

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»**

# **Реферат**

**ПО ПРЕДМЕТУ «ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОСВЕЩЕНИЕ»**

**ПО ТЕМЕ : «ВИДЫ ИЗОЛЯЦИИ»**

**Выполнила:**

**Студенка группы 32 – 11 ЭЭр**

**Рахимова У**

**Принял:**

**А.Х.Эралиев**

## Содержание

1. Виды изоляций и требования предъявляемые к ним
    - 1.1 Виды электроизоляционных материалов
    - 1.2 Требования к изоляции
  2. Бумажно-масляная изоляция
  3. Изоляция масляных и воздушных выключателей
    - 3.1 Изоляция маслонаполненных выключателей
    - 3.2 Изоляция воздушных выключателей
  4. Ограничители перенапряжений
    - 4.1 Технические характеристики ограничителей перенапряжения (ОПН)
    - 4.2 Конструкция ограничителей перенапряжения (ОПН)
  5. Выбор гирлянды изоляторов и изоляционных расстояний опоры ВЛ электропередачи
- Список литературы

# 1. Виды изоляций и требования предъявляемые к ним

## 1.1 Виды электроизоляционных материалов

Электроизоляционными материалами, или диэлектриками, называют такие материалы, с помощью которых осуществляют изоляцию, т. е. препятствуют утечке электрического тока между какими-либо токопроводящими частями, находящимися под разными электрическими потенциалами.

Диэлектрики имеют очень большое электрическое сопротивление. По химическому составу диэлектрики делят на органические и неорганические. Основным элементом в молекулах всех органических диэлектриков является углерод. В неорганических диэлектриках углерода нет. Наибольшей нагревостойкостью обладают неорганические диэлектрики (слюда, керамика и др.).

По способу получения различают естественные (природные) и синтетические диэлектрики. Синтетические диэлектрики могут быть созданы с заданным комплексом электрических и физико-химических свойств, поэтому они широко применяются в электротехнике.

По строению молекул диэлектрики делят на неполярные (нейтральные) и полярные. Нейтральные диэлектрики состоят из электрически нейтральных атомов и молекул, которые до воздействия на них электрического поля не обладают электрическими свойствами. Нейтральными диэлектриками являются: полиэтилен, фторопласт-4 и др. Среди нейтральных выделяют ионные кристаллические диэлектрики (слюда, кварц и др.), в которых каждая пара ионов составляет электрически нейтральную частицу. Ионы располагаются в узлах кристаллической решетки. Каждый ион находится в колебательном тепловом движении около центра равновесия — узла кристаллической решетки. Полярные, или дипольные, диэлектрики состоят из полярных молекул-диполей. Последние вследствие асимметрии своего

строения обладают начальным электрическим моментом еще до воздействия на них силы электрического поля. К полярным диэлектрикам относятся бакелит, поливинилхлорид и др. По сравнению с нейтральными диэлектриками полярные имеют более высокие значения диэлектрической проницаемости, а также немного повышенную проводимость.

По агрегатному состоянию диэлектрики бывают газообразными, жидкими и твердыми. Самой большой является группа твердых диэлектриков. Электрические свойства электроизоляционных материалов оценивают с помощью величин, называемых электрическими характеристиками. К ним относятся: удельное объемное сопротивление, удельное поверхностное сопротивление, диэлектрическая проницаемость, температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, тангенс угла диэлектрических потерь и электрическая прочность материала.

*Удельное объемное сопротивление* — величина, дающая возможность оценить электрическое сопротивление материала при протекании через него постоянного тока. Величина, обратная удельному объемному сопротивлению, называется удельной объемной проводимостью. *Удельное поверхностное сопротивление* — величина, позволяющая оценить электрическое сопротивление материала при протекании постоянного тока по его поверхности между электродами. Величина, обратная удельному поверхностному сопротивлению, называется *удельной поверхностной проводимостью*.

*Температурный коэффициент удельного электрического сопротивления* — величина, определяющая изменение удельного сопротивления материала с изменением его температуры. С повышением температуры у всех диэлектриков электрическое сопротивление уменьшается, следовательно, их температурный коэффициент удельного сопротивления имеет отрицательный знак.

