. Они изготавливаются с медными или алюминиевыми жилами, в свинцовой или алюминиевой оболочке с различными защитными покровами в зависимости от назначения и условий эксплуатации. Для изоляции кабелей на напряжение до 35 кВ применяют кабельную бумагу КВ-120 и КВ-170 с шириной лент 10...30 мм. Для кабелей на более высокие напряжения используют бумагу повышенного качества типа КВУ. В качестве пропитки применяются вязкие пропитывающие составы (маслоканифольный компаунд), минеральные или синтетические масла (октол).

Высоковольтные кабели на  $U = 110$  кВ имеют бумажную изоляцию, пропитанную жидким (маловязким) минеральным маслом. Применение градирования изоляции по толщине (использование бумажных лент толщиной 0,08 и 0,12 мм) и маловязкой пропитки, циркулирующей под избыточным давлением по маслопроводящему каналу, расположенному в центре токоведущей жилы, позволяет уменьшить возможность возникновения в изоляции газовых включений. Ионизационные процессы в таких кабелях практически отсутствуют, что позволяет повысить их максимальную напряженность в изоляции до 9...12 кВ/мм и стабильность электрических характеристик.

По конструктивному исполнению газонаполненные кабели аналогичны маслonaполненным, но повышение электрической прочности изоляции достигается наличием газа под высоким давлением, что позволяет увеличить напряжение ионизации в бумажной изоляции с обедненной пропиткой. В зависимости от величины избыточного давления газа (азот, фреон, элегаз) различают кабели низкого давления (0,7...1,5 атм), среднего (1,7...3,0 атм) и высокого (10...15 атм).

Маслonaполненные кабели высокого давления (ВД) до 15 атм типа МВДТ выполняются в стальном трубопроводе. Для пропитки маслonaполненных кабелей высокого давления применяется более вязкое изоляционное масло, чем для кабелей низкого и среднего давления. Кабельные линии в стальных трубах со сжатым газом достаточно просты по конструкции. Кабель состоит из наружной оболочки (стальная или пластмассовая труба) и центрального трубопровода, который крепится и устанавливается соосно с наружной оболочкой с помощью центрирующего изолятора (фарфор, эпоксидный компаунд), и сочетает в себе черты воздушной и кабельной линии.

Силовые кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией предназначены для передачи и распределения электрической энергии на трассах с неограниченной разностью уровней прокладки. Кабели с резиновой изоляцией (рис. 2.34) на напряжение до 6...10 кВ широко используются в землеройных и горных работах, в геофизических поисках, нефтяном бурении и т. д. Наибольшее распространение на напряжение 35...500 кВ получили кабели с полиэтиленовой изоляцией.

Вращающиеся машины используются при производстве электрической энергии (турбогенераторы, гидрогенераторы), при выработке реактивной мощности (синхронные компенсаторы), а также при преобразовании электрической энергии в различные виды механической энергии (электродвигатели). Генераторы являются наиболее ответственным оборудованием, к которому предъявляются очень высокие требования в отношении надежности и долговечности работы. В генераторах малой и средней мощности применяется поверхностная система охлаждения воздушным потоком. В электрических машинах большой мощности (200 МВт и выше) используется внутреннее водяное, масляное или водородное охлаждение обмоток с использованием медных полых проводников. Вопросы 4-го раздела подробно рассмотрены в лит. [2, стр. 114-180] и лит. [3, стр. 60-68].

### **Перенапряжения и защита от них.**

Гроза – это природное явление, состоящее из нескольких элементов. Наиболее опасный из них – молния. Защита от молнии и её возможных последствий называется молниезащитой. Термины "молниезащита" и "молниеотвод" отражают суть явления и предназначение устройства. Защита от прямых ударов молнии РУ, линий электропередачи, а также некоторых зданий осуществляется стержневыми или тросовыми молниеотводами. Молниеотводом называют устройство, воспринимающее прямой удар молнии с целью защиты сооружения. Защита от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов различных типов: стержневых, тросовых, сетчатых, комбинированных (например, тросово-стержневых). Стержневые молниеотводы выполняются в виде отдельно стоящих или укрепленных на зданиях и конструкциях подстанций. Наиболее часто применяют стержневые молниеотводы, тросовые используют в основном для защиты длинных и узких сооружений. Защитное действие молниеотвода в виде сетки, накладываемой на защищаемое сооружение, аналогично действию обычного молниеотвода. Определение защитных зон молниеотводов основывается на лабораторных исследованиях и статистических данных грозовой защиты электрических установок. Молниеприемник непосредственно воспринимает прямой удар молнией, который по токоотводу уходит в землю. Вокруг молниеотвода имеется зона не поражаемая грозowymi зарядами, которая называется зоной защиты молниеотвода.

