

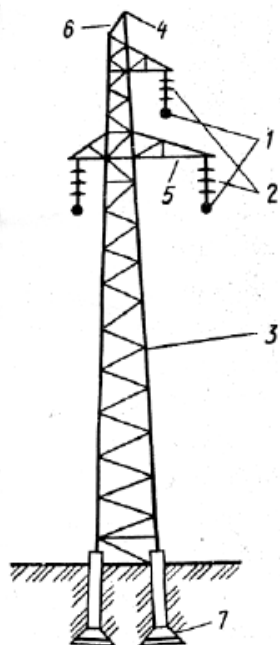
Лекция 8

3.10. Общая характеристика и основные элементы воздушных линий

Линии электропередачи (ЛЭП) – центральный элемент системы передачи и распределения ЭЭ. Линии выполняются преимущественно воздушными (ВЛ) и кабельными (КЛ). На энергоёмких предприятиях применяют также токопроводы, на генераторном напряжении электростанций – шинопроводы; в производственных и жилых зданиях – внутренние проводки.

Выбор типа ЛЭП, её конструктивного исполнения определяется назначением линии, местом расположения (прокладки) и, соответственно, её номинальным напряжением, передаваемой мощностью, дальностью электропередачи, площадью и стоимостью занимаемой (отчуждаемой) территории, климатическими условиями, требованиями электробезопасности и технической эстетики и рядом других факторов и в конечном итоге экономической целесообразностью передачи ЭЭ. Указанный выбор производится на стадиях принятия проектных решений.

Воздушными называются линии, предназначенные для передачи и распределения ЭЭ по проводам, расположенным на открытом воздухе и поддерживаемым с помощью опор и изоляторов.



Воздушные ЛЭП сооружаются и эксплуатируются в самых разнообразных климатических условиях и географических районах, подвержены атмосферному воздействию (ветер, гололёд, дождь, изменение температуры). В связи с этим ВЛ должны сооружаться с учётом атмосферных явлений, загрязнения воздуха, условий прокладки (слабозаселённая местность, территория города, предприятия) и др. Из анализа условий ВЛ следует, что материалы и конструкции линий должны удовлетворять ряду требований: экономически приемлемая стоимость, хорошая электропроводность и достаточная механическая прочность материалов проводов и тросов. Стойкость их к коррозии, химическим воздействиям; линии должны быть электрически и экономически безопасны, занимать минимальную территорию.

Основными элементами ВЛ являются: 1 – провода; 2 – изоляторы; 3 – опора; 4 – грозозащитные тросы; 5 – траверсы; 6 – тросостойки; 7 – фундаменты.

По конструктивному исполнению опор наиболее распространены одно- и двухцепные ВЛ. На трассе линии могут сооружаться до четырёх цепей. Трасса линии – полоса земли, на которой сооружается линия. Одна цепь высоковольтной ВЛ объединяет три провода (комплекта проводов) трёхфазной линии, в низковольтной – от трёх до пяти проводов. В целом конструктивная часть ВЛ характеризуется типом опор, длинами пролётов, габаритными размерами, конструкцией фаз, количеством изоляторов.

Конструкция фазы ВЛ в основном определяется количеством проводов в фазе. Если фаза выполнена несколькими проводами, она называется расщеплённой. Расщеплёнными выполняют фазы ВЛ высокого и сверхвысокого напряжения.

3.10.1. Опоры и провода воздушных линий

Опоры ВЛ – конструкции, предназначенные для поддержания проводов на необходимой высоте над землёй, водой или каким-либо инженерным сооружением. Кроме того, на опорах в необходимых случаях подвешивают стальные заземлённые тросы для защиты проводов от прямых ударов молнии и связанных с этим перенапряжений.

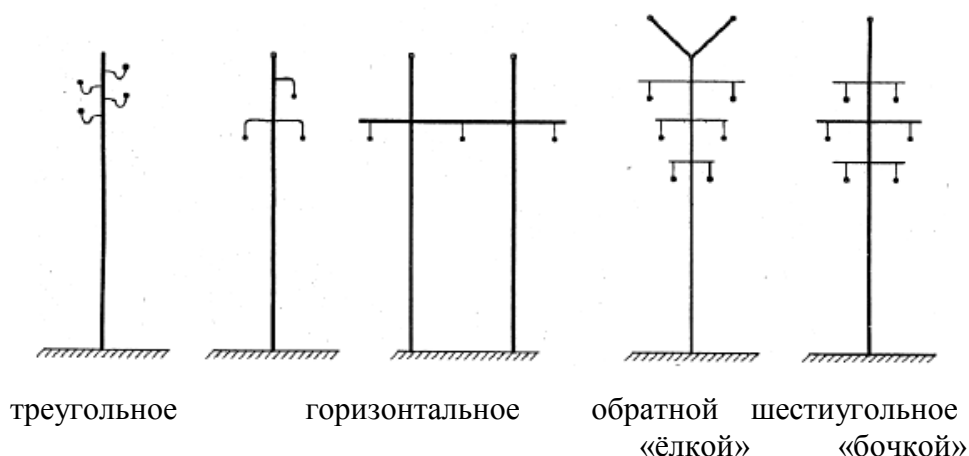
Типы и конструкции опор разнообразны. В зависимости от назначения и размещения на трассе ВЛ они подразделяются на промежуточные и анкерные. Отличаются опоры материалом, исполнением и способом крепления, подвязки проводов. В зависимости от материала они бывают деревянные, железобетонные и металлические. Промежуточные опоры наиболее простые, служат

для поддержания проводов на прямых участках линии. Они встречаются наиболее часто; доля их в среднем составляет 80...90% от общего числа опор ВЛ. Провода к ним крепят с помощью поддерживающих (подвесных) гирлянд изоляторов или штыревых изоляторов. Промежуточные опоры в нормальном режиме испытывают нагрузку в основном от собственного веса проводов, тросов и изоляторов, подвесные гирлянды изоляторов свисают вертикально. Промежуточные опоры в одноцепном исполнении рассчитываются на обрыв только одного из проводов.

