

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Воздушные линии электропередачи

Учебное наглядное пособие
для студентов энергетических специальностей

Учебное электронное издание

Минск ◊ БНТУ ◊ 2006

УДК 621.311(075.8)

Авторы:

Г.А. Фадеева

Е.Г. Маслова

Рецензент: И.В. Колосова

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 292-65-82 факс (017) 232-91-37

E-mail: elsyst@tut.by

<http://student.bntu.edu.by>.

Регистрационный № БНТУ/ЭФ37-1.2006

© БНТУ, 2006

© Фадеева Г.А., 2006

© Маслова Е.Г.,
компьютерный дизайн, 2006



Назначение, устройство и основные элементы воздушных линий

Воздушной линией электропередачи называется электроустановка для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе.

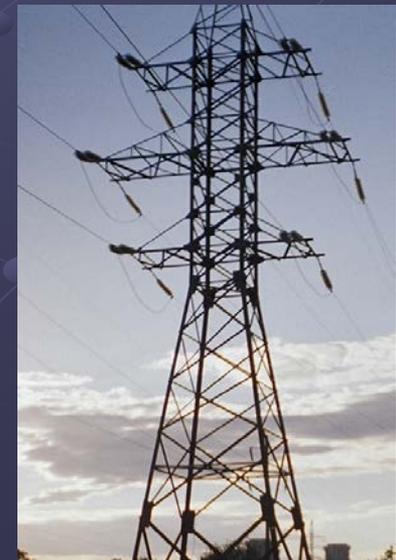
Провода поддерживаются над землей с помощью опор и изоляторов.

Линии могут выполняться

одноцепными

и

двухцепными



Основные конструктивные элементы воздушных линий:

опоры, предназначенные для подвески проводов и грозозащитных тросов;

провода для передачи по ним электрического тока;

грозозащитные тросы для защиты линий от грозовых разрядов;

изоляторы для изоляции проводов от заземленных частей опор;

линейная арматура для крепления проводов и тросов к изоляторам и опорам и соединения проводов и тросов;

заземляющие устройства и разрядники для отвода токов молнии или короткого замыкания в землю;

фундаменты опор.

По конструкции опоры подразделяются на
промежуточные,
анкерные,
угловые,
концевые,
специальные

Опоры могут выполняться
металлическими, железобетонными или
деревянными

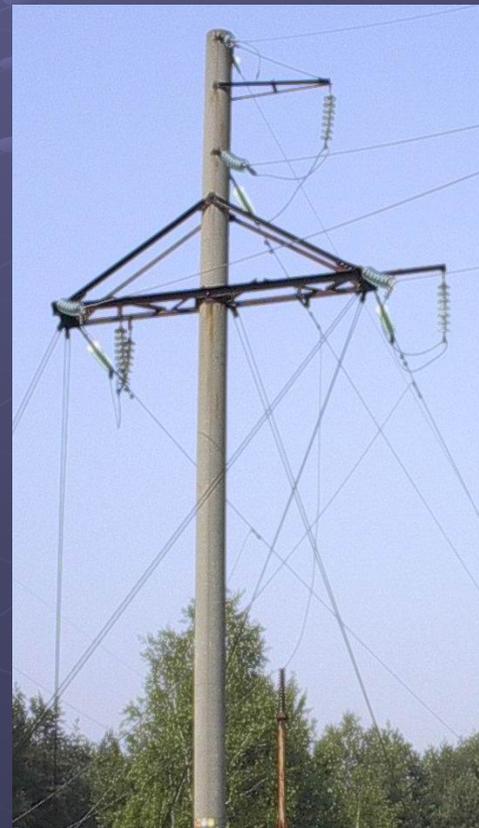


Промежуточные опоры

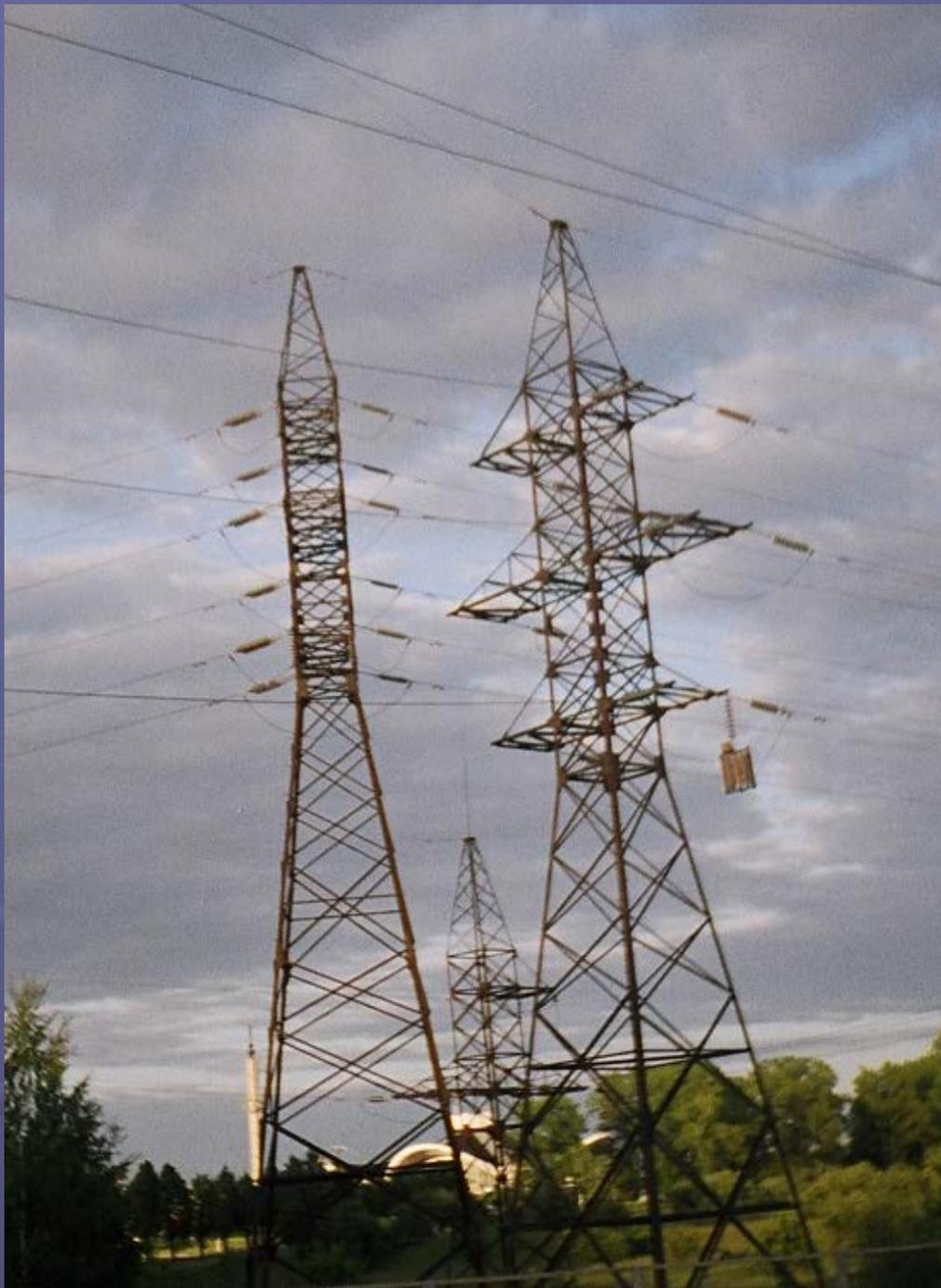
служат для поддержания проводов в пролете