Общие требования к устройству молниезащиты зданий и сооружений рассматриваются на основе руководящих документов по молниезащите (РД 34.21.122-87, СО 153-34.21.122-2003) и по электроснабжению (ПУЭ издание 7). Устройство молниезащиты (молниеотводы) должны включать в себя молниеприемники, непосредственно воспринимающие удар молнии, токоотводы и заземлители.

Здания и сооружения или их части в зависимости от назначения, интенсивности грозовой деятельности в районе местонахождения, ожидаемого количества поражений молний в год следует защищать в

соответствии с категориями устройства молниезащиты и типом зоны защиты. Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземленные металлические сооружения. Благодаря этому защищаемое здание, более низкое по сравнению с молниеотводом по высоте, практически не будет поражаться молнией, если всеми своими частями оно будет входить в зону защиты молниеотвода. Зоной защиты молниеотводасчитается часть пространства вокруг молниеотвода, обеспечивающая защиту зданий и сооружений от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Производственные, жилые и общественные здания и сооружения в зависимости от их конструктивных характеристик, назначения и значимости, вероятности возникновения взрыва или пожара, технологических особенностей, а также от интенсивности грозовойдеятельности в районе их местонахождения подразделяют на три категории по устройству молниезащиты: I. Производственные здания и сооружения со взрывоопасными помещениями классов В-1 и В-2 по ПУЭ (к данной категории относятся также здания электростанций и подстанций). II. Другие здания и сооружения со взрывоопасными помещениями, не относимые к I категории. III. Все остальные здания и сооружения, в том числе пожароопасные помещения.

Перенапряжением называется повышение напряжения до величины, опасной для изоляции электроустановки. Перенапряжения в электрических установках можно подразделить на две группы: коммутационные и атмосферные. Коммутационными перенапряжениями называются перенапряжения, возникающие в электрических установках при изменении режима их работы, например при отключении короткого замыкания, включении или отключении нагрузки, внезапном значительном изменении нагрузки. Атмосферные перенапряжения возникают вследствие воздействия на электроустановки грозových разрядов. Волны перенапряжений, возникшие на линиях при ударах молнии, распространяются по проводам, доходят до подстанции и могут представлять опасность для изоляции установленного на подстанции оборудования. Такой же опасности могут подвергаться отдельные места на линии, имеющие ослабленную изоляцию или особенно ответственные участки (транспозиционные опоры, пролеты пересечения, переходы через транспортные магистрали, большие реки и т.д.). В этих случаях наряду с защитой от прямых ударов с помощью молниеотводов применяется защита от набегающих волн. Для предупреждения повреждения какой-либо изоляционной конструкции параллельно может быть включен искровой промежуток.

Разрядник – электрический аппарат, предназначенный для ограничения перенапряжений в электротехнических установках и электрических сетях. Защитные разрядники обеспечивают не только защиту изоляции от перенапряжения, но и гашение дуги сопровождающего тока в течение времени, меньшего, чем время действия релейной защиты. В последнее время активно внедряются ограничители перенапряжений (ОПН), представляющие собой устройство с варистором, ограничивающим сопровождающий ток

практически до нуля. ОПН включают непосредственно, параллельно изоляции, без искрового промежутка. Существует два основных типа разрядников, отличающихся принципом гашения дуги сопровождающего тока: трубчатые (РТ), в которых гашение дуги осуществляется созданием интенсивного продольного дутья и вентильные (РВ), в которых дуга гаснет благодаря уменьшению сопровождающего тока с помощью нелинейного сопротивления (варистора), включенного последовательно с искровым промежутком или достаточно сложной системой гашения дуги сопровождающего тока.

Защитное действие ограничителей перенапряжения (ОПН) основано на протекании через него импульсного тока на заземляющее устройство, при появлении опасных перенапряжений. В свою очередь это приводит к снижению перенапряжения до нормального значения, при этом не будет происходить повреждение электрооборудования. В настоящее время вентильные разрядники практически сняты с производства и в большинстве случаев отслужили свой нормативный срок службы. Построение схем защиты изоляции оборудования как новых, так и модернизируемых подстанций, от грозовых и коммутационных перенапряжений оказывается возможным только с использованием ОПН.

В электрических сетях 220/380В возможны кратковременные увеличения напряжений (импульсные перенапряжения), имеющие вероятностный характер и длительность в диапазоне от микросекунд до нескольких миллисекунд. Тому имеется несколько основных причин:

- перенапряжения, вызванные ударом молнии (внешнее перенапряжение);
- импульсные перенапряжения в электросетях 380/220В, обусловленные разрядами статического электричества (внутреннее перенапряжение в сетях);
- импульсные перенапряжения в частотном диапазоне 0,5 20 МГц в электросетях 380/220В обусловленные коммутацией токов, как рабочих, так и аварийных (внутреннее перенапряжение в сетях). То есть, при включении или отключении сетевой организацией линий электропередач от подстанции или при ликвидации повреждений, появляется необходимость защиты электрооборудования потребителей.