Анкерные опоры устанавливают в местах крепления проводов; они делятся на концевые, угловые, промежуточные и специальные. Анкерные опоры, рассчитанные на продольные и поперечные составляющие тяжения проводов (натяжные гирлянды изоляторов расположены горизонтально), испытывают наибольшие нагрузки и рассчитываются на обрыв как минимум половины проводов. Поэтому они значительно сложнее и дороже промежуточных; число их на каждой линии должно быть минимальным. В частности, концевые и угловые опоры, устанавливаемые в конце или на повороте линии, испытывают постоянное тяжение проводов и тросов: одностороннее или по равнодействующей угла поворота; промежуточные анкерные, устанавливаемые на протяжённых прямых участках, также рассчитываются на одностороннее тяжение, которое может возникнуть при обрыве части проводов в примыкающем к опоре пролёте.

Специальные опоры бывают следующих типов: переходные – для больших пролётов пересечения рек, ущелий; ответвительные – для выполнения ответвлений от основной линии; транспозиционные – для изменения порядка расположения проводов на опоре.

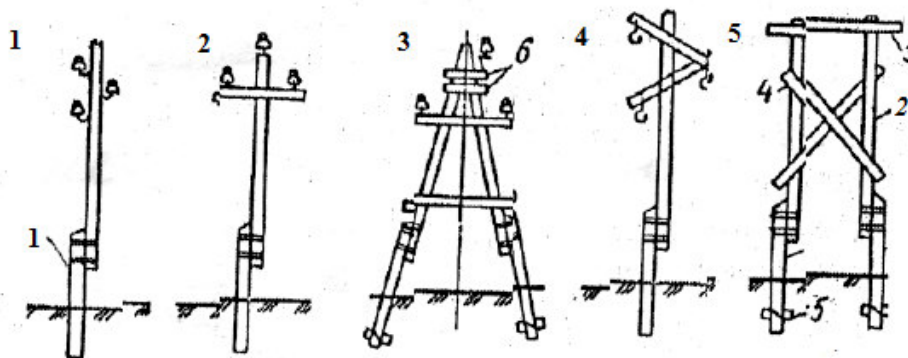
Расположение проводов и тросов на опорах



Наряду с назначением (типом) конструкция опоры определяется количеством цепей ВЛ и взаимным расположением проводов (фаз). Опоры (и линии) выполняются в одно- или двухцепном варианте, при этом провода на опорах могут размещаться треугольником, горизонтально, обратной «ёлкой» и шестиугольником, или «бочкой». Несимметричное расположение фазных проводов по отношению друг к другу обуславливает неодинаковость индуктивностей и ёмкостей разных фаз. Для обеспечения симметрии трёхфазной системы и выравнивания по фазам реактивных параметров на длинных линиях (более 100 км) напряжением 110 кВ и выше осуществляют перестановку (транспозицию) проводов в цепи с помощью соответствующих опор. При полном цикле транспозиции каждый провод (фаза) равномерно по длине линии занимает последовательно положение всех трёх фаз на опоре.

Деревянные опоры изготавливают из сосны или лиственницы и применяют на линиях напряжением до 110 кВ в лесных районах, но всё реже. Основными элементами опор являются пасынки (приставки) 1, стойки 2, траверсы 3, раскосы 4, подтраверсные брусья 6 и ригели 5. Опоры просты в изготовлении, дешёвы, удобны в транспортировке. Основной их недостаток – недолговечность из-за гниения древесины, несмотря на её обработку антисептиком. Применение железобетонных пасынков (приставок) увеличивает срок службы опор до 20 – 25 лет.

Типы деревянных опор

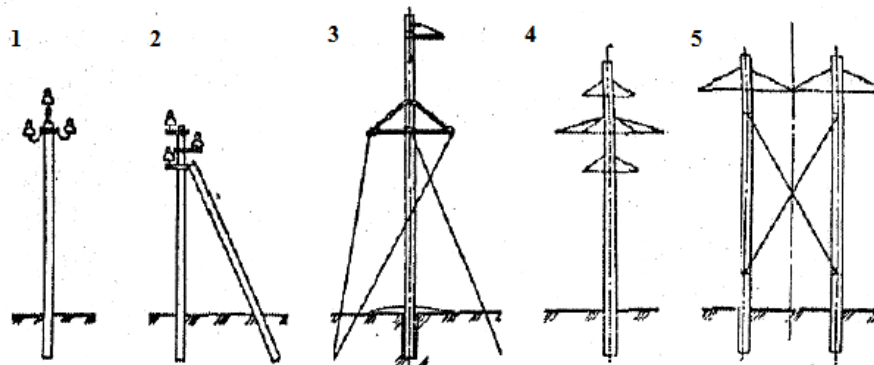


1 - промежуточная 0,4 -10 кВ; 2 - промежуточная 0,4 -35 кВ; 3 - угловая промежуточная 6-35 кВ; 4 - промежуточная 35 кВ; 5 - промежуточная свободно стоящая 35-220 кВ.

Железобетонные опоры наиболее широко применяются на линиях напряжением до 750 кВ. Они могут быть свободно стоящими (промежуточными) и с оттяжками (анкерными). Железобетонные опоры долговечнее деревянных, просты в эксплуатации, дешевле металлических.