Металлическая 110 кВ



Железобетонная 110 кВ



Анкерные опоры

обладают повышенной механической прочностью и служат для жесткого закрепления проводов

Металлические
анкерные опоры 110 кВ

Угловые опоры

устанавливаются на поворотах трассы



Железобетонная 10 кВ



Металлическая 110 кВ

Концевые опоры

устанавливаются на подходах к подстанциям



Железобетонная 110 кВ



Металлическая 110 кВ

Специальные опоры:

ответвительные, транспозиционные, переходные



Металлическая опора на переходе
через водную преграду

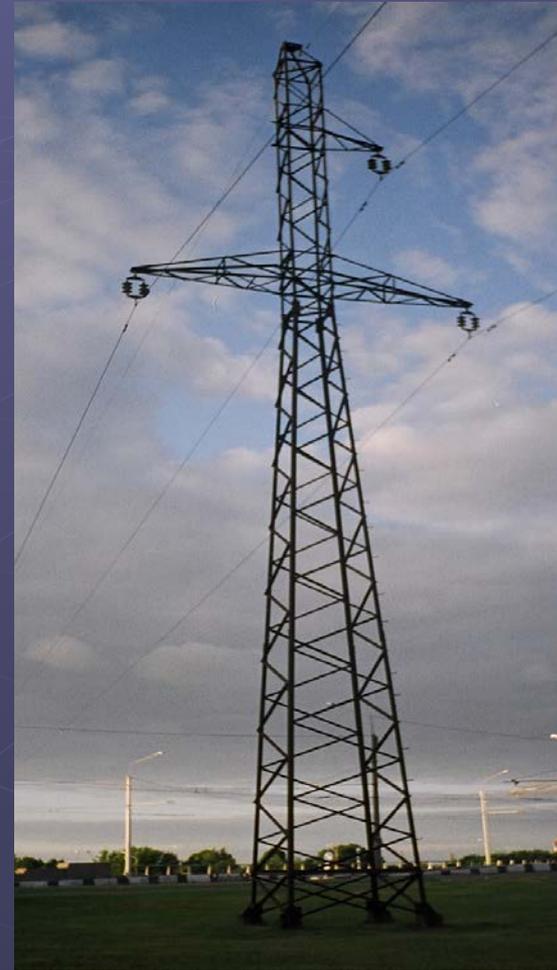


Металлическая
ответвительная опора 110 кВ

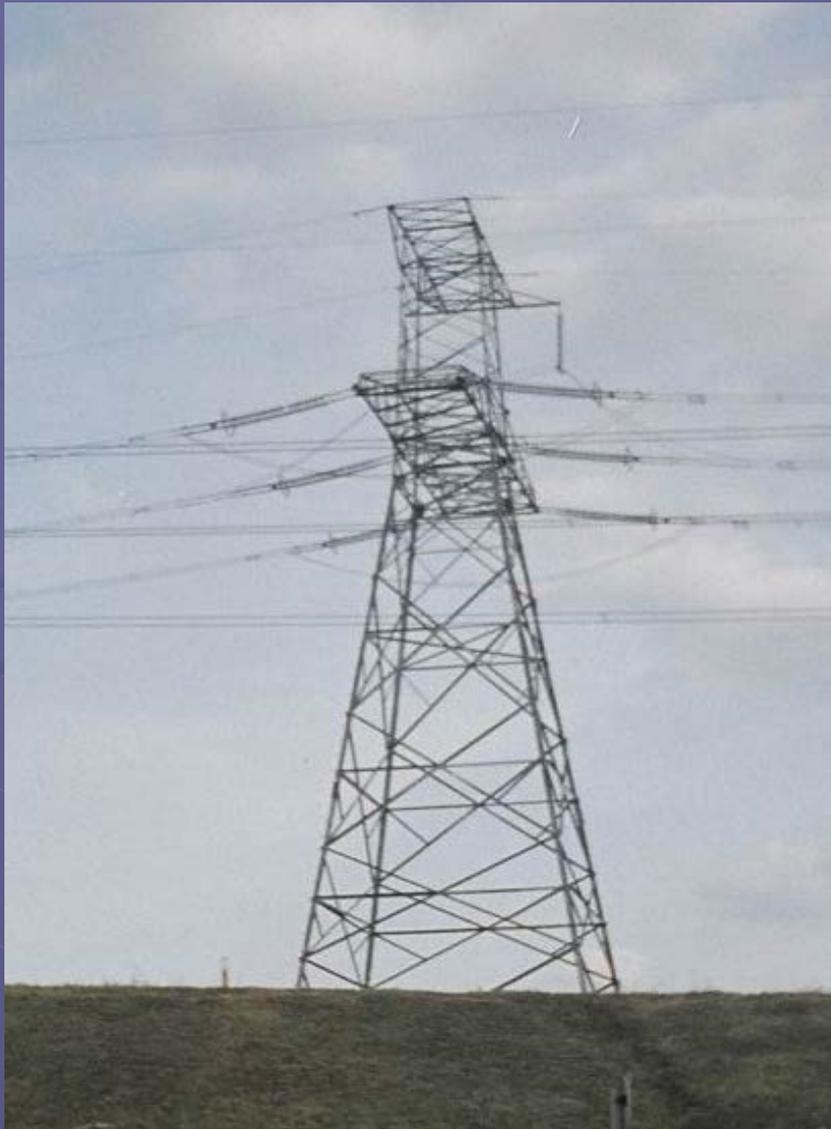
Расположение проводов **треугольником**
применяется на одноцепных линиях 10 - 330 кВ



Железобетонная опора 10 кВ



Металлическая опора 110 кВ



Горизонтальное расположение проводов

применяют на линиях
35-330 кВ.