*Диэлектрическая проницаемость* — величина, позволяющая оценить способность материала создавать электрическую емкость. Относительная

диэлектрическая проницаемость входит в величину абсолютной диэлектрической проницаемости. Температурный коэффициент диэлектрической проницаемости — величина, дающая возможность оценить характер изменения диэлектрической проницаемости, а следовательно, и емкости изоляции с изменением температуры. *Тангенс угла диэлектрических потерь* — величина, определяющая потери мощности в диэлектрике, работающем при переменном напряжении

*Электрическая прочность* — величина, позволяющая оценить способность диэлектрика противостоять разрушению его электрическим напряжением. Механическая прочность электроизоляционных и других материалов оценивается при помощи следующих характеристик: предел прочности материала при растяжении, относительное удлинение при растяжении, предел прочности материала при сжатии, предел прочности материала при статическом изгибе, удельная ударная вязкость, сопротивление раскалыванию.

К физико-химическим характеристикам диэлектриков относятся: кислотное число, вязкость, водопоглощаемость.

*Кислотное число* — это количество миллиграммов едкого калия, необходимое для нейтрализации свободных кислот, содержащихся в 1 г диэлектрика. Кислотное число определяется у жидких диэлектриков, компаундов и лаков. Эта величина позволяет оценить количество свободных кислот в диэлектрике, а значит, степень их воздействия на органические материалы. Наличие свободных кислот ухудшает электроизоляционные свойства диэлектриков. *Вязкость*, или коэффициент внутреннего трения, дает возможность оценить текучесть электроизоляционных жидкостей (масел, лаков и др.). Вязкость бывает кинематической и условной.

*Водопоглощаемость* — это количество воды, поглощенной диэлектриком после пребывания его в дистиллированной воде в течение суток при температуре 20° С и выше. Величина водопоглощаемости указывает на пористость материала и наличие в нем водорастворимых

веществ. С увеличением этого показателя электроизоляционные свойства диэлектриков ухудшаются.

К тепловым характеристикам диэлектриков относятся: температура плавления, температура размягчения, температура каплепадения, температура вспышки паров, теплостойкость пластмасс, термоэластичность (теплостойкость) лаков, нагревостойкость, морозостойкость, тропикостойкость.

## **1.2 Требования к изоляции**

Повреждение изоляции является основным источником аварий и причиной многих несчастных случаев. Вот почему в процессе эксплуатации электрооборудования изоляция всегда должна удовлетворять предъявляемым к ней требованиям, которые должны быть исчерпывающими, гарантировать при их соблюдении безаварийную и безопасную работу оборудования и обслуживающего персонала.

В качестве изоляции в электрических сетях и установках применяют фарфор, стекло, клинкер, смолу и ее производные, бумагу, картон, фибру, текстолит, пластмассы, резину, минеральные масла, лаки и другие органические соединения. При выборе электроизоляционных материалов обычно исходят из ряда факторов: назначения установки, удобства механической обработки, стоимости материала и его диэлектрических свойств. При этом большое значение имеет не только первоначальная характеристика материала, но и стабильность его при работе в электрическом поле и под влиянием изменения температуры, влажности, химических воздействий и других условий внешней среды. Надежность является одним из обязательных требований при эксплуатации средств электрической изоляции. Это требование приобретает еще большее значение в условиях высоковольтных сетей и промышленных установок.

Сопротивление изоляции на каждом участке в сетях напряжением до

1000 В должно быть не ниже 500 000 Ом на фазу.

Так как с течением времени качество изоляции ухудшается, то установки, находящиеся в эксплуатации, необходимо периодически подвергать проверке. Такая проверка должна проводиться не реже одного раза в год в помещениях без повышенной электрической опасности, 2 раза в год в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных и один раз в квартал в пожаро- и взрывоопасных помещениях.

Измерение сопротивления изоляции производят прибором, называемым мегомметром.

