

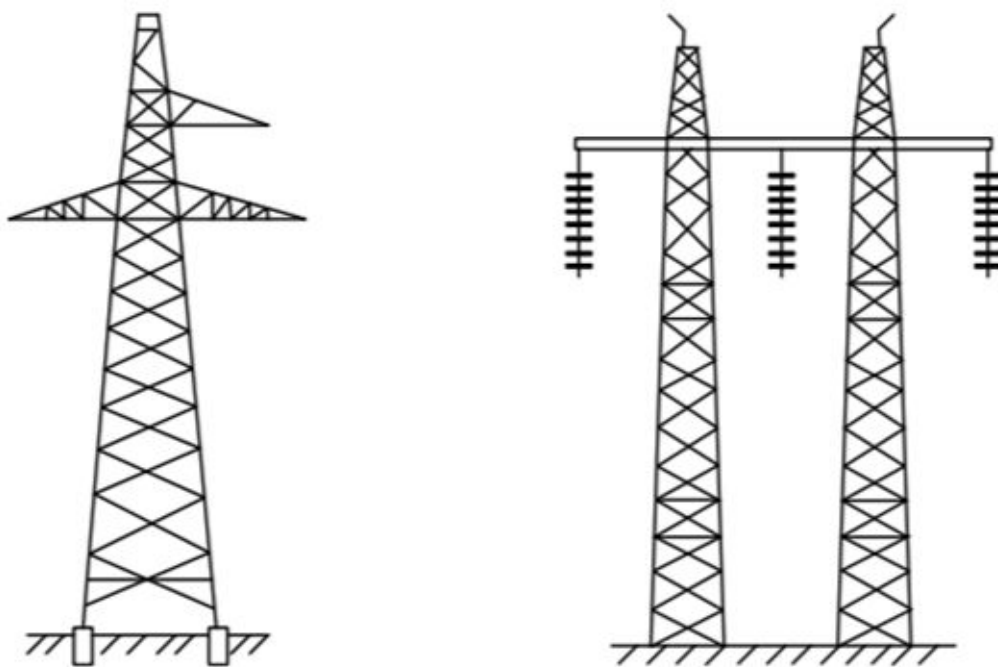
**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

**КАФЕДРА «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»
имени Дж. Апышева**

**ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА И КОНСТРУКЦИЯ
ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

**Руководство к лабораторной работе №1
по дисциплине «Передача и распределение электроэнергии»**



БИШКЕК – 2011

«Рассмотрено»
на заседании кафедры
«Электроэнергетика»
Протокол №5 от 29.12.10

«Одобрено»
Методической комиссией
Энергетического факультета
Протокол №5 от 17.01.11

Составители: к.т.н., ст. преп. ТЕНТИЕВ Р.Б., преп. ЭРАЛИЕВА Г.Ш.

Линейная арматура и конструкция воздушных линий электропередачи. Руководство к лабораторной работе №1 по дисциплине «Передача и распределение электроэнергии». / КГТУ им. И.Раззакова; сост.: Р.Б.Тентиев, Г.Ш.Эралиева. – Б.: ИЦ «Техник», 2011. – 32 с.

Излагаются подробные теоретические сведения о конструкции воздушных линий, линейных арматур и методические указания по выполнению лабораторных работ и контрольные вопросы.

Предназначены для студентов дневной формы обучения.

Табл.: 1. Илл.: 47. Библ.: 6 назв.

Рецензент к.т.н., проф. Т.А. Джунуев.

Линейная арматура и конструкция воздушных линий электропередачи
Руководство к лабораторной работе №1 по дисциплине
«Передача и распределение электроэнергии»

Составители: *Тентиев Р.Б., Эралиева Г.Ш.*

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

Подписано к печати 03.03.2011 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.

Бумага офс. Печать офс. Объем 2 п.л. Тираж 75 экз. Заказ 88. Цена 34,2 сом.

Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Техник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43

e-mail: beknur@mail.ru

Лабораторная работа №1

Линейная арматура и конструкция воздушных линий электропередачи

1. Назначение работы

В процессе выполнения настоящей работы закрепляются знания студентов по разделу арматуры и конструкции воздушных линий электропередачи. В ней рассматривается линейная арматура, наиболее широко применяемая на воздушных линиях; изучаются разделы конструктивного исполнения воздушных линий и принципов, заложенных в конструкцию линий, конструкции опор и т.д.

2. Краткая характеристика линейной арматуры воздушных линий

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) предназначены для передачи электроэнергии на расстояние по проводам. Основными конструктивными элементами ВЛ являются провода, тросы, изоляторы и линейная арматура.

К линейной арматуре (рис.1) относятся все приспособления и детали, служащие для монтажа проводов электрических сетей на изоляторах. В зависимости от назначения линейная арматура делится на четыре основных вида:



Рис.1. Линейная арматура

2.1. зажимы, служащие для закрепления проводов и тросов.

На опорах промежуточного типа подвешиваются поддерживающие зажимы (рис. 2).

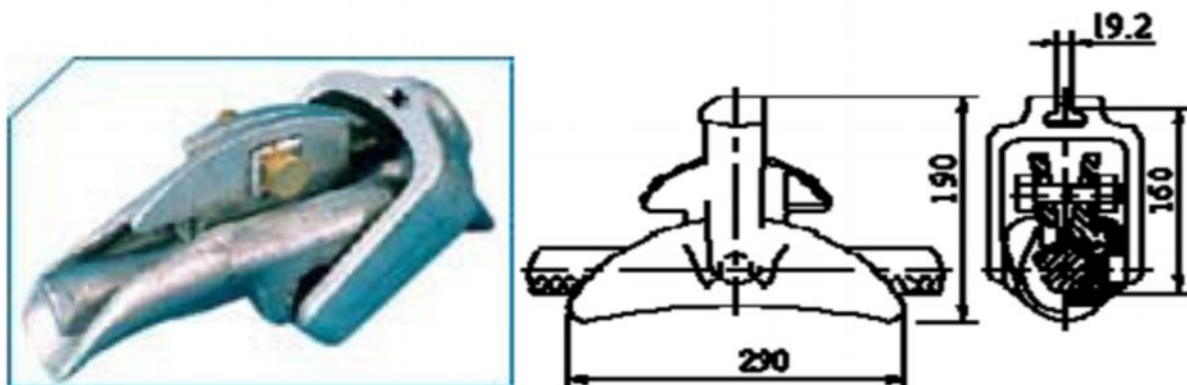


Рис. 2. Поддерживающий зажим

Они состоят из лодочки, в которую укладывается провод, плашек и болтов для закрепления провода в лодочке, пружин и кронштейнов для крепления зажима в гирлянде.

В зависимости от прочности закрепления провода, поддерживающие зажимы подразделяются на 4 вида:

глухие зажимы. Глухой зажим показан на рис. 3. Нажимные болты 1 через плашку 2 прижимают провод к корпусу зажима («лодочке») 3 и удерживают его на месте при одностороннем тяжении. В глухом зажиме провод или трос в случае обрыва в одном из пролётов, как правило, не вытягивается из зажима и тяжение провода или троса, оставшегося необорванным, передается на промежуточную опору. Это основной тип зажимов, применяемых на воздушных линиях;

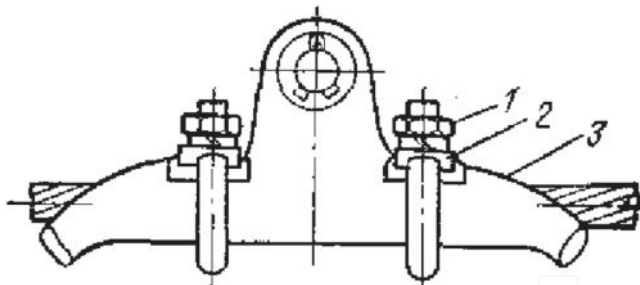


Рис. 3. Глухой поддерживающий зажим.

зажимы с ограниченной прочностью заделки. Зажимы этого типа, применяются на воздушных линиях электропередачи 500 кВ. В случае обрыва провод протягивается в зажиме и приспускается. За счет этого продольные нагрузки на промежуточную опору уменьшаются. Однако опыт эксплуатации таких зажимов не вполне удовлетворителен, так как при протягивании через зажимы наблюдаются повреждения отдельных проводов фазы;

многороликовые подвесы. Многороликовые подвесы (рис. 4) по существу не являются зажимами, так как провод может свободно перекатываться по роликам при разности тяжений в смежных пролётах.

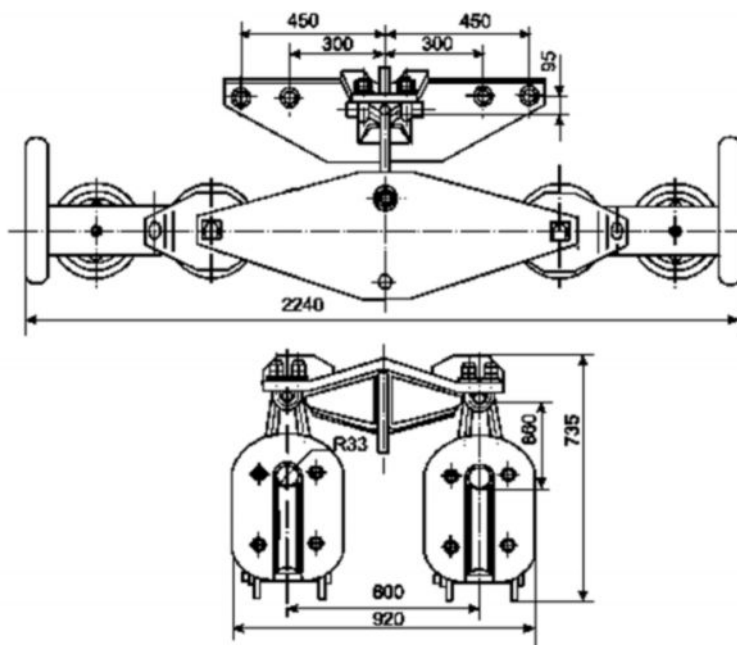


Рис. 4. Многороликовый подвес

Многоруликовые подвесы применяются для крепления проводов сечением, равным или больше, чем 300 мм^2 и тросов на промежуточных опорах больших переходов. Защита сталеалюминиевых проводов от излома отдельных проводов фазы обеспечивается гибкими муфтами-протекторами, которые насаживаются на провода на участках возможного их перемещения.

На анкерных и анкерно-угловых опорах натяжение и крепление проводов осуществляется с помощью натяжных зажимов. В зависимости от конструкции и способа монтажа натяжные зажимы подразделяют следующим образом:

клиновые натяжные зажимы. Клиновые зажимы применяются для подвески стальных тросов;

болтовые натяжные зажимы. Болтовые натяжные зажимы (рис. 5) применяются для монтажа проводов сечением $35 - 300 \text{ мм}^2$.

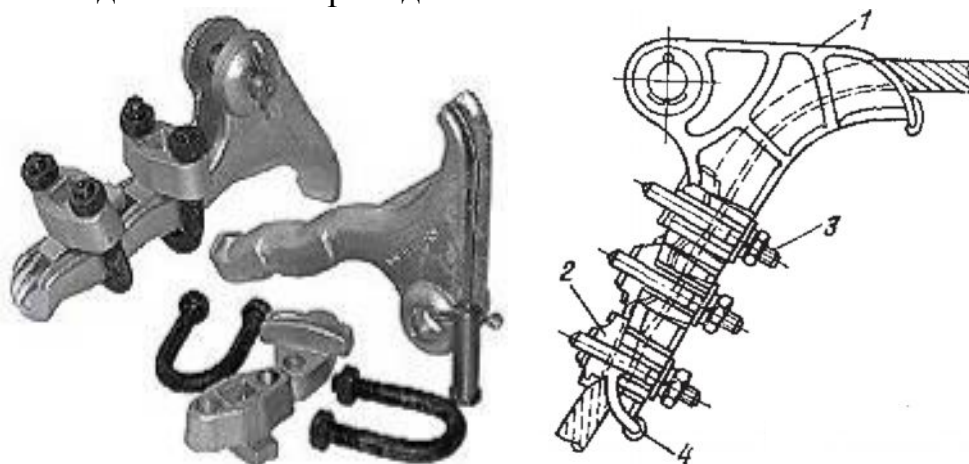


Рис. 5. Болтовой натяжной зажим

Болтовые зажимы (рис.5) состоят из корпуса 1, плашек 2, натяжных болтов с гайками 3 и прокладок 4 из алюминия

прессуемые натяжные зажимы. Прессуемые натяжные зажимы (рис. 6) применяются для монтажа проводов сечением 300 мм^2 и более.

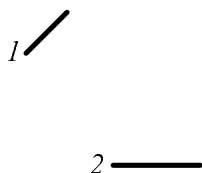


Рис. 6. Прессуемый натяжной зажим

Прессуемые зажимы (рис.6) состоят из стального анкера 1, в котором на длине L_3 , спрессовывается стальной сердечник провода и алюминиевого корпуса 2, в котором на длине L_2 спрессовывается алюминиевая часть провода со

стороны пролёта, а на длине L_A – шлейф. Недостатком такого вида зажимов является необходимость разрезать провод для опрессовывания;

2.2. сцепная арматура.