Оно позволяет применять
более низкие опоры и
уменьшает вероятность
схлестывания проводов при
сбрасывании гололеда.

Поэтому такое
расположение проводов
предпочтительнее в
районах с
интенсивным образованием
гололеда.

Металлическая опора 330 кВ
башенного типа



На двухцепных линиях
расположение проводов
обратной елкой
удобно по условиям
монтажа, однако
увеличивает
массу опор и иногда
требуется
подвески двух
грозозащитных
тросов.



Для двухцепных линий
35-330 кВ наиболее
экономичны
и распространены
стальные и
железобетонные опоры
с расположением
проводов **бочкой**

По конструктивному исполнению тела опоры могут быть отнесены к следующим основным схемам:

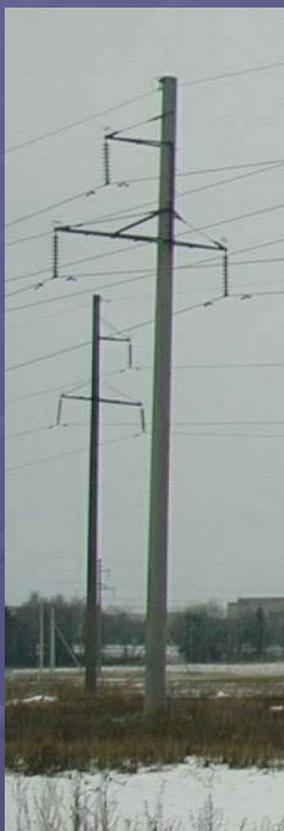
- **башенным или одностоечным**
- **портальным**
- **свободностоящим**
- **на оттяжках**



Металлические (стальные) опоры применяются на линиях 35 кВ и выше. Они обладают повышенной механической прочностью, но стоимость их выше, чем железобетонных опор, и в процессе эксплуатации им необходима окраска для защиты от коррозии

Железобетонные опоры требуют меньше металла, чем металлические.

Они просты в обслуживании и широко применяются на линиях до 500 кВ включительно



Железобетонные опоры 110 кВ



Железобетонные опоры 10 кВ

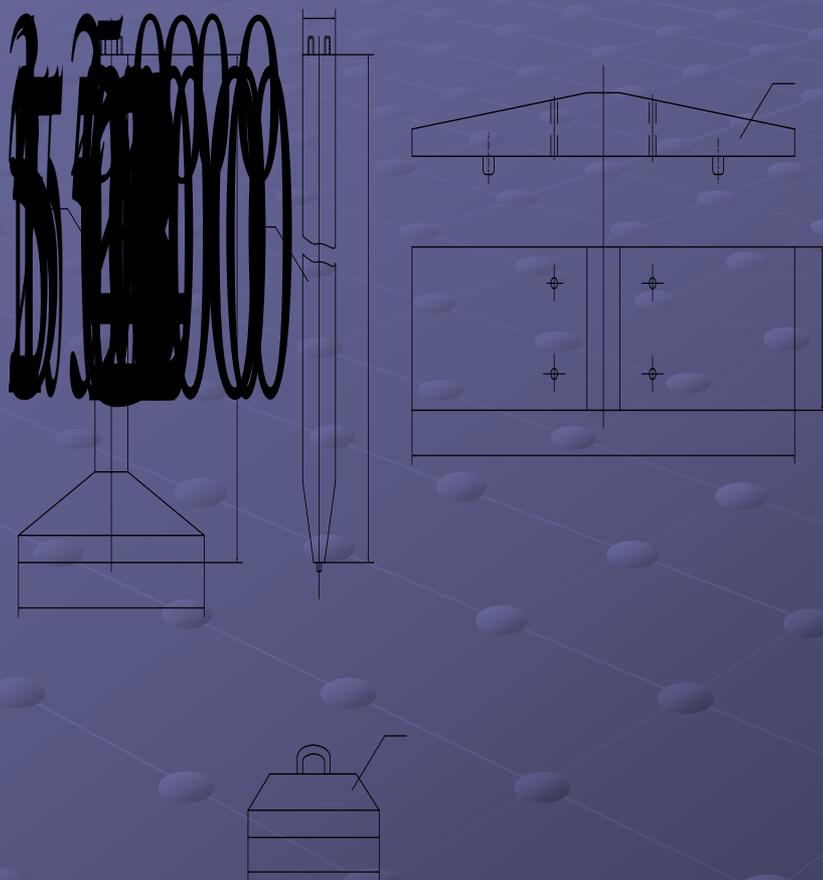


Деревянные опоры
могут применяться на ВЛ
до 110 кВ включительно.

Наиболее часто опоры из
пропитанной древесины
на железобетонных
приставках применяют
на линиях 0,38 – 10 кВ.