## 2. Бумажно-масляная изоляция

Бумажно-масляная изоляция (БМИ) является неоднородным слоистым диэлектриком, представляющим собой слои бумаги, пропитанной минеральным маслом, и масляные прослойки, заполняющие зазоры между слоями бумаги. В конструкциях с бумажно-масляной изоляцией применяется два варианта исполнения изоляционного слоя, накладываемого на изолируемую деталь: 1) листовой, когда слой изоляции выполняется путем намотки сплошных, по длине детали, листов бумаги, и 2) ленточный, когда слой изоляции образуется намоткой на деталь по спирали бумажных лент или полос.

Листовая изоляция применяется в проходных изоляторах, длина которых не превышает ширины бумажных рулонов, а также для барьеров и отбортовок в изоляции ТН. Ленточная изоляция применяется в тех случаях, когда необходимо обеспечить гибкость изоляции при монтаже, в процессе которого она должна накладываться на изолируемые элементы сложной конфигурации, особенно в местах изгибов малого радиуса, или когда размеры изолируемых элементов превосходят ширину бумажных рулонов, выпускаемых промышленностью. Лента может быть узкой (шириной 12—35 мм) или широкой (120—180 мм). Для устранения надрывов ленты применяется так называемая сложенная лента, т. е. бумажная лента, края которой загнуты на 180°. Она напоминает в сечении сплюснутую букву С.

Бумажная лента накладывается на изолируемые части последовательными слоями по спирали с положительным или отрицательным перекрытием. При положительном перекрытии одна лента перекрывает не менее половины ширины другой (полнахлеста), а при отрицательном зазор между краями соседних лент в слое составляет 0,5—2 мм для узких лент и 10—15 мм для широких. Узкая лента при отрицательном перекрытии накладывается на предыдущий слой таким образом, чтобы ленты следующего слоя перекрывали не менее двух третей ширины ленты

предыдущего слоя.

Одинаковая толщина намотки и ее однородность достижима только при наложении ленты (листа) на протяженные цилиндрические детали с достаточным натяжением, например на токоведущий стержень проходного изолятора. Однако в ряде АВН, например в ТТ, изолируемые детали изогнуты, имеют форму кольца или выполнены в виде двух колец, входящих одно в другое и повернутых относительно друг друга на  $90^\circ$ . В этих случаях расчетная толщина изоляции выдерживается со стороны меньшего радиуса (у кольца это внутренний радиус). При наложении же на наружную часть криволинейной детали ленты с положительным перекрытием, например в полнахлеста, на внутренней стороне этой детали перекрытие будет существенно больше. Также и при отрицательном перекрытии на внешней поверхности детали перекрытие на ее внутренней поверхности будет положительным. Таким образом, толщина изоляции на внутренней части изогнутой детали (кольца) оказывается больше, чем на внешней. Для доведения толщины изоляции на внешней поверхности криволинейной детали до расчетной на эту поверхность накладываются широкие полосы бумаги с надрезанными краями (так называемые шубы) и плотно к ней прижимаются при последующей намотке ленты. В зависимости от общей толщины изоляции в нее может быть заложено несколько шуб.

Шубы хотя и выравнивают толщину изоляции, однако нарушают ее структуру, так как приводят к многочисленным масляным прослойкам.

При намотке ленты (широкой полосы) между ее отдельными слоями всегда остаются зазоры, которые затем заполняются маслом. В ленточных слоях число и размеры масляных прослоек зависят от толщины бумаги, степени перекрытия лент и плотности намотки. Размеры масляных прослоек в листовых слоях зависят в основном от плотности прилегания листов бумаги друг к другу и к изолируемым элементам.

Для изготовления бумажно-масляной изоляции применяются бумаги: конденсаторная, кабельная, телефонная, крепированная и гофрированная.

Гофры позволяют лучше накладывать изоляцию в местах изгибов относительно малого радиуса.

Электрическая прочность непропитанной бумаги из-за значительного количества воздушных включений при 50 Гц составляет 10—20 кВ/мм. Заполнение воздушных включений в бумаге минеральным маслом, обладающим значительно более высокой электрической прочностью, чем воздух, существенно повышает ее электрическую прочность. В процессе пропитки происходит не только простое заполнение пор и объемов между волокнами бумаги, но и всасывание масла в капилляры ее волокон. Время пропитки определяется удельной воздухопроницаемостью и плотностью бумаги, вязкостью масла, давлением, при котором производится сушка и пропитка, а также размерами и формой бумажной изоляции.