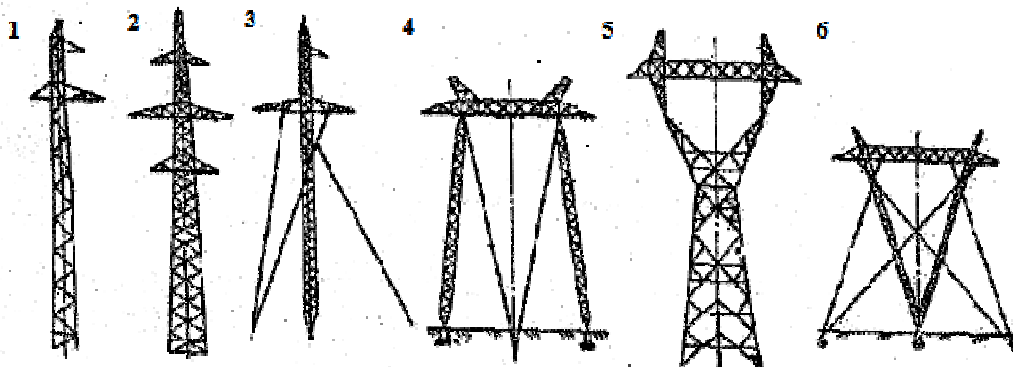
Металлические (стальные) опоры применяют на линиях напряжением 35 кВ и выше. Они прочны и надёжны, но достаточно металлоёмкие, занимают большую площадь, требуют для установки сооружения специальных железобетонных фундаментов и в процессе эксплуатации должны окрашиваться для предохранения от коррозии. Металлические опоры используются в тех случаях, когда технически сложно и неэкономично соорудить ВЛ на деревянных и железобетонных опорах (переходы через реки, ущелья, выполнение отпаек от ВЛ и т.п.).

Типы железобетонных опор



1 – промежуточная 6-10 кВ; 2 – угловая промежуточная 6-35 кВ; 3 – анкерно-угловая одноцепная на оттяжках 35-220 кВ; 4 – промежуточная двухцепная 110-220 кВ; 5 – промежуточная одноцепная порталная 330-500 кВ

Типы металлических опор



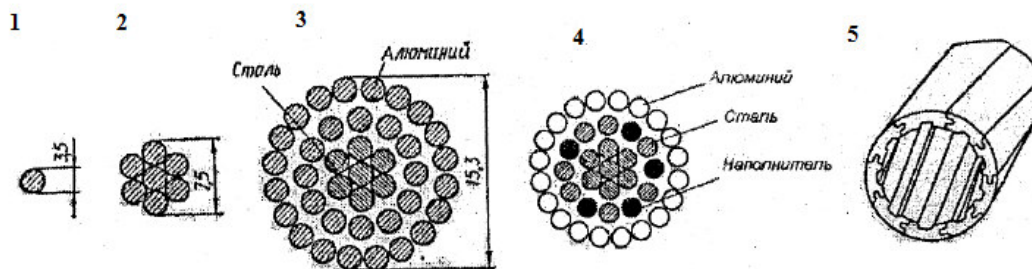
1 – промежуточная одноцепная башенного типа 35-330 кВ; 2 – промежуточная двухцепная башенного типа 35-330 кВ; 3 – промежуточная одноцепная на оттяжках 11-330 кВ; 4 – промежуточная порталная на оттяжках 330-500 кВ; 5 – промежуточная свободно стоящая (типа «рюмка») 500-750 кВ; 6 – промежуточная на оттяжках типа «набла» 750 кВ

В России разработали унифицированные металлические и железобетонные опоры различных типов для ВЛ всех напряжений, что позволяет серийно их производить, ускорять и удешевлять сооружение линий.

Провода предназначены для передачи ЭЭ. Наряду с хорошей электропроводностью (возможно меньшим электрическим сопротивлением), достаточной механической прочностью и устойчивостью против коррозии, они должны удовлетворять условиям экономичности. С этой целью применяют провода из наиболее дешёвых металлов – алюминия, стали, специальных сплавов алюминия. Хотя медь обладает наибольшей проводимостью, медные провода из-за высокой стоимости и необходимости для других целей в новых линиях не используются. Их использование допускается в контактных сетях, в сетях горных предприятий.

На ВЛ применяются преимущественно неизолированные (голые) провода. По конструктивному исполнению провода могут быть одно- и многопроволочными, полыми. Однопроволочные, преимущественно стальные провода, используются ограниченно в низковольтных сетях. Для придания им гибкости и большей механической прочности провода изготавливают многопроволочными из одного металла (алюминия или стали) и из двух металлов (комбинированные) – алюминия и стали. Сталь в проводе увеличивает механическую прочность.

Конструкции неизолированных проводов ВЛ



1 – однопроволочный; 2 – многопроволочный; 3 – сталеалюминиевый;
4 – многопроволочный с наполнителем; 5 – полый