Сцепная арматура подразделяется следующим образом:

скобы, служащие для перехода с шарнирного соединения на соединение типа «палец-проушина» и изменения расположения оси шарнирности;

серьги, соединяемые, с одной стороны, со скобой, а с другой – с шапками изоляторов;

ушки, служащие для соединения стержней подвесных изоляторов с другой линейной арматурой;

промежуточные звенья, которые предназначены для увеличения и регулирования длины подвески, перехода от одного вида соединения к другому;

2.3. защитная арматура.

Защитная арматура предназначена для защиты изоляторов, проводов, тросов от электрических и механических повреждений. К защитной арматуре относят:

распорки, служащие для обеспечения постоянства воздушных промежутков между проводами, между фазой и стойкой опоры, между проводами фазы и предохраняют их от схлестывания, соударения и закручивания. На проводах ВЛ 330 – 750 кВ применяются распорки 1 (рис. 7) для фиксации проводов расщепленной фазы 2 относительно друг друга;

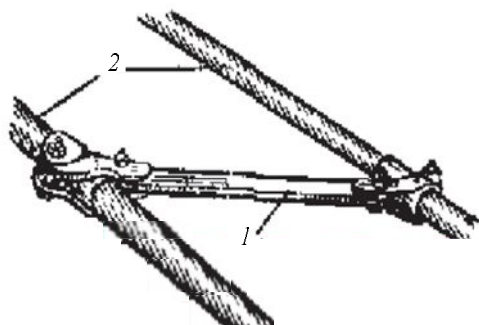


Рис. 7. Распорки

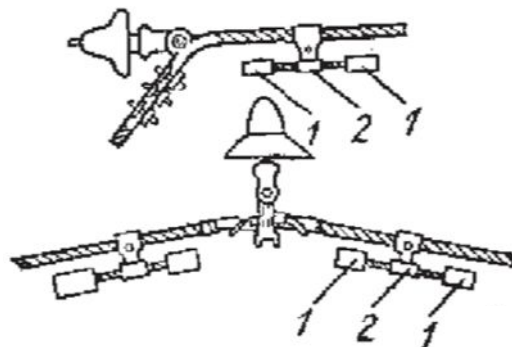


Рис. 8. Подвеска гасителей вибрации у натяжных и поддерживающих зажимов

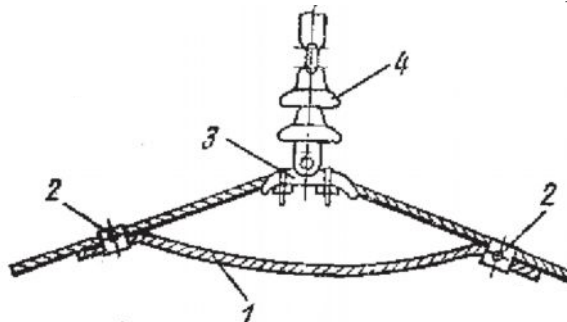


Рис. 9. Демпфирующая петля

балласты, применяемые для уменьшения влияния ветровых нагрузок на провода промежуточных опор, расположенных во впадинах;

муфты, предназначенные для защиты провода от повреждения при соприкосновении с арматурой;

гасители вибрации, устанавливаемые на проводах и тросах для защиты последних от вибрации. Гаситель состоит из двух чугунных грузов *1*, соединенных стальным тросом *2* (рис. 8). Частота собственных колебаний гасителей во много раз меньше, чем провода, и вибрация последнего в результате уменьшается. Для алюминиевых и сталеалюминевых проводов малых сечений защита от вибраций осуществляется с помощью демпфирующей петли *1* из провода той же марки. Петля прикрепляется к проводу болтовыми зажимами *2*, по обе стороны поддерживающего зажима *3* у подвесной гирлянды изоляторов *4* (рис. 9);

2.4. соединительная арматура.

Соединительная арматура предназначена для соединения проводов и тросов воздушных линий электропередачи. К соединительной арматуре относятся: овальные, плашечные, прессуемые, клыковые, петлевые и заземляющие зажимы.

Овальные соединители (рис. 10, а, б) применяются для проводов сечением до 185 мм^2 включительно. В них провода укладываются внахлест, после чего производится обжатие соединителя с помощью специальных клещей (рис. 10, а). Сталеалюминевые провода сечением до 95 мм^2 включительно закрепляются в соединителях методом скручивания (рис. 10, б).

Прессуемые соединители используются для соединения проводов сечением 240 мм^2 и более и стальных тросов всех сечений. Для сталеалюминевых проводов эти зажимы состоят их двух трубок: одной – стальной, предназначенной для соединения внутренних стальных жил, и другой – алюминиевой, накладываемой поверх первой и служащей для соединения наружных алюминиевых жил (рис. 10, в).

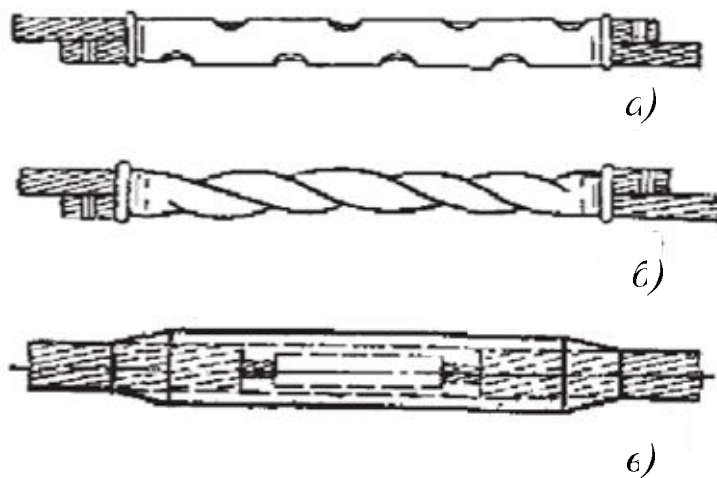


Рис. 10. Соединительная арматура:

а), б) – соединители овальные с обжатием и с скручиванием; в) – соединитель прессуемый.

Выбор линейной арматуры производится в соответствии с выбранным типом изоляторов. Например, если изоляторы имеют электромеханическую разрушающую нагрузку $60\,000 \text{ Н}$, то они должны сопрягаться с арматурой, гарантированная прочность которой составляет $60\,000 \text{ Н}$. Поддерживающие зажимы для линий $35 - 330 \text{ кВ}$ принимаются во всех случаях глухие, а для линий

500 кВ – глухие или с ограниченной прочностью заделки. Натяжные зажимы выбираются в зависимости от площади поперечного сечения проводника.

3. Изоляторы

Изоляторы относятся к ответственным элементам воздушных линий и предназначаются для изоляции проводов воздушных линий, находящихся под напряжением, от конструктивных частей опор.

Основными материалами для изготовления изоляторов служат электро-технический фарфор (рис.11), закаленное стекло и полимеры.

Изоляторы из закаленного стекла (рис. 12) в отличие от фарфоровых не требуют проверки на электрическую прочность перед монтажом. В случае наличия дефекта изолирующая деталь стеклянного изолятора рассыпается на мелкие части, а остаток стеклянного изолятора сохраняет несущую способность, равную не менее 75 % номинальной электромеханической прочности изолятора.



Рис. 11. Фарфоровые изоляторы



Рис. 12. Изолятор из закаленного стекла



Рис. 13. Штыревой изолятор марки ШС-10

В зависимости от класса напряжения воздушной линии фарфоровые и стеклянные изоляторы делятся на штыревые и подвесные, которые составляют две основные группы.

Штыревые изоляторы (рис. 13) закрепляются на опорах с помощью штырей и крючьев и применяются на линиях низкого напряжения – до 1000 В, а также на высоковольтных линиях электропередачи напряжением до 35 кВ

В обозначении такого вида изоляторов первая буква «Ш» означает «штыревой», вторая – материал, из которого изготовлен изолятор («С» – «стеклянный», «Ф» – «фарфоровый»), следующее за буквами число означает класс напряжения воздушной линии, например, ШС-10. Расчетной нагрузкой для штыревых изоляторов является нагрузка на изгиб. Срок службы штыревых изоляторов составляет от 15 до 20 лет.

Подвесной изолятор состоит из фарфоровой или стеклянной изолирующей части и металлических деталей – шапок и стержней. Подвесные изоляторы закрепляются на опорах с помощью линейной арматуры, соединяются в гирлянды, состоящие из нескольких сцепленных между собой элементов (рис. 14) и применяются на линиях электропередачи напряжением 35 кВ и выше, а также на линиях более низких напряжений в натяжных гирляндах опор анкерного типа.

Первая буква в обозначении «П» означает «подвесной», вторая, как и в случае штыревых изоляторов означает материал изоляции, число обозначает не класс напряжения, а разрушающую механическую нагрузку в килоньютонах (кН), например, ПС–40А. Расчетной нагрузкой для подвесных изоляторов является нагрузка на растяжение. Срок службы подвесных изоляторов составляет 25 – 40 лет.

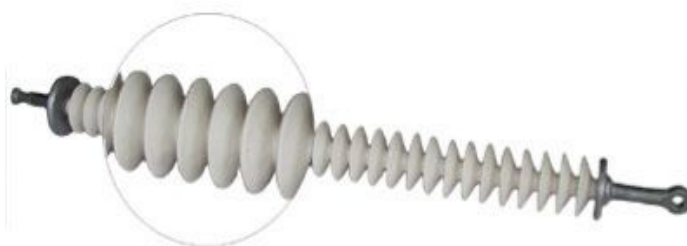


Рис. 14. Гирлянда изоляторов Рис. 15. Полимерный изолятор ЛК70/35

Полимерные изоляторы (рис. 15) представляют собой комбинированную конструкцию, состоящую из высокопрочных стержней из стеклопластика с полимерным защитным покрытием, стойким к ультрафиолетовым излучениям и химическим воздействиям, тарелок и металлических наконечников.

В настоящее время полимерные изоляторы позволяют заменить целые гирлянды стеклянных изоляторов, так как они значительно легче, чем гирлянды из стекла и фарфора. В зависимости от типа полимерные изоляторы применяются на воздушных линиях 35 – 500 кВ. Первая буква в обозначении «Л» показывает применение для линейной изоляции, вторая буква «К» означает «кремнийорганический», первая цифра показывает минимальную механическую силу при растяжении в кило ньютонах (кН), вторая – класс напряжения воздушной линии например, ЛК70/35.

Хранение изоляторов на площадке осуществляют под навесом и в таком положении, чтобы избежать скопления воды в полостях изолятора.

Эксплуатационные характеристики изоляторов зависят от аэродинамических свойств изолирующей детали (тарелки). Хорошее обтекание изолято-

ра способствует уменьшению загрязнения, лучше происходит его самоочистка дождем и ветром и, как следствие, уровень изоляции всей гирлянды не снижается значительно.

Основными характеристиками изолятора являются:

- 1) механическая разрушающая сила – наименьшее значение силы, приложенной к изолятору в определенных условиях, при которой он разрушается, кН;
- 2) электромеханическая разрушающая сила – наименьшее значение силы, приложенной к изолятору в определенных условиях и находящемуся под действием электрических потенциалов, при которой он разрушается, кН;
- 3) длина пути утечки – кратчайшее расстояние или сумма кратчайших расстояний по контуру наружной изоляционной поверхности между частями, находящимися под разными электрическими потенциалами, мм.

При проектировании выбор изоляторов производится на основании требований, определяющих необходимую механическую и электрическую прочность.

Исходными данными для выбора изоляторов при проектировании являются:

- 1) напряжение воздушной линии;
- 2) район прохождения трассы линии (особое внимание уделяют высоте над уровнем моря, наличию или отсутствию участков с загрязненной атмосферой);
- 3) материал и тип опор;
- 4) нормативные механические нагрузки на изоляторы.

Количество изоляторов в поддерживающих гирляндах является главным визуальным показателем, по которому можно определить класс напряжения воздушной линии. В таблице 1 приведены данные по количеству изоляторов в гирляндах в условиях обычной незагрязненной атмосферы.

Таблица 1.

Количество изоляторов в поддерживающих гирляндах воздушных линий электропередачи на металлических и железобетонных опорах при одной гирлянде в подвеске, шт.

Класс напряжения, кВ	6-10	20	35	110	150	220	330	500	750
Количество изоляторов, шт	2	2-4	3-6	6-15	8-20	12-29	17-41	24-60	35-86

4. Провода ВЛ и тросы

Провода служат для передачи электроэнергии. В верхней части опор над проводами для защиты ВЛ от грозových перенапряжений монтируют грозозащитные тросы.

Наибольшее распространение получили одно – и двух – цепные ВЛ. Одна цепь трехфазной ВЛ состоит из проводов разных фаз. Две цепи могут располагаться на одних и тех же опорах.

На рис. 16. приведена металлическая опора одноцепной линии. На работу конструктивной части ВЛ оказывают воздействие механические нагрузки от собственного веса проводов и тросов, от гололедных образований на проводах,

тросах и опорах, от давления ветра, а также из-за изменений температуры воздуха. Из-за воздействия ветра возникает вибрация проводов (колебания с высокой частотой и незначительной амплитудой), а также пляска проводов (колебания с малой частотой и большой амплитудой).