Качество бумажно-масляной изоляции существенно зависит от режима сушки и пропитки изоляции, а также от качества масла. Сушка бумажно-масляной изоляции может производиться: 1) наружным обогревом в паровых, электрических или других печах за счет внешнего теплоносителя, подводимого к поверхности изоляции через пространство, которое окружает эту изоляцию; 2) комбинированным обогревом (одновременно внутренний и наружный); при этом внутренний обогрев осуществляется теплотой, выделяющейся в объеме изолированной детали под действием электрического тока, составляющего (0,8— 1,0) I<sub>ном</sub>. Комбинированный обогрев позволяет сократить время сушки бумажно-масляной изоляции примерно в пять раз.

Сушка бумажно-масляной изоляции производится под вакуумом при остаточном давлении (1,4—53)\* 10<sup>2</sup> Па (1—40 мм рт. ст.) для негерметизированных конструкций и 1,4-(10<sup>-1</sup>—10<sup>-2</sup>) Па для герметизированных. Вакуумная сушка сокращает длительность процесса, понижает остаточное влагосодержание бумаги и tg δ изоляции, повышает стабильность tg δ изоляции при изменении ее температуры, а также значительно снижает содержание воздуха и влаги в масле. Сушка аппаратной

бумажно-масляной изоляции продолжается 100—150 ч в зависимости от толщины изоляции.

В начале в вакуумной камере (печи) сушится деталь с намотанной на нее бумажной изоляцией. Затем производится сборка АВН, вакуумирование его, заливка трансформаторным маслом и вакуумирование аппарата, залитого маслом; такой режим применяется в маслonaполненных проходных изоляторах и некоторых ТТ.

Производится полная сборка АВН, а затем его вакуумная сушка и заливка трансформаторным маслом. Такой режим применяется в некоторых ТТ.

Характерные области в бумажно-масляной изоляции: область основной изоляции, удаленная от краев электродов, и область изоляции вблизи краев электродов. В области основной изоляции силовые линии электрического поля направлены, как правило, поперек слоев бумаги, тогда как в области краев электродов из-за неоднородности поля помимо поперечных составляющих возникают значительные составляющие напряженности, направленные вдоль слоев бумаги. Электрическая прочность поперек слоев бумаги в 10—20 раз больше прочности вдоль слоев. Наличие продольных составляющих облегчает развитие местных разрядов вдоль слоев бумаги.

### **3. Изоляция масляных и воздушных выключателей**

#### **3.1 Изоляция маслонаполненных выключателей**

Различают выключатели масляные баковые — с большим объемом масла, масло служит и как дугогасящая среда, и как изоляция, и выключатели маломасляные — с малым объемом масла, масло служит только дугогасящей средой.

На напряжения 35—220 кВ применяются в основном баковые выключатели. Маломасляные выключатели являются основными на напряжение до 10 кВ. Начинают все более широко применяться маломасляные выключатели в наружных установках на 110 и 220 кВ при условии их достаточной отключающей способности (серия ВМТ).

Достоинства масляных выключателей — относительная простота конструкции, большая отключающая способность и независимость от атмосферных явлений. Недостатком, особенно баковых выключателей, является наличие большого количества масла, что приводит к большим габаритам и массам как самих выключателей, так и распределительных устройств, повышенной пожаро- и взрывоопасности, необходимости специального масляного хозяйства.

Внутренняя изоляция масляных выключателей (МВ) имеет большой запас электрической прочности (рис. 1). Она состоит из масляных промежутков между токоведущими частями и баком выключателя, изоляционных барьеров, а также изоляции штанги и ее направляющего устройства. Штанга изготавливается из дерева твердых пород, пропитывается трансформаторным маслом, а направляющая штанга — из гетинакса.

Снижение электрической прочности изоляции МВ может происходить из-за влаги, поглощаемой им из атмосферы.

