

Воздушные и кабельные линии электропередач

Шалухо Андрей Владимирович

432-91-85 Shaluho.Andrey@mail.ru

Рекомендуемая литература

1. Лаврентьев В.М. Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт ВЛ 110-1150 кВ: учебно-практическое пособие / В.М. Лаврентьев, Н.Г. Царанов; под общей ред. А.Н. Васильева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014. – 572 с.
2. Основы современной энергетики: учеб. в 2 т. / ред. Е.В. Аметистов. – 5-е изд., стер. – М.: Изд-во Москю энергет. ин-та, 2010. Т. 2: Современная электроэнергетика / ред. А.П. Бурман, В.А. Строев. – 2010. – 632 с.
3. ПУЭ. – 70е изд. – М.: ЭНАС, 2010.
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. – М.: ЭНАС, 2010.
5. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Высш. шк., 1989, 592 с.
6. Справочник по проектированию линий электропередачи / под ред. М.А. Реута и С.С. Рокотяна. – М.: Энергия, 1970.
7. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. – М.: Энергия, 1970.
8. Технология сооружения линий электропередачи / С.В. Крылов, И.А. Мерман, М.А. Реут и др. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
9. Ларина Э.Т. Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии: учебник // Э.Т. Ларина – 2-изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 464 с.:ил.
10. Попов Е.Н. Механическая часть воздушных линий электропередачи: учеб.-метод. пособие / Е.Н. Попов; АмГУ, Энф. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 1999. – 28 с.
11. Костин В.Н. Системы электроснабжения. Конструкции и механический расчет: Учебное пособие. – СПб.: СЗТУ, 2002 - 93 с.

Линия электропередач (ЛЭП)

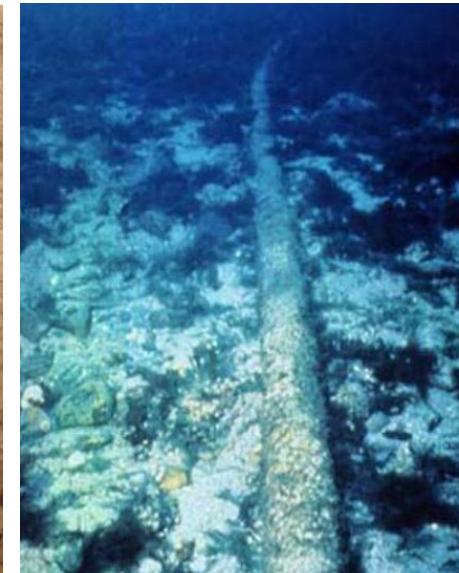
ЛЭП – является компонентом электрической сети и представляет собой систему проводов (или кабелей), предназначенных для передачи электрической энергии от источников к потребителям посредством электрического тока.