На ВЛ применяются неизолированные провода, т.е. без изолирующих покрытий. Наиболее распространены на ВЛ провода, алюминиевые, сталеалюминиевые, а также из сплавов алюминия – АН, АЖ. Медные провода в настоящее время не используются на ВЛ без специальных технико – экономических обоснований. Обычно не рекомендуется применять на ВЛ стальные провода.

Грозозащитные тросы, как правило, выполняются из стали, а также используются для организации высокочастотных каналов связи. Такие тросы выполняются сталеалюминиевыми.

Конструкция и общий вид неизолированных проводов приведены на рис. 17,а. Однопроводочный провод (рис. 17,б) состоит из одной круглой проволоки. Такие провода дешевле многопроводочных, однако, менее гибки и имеют меньшую механическую прочность. Многопроводочные провода из одного металла (рис. 17, в) состоят из нескольких свитых между собой проволок. При увеличении сечения растет число проволок. В многопроводочных проводах из двух металлов – сталеалюминиевых проводах (рис. 17, г) – внутренние проволоки (сердечник провода) выполняются из стали, а верхнее – из алюминия.

Стальной сердечник увеличивает механическую прочность, алюминий же – токопроводящая часть провода. Полые провода (рис. 17, д) изготавливают из плоских проволок, соединенных друг с другом в паз, что обеспечивает конструктивную прочность провода. У таких проводов больший по сравнению со сплошными диаметр, благодаря чему повышается напряжение появления коронирующего разряда на проводах и значительно снижаются потери энергии на корону. Полые провода применяются на ВЛ редко, они главным образом используются для ошиновки подстанций 330 кВ и выше. Для снижения потерь электроэнергии на корону ВЛ при $U_{НОМ} \geq 330$ кВ каждая фаза ВЛ расщепляется на несколько проводов.

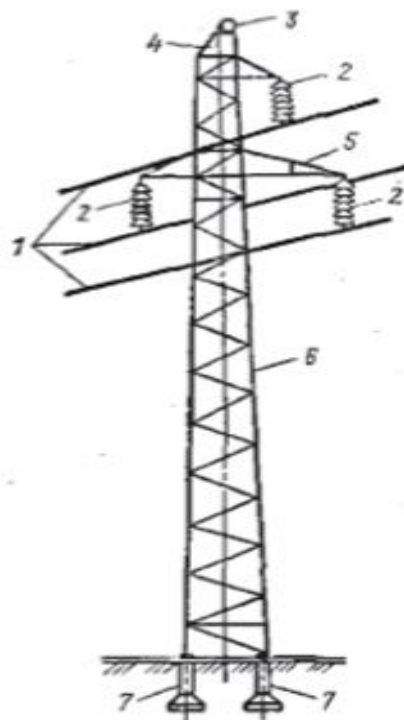


Рис. 16. Промежуточная металлическая опора одноцепной линии: 1 – провода; 2 – изоляторы; 3 – грозозащитный трос; 4 – тросостойка; 5 – траверсы опоры; 6 – стойка опоры; 7 – фундамент опоры

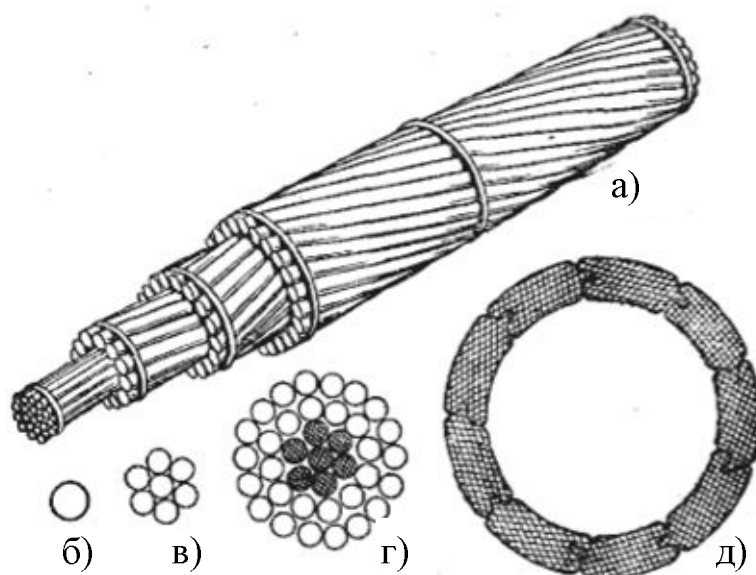


Рис. 17. Конструкция проводов ВЛ: а) – общий вид многопроволочного провода; б) – сечение однопроволочного провода; в), г) – сечения многопроволочных проводов из одного и двух металлов; д) – сечение пустотелого провода

Материал проводов должен иметь высокую электрическую проводимость. На первом месте по проводимости стоит медь, затем алюминий; сталь имеет значительно более низкую проводимость. Провода и тросы должны быть выполнены из металла, обладающего достаточной прочностью. По механической прочности на первом месте стоит сталь. Материал из проводов и тросов должен быть стойким по отношению к коррозии и химическим воздействиям.

Медь при своих высоких качествах – хорошей проводимости, большой механической прочности и коррозионной стойкости – дорога и дефицитна. Поэтому в настоящее время медные провода для выполнения ВЛ не применяются.

Алюминий – наиболее распространенный в природе металл. Его удельная проводимость составляет 65,5% проводимости меди. Большая проводимость, легкость и распространенность в природе алюминия привели к эффективному использованию его в качестве токопроводящего металла для проводов и кабелей. Основным недостатком алюминия – относительно малая механическая прочность. Алюминиевые однопроволочные провода вообще не выпускаются из-за низкой прочности. Многопроволочные алюминиевые провода обычно применяют только в распределительных сетях напряжением до 35 кВ, а сетях с более высоким напряжением используются сталеалюминевые провода.

Сталеалюминевые провода наиболее широко применяются на ВЛ. Проводимость стального сердечника не учитывается, а за электрическое сопротивление принимается только сопротивление алюминиевой части.

В обозначении марки провода вводится номинальное сечение алюминиевой части провода и сечение стального сердечника, например АС 120/19 или АСКС 150/34.

5. Расположение проводов на опорах воздушных линий

На рис. 18 – 20 показаны основные схемы расположения проводов, принимаемые в отечественной и зарубежной практике на линиях трехфазного тока со стальными и железобетонными опорами.

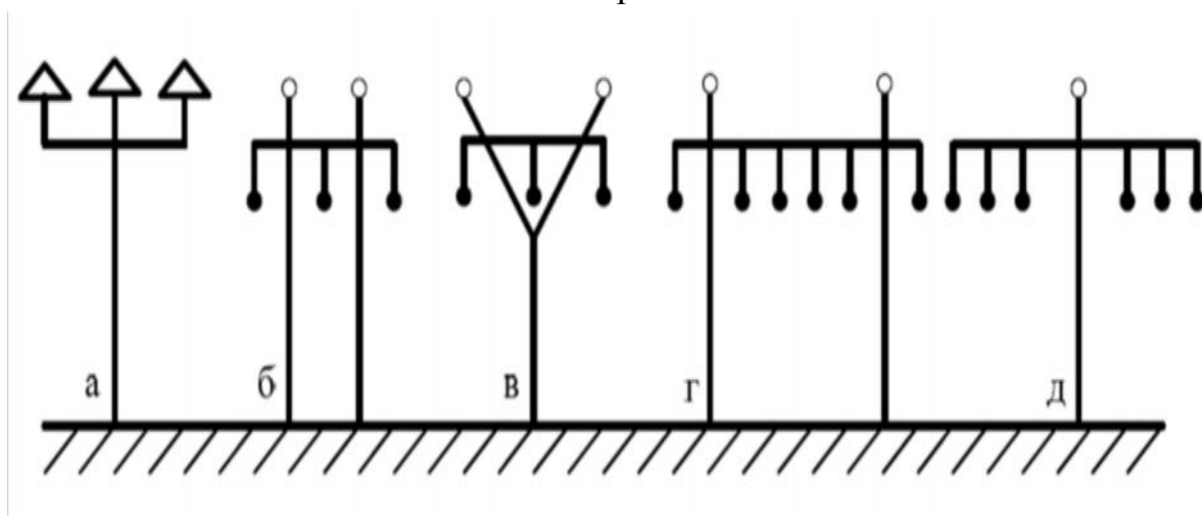


Рис. 18. Горизонтальное расположение проводов

Провода могут быть расположены в один, два или три яруса. Расположение в один ярус называется горизонтальным (рис. 18)

Расположение в два или в три яруса без смещения по горизонтали расположенных друг над другом проводов называется вертикальным (рис. 19)

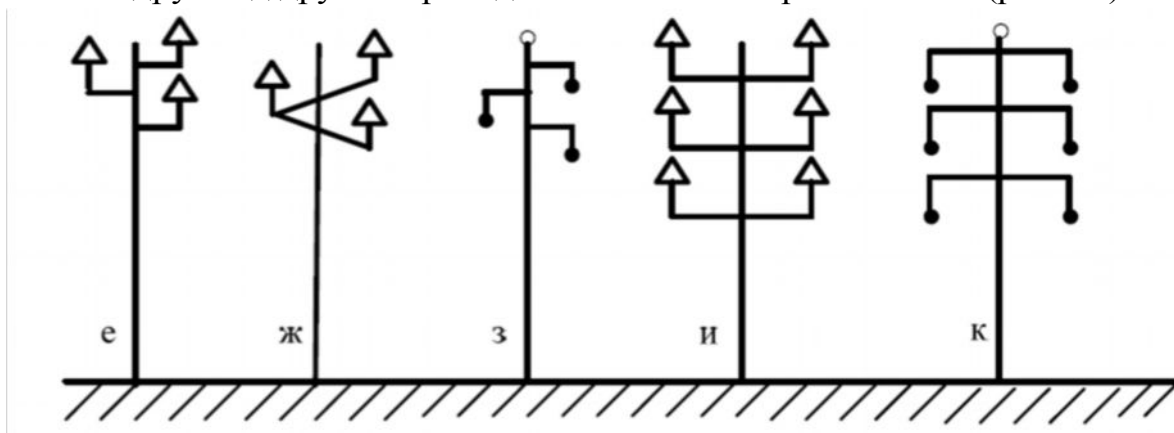


Рис. 19. Вертикальное расположение проводов

Расположение в два или три яруса, при котором находящиеся друг над другом провода имеют горизонтальное смещение, называется смешанным (рис. 20).

Горизонтальное расположение проводов удобно для проведения монтажа и ремонтных работ на линии, так как схлестывание проводов при неравномерной гололедной нагрузке и ветре или при подскоке провода при сбросе гололеда менее вероятно, но при наличии грозозащитного троса возможны схлестывания проводов и тросов. Следует помнить, что горизонтальное расположение проводов часто требует применения двустоечных опор, которые являются более дорогими. Наименее приемлемым является вариант типа «рюмка» (рис.

18,в). Верхняя часть ствола опоры разделена на две, что затрудняет монтаж и ремонт средней фазы.

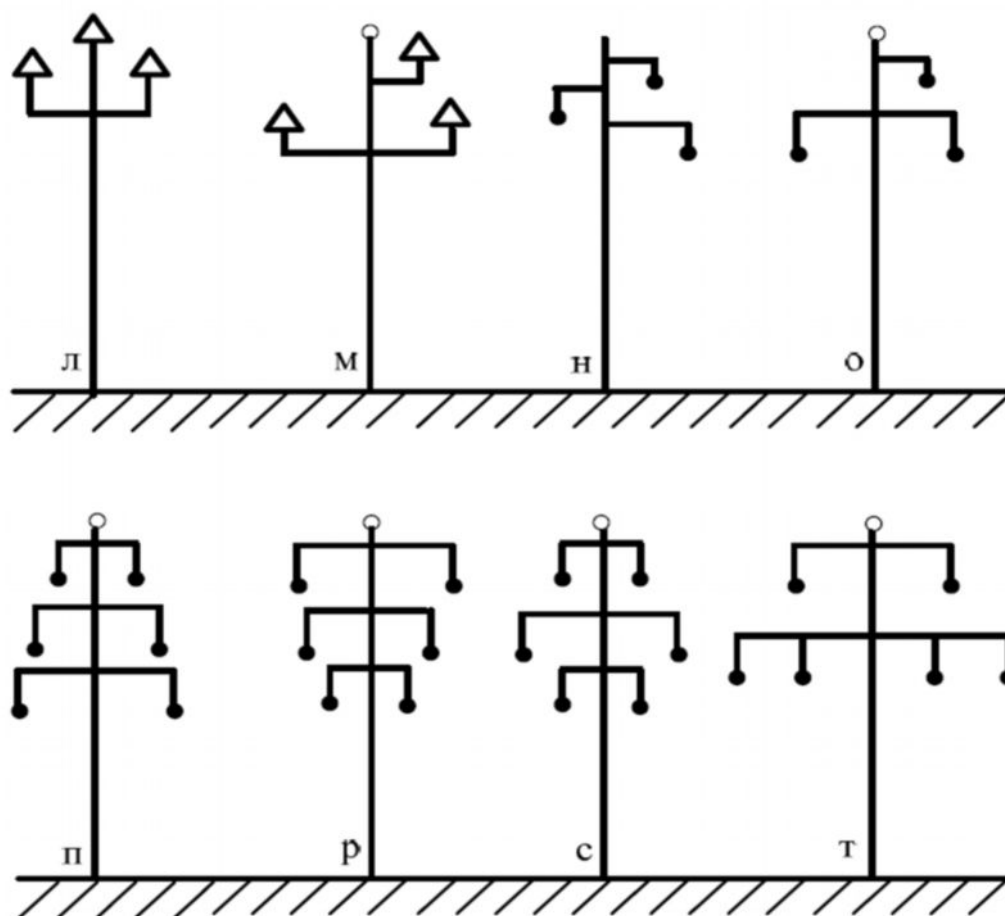


Рис. 20. Смешанное расположение проводов

Вертикальное расположение проводов без горизонтального смещения в соседних ярусах применяется либо на воздушных линиях менее 35 кВ в районах отсутствием гололеда, либо на линиях напряжением выше 35 кВ при достаточном расстоянии проводов соседних ярусов по вертикали.

