

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.07.02 Изоляция и перенапряжение в системах электроснабжения**

**Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы Электрооборудование и электротехнологии**

**Форма обучения заочная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Эксплуатация изоляционных конструкций при рабочем напряжении.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Лекция № 2 Грозовые перенапряжения, молниеотводы.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Защита подстанции от прямых ударов молнии.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Лабораторная работа № ЛР-2,3 Вывод в ремонт трансформатора № 1, 16МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Лабораторная работа № ЛР-4 Перенапряжения в длинных линиях электропередач.....</b>	<b>9</b>

# **1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

## **1.1 Лекция № 1 (2 часа).**

**Тема: «Эксплуатация изоляционных конструкций при рабочем напряжении»**

### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Общие сведения.
2. Основные виды электрической изоляции и координация изоляции.
3. Изоляция воздушных линий электропередачи.
4. Наружная изоляция подстанций высокого напряжения.
5. Изоляция силовых кабелей высокого напряжения, силовых конденсаторов, электрических машин высокого напряжения.

### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

#### **1. Общие сведения.**

В процессе эксплуатации на изоляцию воздействуют различного рода факторы:

А) Рабочее напряжение (минимального и максимального режима системы) действует в течение всего срока эксплуатации изоляции, но не должно превышать 15% для сетей до 220 кВ, 10% для сетей 330 кВ, 5% для сетей 500 кВ и выше.

(пример: 110 кВ наибольшее рабочее напряжение 126 кВ, 220 кВ – 252 кВ, 500 кВ – 525 кВ) сети с напряжением 3 – 35 кВ имеют изолированную нейтраль, 110 – 1150 кВ заземлённую

Б) Внутренние перенапряжения, возникают при включение и отключение линий и электрооборудования. Аварийных и несимметричных режимах работы, резонансных явлениях. Эти перенапряжения действуют сравнительно не долго от сотых долей до 10 с. но их величина превышает номинальное напряжение в несколько раз.

С) Грозовые или атмосферные перенапряжения. Последние возникают в результате удара молнии в электроустановку или вблизи неё и действуют на изоляцию линии и аппаратов. Время действия очень мало от миллионных долей до сотен миллионных долей секунды, но они имеют амплитудное значение миллион вольт.

Наряду с этим изоляция подвергается температурным и механическим воздействиям, которые ухудшают её электрические и механические свойства.

Длительное действие рабочего напряжения, перенапряжения, неблагоприятные атмосферные условия (колебания: давления, температуры, влажности; выпадение осадков, загрязнение) и механические воздействия могут перевести к пробою и перекрытию изоляции, а также к преждевременному старению и выходу из строя.

## **2. Основные виды электрической изоляции и координация изоляции.**

Внешней изоляцией называются части изоляционной конструкции, в которых изолирующей средой является атмосферный воздух, в том числе у поверхности твердого диэлектрика. Электрическая прочность внешней изоляции зависит от атмосферных и других внешних условий. Несмотря на его сравнительно низкую электрическую прочность всего  $E_{\text{пр}}=1-30$  кВ/см, воздушная изоляция имеет ряд достоинств: малая стоимость, отсутствие старения, способность восстанавливать свои изолирующие свойства после погасания разряда.

Внутренней изоляцией называются части изоляционной конструкции, в которых изолирующей средой являются жидкие, твердые или газообразные диэлектрики или их комбинации, не имеющие прямых контактов с атмосферным воздухом.

**Бумажно-пропитанная изоляция.** Исходными материалами для изготовления бумажно-пропитанной изоляции (БПИ) служат специальные электроизоляционные бумаги и минеральные (нефтяные) масла (бумажно-масляная изоляция) или синтетические жидкые диэлектрики.

### **3. Изоляция воздушных линий электропередачи.**

Кроме выбора воздушной дистанции между проводами и землей необходимо закрепить тоководы на мачтах так, чтобы не нарушить их электрическое сопротивление. Ведь материалы, используемые для опор (дерево и бетон при влажной погоде, а металлические конструкции при любых обстоятельствах), являются хорошими проводниками электрического тока.

Для закрепления открытых проводов на мачтах опор используются специальные конструкции, которые называют изоляторами. Их изготавливают из прочного диэлектрического материала. Чаще всего выбирают специальные сорта фарфора, стекла или реже — пластических масс.

Изолятор, показанный слева, выполнен из цельного куска фарфора. А правый — из двух составных частей.