ЛЭП

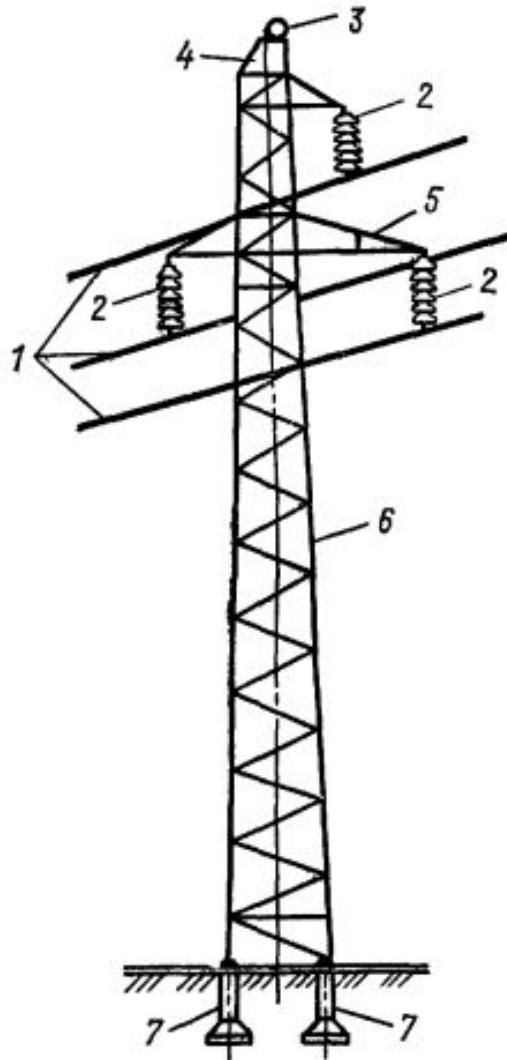
Воздушные



Кабельные



Основные элементы воздушной ЛЭП



Основными элементами воздушной ЛЭП являются:

проводы (1) – для передачи электроэнергии;

изоляторы (2) – изолируют провода от опоры;

линейная арматура – для закрепления проводов на изоляторах;

опоры (6) – поддерживают провода на определенной высоте над уровнем земли или воды (4 – тросостойка, 5 – траверсы опоры);

фундаменты (7) – для установки опор.

Дополнительными элементами могут быть: грозозащитные тросы (3), заземления, разрядники и др. (виброгасители).

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.1 МАТЕРИАЛЫ ПРОВОДОВ

Свойства материалов проводов

→ Электрическая проводимость

медь, бронза, алюминий, сталь

→ Механическая прочность

сталь

→ Стойкость к атмосферным
воздействиям (коррозионная стойкость)

медь, бронза

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

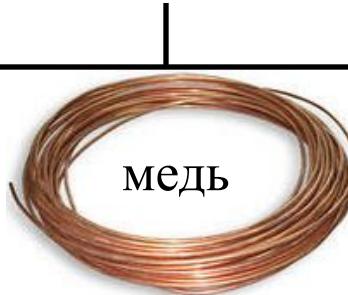
1.1 МАТЕРИАЛЫ ПРОВОДОВ

Сравнение материалов проводов

«+»

«-»

хорошая проводимость, большая
механическая прочность и
коррозионная стойкость



медь

дорога и дефицитна

высокая механическая прочность



сталь

ниже по проводимости, особенно
вследствие влияния
поверхностного эффекта

большая проводимость, легкость
и распространенность в природе



алюминий

относительно малая
механическая прочность

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

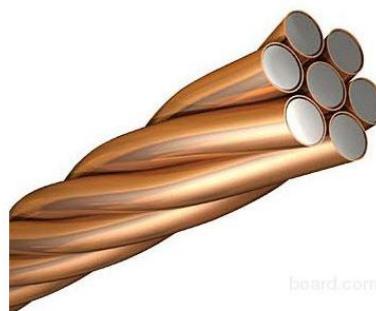
1.1 МАТЕРИАЛЫ ПРОВОДОВ

Конструкции проводов в зависимости от применяемых металлов

монометаллические



биметаллические



комбинированные



изготавливаются из
однородных металлов и
сплавов

изготавливаются из
проводок, состоящих из
двух слоев металла

изготавливаются из
проводок двух
разных металлов

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.2 КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