Из вариантов смешанного расположения проводов наибольшее распространение получил вариант расположения проводов по вершинам шестиугольника – схема «бочка» (рис. 20, с), как сочетающий в себе удобство монтажа, приемлемую надежность при пляске проводов и гололеде, имеющий умеренные механические нагрузки на опору при действии ветра.

Двухцепные опоры со смешанным расположением проводов могут быть также выполнены с размещением проводов по двум наклонным прямым, сходящимся вверху – тип «елка» (рис. 20, п), или, по двум прямым, сходящимся внизу – тип «обратная елка», (рис. 20, р). Привлекательной является опора типа «Дунай» (рис. 20, т), как имеющая две траверсы вместо трех.

6. Опоры ВЛ

При сооружении воздушных линий электропередачи применяются железобетонные, стальные (металлические) и деревянные опоры (последние в данном пособии не рассматриваются). По назначению опоры подразделяются на анкерные, угловые, концевые, промежуточные, а по числу цепей – на одноцепные и двухцепные

На промежуточных опорах провода подвешиваются с помощью поддерживающих гирлянд изоляторов (рис. 21). Опоры анкерного типа служат для натяжения проводов, на этих опорах подвешиваются с помощью подвесных гирлянд. Расстояние между промежуточными опорами называется промежуточным пролетом или просто пролетом, а расстояние между анкерными – анкерным пролетом.

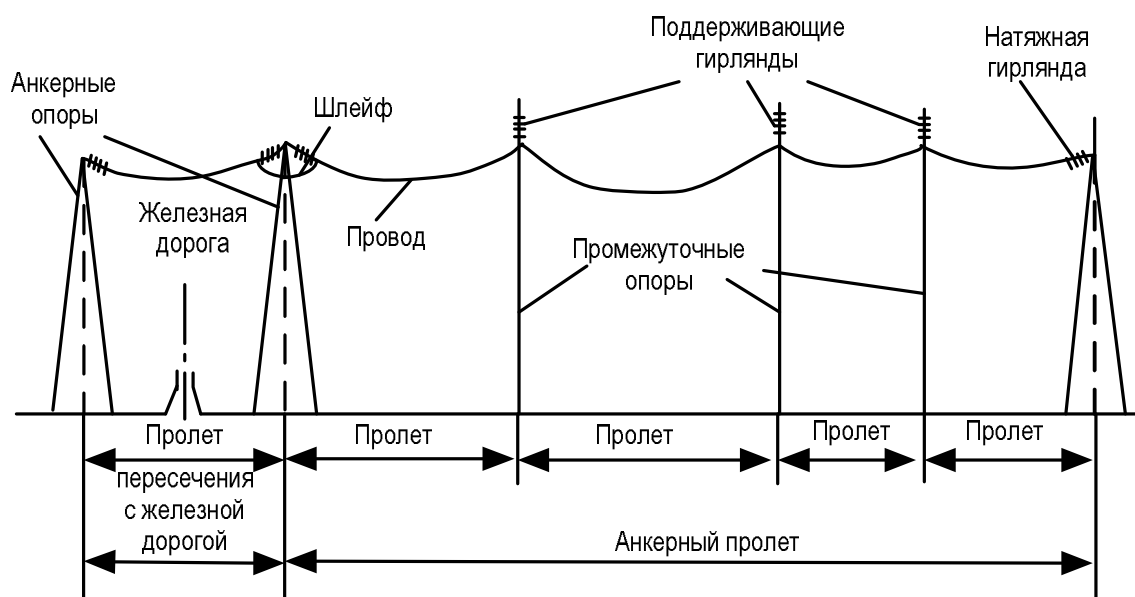


Рис. 21. Схема анкерного пролета ВЛ и пролета пересечения с железной дорогой

Анкерные опоры предназначены для жесткого закрепления проводов в особо ответственных точках ВЛ. Анкерные опоры на прямых участках трассы ВЛ при подвеске проводов с обеих сторон от опоры с одинаковыми тяжениями в нормальных режимах работы ВЛ выполняют те же функции, что промежуточные опоры. Но анкерные опоры рассчитываются также и на восприятие значительных тяжений по проводам и тросам при обрыве части из них в примыкающем пролете.

Анкерные опоры значительно сложнее и дороже промежуточных и поэтому число их на каждой линии должно быть минимальным.

В наихудших условиях находятся концевые анкерные опоры, устанавливаемые при выходе линии с электростанции или на подходах к подстанции. Эти опоры испытывают одностороннее тяжение всех проводов со стороны линии, так как тяжение проводов со стороны портала подстанции незначительно.

Промежуточные прямые опоры устанавливаются на прямых участках ВЛ для поддержания провода в анкерном пролете. Промежуточная опора дешевле и проще в изготовлении, чем анкерная, так как благодаря одинаковому тяжению проводов по обеим сторонам она при необорванных проводах, т.е. в нормальном режиме, не испытывает усилий вдоль линии.

Угловые опоры устанавливают в точках поворота линии. Углом поворота линии называется угол α в плане линии (рис.22), дополнительный до 180° к внутреннему углу β линии. Траверсы угловой опоры устанавливают по биссектрисе угла β . Угловые опоры могут быть анкерного и промежуточного типа.

При углах поворота линии электропередачи более 20° вес промежуточных угловых опор значительно возрастает. Поэтому промежуточные угловые опоры применяются для углов поворота линий до $10-20^\circ$. На ВЛ применяются специальные опоры следующих типов: транспозиционные – для изменения порядка расположения проводов на опорах; ответвительные – для выполнения ответвлений от основной линии; переходные – для пересечения рек, ущелий и т.д.

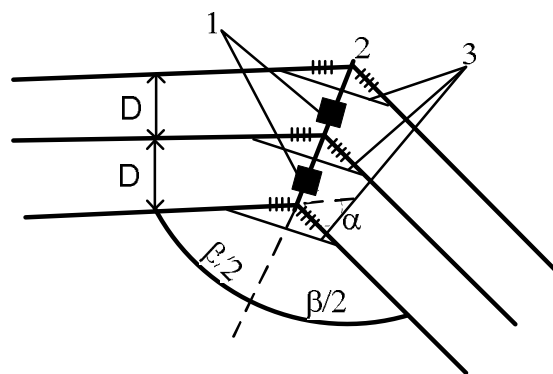


Рис. 22. Угол поворота ВЛ:

1 – подножки опоры;
2 – траверса; 3 – петля.

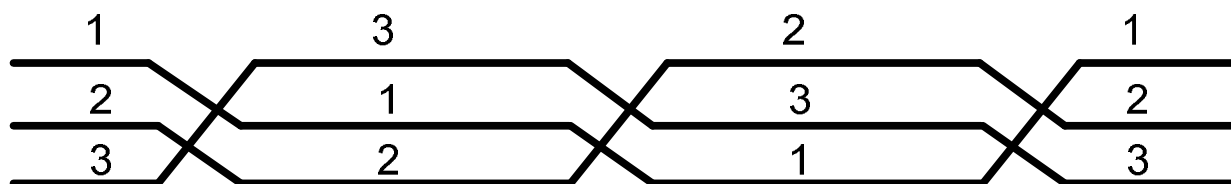


Рис. 22,а. Цикл транспозиции проводов одноцепной линии

Транспозицию применяют на линиях напряжением 110 кВ и выше протяженностью более 100 км для того, чтобы сделать емкость и индуктивность всех фаз цепи ВЛ одинаковыми. При этом последовательно меняют на опорах взаимное расположение проводов по отношению друг к другу на разных участках линии. Провод каждой фазы проходит одну треть длины линии на одном, вторую – на другом и третью – на третьем месте. Одно такое тройное перемещение проводов называют циклом транспозиции (рис.22,а).

Унификация и типизация опор способствуют повышению технического и экономического уровней линейного строительства.

6.1. Железобетонные опоры

Железобетонные опоры применяются как в сетях низкого напряжения, так и на высоковольтных линиях электропередачи.

К достоинствам железобетонных опор следует отнести:

- 1) простоту монтажа;
- 2) малый объем земляных работ при установке;

- 3) стоимость меньшую, чем у стальных опор;
- 4) невозможность расхищения деталей опор.

К числу недостатков относят:

- 1) большой вес стоек;
- 2) слабую устойчивость железобетона к повреждениям при транспортировке, погрузочно-разгрузочных и строительно-монтажных работах;
- 3) невозможность подъема на опору без использования автовышки;
- 4) сложность транспортировки к месту установки из-за большой длины стоек;
- 5) невозможность заглубления опор ниже трех метров, что недостаточно для надежного закрепления опор в слабых и пучинистых грунтах.

При изготовлении железобетонных опор способами укладки, обеспечивающими необходимую плотность, являются вибрирование и центрифугирование.

Металлические траверсы железобетонных опор подвергаются горячей оцинковке, поэтому долгое время не требуют ухода в процессе эксплуатации. Крепление траверс к стволу опоры может быть выполнено с помощью болтов, пропущенных через специальные отверстия в стволе (рис. 23, а), или с помощью стальных хомутов, охватывающих ствол и имеющих цапфы для крепления на них концов поясов траверс (рис. 23 б).

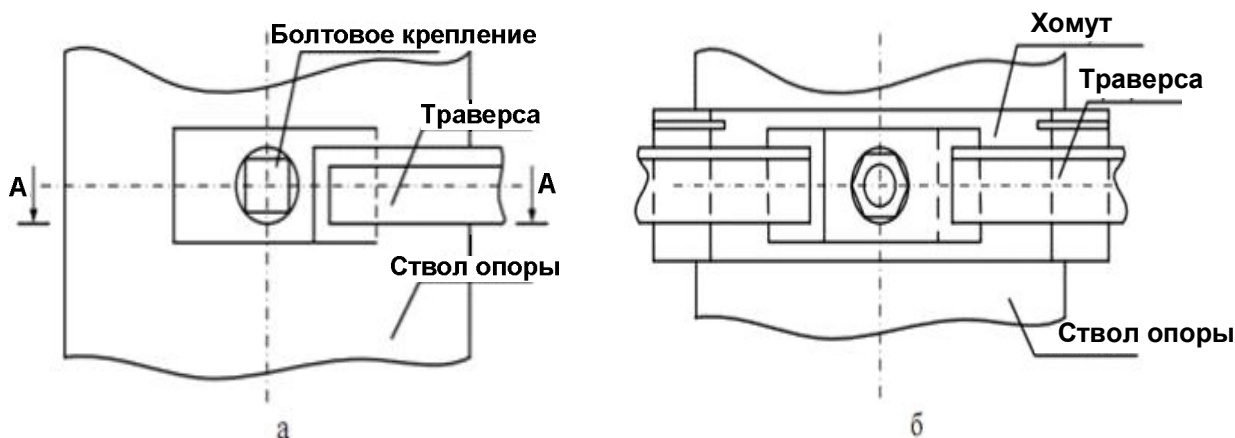


Рис. 23. Крепление траверс с помощью: а – болтов; б – хомутов

Крепление гирлянд изоляторов к траверсам железобетонных опор выполняется с помощью стандартной линейной арматуры.

На воздушных линиях электропередачи напряжением 35 кВ применяются свободностоящие промежуточные опоры: одноцепные с вибрированной стойкой, предназначенные для подвески проводов марок до АС-95/16 включительно и двухцепные с центрифугированной стойкой (рис. 23, а, б).

Анкерные опоры для одноцепных воздушных линий напряжением 35 кВ выполняются с центрифугированными стойками и оттяжками (рис. 25), а для двухцепных линий того же класса напряжения в качестве анкерных используются опоры для линий 110 кВ.

Траверсы промежуточных и анкерных опор металлические, оцинкованные.