При  $t = -20^{\circ}\text{C}$  окружающего воздуха включается устройство подогрева масла. Периодически у масла определяются электрическая прочность и

наличие углеродистых частей. Загрязнение штанг и направляющих определяется измерением сопротивлением изоляции ( $R_{из}$ )

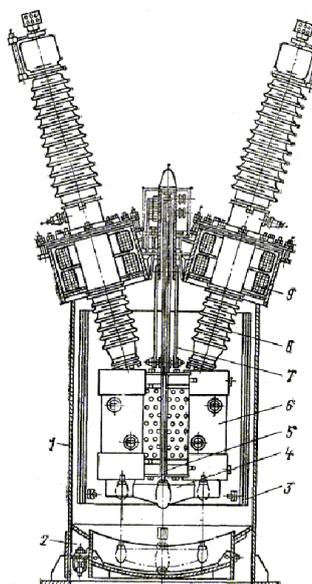


Рис. 1. Баковый масляный выключатель на напряжение 110 кВ:

1 – стальной бак; 2 – масло; 3 – изоляционные барьеры; 4 – контактная траверса; 5 – штанга; 6 – дугогасительные камеры; 7 – направляющие; 8 – вводы; 9 – трансформаторы тока

### 3.2 Изоляция воздушных выключателей

Главной изоляцией воздушных выключателей ВВВ – 110 кВ (рис. 2) является опорный изолятор, установленный на металлическом основании. На опорном фарфоровом изоляторе смонтирована металлическая дугогасительная камера с эпоксидными вводами. Для подачи сжатого воздуха в гасительную камеру и камеру управления контактами выключателя внутри опорного фарфорового изолятора проходят изоляционные стеклопластиковые воздухопроводы.

Для предотвращения конденсации влаги внутренние полости опорных изоляторов продуваются сухим сжатым воздухом.

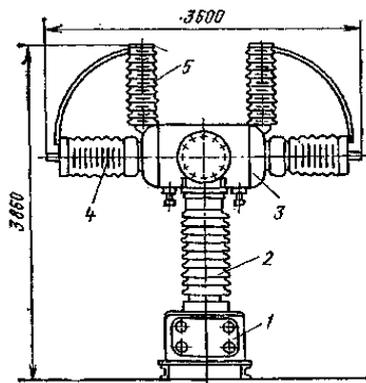


Рис. 2. Воздушный выключатель типа ВВБ-110 кВ:

1 – шкаф управления; 2 – опорный изолятор; 3 – бак с дугогасительным устройством, наполненный сжатым воздухом; 4 – проходные изоляторы; 5 – конденсаторы для равномерного распределения напряжения между двумя разрывами.

## **4.Ограничители перенапряжений**

Назначение ограничителей перенапряжения (ОПН)

Ограничители перенапряжения (ОПН) относятся к высоковольтным аппаратам, предназначенным для защиты изоляции электрооборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений.

В отличие от традиционных вентильных разрядников с искровыми промежутками и карборундовыми резисторами/они не содержат искровых промежутков и состоят только из колонки нелинейных резисторов на основе окиси цинка, заключенных в полимерную или фарфоровую крышку.

Оксидно-цинковые резисторы позволяют применять ОПН для более глубокого ограничения перенапряжений по сравнению с вентильными разрядниками и способны выдерживать без ограничения времени рабочее напряжение сети. Полимерная или фарфоровая крышка обеспечивает эффективную защиту резисторов от окружающей среды и безопасность эксплуатации.

Габариты ОПН и их вес значительно меньше по сравнению с вентильными разрядниками.

### **4.1 Технические характеристики ограничителей перенапряжения (ОПН)**

*Наибольшее длительно действующее рабочее напряжение ( $U_c$ )* - это наивысшее эффективное значение напряжения переменного тока, которое может быть подведено к зажимам ОПН без ограничения времени.

*Номинальное напряжение* - это нормативный параметр согласно МЭК99-4, определяющий значение переменного напряжения, которое ОПН должен выдерживать в течение 10 секунд при рабочих испытаниях.

*Ток проводимости* - это ток, текущий через ОПН под влиянием напряжения, приложенного к зажимам ОПН в условиях эксплуатации. Этот

ток состоит из активной и емкостной составляющих и его величина составляет несколько сот микроампер, По этому току в эксплуатации производится оценка качества работы ОПН.