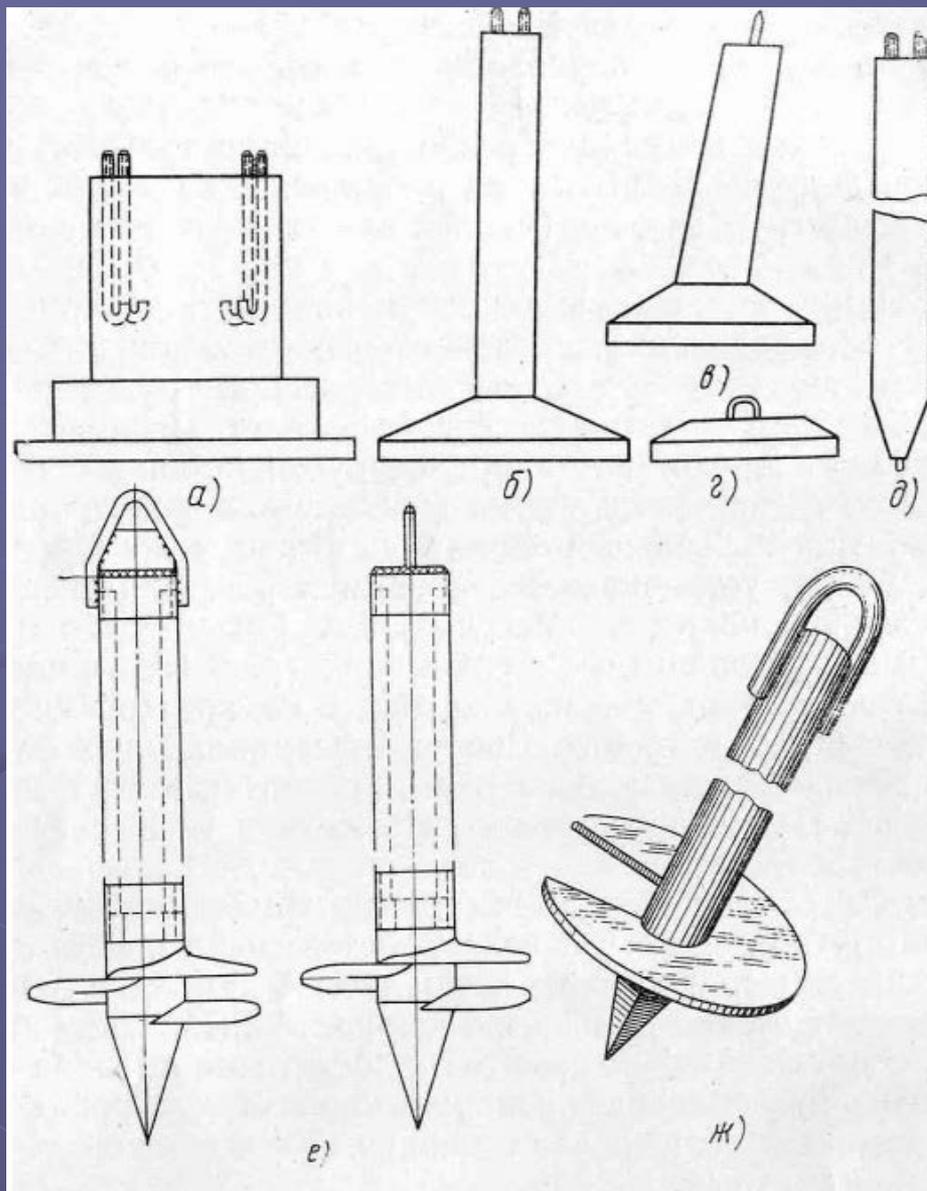


Для закрепления опор в грунте необходимы фундаменты



Применяются фундаменты
следующих типов:

- железобетонные грибовидные подножки (1);
- свайные железобетонные фундаменты (2);
- железобетонные анкерные плиты для крепления оттяжек опор (3);
- железобетонные ригели (4) для закрепления свободстоящих опор



- монолитные бетонные фундаменты (а);
- железобетонные грибовидные подножки (б,в);
- свайные железобетонные фундаменты (д);
- винтовые сваи (е,ж);
- железобетонные анкерные плиты для крепления оттяжек опор (з);



Все металлические опоры, за исключением опор с оттяжками, крепятся к фундаментам при помощи **анкерных болтов с гайками**.

Стойка опоры на оттяжках шарнирно опирается на фундамент, а устойчивость обеспечивают три пары оттяжек.

Стойки анкерно-угловых железобетонных опор 35-110 кВ с оттяжками в плотных грунтах закрепляются как промежуточные опоры, а оттяжки крепятся к анкерным плитам.

Деревянные опоры крепятся с помощью ригелей, которые служат для повышения прочности заделки опор в грунте. В плотных грунтах применяются сваи-пасынки (приставки), заглубляемые на глубину до 2,5 м.

Железобетонная опора 110 кВ с оттяжками

Провода и тросы

На воздушных линиях применяются неизолированные провода и тросы.

Провода являются одним из основных элементов линии.

От правильного выбора конструкции, материала и сечения проводов зависят технико-экономические показатели электропередачи и стоимость сооружения линии.

Провода и тросы должны обладать высокой механической прочностью.

Материал проводов и тросов должен быть устойчивым к коррозии и химическим воздействиям.

Материал проводов должен иметь хорошую электрическую проводимость.

Медь

при своих высоких качествах – хорошей проводимости, большой механической прочности и коррозионной стойкости дорога и дефицитна. Поэтому в настоящее время медные провода на воздушных линиях не применяются.

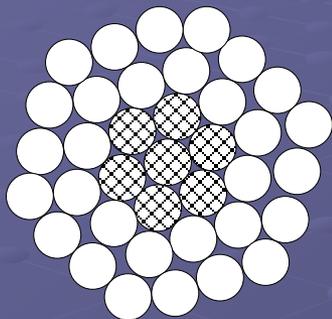
Алюминий

наиболее распространенный в природе материал. Его удельная проводимость составляет 65,5% проводимости меди. Основной недостаток алюминия – невысокая механическая прочность. Поэтому алюминиевые провода применяются для линий небольших сечений, в основном, в распределительных сетях напряжением 0,38 – 10кВ.

Сталь

обладает высокой механической прочностью, однако проводимость стального провода существенно ниже и, кроме того, сильно зависит от температуры воздуха. Поэтому стальные провода имеют ограниченное применение.

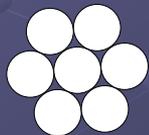
Конструкции проводов



Биметаллический провод



однопроволочный



многопроволочный

По конструкции провода делятся на: **однопроволочные**, состоящие из одной проволоки, **многопроволочные**, состоящие из нескольких проволок.

Провода бывают: **монометаллическими**, состоящими из одного материала (стальные, медные, алюминиевые) и **биметаллическими**, состоящими из разных материалов (сталеалюминиевые).

Наибольшее распространение на воздушных линиях получили провода:

- *сталеалюминевые (а,г);*
- *алюминиевые (б);*
- *из сплавов алюминия – АН,АЖ (в).*

Известны конструкции полых проводов (г).