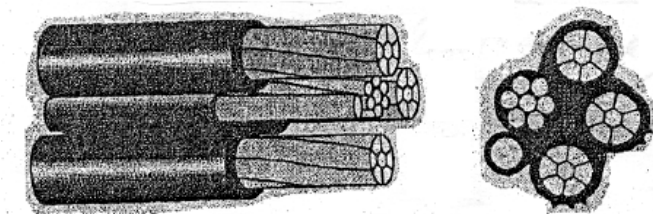
Исходя из условий механической прочности, алюминиевые провода марок А и АКП применяют на ВЛ напряжением до 35 кВ. ВЛ 6-35 кВ могут также выполняться сталеалюминиевыми проводами, а выше 35 кВ линии монтируются исключительно сталеалюминиевыми проводами. Сталеалюминиевые провода имеют вокруг стального сердечника повивы из алюминиевых проволок. Площадь сечения стальной части обычно в 4 – 8 раз меньше алюминиевой, но сталь воспринимает около 30...40% всей механической нагрузки; также провода используются на линиях с длинными пролётами и на территориях с более тяжёлыми климатическими условиями (с большей толщиной стенки гололёда). В марке сталеалюминиевых проводов указывается сечение алюминиевой и стальной части, например, АС 70/11, а также данные об антикоррозийной защите, например, АСКС, АСКП – такие же провода, как и АС, но с наполнителем сердечника (С) или всего провода (П) антикоррозийной смазкой; АСК – такой же провод, как и АС, но с сердечником, покрытым полиэтиленовой плёнкой. Провода с антикоррозийной защитой применяются в районах, где воздух загрязнён примесями, действующими разрушающе на алюминий и сталь. Площади сечения проводов нормированы государственным стандартом и приводятся в справочной литературе.

Повышение диаметров проводов при неизменности расхода проводникового материала может осуществляться применением проводов с наполнителем из диэлектрика и полых проводов. Такое использование снижает потери на коронирование. Полые провода используются главным образом для ошиновки распределительных устройств 220 кВ и выше.

Провода из сплавов аммония (АН – нетермообработанные, АЖ – термообработанные) имеют большую по сравнению с алюминиевыми механическую прочность и практически такую же электрическую проводимость. Они используются на ВЛ напряжением выше 1 кВ в районах с толщиной стенки гололёда до 20 мм.

Всё большее применение находят ВЛ с самонесущими изолированными проводами напряжением 0,4 -10 кВ. В линиях напряжением 400/230 В провода состоят из несущего изолированного или неизолированного провода, являющегося нулевым, трёх изолированных фазных проводов, одного изолированного провода (любой фазы) наружного освещения. Фазные изолированные провода навиты вокруг несущего нулевого провода. Несущий провод является сталеалюминиевым, а фазные – алюминиевыми. Последние покрыты светостойким термостабилизированным (сшитым) полиэтиленом (провод типа АПВ).

Конструктивное исполнение самонесущего изолированного провода



К преимуществам ВЛ с изолированными проводами перед линиями с голыми проводами можно отнести отсутствие изоляторов на опорах, максимальное использование высоты опоры для подвески проводов; нет необходимости в обрезке деревьев в зоне прохождения линии.

3.10.2. Грозозащитные тросы. Изоляторы воздушных линий

Грозозащитные тросы наряду с искровыми промежутками, разрядниками, ограничителями напряжений и устройствами заземления служат для защиты линии от атмосферных перенапряжений (грозовых разрядов). Тросы подвешивают над фазными проводами на ВЛ напряжением 35 кВ и выше в зависимости от района по грозовой деятельности и материала опор, что регламентируется ПУЭ.

В качестве грозозащитных проводов обычно применяют стальные оцинкованные канаты марок С35, С50 и С70, а при использовании тросов для высокочастотной связи – сталеалюминиевые провода. Крепление тросов на всех опорах ВЛ напряжением 220-750 кВ должно быть выполнено при помощи изолятора, шунтированного искровым промежутком. На линиях 35-110 кВ крепление тросов к металлическим и железобетонным промежуточным опорам осуществляется без изоляции троса.

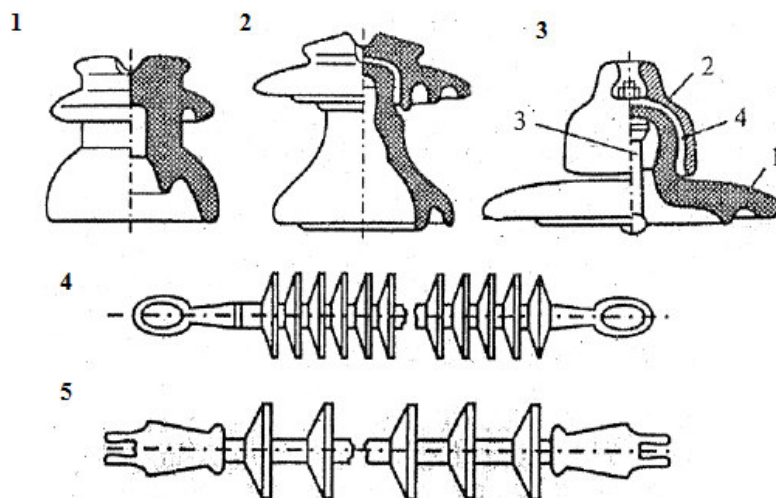
Изоляторы предназначены для изоляции и крепления проводов. Изготавливаются они из фарфора и закалённого стекла – материалов, обладающих высокой механической и электрической прочностью и стойкостью к атмосферным воздействиям. Существенным достоинством стеклянных изоляторов является то, что при повреждении закалённое стекло рассыпается. Это облегчает нахождение повреждённых изоляторов на линии.

По конструкции, способу закрепления на опоре изоляторы разделяют на штыревые и подвесные.