Устойчивость ОПН к медленно изменяющемуся напряжению -это способность ОПН выдерживать повышенный уровень напряжения промышленной частоты без разрушения в течение заданного времени. По этому значению напряжения производится настройка защитного отключения ОПН по истечению заданного времени.

*Номинальный разрядный ток* - это ток по которому классифицируется защитный уровень ОПН в грозовом режиме при импульсе 8/20 мкс.

*Расчетный ток коммутационного перенапряжения* - это ток, по которому классифицируется защитный уровень при коммутационных пере напряжениях с параметрами импульса 30/60 мкс.

*Предельный разрядный ток* - это пиковое значение грозового разрядного тока формой 4/10 мкс, который применяется для проверки прочности ОПН в случае прямого удара молнии в месте его установки.

*Токовая пропускная способность* - это норматив ресурса ОПН за весь срок эксплуатации при наиболее неблагоприятных случаях ограничения как грозовых, так и коммутационных перенапряжений. Эквивалентом пропускной способности является класс разряда линии, который по МЭК99-4 имеет 5 классов.

*Устойчивость к короткому замыканию в ОПН* - это способность поврежденного ограничителя выдерживать без взрыва покрышки токи короткого замыкания сети в месте установки ОПН.

## **4.2 Конструкция ограничителей перенапряжения (ОПН)**

Большинство крупных фирм производителей электротехнической продукции при разработке и выпуске ОПН используют те же конструкторские решения, технологии и дизайн, что и для производства

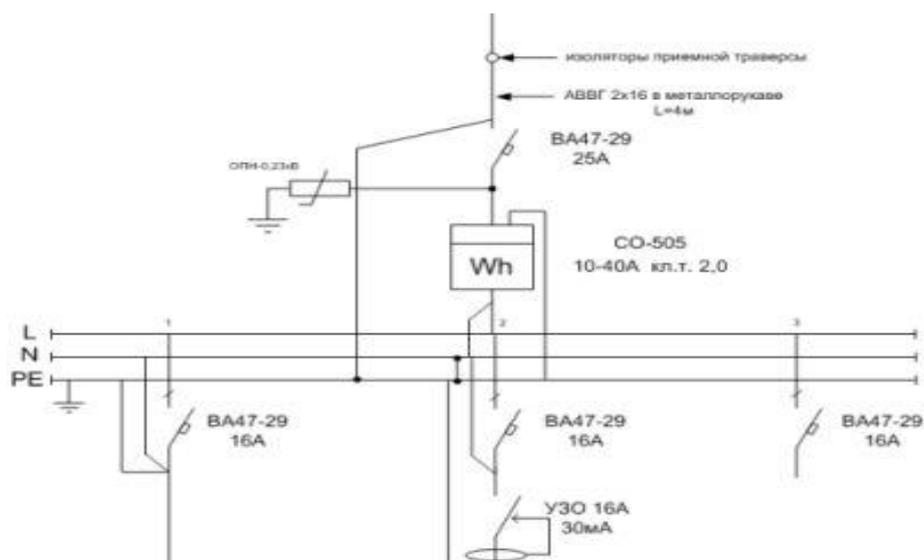
других электроустановочных изделий. Это касается габаритных размеров, материала корпуса, применяемых технических решений для установки изделия в электроустановку потребителя, внешнего вида и других параметров. Дополнительно к конструкции ограничителей перенапряжений могут быть предъявлены следующие требования:

Корпус устройства должен быть выполнен с соблюдением требований по защите от прямого прикосновения (класс защиты не ниже IP20);

Отсутствие риска возгорания устройства защиты или короткого замыкания в линии в случае его выхода из строя в результате перегрузки;

Наличие простой и надежной индикации выхода из строя, возможность подключения дистанционной сигнализации;

Удобство монтажа на объекте



Пример установки ОПН

## 5. Выбор гирлянды изоляторов и изоляционных расстояний опоры ВЛ электропередачи

**Задача.**

Дано:

$$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$$

Степень загрязненности атмосферы III

Механическая нагрузка = 100 кН.

$$\rho = 300 \text{ ом*м}$$

Тип опоры = одно-цепная.

$$L = 70 \text{ км.}$$

$$L_n = 200 \text{ м.}$$

$$D_r = 45$$

Резерв = есть.