Защита от внешних перенапряжений представляет собой молниеотвод, состоящий из токоприемника, токоотвода и заземлителя. Зоной защиты молниеотвода является пространство, расположенное в определенном радиусе. При попадании молнии на защищаемую территорию происходит ее разряд через систему молниезащиты, тем самым обеспечивая безопасность оборудования. Для защиты от внутреннего перенапряжения сети используется ОПН (ограничитель перенапряжений). Защитное действие ОПН основано на протекании через него импульсного тока на заземляющее устройство, при появлении опасных перенапряжений.

Импульсное перенапряжение представляет собой физический процесс, во время которого происходит очень кратковременный (в среднем десятки миллисекунд) сильный и резкий скачок напряжения. Импульсные (микросекундные) перенапряжения вызваны переходными электромагнитными процессами природного и технологического происхождения. Характеристики и способность устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) к гашению импульсных перенапряжений указываются в паспорте изделия. Временные и длительные перенапряжения (от нескольких секунд до нескольких часов) являются параметрами качества электроснабжения. Эти параметры необходимо учитывать для правильного подбора УЗИП. Импульс перенапряжения может пройти непосредственно по электрическим проводам или шине заземления. Электромагнитное поле, возникающее в результате импульса тока, индуцирует наведенное напряжение на всех металлических конструкциях, включая электрические линии - это индуктивный путь попадания опасных импульсов перенапряжения на защищаемый объект. Поэтому устройство молниезащиты не ограничивается только лишь системами заземления, а дополняется устройствами внутренней молниезащиты, в частности УЗИП. Создается комплексная молниезащита зданий, промышленных конструкций и электротехнических приборов. Вопросы 5-го раздела подробно рассмотрены в лит. [1, стр. 93-129] и лит. [3, стр. 91-123].

#### **Методы испытания и диагностики изоляции.**

Профилактические испытания изоляции электрооборудования проводятся с целью своевременного выявления и устранения дефектов, возникающих в ней в процессе эксплуатации при старении изоляции, с целью обеспечения надежной работы. Профилактические испытания изоляции резко снижают аварии в энергосистемах из-за своевременного выявления дефектной изоляции. Признаками старения изоляции являются: ухудшение электрических характеристик, понижение механической прочности, изменение структуры материала изоляции и обусловленное им растрескивание, увлажнение, загрязнение и пр. Процессы старения зависят не только от свойств материала изоляции, но и от условий эксплуатации, режимов работы и прочее. Старение (деградация) изоляции. Имеются несколько основных причин для деградации изоляции:

- Воздействие электрического напряжения (перенапряжение, удары молний, частичные разряды);
- Тепловое напряжение (условия нагрузки);
- Механическое усилие (вытягивание, изгиб, осадка фундамента);
- Химическая коррозия (воздействие воды, соли, масла и загазованности);
- Внешнее воздействие (загрязненная внешняя среда, доступ воды).

Процессы старения изоляции протекают по-разному и чаще всего начинаются с проникновением в неё влаги. Влага, попавшая в изоляцию, может создать в ней проводящие каналы (так называемые водяные древовидные структуры в изоляции), приводящие к пробоям или перекрытию изоляции. Чем тяжелее воздействия, тем быстрее разрушается изоляция. Например, при одновременном воздействии на изоляцию влаги, высокой температуры и механической нагрузки процесс старения изоляции может протекать с большей скоростью и создавать дефекты в изоляции, приводящие к её разрушению.

При профилактических испытаниях изоляции широко используются следующие установки и приборы:

- 1) установки высокого переменного напряжения промышленной частоты;
- 2) установки высокого постоянного (выпрямленного) напряжения с измерением токов утечки;
- 3) приборы измерения сопротивления изоляции;
- 4) мосты высокого напряжения переменного тока;
- 5) ваттметровые установки;
- 6) приборы для контроля влажности изоляции;
- 7) приборы для измерения частичных разрядов в изоляции;
- 8) осциллографы;
- 9) ультразвуковые установки;
- 10) тепловизоры.

Профилактические испытания изоляции электрооборудования производятся обычно после отключения рабочего напряжения. В последнее время применяется контроль за состоянием изоляции без снятия рабочего напряжения под нагрузкой, что обеспечивает непрерывность контроля в процессе эксплуатации и бесперебойность электроснабжения потребителей.

Большое внимание уделяется разработке методов и аппаратуры для автоматического непрерывного контроля изоляции при рабочем напряжении. Основу этих методов составляют измерения диэлектрических характеристик (неравномерно-компенсационный, мостовой, ваттметровый методы) и регистрация ЧР (частичных разрядов). Вопросы 6-го раздела подробно рассмотрены в лит. [1, стр. 130-263] и лит. [3, стр. 69-90].