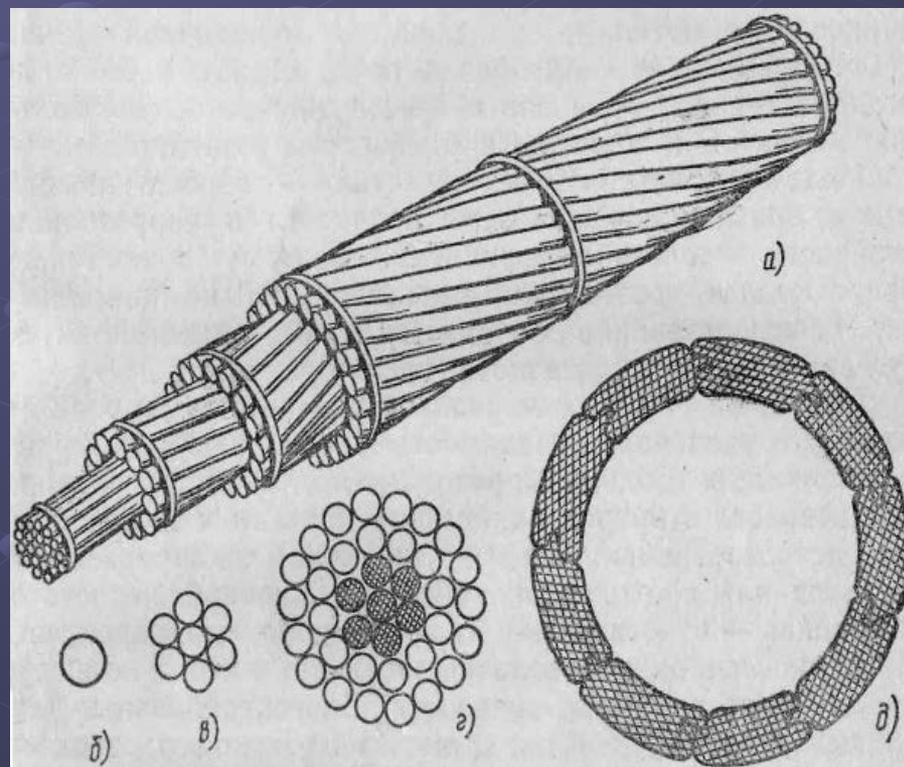
На линиях 330 кВ и выше применяются расщепленные фазы, т.е. состоящие из нескольких проводов:

330 кВ – 2

500 кВ – 3

750 кВ – 4 - 5

1150 кВ – 8



Сталеалюминиевые провода наиболее широко применяются на воздушных линиях



Алюминиевая часть является токоведущей, а стальная часть обеспечивает механическую прочность провода.

Выпускаются сталеалюминиевые провода марок АС, АСКС, АСКП, АСК.

В обозначение марки провода указывается номинальное сечение алюминиевой части провода и сечение стального сердечника, например:

АС 120/19

АСКС 150/34.

В качестве грозозащитных тросов на линиях применяются стальные канаты, которые условно обозначаются буквой С и указанием сечения каната, например, С 35.

Наиболее часто применяются канаты С 35, С 50, С 70.

При употреблении грозозащитных тросов для организации по ним высокочастотных каналов связи тросы изготавливают сталеалюминиевыми.

Грозозащитные тросы используются также для подвески к ним волоконно-оптических кабелей, которые используются в энергосистемах для передачи телемеханических сообщений.



Волоконно-оптический кабель

Конструкции изоляторов



Изолятор штыревой фарфоровый
ШФ 10Г



Изолятор штыревой фарфоровый
ТФ 20

Изоляторы предназначены для изоляции проводов от опор.

В зависимости от назначения и способа крепления к опорам различают **подвесные изоляторы**, применяемые на линиях напряжением 35 кВ и выше; **штыревые изоляторы**, применяемые на линиях напряжением до 35 кВ.

Основными изоляционными материалами, используемыми для изготовления изоляторов, являются фарфор и стекло. Кроме этого используются изоляторы из полимерных материалов.

Фарфор обладает высокими изоляционными свойствами и механической прочностью, что обеспечивает длительную и надежную работу изоляторов.



Изолятор линейный подвесной
стеклянный ПС 70



Изолятор линейный подвесной стеклянный
с увеличенным вылетом ребра
ПСВ 70 А

Подвесные фарфоровые и стеклянные изоляторы имеют тарельчатую форму.

Изолятор состоит из следующих основных частей: шапки, изолирующей детали (тарелки), стержня, замка или шплинта.

При маркировке подвесных изоляторов цифрой указывается разрешающая нагрузка (килоньютоны) для данного типа изоляторов.

Буквы обозначают тип изолятора:
П - подвесной,
С - стеклянный,
Ф – фарфоровый,
Г-грязестойкий и т.п.

Широкое распространение получили стеклянные тарельчатые изоляторы

Верхняя поверхность тарелки делается гладкой и наклонена под углом, чтобы при вертикальном положении изолятора дождевая вода свободно скатывалась.

Напряжение при дожде, в основном, приложено к нижней сухой части тарелки, поэтому нижняя поверхность тарелки выполняется ребристой, а верхняя – гладкой.

Край тарелки изоляторов загнут вниз и заканчивается овальной поверхностью, называемой капельницей, которая предохраняет нижнюю часть тарелки от смачивания при дожде.



Недостатком тарельчатых изоляторов является малая толщина изолирующего материала между шапкой и пестиком, вследствие чего он несет большую электрическую нагрузку.



Провода к штыревым изоляторам крепят с применением вязки мягкой проволокой или специальных зажимов.

Подвесные изоляторы собирают в **гирлянды**.

Количество изоляторов на линиях зависит от номинального напряжения.

На железобетонных и металлических опорах 110 кВ принимают обычно 6-7 изоляторов.

На опорах 35 кВ принимают 2 изолятора.

Условия работы линейной ИЗОЛЯЦИИ

При выборе типа изолятора для конкретной линии должны учитываться степень загрязнения атмосферы, характер загрязняющих веществ и климатические условия в районе трассы линии.

Эксплуатационные характеристики изоляторов зависят от аэродинамических характеристик изолирующей детали тарелки изолятора.