АПВ = есть.

Цель: научиться выбирать гирлянды изоляторов и изоляционных расстояний, опоры ВЛ ЛЭП.

1) Выбор числа изоляторов.

$$n \geq \frac{K \cdot U_{\text{ном}} \cdot U_{\text{амб. раб.}}}{L_{y1}}$$

$$K = 1 + 0.5 \left( \frac{L_y}{D} - 1 \right) = 1 + 0.5 \left( \frac{325}{260} - 1 \right) = 1.13$$

$$\frac{1.13 \cdot 110 \cdot 126}{32.5} = 8.3 \text{ шт}$$

$$9 > 8.3$$

Выбираем 9 изоляторов.

Проверка выбранного количества изоляторов по условиям работы под дождем, при воздействии внутренних перенапряжений.

$$n \geq \frac{K_p \cdot U_{\text{раб.мах}}}{E_{\text{тп}} \cdot H} = \frac{3 \cdot 126}{2.3 \cdot 14} = 11.74 \text{ шт.}$$

12 > 11.74 шт. Выбираем 12 шт. изоляторов. Тип ПС 12-А

2) Расчет минимальной длины воздушного промежутка.

$$U_{\text{расч}} = \frac{K_p \cdot U_{\text{раб.мах}}}{K_{\delta} \cdot K_{\delta}} = 529,4 \text{ кВ}$$

3) Удельное число отключений линий.

Без тросов:

$$h_{\text{ср}} = h_{\text{оп}} - \frac{2}{3} \cdot l_{\text{тп}} = 25 - \frac{2}{3} \cdot 3 = 23 \text{ м}$$

$$I_{\text{кр}} = \frac{2 \cdot U_{50\%}}{z} = 5.5 \text{ кА}$$

$$n_{\text{откл}} = 4 \cdot 23 \cdot 0.85 \cdot 1 = 78.20 \text{ отключений.}$$

Для ЛЭП защищённых тросами;

$$I_{\text{кр}} = \frac{U_{+50\%}}{(R_u + d \cdot h_{\text{оп}})} = \frac{1000}{(20 + 0.3 + 25)} = 36,4 \text{ кА}$$

4) Вероятность прорыва молний тросовую защиту:

$$L_y P_a = \frac{a \cdot \overline{h_{\text{тп}}}}{75} - 3.95 = \frac{25 \cdot 25}{75} - 3.95 = 0.88$$

Удельное число грозových отключений:

$$n_{\text{откл}} = 4 \cdot h_{\text{ср}} \cdot \left[ \left( \frac{4 \cdot \overline{h_{\text{тп}}}}{L_n} \right) \cdot P_{\text{оп}} + P_a \cdot P_{\text{тп}} \right] \cdot L_n = 4 \cdot 23 \cdot \left[ \left( \frac{4 \cdot 25}{200} \right) \cdot 0.4 + 0.35 \cdot 0.03 \right] \cdot 1 = 19.3 \text{ откл}$$

5) Определяется число грозových отключений ВЛ за год:

$$N_{\text{отк}} = 19,3 \text{ ч} \frac{L}{100} \text{ ч} \frac{D}{100} = 19,3 \text{ ч} \frac{70}{100} \text{ ч} \frac{45}{100} = 6,08 \text{ откл.}$$

Допустимое число отключений:

$$N_{\text{отк.доп}} = \frac{N_{\text{доп}}}{(1 - \varepsilon_{\text{АПВ}})} = \frac{4,8}{(1 - 0,8)} = 24 \text{ откл.}$$

Вывод: с помощью расчетов научились выбирать количество изоляторов гирлянде.

## Список литературы

1. <http://newchemistry.ru>

2. РАЗДЕЛ БИБЛИОТЕКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

<http://delta-grup.ru/bibliot/> = <http://bibt.ru>

3. <http://forca.ru/spravka/spravka/bumazhno-maslyanaya-izolyaciya.html>

4. <http://electricalschool.info/main/elsnabg/220-primenenie-ogranichitelej.html>