Штыревые изоляторы применяются для линий напряжением до 10 кВ и редко (для малых сечений) – 35 кВ. Они крепятся к опорам при помощи крюков или штырей. Подвесные изоляторы используются на ВЛ напряжением 35 кВ и выше. Они состоят из фарфоровой или стеклянной изолирующей части 1, шапки из ковкого чугуна 2, металлического стержня 3 и цементной связки 4. Изоляторы собираются в гирлянды: поддерживающие на промежуточных опорах и натяжные на анкерных. Количество изоляторов в гирлянде зависит от напряжения, типа и материала опор, загрязнённости атмосферы. Например, в линии 35 кВ – 3-4 изолятора; 220 кВ – 12 – 14; на линиях с деревянными опорами, обладающих повышенной грозоупорностью, количество изоляторов в гирлянде на один меньше, чем на линиях с металлическими опорами; в натяжных гирляндах,

работающих в наиболее тяжёлых условиях, устанавливают на 1–2 изолятора больше, чем в поддерживающих.

Конструкция изоляторов ВЛ



1 – штыревой 6-10 кВ; 2 – штыревой 35 кВ; 3 – подвесной;
4, 5 – стержневые полимерные

Разработаны и проходят опытную промышленную проверку изоляторы с использованием полимерных материалов. Они представляют собой стержневой элемент из стеклопластика, защищённый покрытием с рёбрами из фторопласта или кремнеорганической резины. Стержневые изоляторы по сравнению с подвесными имеют меньший вес и стоимость, более высокую механическую прочность, чем из закалённого стекла. Основная проблема – обеспечить возможность их длительной (более 30 лет) работы.

3.10.3. Эксплуатация воздушных линий

При эксплуатации ВЛ приходится считаться с гололёдом, вибрацией и пляской проводов, грозowymi поражениями, набросами, разрывами гирлянд и соединений проводов, загниванием и возгоранием деревянных опор.

Рассмотрим кратко некоторые из указанных явлений и укажем меры их профилактики.

Во время туманов и дождей при температуре воздуха около -5°C провода ВЛ покрываются изморозью и гололёдом. Происходит это из-за оседания и замерзания на проводе переохлаждённых частиц воды. Гололёды и плотные изморозы прочно удерживаются на проводах и создают не только большие добавочные вертикальные нагрузки, но и увеличивают поверхность провода, на которую оказывает давление ветер. Особенно поражаемы провода из алюминия небольших сечений (35...50 мм²).

Гололёд и изморозь чаще всего образуются на ВЛ, расположенных на возвышенных местах, вблизи больших водных поверхностей. Они могут привести к аварийному выходу линии из работы. Чтобы избежать подобных аварий, гололёдные образования плавят электрическим током.

Практикуют также их механическое удаление. При проектировании ВЛ расчёт проводов и опор ведут с учётом возможного гололёда.

Вибрация проводов возникает при ветре скоростью 4...8 м/с, направленном поперёк линии. Состоит это явление в том, что в проводах и тросах образуются продольные вертикальные волны амплитудой до 50 мм и частотой 5...100 Гц. Следствием вибрации являются изломы проволок проводов у зажимов, особенно на промежуточных опорах.

Борьба с вибрацией сводится к тому, что к проводу или тросу на определённом расстоянии от поддерживающих и натяжных зажимов (0,5...1 м) подвешивают особые приспособления – гасители вибрации. Состоит такой гаситель из двух чугунных грузов, соединённых стальным

тросом. Гасители, у которых частота собственных колебаний во много раз меньше, чем у провода, удерживают последний от вибрации.

При нормальном тяжении провода вибрация ощутима в пролётах длиной выше 80 м для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов сечением до 95 мм² и в пролётах более 100 м – для сталеалюминиевых проводов сечением 120 мм² и выше. Установлена большая повреждаемость от вибрации алюминиевых и сталеалюминиевых проводов малых сечений. Для этих проводов разработана защита от вибраций посредством «демпфирующей петли».

Участки воздушных линий, защищаемые от поперечных ветров (горные долины и лесные массивы с высотой деревьев, превышающей высоту подвеса проводов и тросов на опоре), не нуждаются в защите от вибрации.

На воздушных линиях, проходящих по открытой местности при скорости ветра 10...30 м/с и направлении его к оси линии под углом и не в горизонтальной плоскости, возникает другое явление, называемое пляска проводов. Это явление представляет собой колебание проводов с малой частотой (несколько колебаний в секунду) и большой амплитудой, доходящих до значения стрелы провеса провода.

Пляска проводов объясняется аэродинамическими свойствами провода и чаще всего возникает при наличии на проводе гололёдных отложений. Колебания происходят в плоскости, близкой к вертикальной, и приводит к схлёстыванию проводов различных фаз, а иногда и к разрывам креплений гирлянд и даже поломке траверс.

Возгорание деревянных опор происходит из-за загрязнения изоляторов, ослабления болтового крепления траверсы со стойкой и из-за неплотных контактов между болтами и древесиной траверсы.

В распределительных сетях 6-10 кВ с железобетонными опорами из-за пробоя изоляторов происходят однополюсные замыкания на землю. При отсутствии у опор заземлений однополюсные замыкания на землю с токами в дуге 15-20 А оказывают разрушительные действия на арматуру и бетон и вызывают опасность поражения людей при прикосновении к опоре. Поэтому нормативное значение ёмкостного тока замыкания на землю в сетях 6-10 кВ с железобетонными опорами в настоящее время ограничено 10 А, а опоры заземляются.