Это связано с тем, что при хорошем обтекании изолятора воздушным потоком на нем остается меньше загрязнений, лучше происходит самоочистка его ветром и дождем и не происходит значительного снижения уровня изоляции гирлянды.

Основными характеристиками линейных изоляторов являются:
электрическая прочность;
электромеханическая разрушающая нагрузка;
длина пути токов утечки.

Электрические характеристики ИЗОЛЯТОРОВ

Электрические свойства изоляторов характеризуются разрядными напряжениями, при которых изоляторы перекрываются по поверхности, т.е. напряжениями перекрытия.

Сухоразрядное напряжение

пропорционально кратчайшему расстоянию между электродами изолятора.

Мокроразрядное напряжение

в условиях эксплуатации линии поверхность изоляторов всегда в какой-то степени загрязнена.

При смачивании поверхности дождем, росой или туманом по ней резко увеличиваются токи утечки.

Перекрытие изоляции связано с образованием подсушенных токами утечки зон на поверхности изолятора.

Импульсное напряжение

при грозовых разрядах в линию или вблизи нее линейная изоляция испытывает воздействие импульсных напряжений.

Кратчайшее расстояние по поверхности изолятора от места крепления к нему провода до заземленной части крюка, на котором закреплен изолятор, называется **длиной пути токов утечки**. От этой величины зависит надежность работы изоляции при загрязнении и увлажнении.

Электрическая прочность линейных изоляторов характеризуется **напряжением пробоя и перекрытия**.

В случае пробоя тела изолятора он в дальнейшем не может нести электрическую, а в некоторых случаях и механическую нагрузку.

Для крепления проводов к изоляторам и изоляторов к опорам применяется **линейная арматура:**

сцепная арматура

для подвески гирлянд на опорах и соединения многоцепных гирлянд друг с другом:

скобы, серьги, ушки,
коромысла;

зажимы

для крепления проводов к гирляндам изоляторов.

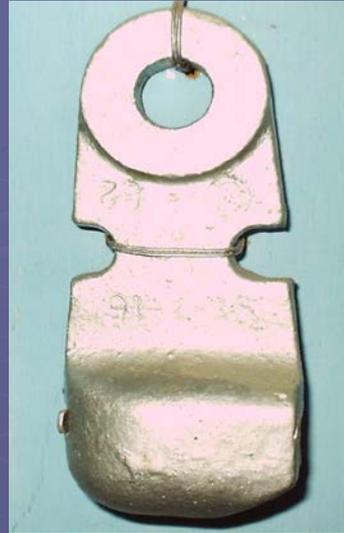
соединители

для соединения проводов и тросов в пролете.

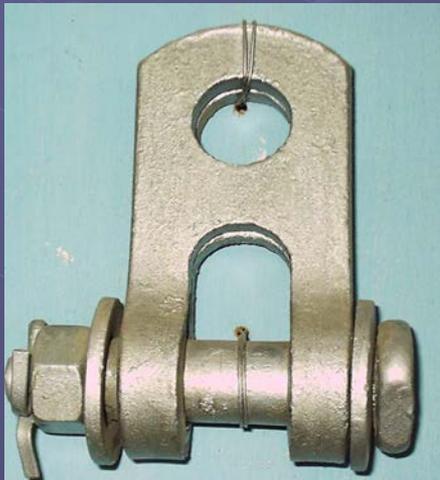
Сцепная арматура



Серьга CP-7-16



Ушко У1-7-16



Скоба типа СК-7-1А

Скобы

предназначены для присоединения гирлянды к траверсе опоры или к закрепляемым на траверсе деталям.

Серьги

служат для закрепления поддерживающей гирлянды изоляторов на траверсе промежуточной опоры. С одной стороны гирлянда соединяется со скобой или с деталью на траверсе, а с другой стороны вставляется в шапку верхнего изолятора.

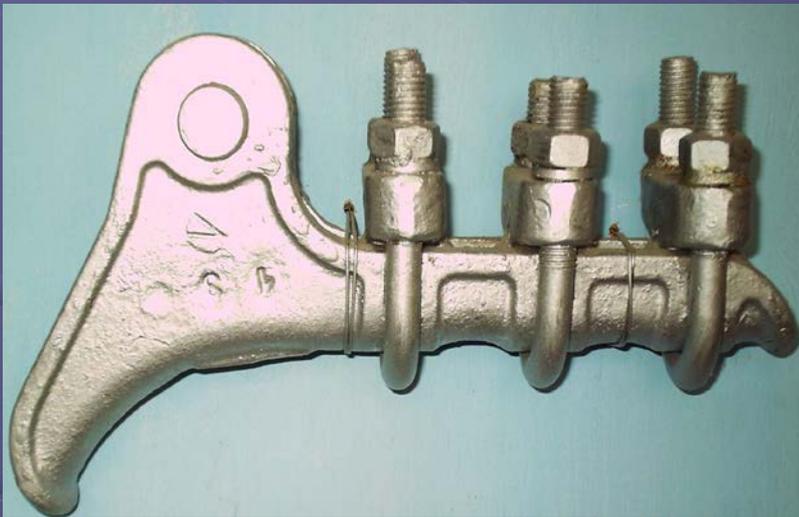
К нижнему изолятору

гирлянды за **УШКО** прикрепляется поддерживающий зажим, в который помещается провод.



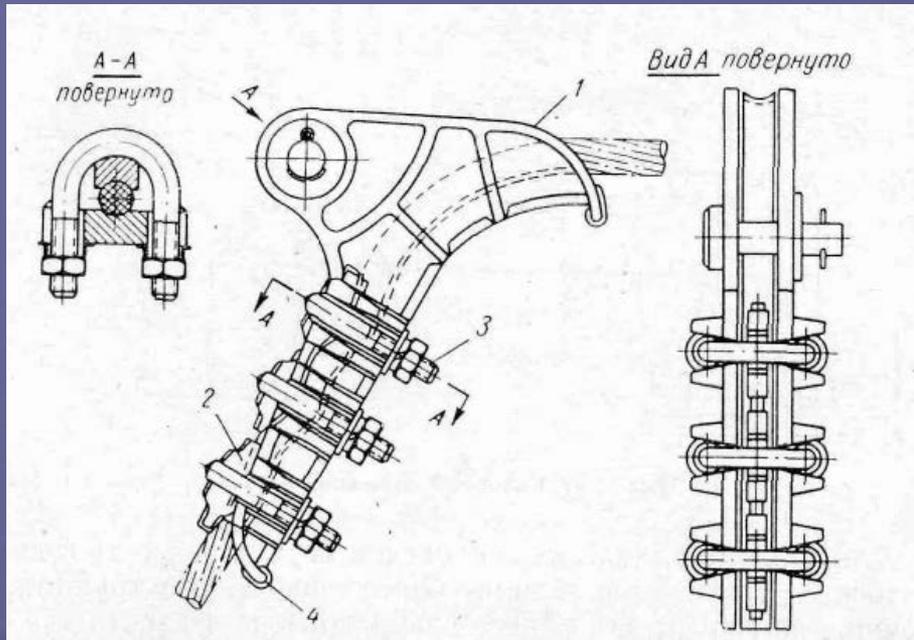
Глухой поддерживающий зажим

Поддерживающие зажимы подвешиваются на промежуточных опорах.