Классификация проводов и тросов по конструкции

однопроволочные



многопроволочные

полые



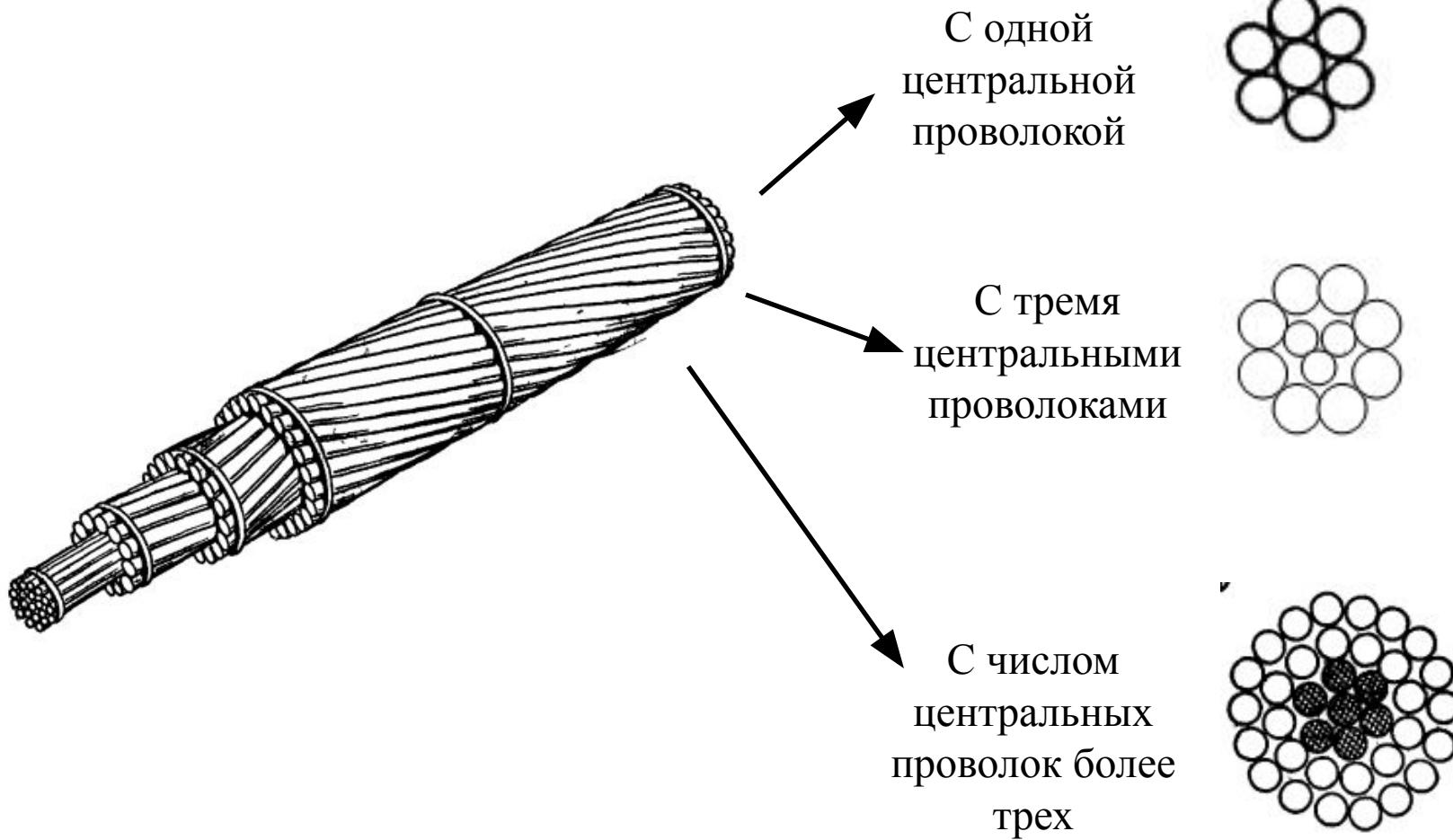
нормальные



1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.2 КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