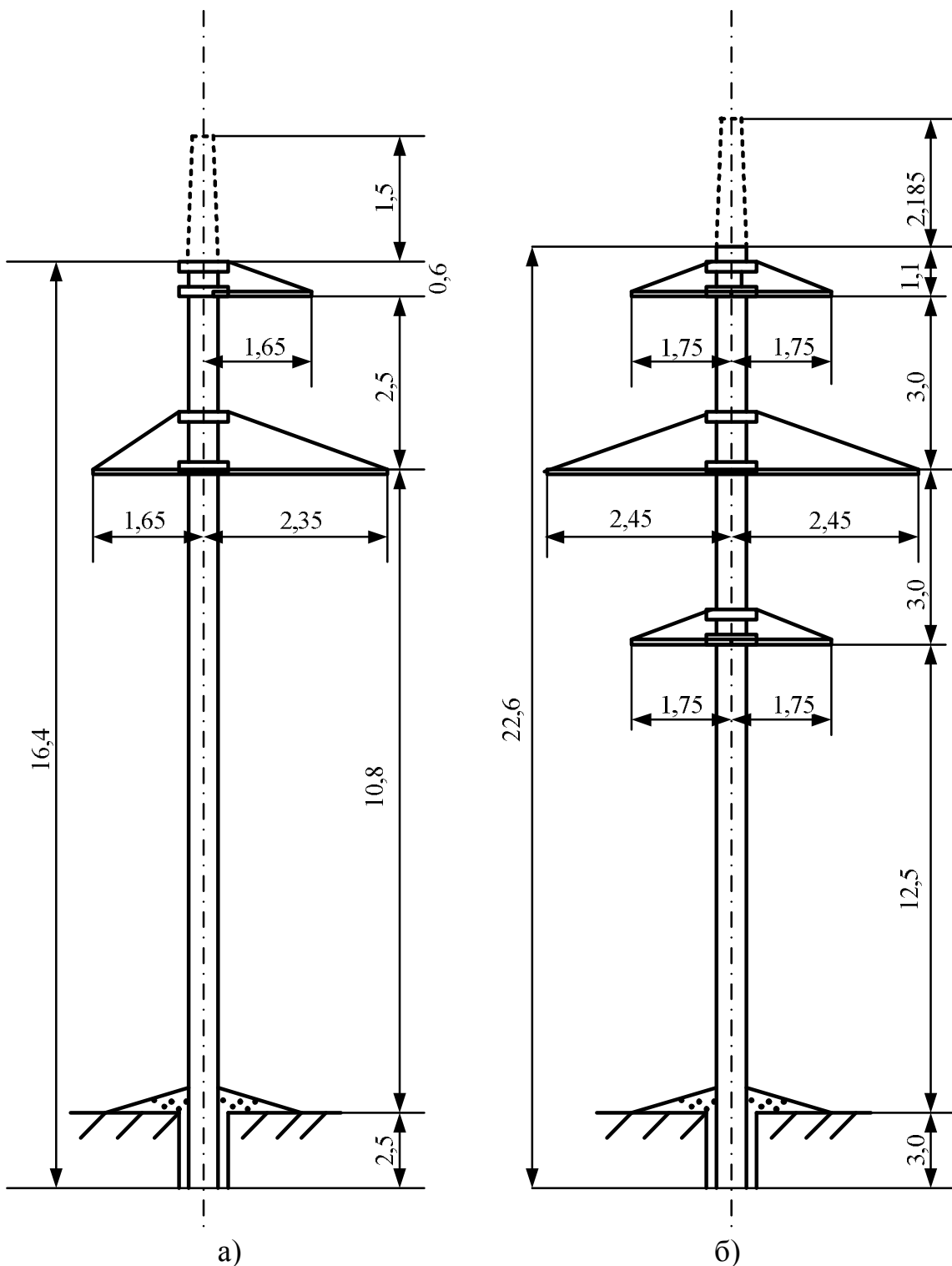


Рис. 24. Унифицированные свободстоящие промежуточные опоры для воздушных линий напряжением 35 кВ:
 а) одноцепная; б) двухцепная

Промежуточные одноцепные и двухцепные опоры для линий напряжением 110 кВ выполняются одностоечными свободстоящими (рис.26, а, б).

На одноцепных опорах принято треугольное расположение проводов, на двухцепных – провода располагаются по вершинам шестиугольника – схема «бочка».

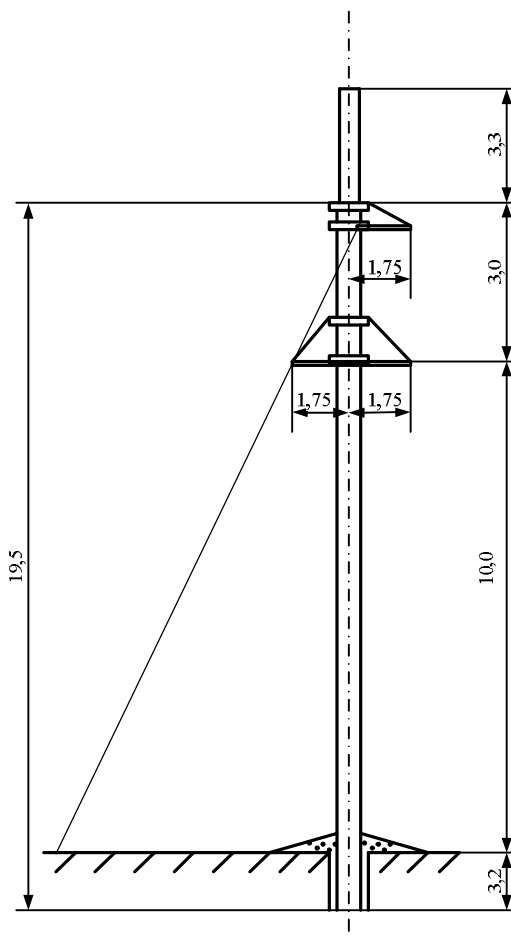


Рис. 25. Унифицированная анкерная опора для воздушной линии напряжением 35 кВ

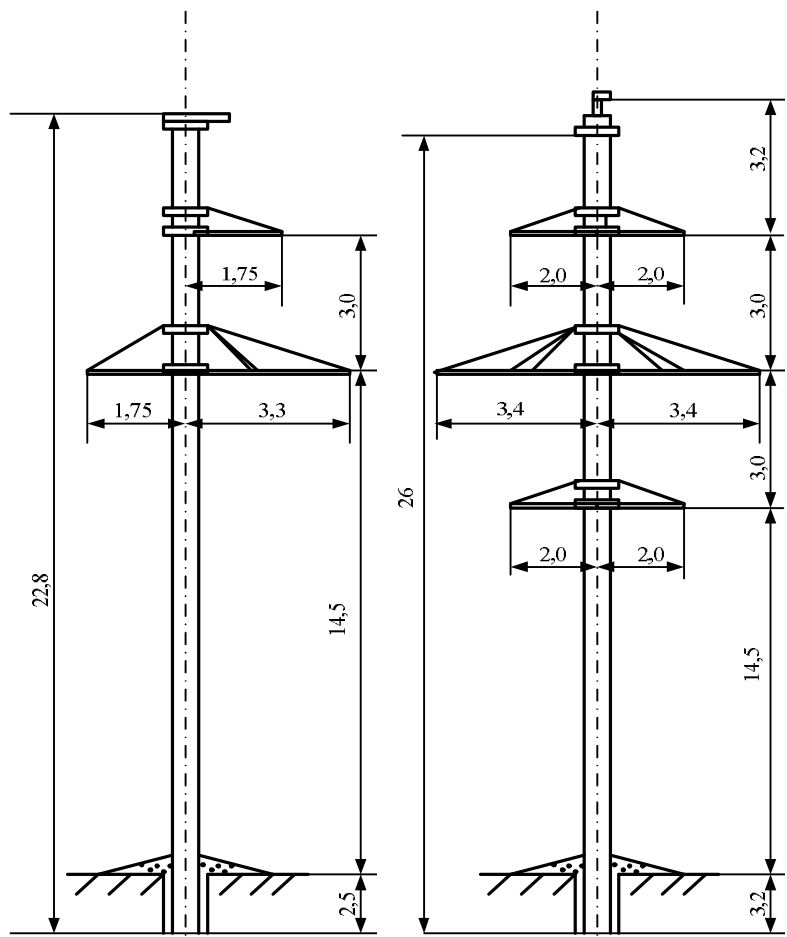


Рис. 26. Унифицированные свободстоящие промежуточные опоры воздушных линий 110 кВ: а) одноцепная; б) двухцепная

Анкерные угловые опоры 110 кВ – одностоечные, с расщепленными оттяжками, обеспечивающими прочность и жесткость при действии не только изгибающих, но и крутящих моментов. Схема такой опоры приведена на рис.27.

Одноцепные промежуточные опоры для линии электропередачи 220 кВ выполняются одностоечными с треугольным расположением проводов марки до АС-400/51 включительно. Двухцепные промежуточные опоры линий 220 кВ – порталные с горизонтальным расположением проводов, с металлическими траверсами на двух цилиндрических стойках (рис.28, а, б). Такая опора сложна в монтаже, поэтому более целесообразно в качестве двухцепной промежуточной опоры применять две спаренные одноцепные, установленные друг против друга с фиксирующей распоркой (рис.29).

Анкерные угловые опоры для линий 220 кВ на железобетонных промежуточных опорах выполняются стальными.

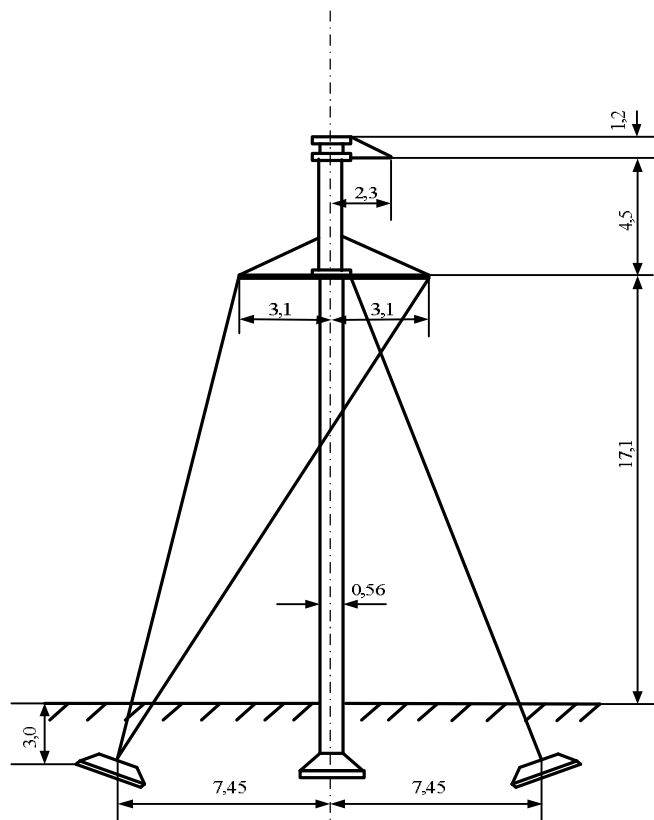
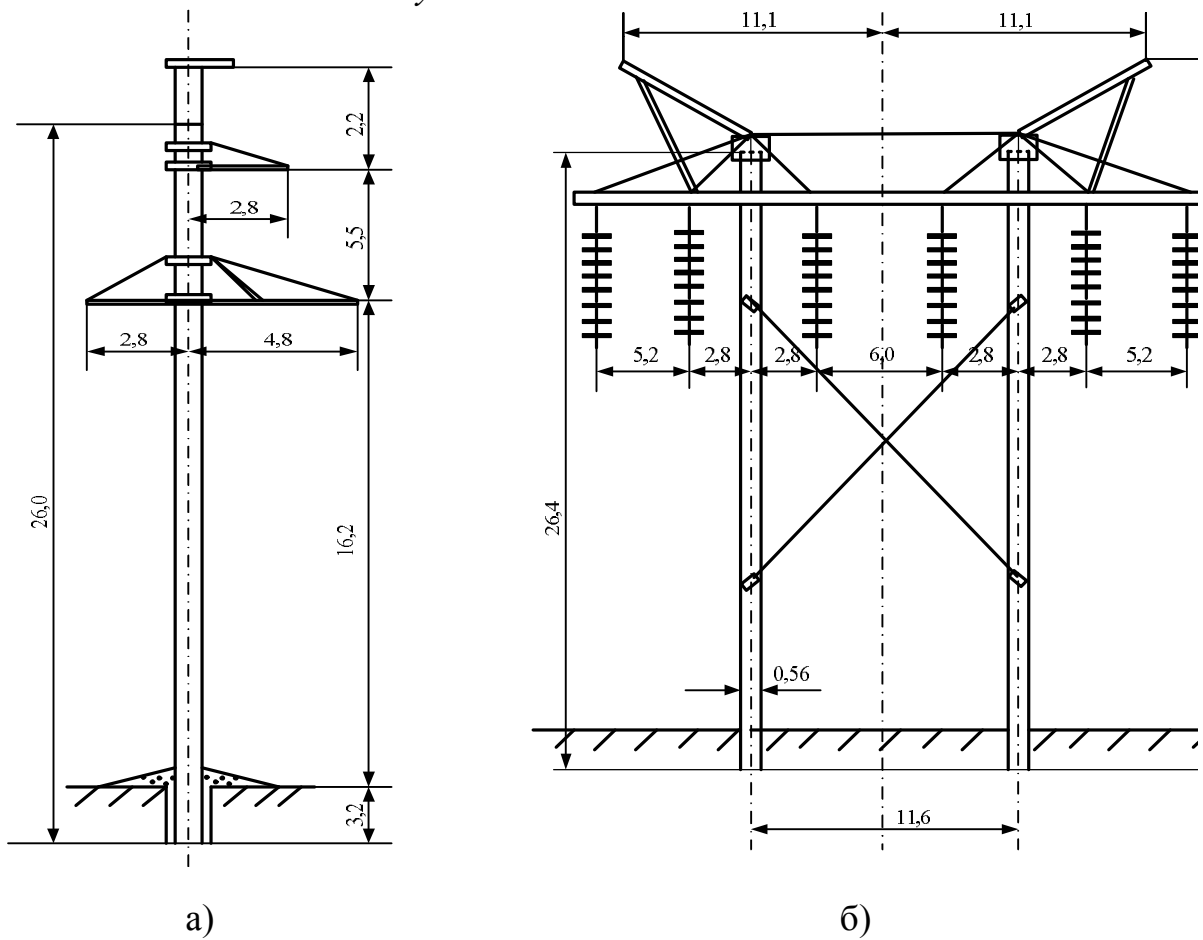