По способу крепления к мачте изоляторы подразделяют на:

штыревые конструкции, которые крепят на металлическом штыре, установленном на траверсе в вертикальном положении;

подвесные устройства, подвешиваемые на мачте;

натяжные модели, закрепляемые в горизонтальной плоскости для противодействия силам натяжения.

Все они изготавливаются на работу при определенном классе напряжения на линии. В тот же время они воспринимают значительные механические усилия в вертикальном и горизонтальном направлениях, создаваемые прикрепленными к ним проводами при любых погодных условиях.

### **4. Наружная изоляция подстанций высокого напряжения**

Наружная изоляция подстанции состоит из воздушных промежутков, изоляторов и изоляционных конструкций. В ОРУ для крепления на порталах проводов, шин, аппаратов применяют подвесные линейные изоляторы. Для изолированного жесткого крепления шин или элементов аппаратов, находящихся под высоким напряжением, применяют опорные изоляторы или изоляционные конструкции, которые устанавливают для обеспечения безопасности обслуживающего персонала на железобетонных подножниках высотой 2,5 м.

При необходимости иметь изолятор на большее напряжение изоляторы собирают в колонку. Однако при этом уменьшается пропорционально числу изоляторов в колонке минимальная разрушающая сила на изгиб, в то время как изгибающий момент растет, поэтому на напряжение  $U_{\text{ном}} = 330 \text{ кВ}$  и выше применяют высоковольтные изоляционные конструкции в виде треног или параллелепипедов, собранных из стержневых изоляторов. Для повышения механической прочности треноги имеют пояса жесткости.

В последние годы для увеличения механической прочности на изгиб идут по пути увеличения диаметра изолятора. По техническим причинам и для уменьшения веса изоляторы выполняют с внутренней полостью. Основным недостатком полых изоляторов является их малая надежность при длительной эксплуатации из-за перекрытий по внутренней гладкой поверхности изолятора, которые возникают в результате конденсации влаги внутри изолятора при его охлаждении.

Выбор расстояний между электрооборудованием ОРУ подстанции производится не только по разрядным характеристикам изоляторов или воздушных промежутков, но и с учетом ряда других факторов. В частности, необходимо устраниć возможность переброса дуги короткого замыкания на другие цепи, возможность возникновения пожара при выбросе газа и т. д., но в первую очередь необходимо обеспечить безопасность людей, которые могут оказаться около электрооборудования.

## **5. Изоляция силовых кабелей высокого напряжения, силовых конденсаторов, электрических машин высокого напряжения.**

Электрические кабели – это гибкие изолированные проводники, снабженные защитными оболочками, которые предохраняют изоляцию от внешних механических и иных воздействий. Основными элементами силовых кабелей являются проводники – жилы, изоляция по отношению к земле и между жилами, герметичная металлическая оболочка и защитные покровы. Для герметизации используется оболочка из свинца или алюминия, а для защиты от механических повреждений – броня из стальных лент или проволок; защита металлической оболочки и брони от коррозии производится с помощью лент кабельной бумаги или пряжи, пропитанных битумом.

В качестве пропитывающего состава в кабелях с бумажной изоляцией применяются вязкие пропитки (маслоканифольный компаунд), нефтяные или синтетические кабельные масла. Маслоканифольный компаунд применяется обычно в кабелях до 35 кВ включительно. Это упрощает конструкцию кабельных линий, так как добавление канифоли в нефтяное масло приводит к существенному увеличению вязкости пропитывающего состава, благодаря чему пропиточная масса в условиях нормальной эксплуатации не вытекает через концевые разделки кабеля. Кроме того, присутствие канифоли увеличивает стойкость масла против окисления.

*Кабели с вязкой пропиткой* до напряжения 10 кВ включительно чаще всего выполняются трехжильными с поясной изоляцией и секторными жилами. На рис.2.6а приведена конструкция кабеля на напряжение 10 кВ. Секторная форма жилы обеспечивает более полное использование объема под металлической оболочкой, а поясная изоляция увеличивает изоляций относительно оболочки без увеличения изоляции между жилами. Для увеличения механической прочности поверх свинцовой оболочки накладывается броня из двух стальных лент, наматываемых в противоположные стороны и защищенных от коррозии битумным покровом.

### **1.2 Лекция № 2 (2 часа).**

**Тема: «Грозовые перенапряжения, молниеводы»**

#### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Причины грозовых перенапряжений.
2. Рекомендуемые способы грозозащиты линий.
3. Молниезащита воздушных линий.
4. Молниезащита подстанций.
5. Молниеводы, заземление молниеводов.
6. Молниезащита зданий и сооружений.
7. Защитные аппараты и устройства.

#### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Причины грозовых перенапряжений**

*Грозовые перенапряжения* появляются в РУ электростанций при прямом поражении их молнией, при набегании грозовых волн с ЛЭП, а также в результате обратных перекрытий изоляции с опоры, оказавшейся под высоким потенциалом при грозовом ударе в ее вершину или трос.

*Грозовые перенапряжения* возникают при разрядах молнии.

*Грозовые перенапряжения* на зажимах электрооборудования превышают остающееся напряжение разрядника из-за удаления его от электрооборудования; на остающееся напряжение накладываются обусловленные этим удалением колебания, как правило, значительные. Расчетные грозовые перенапряжения принимаются многократно воздействующими на изоляцию электрооборудования и условно представляются в виде

стандартных полной и срезанной импульсных волн. Амплитуда первой в 10 % или несколько больше превышает остающееся напряжение при импульсном токе, принятом для координации изоляции; амплитуда расчетной срезанной волны на 20 - 25 % больше, чем полной.

*Грозовые перенапряжения* не связаны с рабочим напряжением электрических установок и могут иметь весьма большую амплитуду. Однако вентильные разрядники ограничивают амплитуду грозовых перенапряжений до величин, определяемых характеристиками разрядников и импульсным током в них ( гл. Этот уровень обеспечивается применением в системе специальных разрядников, быстродействующих выключателей, шунтирующих реакторов.

Уровень грозовых *перенапряжений* в конкретной электрической сети не зависит от ее номинального напряжения, а уровень внутренних перенапряжений, наоборот, зависит от номинального напряжения сети. По этой причине выбор уровня изоляции электрооборудования напряжением до 220 кВ включительно в основном лимитируется уровнем грозовых перенапряжений, а уровень изоляции электрооборудования напряжением 330 кВ и выше - уровнем внутренних перенапряжений.

## **2. Рекомендуемые способы грозозащиты линий**

1. Линии напряжением 220 кВ и выше в подавляющем большинстве случаев сооружаются на металлических опорах и должны защищаться тросами по всей длине. На одноцепных опорах портального типа или типа «рюмка» подвешиваются два троса, благодаря чему защитные углы без всякого труда могут быть снижены до 20—25°. Такие линии при сопротивлении заземления 10ом имеют удельное число отключений порядка 0,06. Уменьшение сопротивления заземления опор до 5ом позволяет снизить удельное число отключений приблизительно в 1,5 раза.

В последнее время широкое распространение стали получать двухцепные линии на высоких опорах (40—45 м), снабженные одним тросом, обеспечивающим защитный угол порядка 30—32°. Вследствие значительно большей высоты эти линии обладают гораздо более низкой грозоупорностью. Например, линия 220кв на двухцепных опорах имеет удельное число отключений 1,0—1,2 при сопротивлении заземления опоры  $R=10\text{ом}$ , которое снижается всего на 30—40% при уменьшении сопротивления до 5ом.

2. Линии 110 кв на металлических опорах также рекомендуется защищать тросами по всей длине. При сопротивлении заземления 10ом удельное число отключений одноцепных линий составляет 0,2— 0,3, а двухцепных — 0,6—0,8.

Линии 110 кв на деревянных опорах никакой дополнительной грозозащиты не требуют, за исключением подвески тросов на подходах к подстанциям и установки трубчатых разрядников.

3. Линии 35 кв на деревянных шторах, так же как и линии 110 кв, не требуют дополнительных мер грозозащиты. Благодаря меньшим значениям рабочих градиентов вдоль пути перекрытия эти линии имеют даже несколько более высокие показатели, чем линии 110 кв на деревянных опорах. Защита трубчатыми разрядниками мест с ослабленной изоляцией для этих линий также полезна, но менее обязательна, чем для линий 110 кв.

## **3. Молниезащита воздушных линий.**

Защита ВЛ до 1000 В от прямых ударов молнии не требуется. Однако сами линии, будучи соединены с электрооборудованием внутри зданий, могут служить каналом для заноса высоких потенциалов при прямых ударах молнии в линию, а также наводимых в проводах вследствие электростатической и электромагнитной индукции при близких грозовых разрядах.

Перенапряжения могут достигать сотен тысяч вольт и вызывают пробой изоляции проводов и электрооборудования и пожары. Они опасны для жизни людей, находящихся в зданиях и сооружениях, которые питаются электроэнергией по воздушной линии.