3.11. Кабельные линии электропередачи

3.11.1. Конструкция кабельных линий

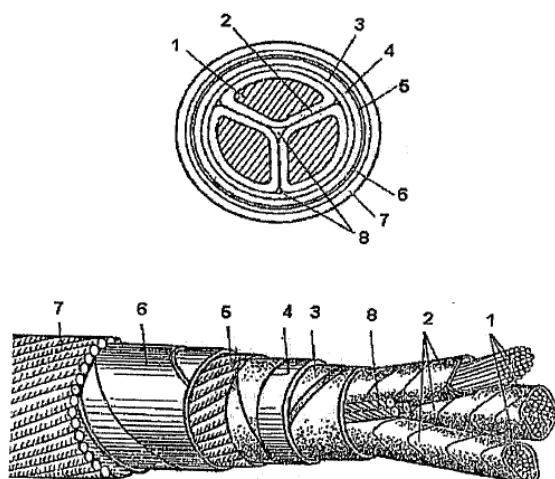
Кабельная линия (КЛ) – линия для передачи ЭЭ, состоящая из одного или нескольких кабелей, выполненная определённым способом прокладки. Кабельные линии прокладывают там, где строительство ВЛ невозможно из-за стеснённой территории, неприемлемо по условиям техники безопасности, нецелесообразно по экономическим, архитектурно-планировочным показателям и другим требованиям. Наибольшее применение КЛ нашли при передаче и распределении ЭЭ на промышленных предприятиях и в городах (системы внутреннего электроснабжения), при передаче ЭЭ через большие водные пространства и т.п.

Достоинства и преимущества КЛ по сравнению с воздушными: неподверженность атмосферным воздействиям, скрытность трассы и недоступность для посторонних лиц, меньшая повреждаемость, компактность линии и возможность широкого развития электроснабжения потребителей городских и промышленных районов. Однако КЛ значительно дороже воздушных того же напряжения (в среднем в 2–3 раза для линий 6-35 кВ и в 5–6 раз для линий 110 кВ и выше), сложнее при сооружении и эксплуатации.

В состав КЛ входят: кабель, соединительные и концевые муфты, строительные конструкции, элементы крепления и др.

В отличие от ВЛ кабели прокладываются не только на открытом воздухе, но и внутри помещений, в земле и воде. Поэтому КЛ подвержены воздействию влаги, химической агрессивности воды и почвы, механическим повреждениям при проведении земляных работ и смещении грунта во время ливневых дождей и паводков. Конструкция кабеля должна предусматривать защиту от указанных воздействий.

Конструкция кабеля



1 - токопроводящие жилы; 2 - фазная изоляция жилы; 3 - поясная изоляция; 4 - герметичная оболочка; 5 - подушка; 6 - броня; 7 - защитный покров; 8 - наполнитель

По величине номинального напряжения кабели делятся на кабели низкого напряжения (до 1000В), среднего напряжения (6...35 кВ), кабели высокого напряжения (110 кВ и выше). По роду тока: кабели переменного и постоянного тока.

По материалу токопроводящих жил различают кабели с *алюминиевыми и медными жилами*. В силу дефицитности меди наибольшее распространение получили кабели с алюминиевыми жилами

Токопроводящие жилы предназначены для прохождения электрического тока и делятся на основные и нулевые. Основные жилы предназначены для выполнения основной функции силового кабеля – передачи по ним электроэнергии. Нулевые жилы присоединяются к нейтрали источника энергии и предназначены для протекания разности токов фаз при неравномерной их нагрузке или неравенстве фазных напряжений (перекос фаз).

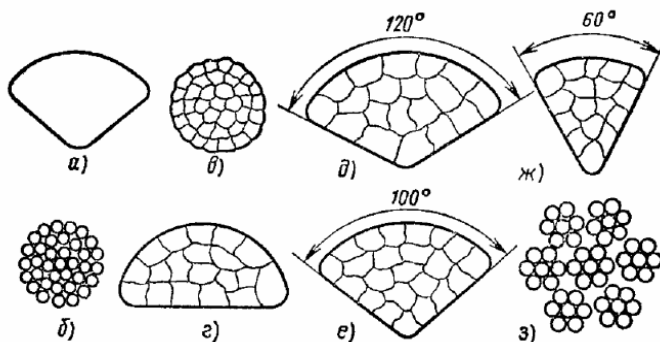
Согласно ПУЭ (Правила устройства электрооборудования) жилы защитного заземления являются вспомогательными жилами кабеля и предназначены для соединения не находящихся под рабочим напряжением металлических частей электроустановок, к которым подключен кабель с контуром защитного заземления источника энергии.

В соответствии со стандартами сопротивление медной токопроводящей жилы, пересчитанное на 1 мм^2 номинального сечения, 1 метр длины и приведённое к температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ должно быть не более $0,0178 \text{ Ом}$, алюминиевой жилы – не более $0,029 \text{ Ом}$.

Силовые кабели имеют от одной до четырёх алюминиевых или медных жил сечением $1,5...2000 \text{ мм}^2$. Жилы сечением до 16 мм^2 – однопроволочные, свыше – многопроволочные. По форме сечения жилы круглые, сегментные или секторные.

Кабели напряжением до 1 кВ выполняются, как правило, четырехжильными, напряжением 6-35 кВ – трёхжильными, а напряжением 110-220 кВ – одножильными.

Форма токопроводящих жил



а- секторная однопроволочная; *б*- круглая многопроволочная неуплотнённая; *в*- круглая многопроволочная уплотнённая; *г*- сегментная многопроволочная уплотнённая для двухжильных кабелей; *д*- секторная многопроволочная уплотнённая для трёхжильных кабелей; *е*- секторная многопроволочная уплотнённая токопроводящая для четырёхжильных кабелей; *ж*- секторная многопроволочная уплотнённая нулевая для четырёхжильных кабелей; *з*- многопроволочная сложной правильной концентрической скрутки из семи стренг.