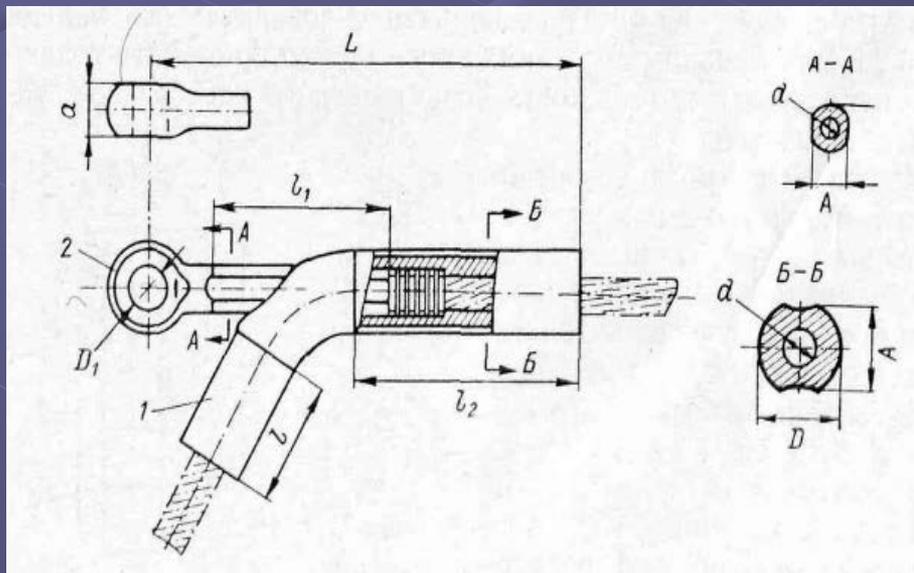


Натяжной болтовой зажим

Натяжные болтовые зажимы применяются на опорах анкерного типа для жесткого закрепления провода

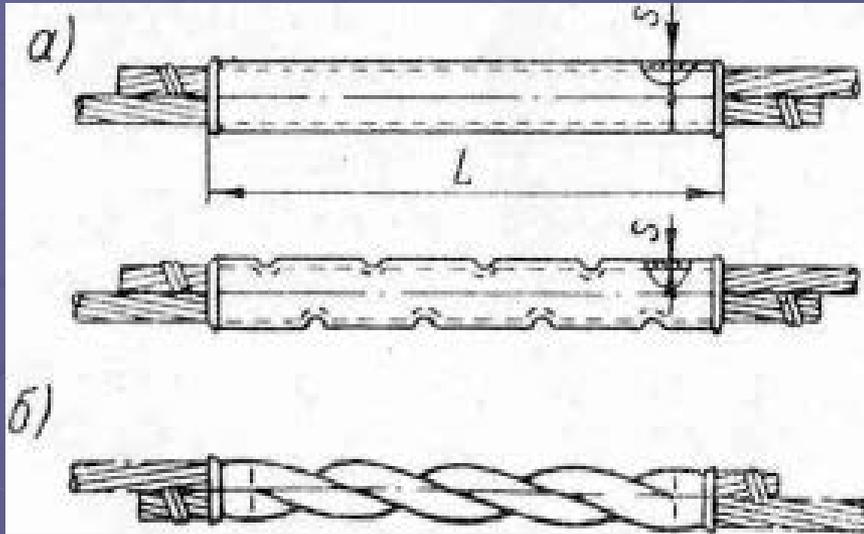


Болтовые зажимы состоят из корпуса 1, плашек (2), натяжных болтов с гайками (3) и прокладок из алюминия (4).



Прессуемые зажимы состоят из стального анкера 2, в котором на длине l_1 опрессовывается стальной сердечник провода, и алюминиевого корпуса 1, в котором на длине l_2 опрессовывается алюминиевая часть провода со стороны пролета, а на длине L — шлейф.

Для соединения концов отрезков проводов используются **соединители**.



Овальные соединители применяются для проводов сечением до 185 мм включительно. В них провода укладываются внахлест, после чего производится обжатие соединителя с помощью специальных клещей.

Прессуемые соединители используются для соединения проводов сечением 240 кв.мм и более, а также стальных тросов всех сечений.

Применяют также **соединение проводов скруткой**.

ВИБРОГАСИТЕЛИ

Вблизи зажимов к проводам подвешиваются **гасители вибрации** или **демпфирующие петли**.

Они предназначены для гашения вибрации провода, возникающей под воздействием ветра, и позволяют предотвратить излом проволок провода.

Гаситель вибрации состоит из двух чугунных грузов, соединенных стальным тросом.

Частота собственных колебаний гасителей во много раз меньше, чем провода, в результате вибрация провода уменьшается.



Демпфирующие петли применяются для защиты от вибрации алюминиевых и сталеалюминевых проводов малых сечений из провода той же марки. Петля прикрепляется к проводу болтовыми зажимами по обе стороны поддерживающего зажима у подвесной гирлянды изоляторов.

Грозозащита

Для защиты линий электропередачи от повреждений при разрядах молний служат специальные устройства грозозащиты, к которым относятся **грозозащитные тросы, ограничители перенапряжений, разрядники и устройства заземления.**

Грозозащитные тросы представляют собой протяженные молниеотводы, выполненные из стального троса, натянутого вдоль линий над проводами.

В зависимости от расположения и количества проводов монтируют один или два троса.

Трос присоединяется к устройству заземления линии.