Рис. 27. Унифицированная анкерная угловая одноцепная опора воздушной линии 110 кВ



а)

б)

Рис. 28. Унифицированные свободностоящие промежуточные опоры воздушных линий 220 кВ: а) одноцепная; б) двухцепная

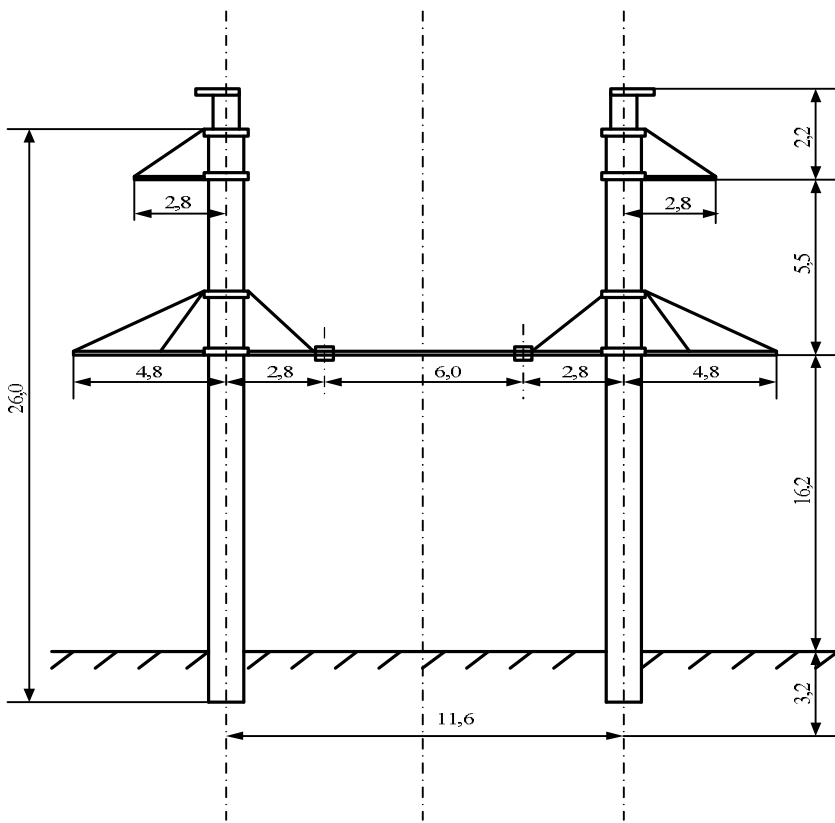


Рис. 29. Промежуточная спаренная двухцепная опора воздушной линии напряжением 220 кВ

На воздушных линиях напряжением 330 – 500 кВ применяются порталные железобетонные промежуточные опоры на оттяжках и свободностоящие с двумя перекрестными ветровыми связями из круглой стали (рис.30, а, б).

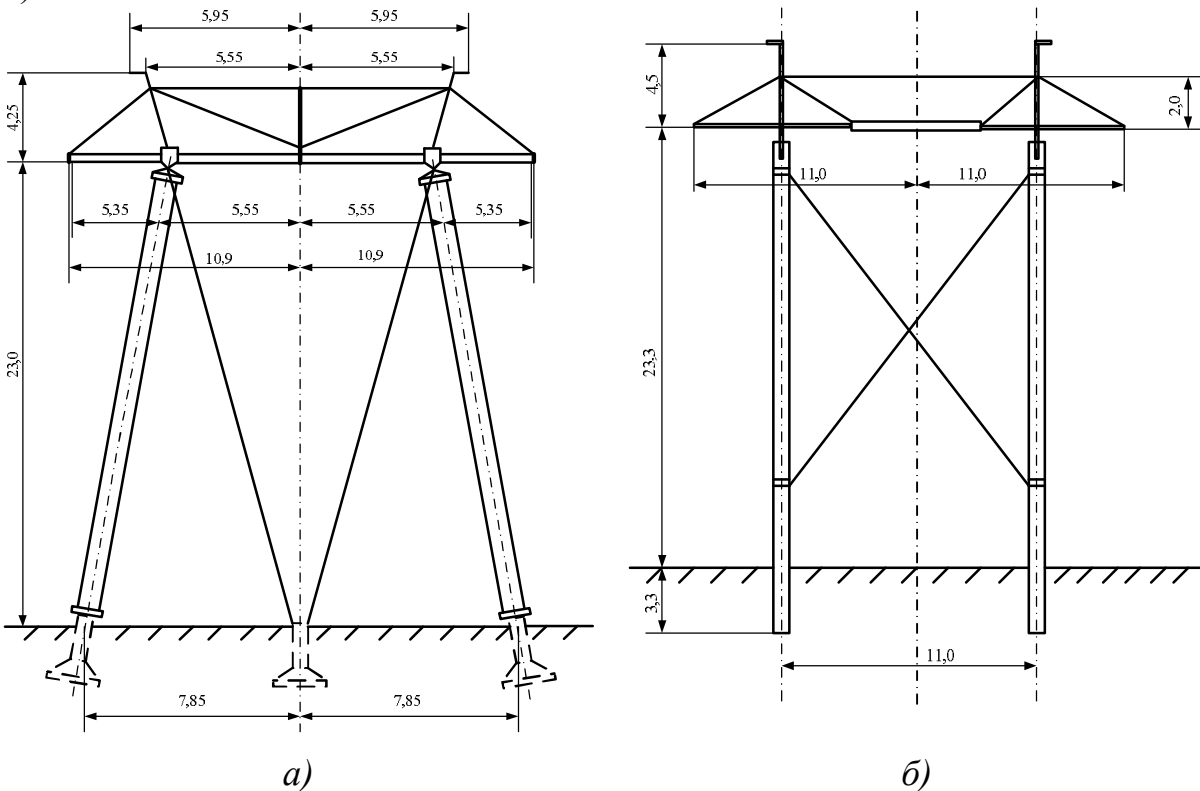


Рис. 30. Унифицированные промежуточные опоры воздушной линии напряжением 500 кВ: а) порталная на оттяжках; б) свободностоящая с ветровыми связями

Оттяжки опор выполняются двойными из стального спирального каната. Траверсы опор усилены системой тяг, которые уменьшают изгибающие моменты, действующие на них от вертикальных нагрузок.

6.2. Стальные (металлические) опоры

Стальные опоры воздушных линий изготавливаются из малоуглеродистой стали в зависимости от назначения опор и расчетной температуры в районе сооружения воздушной линии.

Достоинствами стальных опор являются:

- 1) возможность создания конструкций на большие механические нагрузки и большие высоты;
- 2) масса меньшая, чем у железобетонных опор при высокой механической прочности;
- 3) простота заводского исполнения и технологичность сборки на трассах.

Эти преимущества позволяют использовать их для воздушных линий всех классов напряжений, проходящих в районах со сложными геолого-климатическими и грунтовыми условиями, а также применять в качестве анкерных и угловых опор на воздушных линиях напряжением от 110 до 500 кВ, где в качестве промежуточных используются железобетонные опоры.

К числу недостатков стальных опор следует отнести:

- 1) большое число деталей;
- 2) увеличение затрат на устройство фундамента;
- 3) возможность хищения деталей опор;
- 4) дополнительные затраты на борьбу с коррозией.

В качестве защиты от коррозии применяются:

- 1) масляные, битумные, алкидные с наполнителями лакокрасочные покрытия, которыми секции и детали опор окрашиваются на заводе-изготовителе. Срок службы такого покрытия не превышает 2 – 8 лет. Разрушение лакокрасочного покрытия сопровождается подпленочной коррозией, что приводит к снижению несущей способности опор, а в особо агрессивных условиях к их преждевременному разрушению;
- 2) горячее оцинкование элементов опоры, являющееся надежным и испытанным методом защиты металла. Срок службы покрытия в среднем 12 лет;
- 3) холодное оцинкование элементов опоры (рис. 31), заключающееся в нанесении специальных композиций. Срок службы покрытия составляет 15 лет.



Рис. 31. Внешний вид опоры воздушной линии

Металлические опоры, применяемые на воздушных линиях напряжением 35 кВ и выше подразделяются:

- 1) по конструктивному решению ствола на башенные (одноствоечные) и порталные (рис. 32, а, б);
- 2) по способу закрепления на фундаментах на свободностоящие и опоры на оттяжках;
- 3) по способу соединения элементов на конструкции из сварных секций и болтовые конструкции.

Независимо от конструктивного исполнения стальные опоры выполняются в виде пространственных решетчатых конструкций, основными элементами которых являются (рис. 33):

пояса (1), воспринимающие нормальные усилия, возникающие при действии изгибающих моментов и осевых сил;

решетки (2), воспринимающие поперечные силы и крутящие моменты;

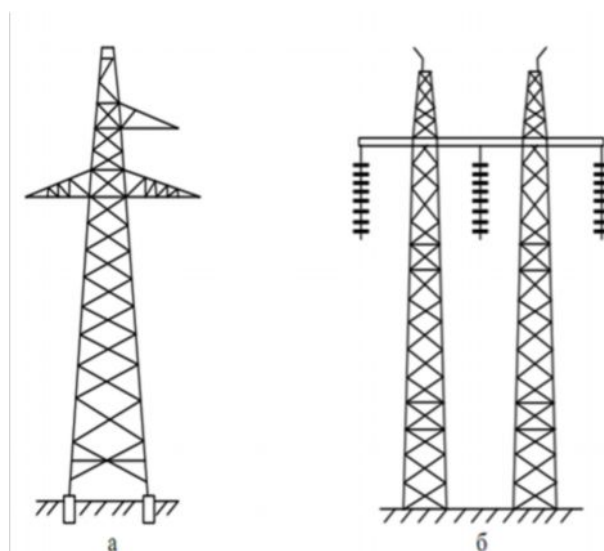


Рис. 32. Унифицированные промежуточные опоры: а – башенного типа; б – порталная

диафрагмы (3), обеспечивающие пространственную жесткость конструкции.

Ствол опоры у ее основания называется базой опоры. Ширина базы у основания принимается: для промежуточных опор воздушных линий 110–150 кВ – 2–3 м; для анкерных опор – 4,6–6 м; для промежуточных опор воздушных линий 220–330 кВ – 4,5–5,5 м; для анкерных опор – 8–10 м. Ширину ствола вверху опоры рекомендуется принимать: для промежуточных опор воздушных линий 110–150 кВ – 0,6–1,2 м; для анкерных опор – 1–1,5 м; для промежуточных опор воздушных линий 220–330 кВ – 1–1,4 м; для анкерных опор – 1,5–2 м; для свободностоящих порталных опор воздушных линий 500 кВ ширину ствола на отметке траверсы принимают в пределах 0,8–1 м.

Решетка ствола башенных опор может быть различных типов. Для опор с небольшими нагрузками может применяться решетка «в елку», смещенная на половину панели в соседних гранях (рис. 34, а). При больших нагрузках применяется перекрестная решетка (рис. 34, б) или решетка со смещением узлов в смежных гранях (рис. 34, в).

Соединения раскосов с поясами опор могут быть сварными и болтовыми. Приварка раскосов к поясам осуществляется встык или внахлестку (рис. 35, а, б).