Подводка воздушных линий наружного освещения, силовой сети напряжением до 1000 В, радиотрансляционных линий и сигнализации к прожекторным мачтам, дымовым трубам, градирням и другим высокогабаритным зданиям и сооружениям не допускается. Здесь следует использовать кабели.

Для защиты от грозовых перенапряжений воздушные линии в населенной местности с одно- и двухэтажной застройкой, не экранированные дымовыми трубами котельных, высокими деревьями, зданиями и т. п., должны иметь заземляющие устройства. Сопротивление заземлений — не более 30 Ом. Расстояния между заземлениями для районов со среднегодовым числом часов гроз до 40 принимают 200 м.

Для районов, где среднегодовое количество часов гроз более 40, заземления устраивают через каждые 100 м. Кроме того, заземляющие устройства выполняют:

- на опорах — с ответвлениями к вводам в общественные здания, и помещения, где может находиться большое количество людей (школы, клубы, ясли, больницы, столовые, спальные корпуса пионерлагерей и т. п.) или представляющие большую хозяйственную ценность (животноводческие помещения, склады, мастерские и пр.);

- на конечных опорах линий, имеющих ответвления к вводам в здания любого назначения. К указанным заземляющим устройствам необходимо присоединить крюки и штыри деревянных и железобетонных опор, а также арматуру последних.

#### **4. Молниезащита подстанций.**

Подстанции должны защищаться как от прямых ударов молний, так и от напряжения, набегающих с линии. Защита от прямых ударов осуществляется в большинстве случаев стержневыми, реже тросовыми молниеприемниками.

Волны на линиях возникают за счет индуцированных перенапряжений, при ударах молний в провода и, наконец, за счет обратного перекрытия на провод с пораженного прямым ударом молний троса или опоры.

Основным аппаратом грозозащиты подстанций является вентильный разрядник, у которого разрядное напряжение искрового промежутка и остающееся напряжение при токе (5-10ка) лежит примерно на 10% ниже гарантированной прочности защищаемой изоляции при полной волне.

Принципиальные схемы грозозащиты подстанций приведены на рис28. Схема а относится к случаю, когда подходящая к подстанции линия выполнена на деревянных опорах без троса, который подвешивается только в пределах защитного подхода (1—2 км). Так как на деревянных опорах спуски от тросов к заземлителям располагаются на стойках, прочность изоляции относительно.

#### **5. Молниеотводы, заземление молниеотводов.**

Молниеотвод — устройство, устанавливаемое на зданиях и сооружениях и служащее для защиты от удара молнии. В быту также употребляется некорректное, но более благозвучное «громоотвод».

Во время грозы на Земле появляются большие индукционные заряды и у поверхности Земли возникает сильное электрическое поле. Напряженность поля особенно велика возле острых проводников, и поэтому на конце молниеотвода зажигается коронный разряд. Вследствие этого индуцированные заряды не могут накапливаться на здании и молния не происходит. В тех же случаях, когда молния всё же возникает (такие случаи очень редки), она ударяет в молниеотвод и заряды уходят в Землю, не причиняя разрушений.

## **6. Молниезащита зданий и сооружений.**

Молниезащита — система защитных устройств и мероприятий, применяемых в промышленных и гражданских сооружениях для защиты их от аварий, пожаров при попадании в них молнии. Молния — особый вид прохождения электрического тока через огромные воздушные промежутки, источник которого — атмосферный заряд, накопленный грозовым облаком. Условия образования таких облаков большая влажность и быстрое изменение температуры. В результате возникновения восходящих потоков воздуха и быстрой конденсации водяных паров, содержащихся в воздухе, образуется большое количество водяной пыли, которая заряжается отрицательно. Воздействие тока молнии возможно трех типов. Прямой удар при разряде молнии в объект оказывает тепловое и механическое воздействие. При этом ток молнии может вызвать нагревание токоотвода до температуры каления, плавления и даже испарения. Быстрое разогревание вызывает нарастание электродинамических напряжений в конструкциях. Это вызывает механические разрушения, часто происходящие в виде взрыва.

Вторичное воздействие разряда молнии сопровождается появлением в пространстве изменяющегося во времени магнитного поля, которое индуцирует в контурах, образованных из различных протяженных металлических предметов (трубопроводов, электропроводок и т. д.), всегда имеющихся в здании, электродвижущую силу. В замкнутых контурах электродвижущая сила вызывает появление наведенных токов. В тех контурах, в которых контакты недостаточно надежны в местах соединения, эти токи могут вызвать искрение или сильное нагревание, что очень опасно для помещений, где могут образовываться опасные концентрации горючих или взрывоопасных веществ.