В качестве *изоляционного материала* используется кабельная бумага, пропитанная маслоканифольным составом, пластмасса, резина. Различают кабели с нормальной пропиткой, обеднённой пропиткой и пропиткой нестекающим составом. Кабели с обеднённой или нестекающей пропиткой прокладывают по трассе с большим перепадом высот или по вертикальным участкам трассы. Кабели высокого напряжения выполняются маслonaполненными или газонаполненными. В этих кабелях бумажная изоляция заполняется маслом или газом под давлением.

Изоляция многожильного кабеля, наложенная поверх изолированных скрученных жил называется поясной изоляцией. В силовых кабелях используется бумажная пропитанная и пластмассовая изоляции, и основным требованием, которое предъявляется к ней, является высокая электрическая прочность. Увеличение электрической прочности изоляции, позволяет уменьшить её толщину, что улучшает отвод тепла от жилы, позволяет увеличивать рабочий ток, уменьшает расход материалов на изготовление кабеля, а также повышает его гибкость.

Бумажная пропитанная изоляция – это многослойная изоляция из лент кабельной бумаги, наложенная в виде обмотки на токоведущую жилу и пропитанная изоляционным составом. В зависимости от вязкости пропиточного состава кабели с бумажной изоляцией изготавливаются с вязким, обеднённым и нестекающим пропиточными составами. Для пропитки используется маслоканифольные составы марок МП-3 или МП-5, содержащие в разных пропорциях канифоль, полиэтиленовый воск и нефтяное масло.

В силовых кабелях на напряжения до 10 кВ применяется однослойная бумага марок К-080, К-120, К-170 (толщина бумаги 0,08, 0,12, 0,17 мм).

Пластмассовая изоляция в виде сплошного слоя на токоведущей жиле и поясная изоляция выполняются из поливинилхлорида, полиэтилена, этиленпропилена или сшитого полиэтилена.

Экраны, как элементы конструкции силовых кабелей, предназначены для выравнивания электрического потенциала вдоль изоляционной конструкции, а также для защиты внешних цепей от влияния электромагнитных полей токов, протекающих по кабелю. В силовых кабелях на напряжения 6-10 кВ с бумажной изоляцией экраны располагаются на поясной изоляции и выполняются из электропроводящей кабельной бумаги марок КПУ-80 и КПУ-120.

В кабелях с пластмассовой изоляцией напряжением 6 кВ экраны накладываются на жилы и на поясную изоляцию. При этом материал экрана и изоляции должен быть одинаковым, чтобы в процессе эксплуатации между экраном и изоляцией не образовывалось пустот.

Для устранения свободных промежутков между конструктивными элементами кабеля используются *заполнители* с целью герметизации, придания необходимой формы и механической устойчивости конструкции. В качестве заполнителей в кабелях с бумажной изоляцией применяются жгуты из сульфатной бумаги, пропитанной кабельной пряжи, или штапелированной стеклопряжи. Для кабелей с пластмассовой изоляцией заполнение должно быть: при изоляции из полиэтилена, самозатухающего, вулканизирующего полиэтилена – из материала изоляции или из поливинилхлоридного пластиката; при изоляции из поливинилхлоридного пластиката – из поливинилхлоридного пластиката. Кабели с пластмассовой изоляцией на напряжение 1 кВ допускается выполнять без заполнителей.

Оболочки силовых кабелей предназначены для предотвращения проникновения в изоляцию влаги, защиты её от воздействия света, различных химических веществ, а также предохранения от механических повреждений. В кабелях с бумажной изоляцией оболочки изготавливаются из свинца или алюминия. Свинцовые оболочки изготавливаются из свинца марок С-2 и С-3 с добавлением различных присадок, например, сурьмы. Алюминиевые оболочки изготавливаются прессованными из алюминия марки А или сварными из алюминия марки АД1. Пластмассовые – поливинилхлоридные и полиэтиленовые оболочки отличаются от изоляционного состава соответствующим подбором пластификаторов и стабилизаторов, которые обеспечивают

повышенную стойкость против светового старения. Кроме того, эти оболочки более стойки к агрессивным средам по сравнению с алюминиевыми и свинцовыми.

Защитные покровы предназначены для защиты оболочки кабеля от внешних воздействий. В зависимости от конструкции кабеля в защитные покровы входят подушка, бронепокров и наружный покров.

Подушка – часть защитного покрова, наложенная на оболочку и предназначенная для предохранения оболочки от повреждения её лентами или проволокой брони.

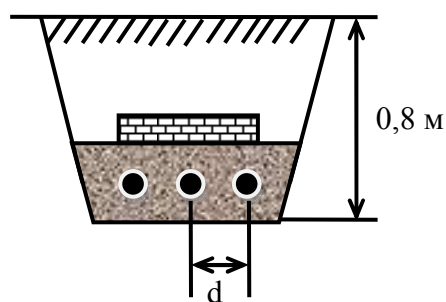
Бронепокров – часть защитного покрова, состоящая из металлических лент или проволок и используемая для защиты кабеля от внешних механических воздействий.

Наружный покров – часть защитного покрова кабеля, предназначенная для защиты брони от коррозии и выполненная из защитного шланга, выпрессованного из пластмассы или из волокнистых материалов, пропитанных специальным противогнилостным или негорючим составом.

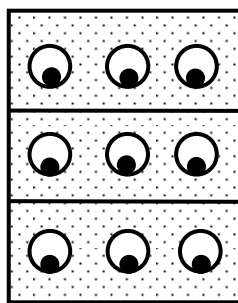
3.11.2. Способы прокладки внешних кабельных линий

Способ прокладки КЛ выбирают в зависимости от числа кабелей, условий трассы, степени загрязнённости и агрессивности окружающей среды, требований эксплуатации, экономичности и других факторов.