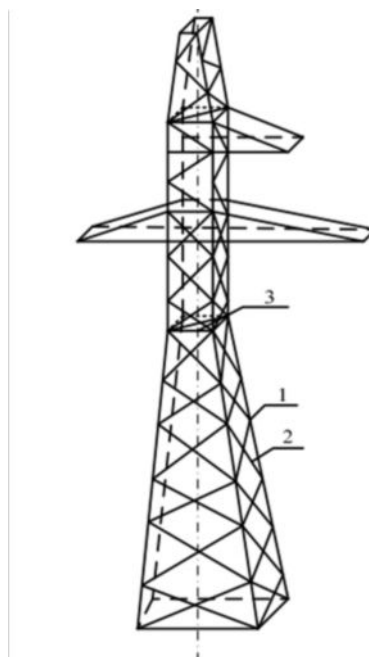


Рис. 33. Элементы пространственных решетчатых конструкций

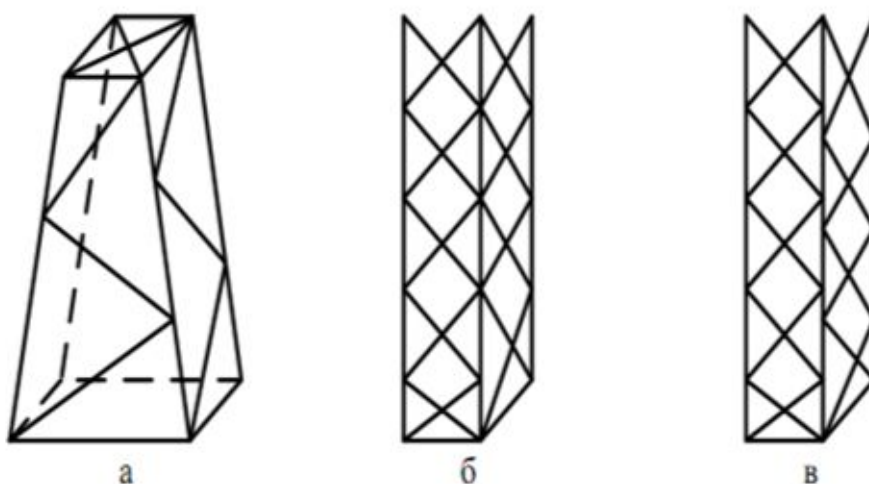


Рис. 34. Ствол опоры с решеткой: а – «в елку»; б – с перекрестной решеткой; в – с перекрестной решеткой со смещением узлов в смежных гранях

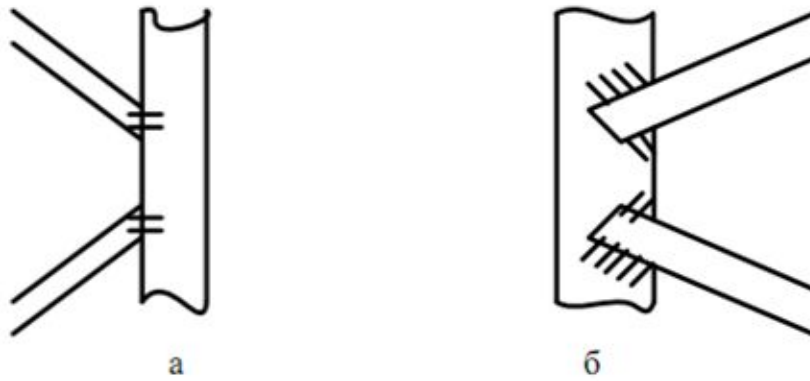


Рис. 35. Узел крепления раскосов к поясам:
а – встык ; б – внахлестку

В болтовых опорах в каждом узле два раскоса крепятся к поясу одним болтом (рис. 36).

При больших усилиях в раскосах, например, для анкерных опор, раскосы присоединяются к поясам двумя или тремя болтами.

Одноцепная и двухцепная промежуточные опоры воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ представлены в рис. 37, а, б.

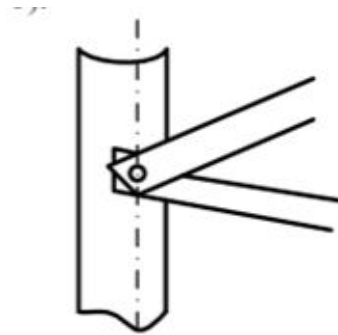


Рис. 36. Узел крепления раскосов к поясам одним болтом

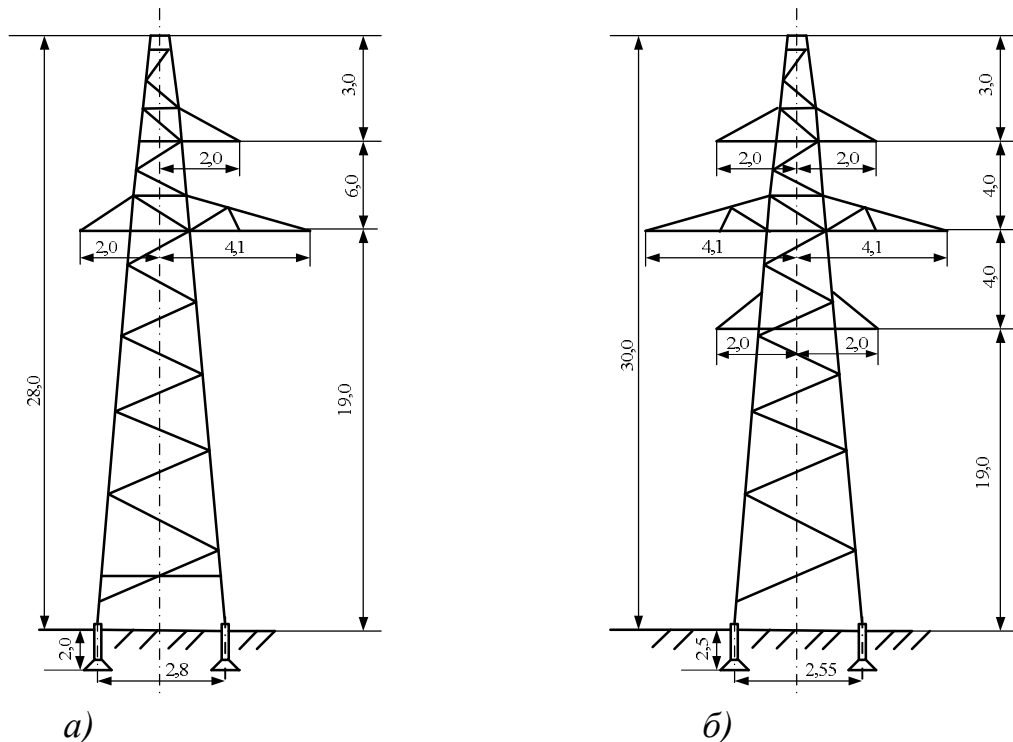


Рис. 37. Унифицированная промежуточная опора воздушной линии напряжением 110 кВ: а) одноцепная; б) двухцепная

Верхняя часть опор выполнена сварной с параллельными поясами, в нижних секциях предусмотрены болтовые соединения раскосов с поясами. База опор – прямоугольная.

Для воздушных линий напряжением 110 кВ, проходящих в лесных районах и по заболоченным труднодоступным трассам, применяется одностоечная опора на оттяжках (рис.38).

Особенностями этой опоры являются система двойных оттяжек и способ крепления их к стволу. Две оттяжки – расщепленные, нижними концами закреплены к общему анкеру, а верхними – к противоположным концам траверсы. Такая система обеспечивает передачу на оттяжки усилий от крутящего момента, возникающего при обрыве провода. Третья оттяжка нерасщеплена и предназначена для надежного поддержания опоры.

Промежуточная угловая опора для воздушной линии напряжением 110 кВ, рассчитанная на углы поворота до 10° представлена на рис. 39.

Опоры этого типа отличаются от промежуточных опор вылетами траверс, увеличенными с учетом отклонения гирлянды изоляторов в поперечном направлении, и усиленной конструкцией ствола, на который действуют нагрузки от тяжений проводов и тросов.

Анкерные угловые опоры (рис. 40) выполняются с увеличенными размерами ствола вследствие значительных усилий, возникающих в раскосах в аварийном режиме. Стволы таких опор – болтовые.

На рис. 41 представлены промежуточные одноцепная и двухцепная опоры линии напряжением 220 кВ. Все секции таких опор болтовые и собираются в условиях прокладки трассы для облегчения транспортировки.

На воздушных линиях 220 кВ применяются анкерные угловые опоры (рис.42).

Переходы воздушных линий напряжением 110–220 кВ выполняются двухцепными опорами с расположением проводов по типу «бочка» или по типу «обратная елка».

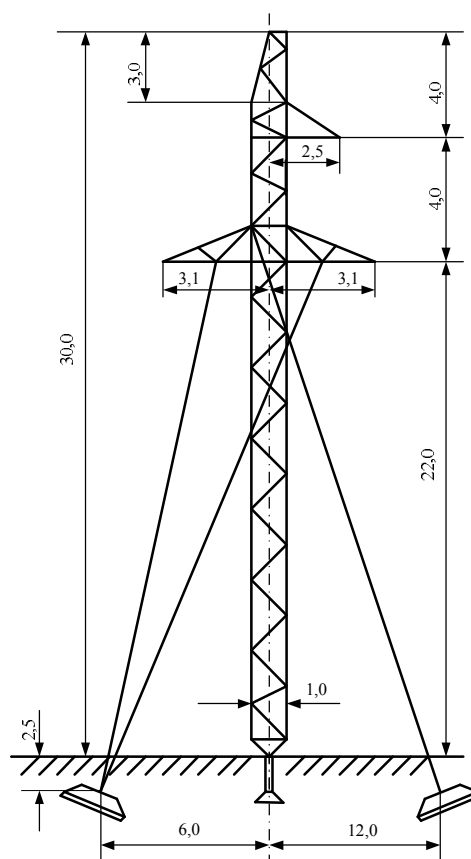


Рис. 38. Одностоечная одноцепная опора на оттяжках воздушной линии 110 кВ

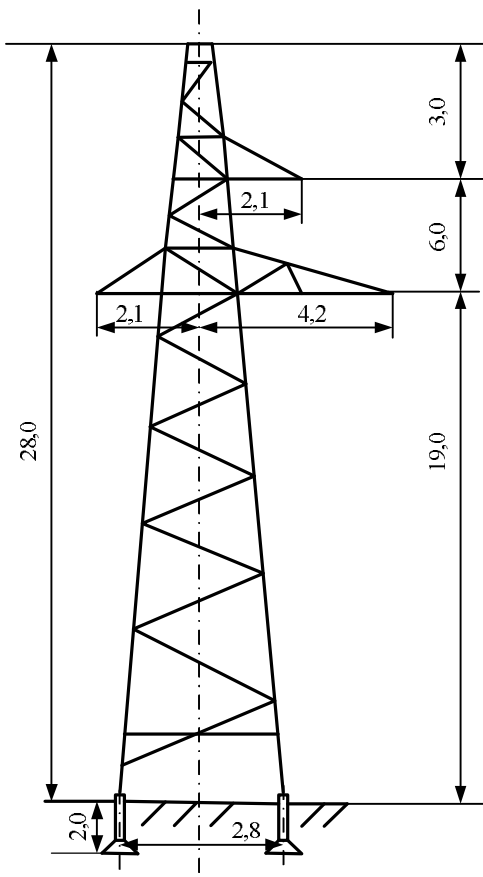


Рис. 39. Промежуточная угловая опора воздушной линии 110 кВ

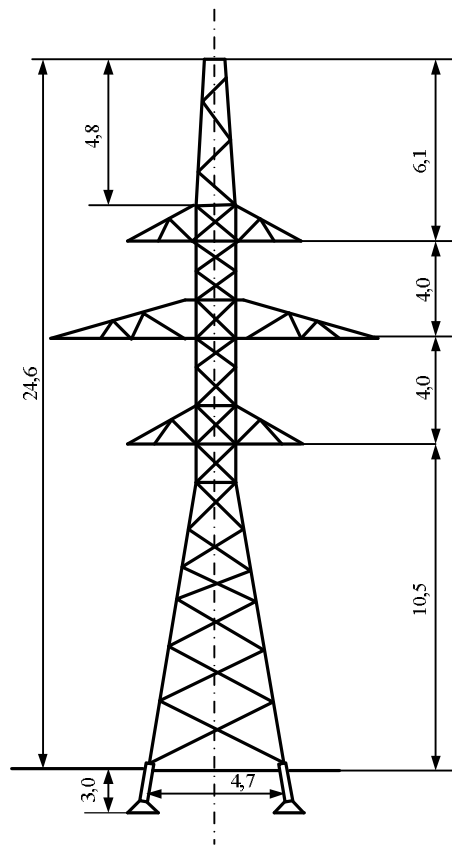
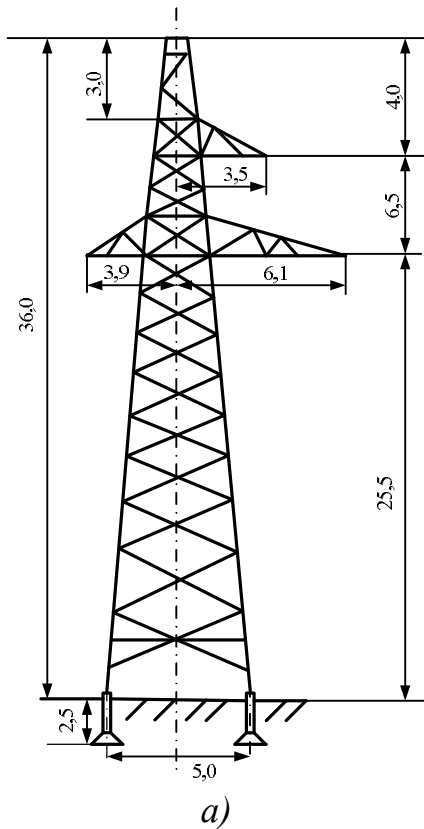
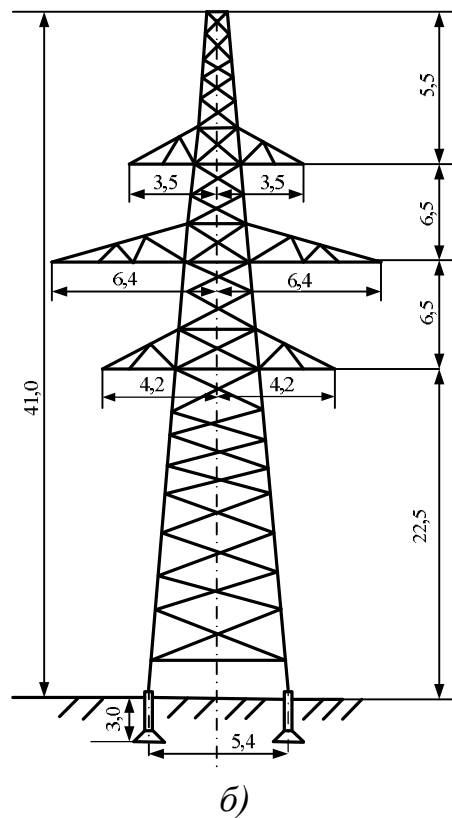


Рис.40. Унифицированная анкерная угловая опора воздушной линии 110 кВ



а)



б)

Рис. 41. Унифицированные промежуточные опоры воздушной линии 220 кВ: а) одноцепная; б) двухцепная

Промежуточные опоры воздушных линий напряжением 330 кВ отличаются от опор 220 кВ только расстоянием между проводами и длиной траверс.