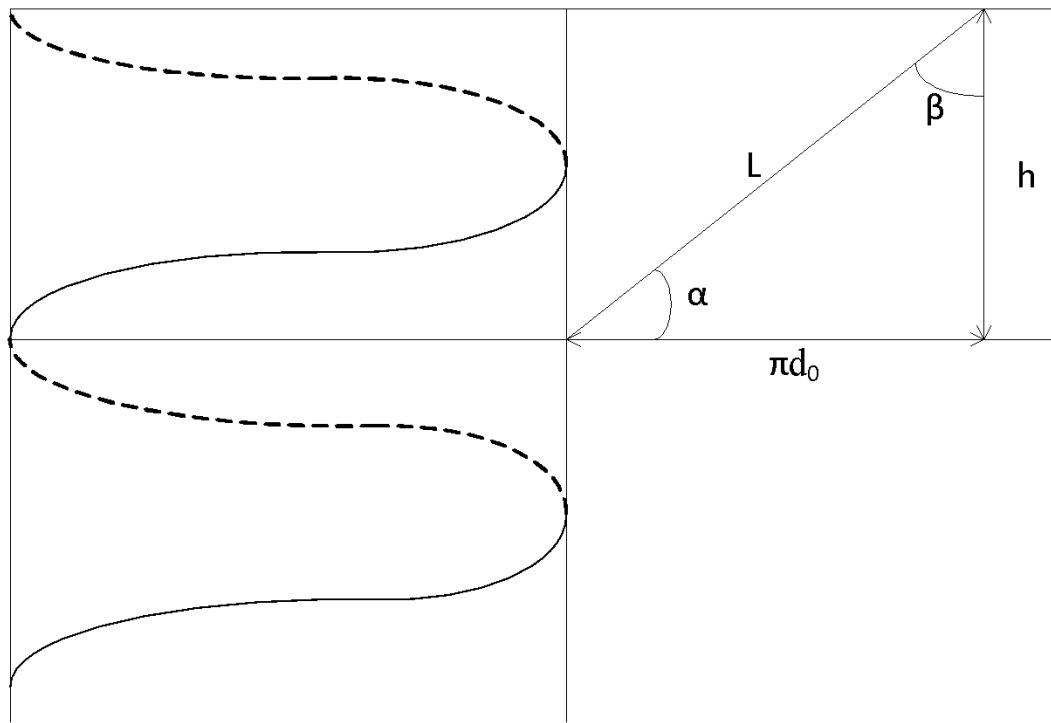
Нормальные многопроволочные провода



1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.2 КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

Особенности скрутки нормальных многопроволочных проводов



h – высота подъема винтовой линии (шаг скрутки);

α – угол подъема винтовой линии;

β – угол скрутки;

d_0 – диаметр окружности, проведенной через центр проволок данного повива.

Разрывное усилие многопроволочного монометаллического провода:

$$P = \alpha \cdot p_i,$$

где: p_i – разрывное усилие одной проволоки;

α – понижающий коэффициент, равный 0,95 при числе проволок не более 37, и равный 0,9 при большем числе проволок.

Для стааллюминиевого многопроволочного провода формула расчета разрывного усилия:

$$P = b \cdot \sum p_{\text{АЛ}} + c \cdot \sum p_{\text{СТ}}^{1\%}$$

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.1 ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Изоляционные материалы



фарфор



стекло



Полимерные
материалы

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.1 ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Штыревые изоляторы

На напряжение до 10 кВ штыревые изоляторы изготавливают одноэлементными (наиболее простая конструкция и форма).



На напряжение 20 и 35 кВ штыревые изоляторы состоят из нескольких склеенных элементов.



2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.1 ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Подвесные изоляторы

Фарфоровый изолятор нормального исполнения



Подвесные изоляторы состоят из фарфоровой или стеклянной изолирующей части (1) и металлических деталей – шапок (2) и стержней (3), соединяемых с изолирующими элементами посредством цементной связки (4)

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.1 ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Полимерные изоляторы

1-ое поколение



Клееной
(шашлычной)
конструкции с
кремнийорганической
защитной оболочкой

2-ое поколение



Цельнолитой
с кремнийорганической
оболочкой
и kleевой герметизацией
узла сопряжения
оконцевателя
с защитной оболочкой

3-ое поколение



Цельнолитой
с кремнийорганической
оболочкой и
дополнительной защитой от
проникновения влаги узла
сопряжения оконцевателя с
защитной оболочкой