Грозозащитный трос подвешивается по всей длине линий напряжением 110 кВ и выше, сооруженных на металлических и железобетонных опорах.

На линиях 110—220 кВ с деревянными опорами и линиях 35 кВ трос обычно подвешивается только на подходах к подстанциям.

Крепление троса к металлическим и железобетонным промежуточным опорам линий 35—110 кВ осуществляется без изоляции троса.



На линиях 220 кВ и выше на промежуточных и анкерных опорах и на анкерных металлических и железобетонных опорах линий 35—110 кВ трос крепится через изолятор, при этом он присоединяется к устройству заземления наглухо.

Заземление

Для безопасности людей и животных, находящихся вблизи линии при грозе или повреждениях на линии, опоры, на которых подвешен грозозащитный трос или установлены другие средства грозозащиты, заземляются.

В грунтах с удельной проводимостью более 500 Ом·м на линиях с металлическими и железобетонными опорами и в любых грунтах на линиях с деревянными опорами предусматривается устройство специальных **контуров заземления**.

Конструкция контура заземления опоры зависит от характеристик грунта, в котором устанавливается эта опора.

В качестве материала заземлителей обычно используется сталь круглого профиля диаметром от 12 до 18 мм, стальная полоса размером 50x4 мм или стальные уголки.

Наиболее часто причинами, вызывающими отключение линий, являются:

повреждение линий в результате недопустимого приближения различных механизмов к проводам;

повреждение опор автомашинами;

падение на провода деревьев;

набросы на провода предметов и т. д.

Поэтому с обеих сторон линии существует **охранная зона**, в пределах которой запрещается производство каких-либо работ.

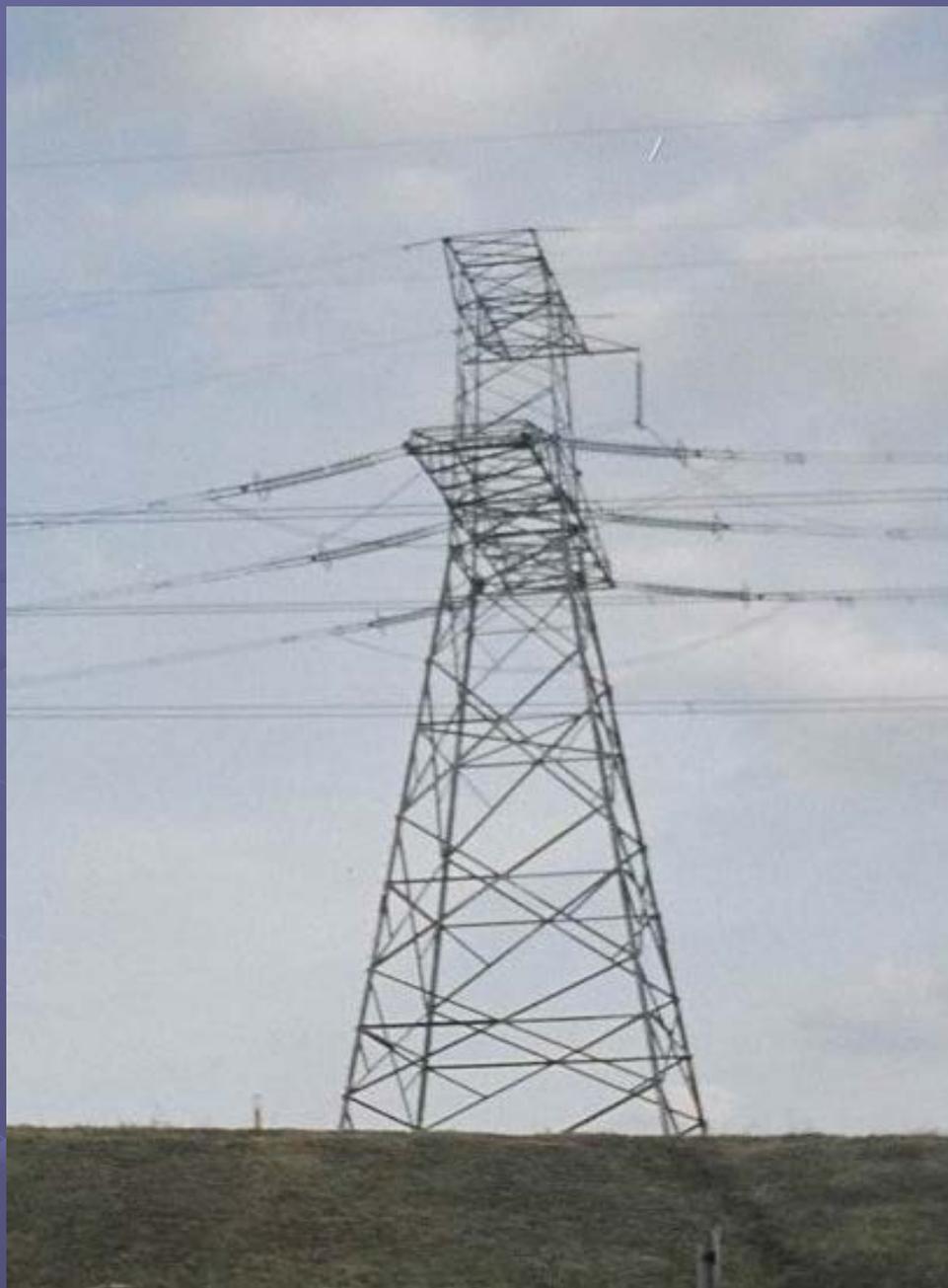
Охранная зона воздушной линии



Ширина охранной зоны зависит от габаритов линии и ее номинального напряжения и нормируется Правилами устройства электроустановок.

Для линий электропередачи, проходящих по лесным массивам, ширина просеки устанавливается в зависимости от ценности и высоты деревьев.

Отдельные деревья на просеке, которые превышают высоту основного массива и могут при падении задеть провода линии, вырубаются.



Линии электропередачи сверхвысокого напряжения (330 кВ и выше) оказывают неблагоприятное влияние на животных и людей, длительное время находящихся в непосредственной близости от линии.

Это влияние обуславливается высокой напряженностью электрического поля вблизи линии.



Работа на линиях электропередачи должна производиться со строгим соблюдением правил техники безопасности.