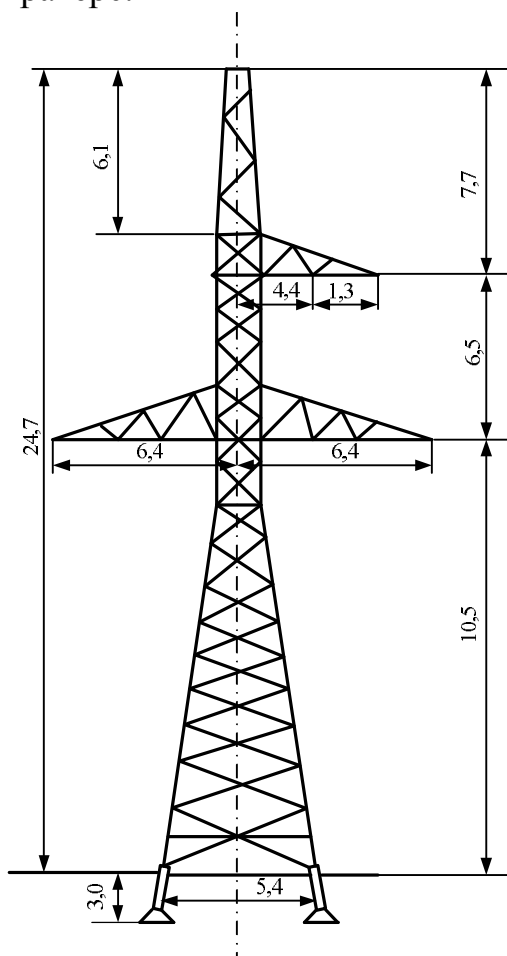


Рис. 42. Унифицированная анкерная угловая опора воздушной линии 220 – 330 кВ

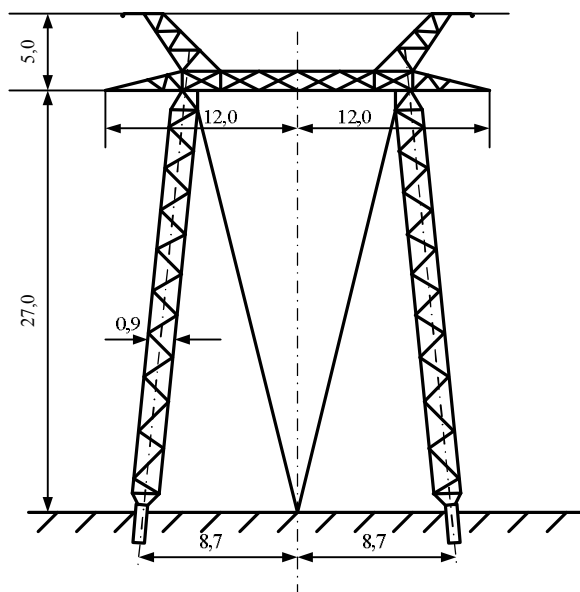


Рис. 43. Унифицированная промежуточная опора воздушной линии 500 кВ

На воздушных линиях электропередачи 500 кВ применяют только одноцепные опоры с горизонтальным расположением проводов (рис. 43).

Промежуточные угловые опоры 500 кВ выполняются двух типов: порталные на оттяжках для углов поворота до 5° и трехстоечные – для углов поворота $5^\circ - 20^\circ$.

В качестве анкерных угловых опор применяется система, состоящая из трех отдельных стоек, каждая из которых представляет собой пространственную башенную конструкцию (рис. 44).

Переходы воздушных линий 500 кВ сооружаются одноцепными с горизонтальным расположением проводов (рис. 45).

Для линий 750 кВ разработаны конструкции порталных опор на оттяжках, подобные опорам 500 кВ, а также V-образные опоры с расщепленными оттяжками.

Система анкерных угловых опор 750 кВ повторяет вид системы для воздушной линии напряжением 500 кВ.

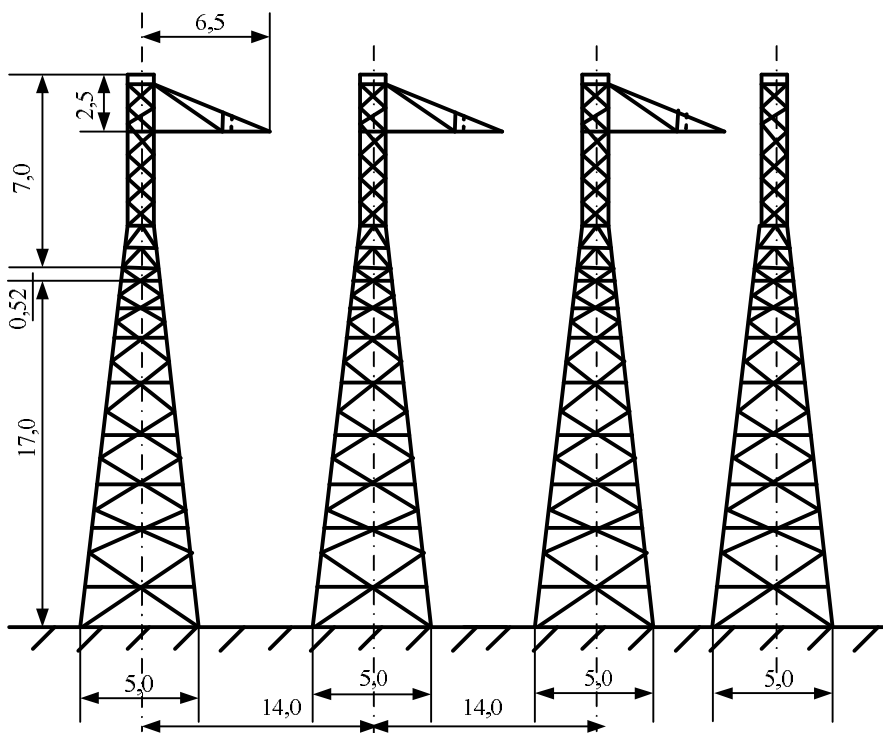


Рис. 44.
Унифицированная
анкерная угловая
трехстоечная
опора воздушной
линии 500 кВ

Для воздушных линий электропередачи напряжением 35 и 110 кВ используются промежуточные узкобазовые опоры ПС35П и ПС110П (рис. 46), изготовленные из гнутого стального профиля.

Основными преимуществами узкобазовых конструкций являются:

- 1) сниженный вес;
- 2) повышенная гибкость, которая делает их более устойчивыми к динамическим воздействиям при пляске и обрыве проводов, сбросе гололеда, землетрясениях;
- 3) удобство транспортировки – загрузка составляет 4 опоры в полуприцеп;
- 4) малый объем земляных работ;
- 5) высокая механическая стойкость опор при пучениях за счет применения одного свайного фундамента;
- 6) минимальное воздействие на окружающую среду при строительстве.

Для проектирования линий напряжением 110 кВ предлагается стальная опора на оттяжках с полимерной траверсой (рис. 47).

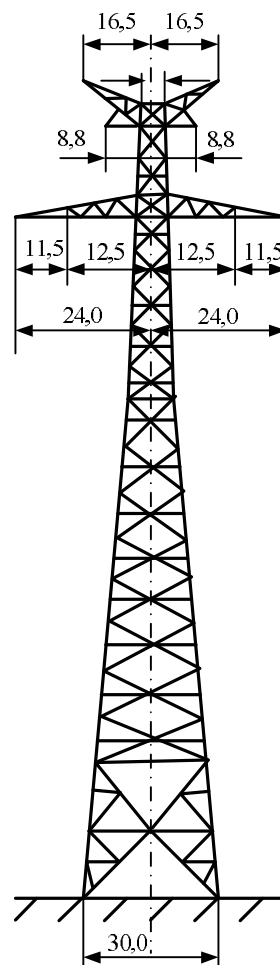


Рис. 45. Переходная опора
воздушной линии 500 кВ



Рис. 46. Промежуточные узкобазовые опоры для воздушных линий напряжением 35 и 110 кВ

Конструктивно опора состоит из двух стоек, закрепленных на одном основании, вершины стоек соединены полимерной траверсой. Каждая стойка представляет собой трубу квадратного сечения из четырехстальных уголков, соединенных через определенное расстояние планками. Полимерная траверса состоит из четырех изоляторов, при этом крайние изоляторы изготавливаются на фазное напряжение воздушной линии, а средние – на линейное напряжение. Поперечные и продольные оттяжки обеспечивают необходимую механическую прочность опоры при воздействии ветровых и весовых нагрузок, а также в аварийных режимах работы воздушной линии.

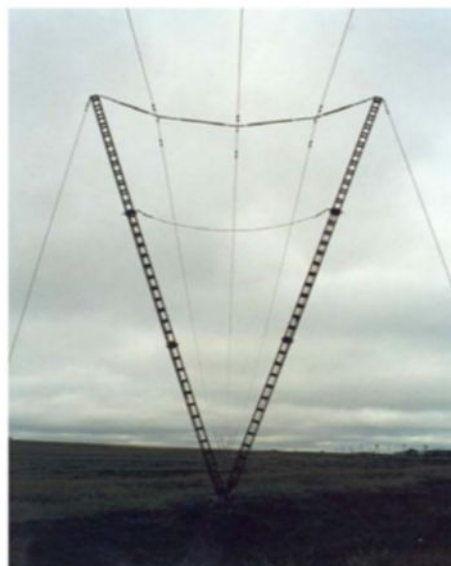


Рис. 47. Опора с полимерной траверсой для воздушных линий напряжением 110 кВ

Опора устанавливается на фундамент, выполненный из свай. Оттяжки закрепляются в грунте заглубленными железобетонными или винтовыми сваями, либо цилиндрическими анкерами. Конструкция опоры отличается повышенной устойчивостью к восприятию динамических нагрузок за счет горизонтального расположения трех проводов в одном ярусе. Даже при отсутствии грозозащитного троса воздушная линия, построенная на таких опорах, обладает повышенной грозоупорностью за счет горизонтального расположения проводов в одном ярусе и естественного эффекта экранирования воздушной линии поверхностью земли.

Задания

1. Ознакомиться с линейной арматурой ВЛ
2. Определить каким видам относятся представленные на стенде линейные арматуры и изоляторы.
3. Ознакомиться с конструкциями опор, проводов и изоляторов.

Содержание работы

1. Изучаются описание линейной арматуры.
2. Изучаются конструкция опор и принципы построения воздушных линий.
3. Описываются преимущества той или иной конструкции опор и разновидности арматуры.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные типы проводов ВЛ и конструктивные особенности проводов АС.
2. Марки и строение проводов.
3. Назначение и конструкции транспозиционных опор.
4. Назначение и конструкции промежуточных и анкерных опор.
5. Опоры специального типа.
6. Вид конечных опор.
7. Причины необходимости усиления натяжных гирлянд изоляторов.
8. Каковы основные типы изоляторов воздушных линий, их области применения?
9. Линейная арматура линий: зажимы, виброгасители, соединительные зажимы и т.д.
10. Крепления проводов ВЛ 6-10 кВ в сельской местности.
11. Борьба с вибрацией проводов.

Литература

1. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
2. Электрические системы и сети / Н.В. Буслова, В.Н. Винославский и др.; Под ред. Г.И. Денисенко. – Киев: Вища школа, 1986. – 584 с.
3. Электрические системы. Электрические сети. / Под ред. В.А.Веникова, В.А.Строева – М.: Высш шк., 1998.
4. Герасименко А.А., Фелин В.Т. Передача и распределение электрической энергии – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 715 с.
5. Петренко Л.И. Электрические сети и системы. – Киев: Вища школа, 1981. – 60 с.
6. Правила устройства электроустановок. – М.: Служба передового опыта, 1996. – 160 с.