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.1 ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Сравнение свойств изоляторов

Фарфор	Полимеры
Характеристика материала	
Механическая прочность остаётся неизменной весь срок эксплуатации	Механическая прочность уменьшается при повышенных температурах и из-за старения полимера
Полная устойчивость ко всем химически агрессивным выбросам промышленных предприятий	Неустойчив к выбросам практически всех металлургических и химических производств
Водопроницаемость нулевая	Материал водопроницаем при разгерметизации
Негорючий материал	Пожароопасный материал
Механические свойства	
Не имеет деформации в момент приложения изгибающего усилия	Величина прогиба в момент приложения изгибающего усилия нормируется ТУ . При появлении незначительных повреждений нарушаются электрические характеристики.
Механическая прочность практически не зависит от температуры эксплуатации изолятора	Механическая прочность уменьшается при повышенных температурах и из-за старения полимерных материалов
Электрические свойства	
Электрические свойства изолятора остаются неизменными	Электрическая прочность неизменно уменьшается из-за старения полимерных материалов
Пробой изолятора невозможен из-за высоких диэлектрических свойств фарфора	При разгерметизации изолятора возможен пробой, как по внутренней поверхности трубы изолятора, так и по воздушному промежутку полости трубы
Эксплуатационные свойства	
Большая масса	Низкий вес
Хрупкость, возможность боя изоляторов при транспортировке	Возможно повреждение защитной оболочки острыми предметами при эксплуатации, при упаковке и транспортировании
Применение технологии горячего оцинкования обеспечивает срок службы оконцевателей и арматуры в течение срока службы изоляторов	На оконцевателях некоторых изоляторов, несмотря на наличие цинкового покрытия, через 5-10 лет появляются следы ржавчины

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ

АРМАТУРА

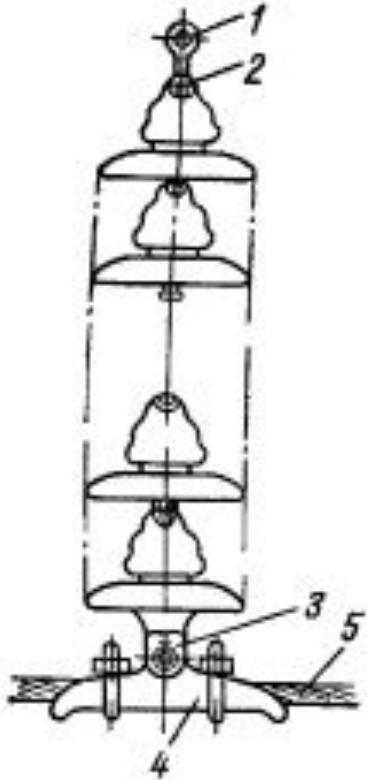
Виды арматуры

- Зажимы
- Сцепная арматура
- Защитная арматура
- Соединительная арматура
- Распорки

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Сцепная арматура



Поддерживающая гирлянда изоляторов закрепляется на траверсе промежуточной опоры при помощи серьги 1. Серьга 1 с одной стороны соединяется со скобой или с деталью на траверсе, а с другой стороны вставляется в шапку верхнего изолятора 2. К нижнему изолятору гирлянды за ушко 3 прикреплен поддерживающий зажим 4, в котором помещен провод 5.

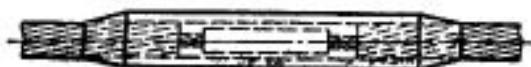
2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