Занос высоких потенциалов в здания может происходить по любым металлоконструкциям, рельсовым путям, эстакадам, проводам ЛЭП, трубопроводам и т. д. Эти заносы сопровождаются электрическими разрядами, которые могут явиться источником взрыва или пожара. В соответствии с инструкцией СН 305—77 здания и сооружения I и II категорий подлежат молниезащите от прямых ударов молнии, вторичных воздействий и заноса высоких потенциалов.

Здания и сооружения III категории должны иметь защиту от прямых ударов молнии и от заноса высоких потенциалов по надземным проводящим коммуникациям (за исключением наружных емкостей со взрыво- и пожароопасными жидкостями и газами, а также вертикальных наружных труб). Для защиты зданий и промышленных сооружений от тока молнии устраивают молниeотводы (громоотводы). Они воспринимают молнию и отводят ее ток в землю. Молниeотводы делят на стержневые и тросовые, которые подразделяют на отдельно стоящие, изолированные и не изолированные от защищаемого здания.

## **7. Защитные аппараты и устройства.**

Все существующие эксплуатируемые или вновь сооружаемые электрические сети должны быть обеспечены необходимыми и достаточными средствами защиты, прежде всего, от поражения электрическим током людей, работающих с этими сетями, участков цепей и электрооборудования от токов перегрузки, токов короткого замыкания, пиковых токов. Эти токи могут привести к повреждению как самих сетей, так и электроприборов, работающих в этих сетях.

Каждая трансформаторная подстанция, каждая воздушная линия, каждая кабельная линия и распределительные внутридомовые сети, каждый электроприёмник имеют аппараты защиты, обеспечивающие их бесперебойную и надежную работу.

Таких аппаратов на данный момент в мире имеется огромный выбор. Их можно подобрать по типу, по способу подключения, по параметрам защиты. Аппараты защиты электрооборудования и электрических сетей очень обширная группа и включает в себя такие аппараты как: плавкие вставки (предохранители), автоматические выключатели, разнообразные реле (токовые, тепловые, напряжения и т. п.).

Плавкие предохранители защищают участок цепи от токовых перегрузок и коротких замыканий. Разделяются на одноразовые предохранители и предохранители со сменными вставками. Используются и в промышленности и в быту. Существуют предохранители работающие на напряжении до 1кВ и так же высоковольтные предохранители установленные, работающие на напряжении выше 1000В (например, плавкие предохранители на трансформаторах собственных нужд подстанций 6/0,4 кВ). Удобство в эксплуатации, простота конструкции и легкость при замене обеспечили предохранителям очень большую распространенность.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).**

**Тема:** «Защита подстанции от прямых ударов молнии»

**2.1.1 Цель работы:** Защитить подстанцию от прямых ударов молнии.

#### **2.1.2 Задачи работы:**

1. Перечислить методы защиты от молний.

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Методическое указание.

#### **2.1.4 Описание (ход) работы:**

В ходе лабораторной работе была проведена защита подстанции от прямых ударов молнии.

### **2.2 Лабораторная работа № 2,3 (4 часа).**

**Тема:** «Вывод в ремонт трансформатора № 1, 16МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская»

**2.2.1 Цель работы:** Вывести в ремонт трансформатор № 1, 16МВА при нормальной схеме ПС Кувандыкская

#### **2.2.2 Задачи работы:**

1. произвести ремонт трансформатора.

2. проверить работу трансформатора.

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Трансформатор.

2.Методические указания.

3.Защитные средства.

#### **2.2.4 Описание (ход) работы:**

В ходе лабораторной работы проводится ряд действий: производится поиск неисправности, получение распоряжения диспетчера о проведении оперативных переключений, проведение оперативные переключений на подстанции и доклад диспетчеру.

### **2.3 Лабораторная работа № 4 (2 часа).**

**Тема:** «Перенапряжения в длинных линиях электропередач»

**2.3.1 Цель работы:** Устранить перенапряжение в длинных линиях электропередач

**2.3.2 Задачи работы:**

1. Выявить причину перенапряжения.
  2. устранить неисправность.
- 2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:
1. Защитные средства.
  - 2.Переносное заземление (ПЗ)

**2.3.4 Описание (ход) работы:**

В ходе лабораторной работы установить причину перенапряжения в длинных линиях электропередач