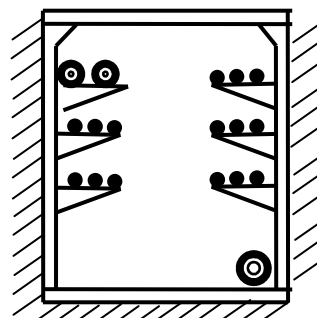
Земляная траншея



В блоках



В тоннеле



Прокладка КЛ в земляной траншее является одним из наиболее простых и экономичных способов. Для КЛ напряжением до 10 кВ траншея имеет глубину 0,8 м, 110 кВ – 1,5 м.

Дно траншеи покрывается слоем песка, на который укладываются в один ряд кабели. Расстояние между соседними кабелями d не менее 100 мм. Сверху кабели накрывают слоем песка. Выше укладываются железобетонные плиты или слой красного кирпича, служащие для защиты кабелей от механических повреждений во время проведения земляных работ. Вместо защиты от механических повреждений может использоваться сигнальная лента из яркой полиэтиленовой плёнки, свидетельствующая о близком расположении кабелей. Верхняя часть траншеи засыпается обычным грунтом с послойным трамбованием. В одной земляной траншее укладывают не более 6 кабелей. Это обусловлено тем, что с увеличением числа кабелей их условия охлаждения ухудшаются, допустимая токовая нагрузка кабелей уменьшается, эффективность использования кабелей снижается.

Если кабельная трасса пересекает какие-либо инженерные сооружения, например, асфальтированные дороги, то в месте пересечения кабели укладывают в асбоцементные трубы.

Прокладка КЛ в блоках используется при большой стеснённости кабельной расы и пересечениях с инженерными сооружениями, например с железными дорогами. Конструкции блоков могут быть различными. На рис. показан бетонный блок, состоящий из бетонных панелей 1 с отверстиями 2, через которые прокладываются кабели 3. Через определённые расстояния сооружаются кабельные колодцы, в которых осуществляется соединение кабелей и через которые выполняется монтаж кабелей и замена повреждённого кабеля. Это более дорогой способ прокладки, с худшими условиями охлаждения по сравнению с прокладкой кабелей в земляной траншее.

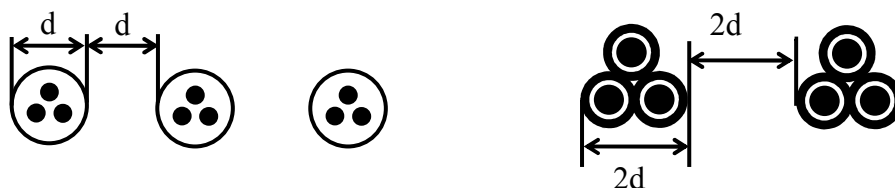
При прокладке в одном направлении большого количества кабелей (более 20), что характерно для электростанций и энергоёмких промышленных предприятий, используются *кабельные тоннели, галереи и эстакады*. Эскиз прокладки кабелей в тоннеле показан на рис.

Тоннель 1 представляет собой сборную железобетонную конструкцию, в которой по кронштейнам 2 прокладываются кабели 3 разного напряжения и разного назначения (силовые и контрольные). Кроме кабелей в тоннелях могут прокладываться и другие инженерные сети, например водопроводные 4. Размеры тоннеля позволяют проводить двухстороннее обслуживание кабелей.

Галереи и эстакады отличаются от тоннелей тем, что располагаются над поверхностью земли на специальных стойках. В этом случае для кабельной трассы отчуждается меньшая площадь. Галереи и эстакады в отличие от тоннелей используются на производствах, где возможны скопления горючих и взрывоопасных газов, тяжелее воздуха, и на предприятиях с большой агрессивностью почвы.

В галереях, тоннелях, каналах и эстакадах с целью пожарной безопасности используются кабели без наружного джутового покрова.

Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена используются все вышеперечисленные способы прокладки. При прокладке трёхжильных кабелей в одной плоскости расстояние между соседними кабелями принимается равным диаметру кабеля.



Одножильные кабели прокладываются треугольником и располагаются вплотную друг к другу. Расстояние между соседними пучками кабелей принимается равным удвоенному диаметру одножильного кабеля.

3.11.3. Маркировка кабеля

Различным конструктивным элементам силовых кабелей присвоены буквенные индексы. Первая буква А соответствует алюминиевым жилам, отсутствие обозначений – медным. Оболочки кабелей обозначаются буквами: А – алюминиевая; С – свинцовая; Б – поливинилхлоридная; Н – резиновая, наиритовая; П – полиэтиленовая; кабели с отдельно освинцованными жилами маркируются буквой О.

Обозначения марок кабелей с различными бронированными защитными покровами отмечаются следующими буквами: Б – стальные ленты; П – плоские стальные оцинкованные проволоки; К – такие же проволоки, но круглые. Отсутствие в конструкции кабеля брони и защитного слоя обозначается буквой Г.

Маслонаполненные кабели низкого давления маркируются буквами МН в начале названия кабеля, кабели высокого давления – буквами МВД.

Пример маркировки кабеля

Марка кабеля	Жила	Изоляция	Оболочка	Защитный покров
ААБЛУ	ААБЛУ алюминиевая	ААБЛУ Бумажная с вязкой пропиткой ААБЛУ с повышенными температурами нагрева	ААБЛУ алюминиевая	ААБЛУ броня – плоские стальные ленты ААБЛУ подушка – крепированная бумага, пропитанная битумом, и одна пластмассовая лента наружный покров – пропитанная битумом кабельная пряжа
ВВГ	ВВГ медная	ВВГ из ПВХ	ВВГ из ПВХ	ВВГ без защитного покрова