обжатие соединителя

Овальные соединители

соединение методом скручивания

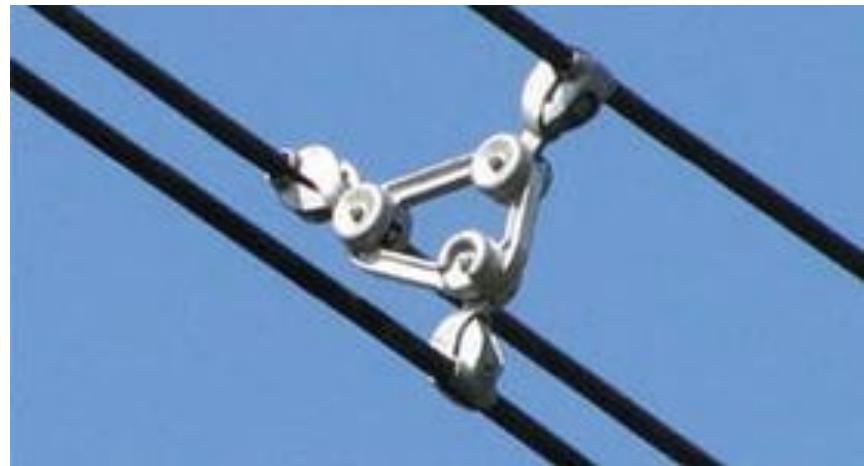


Прессуемые соединители

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Распорки



Распорка 1 фиксирует провода расщепленной фазы 2 относительно друг друга. Распорки обеспечивают требуемое расстояние между отдельными проводами фазы и предохраняют их от схлестывания, соударения и закручивания.

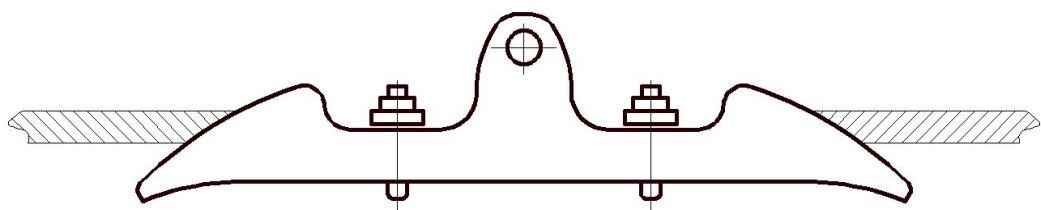
2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Зажимы

Поддерживающие

Натяжные



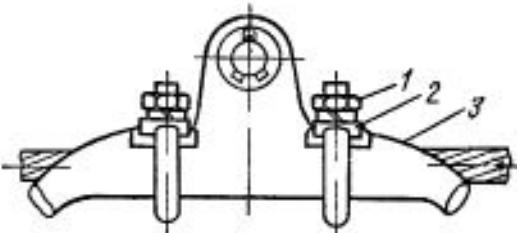
2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ

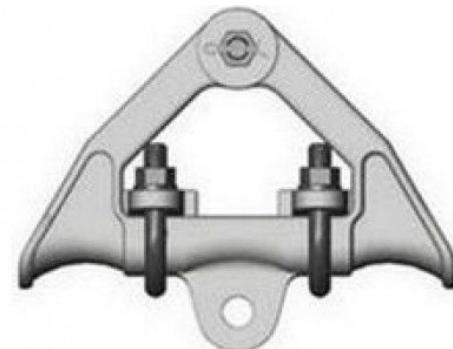
АРМАТУРА

Поддерживающие зажимы

→ Глухие зажимы



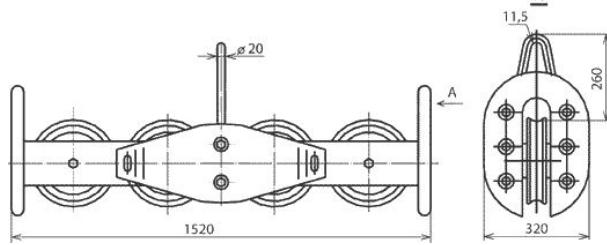
(нажимные болты 1 через плашку 2 прижимают провод к корпусу зажима 3 и удерживают его на месте при одностороннем тяжении)



→ Выпадающие (выпускающие зажимы)

→ Зажимы с ограниченной прочностью заделки

→ Многороликовые подвесы

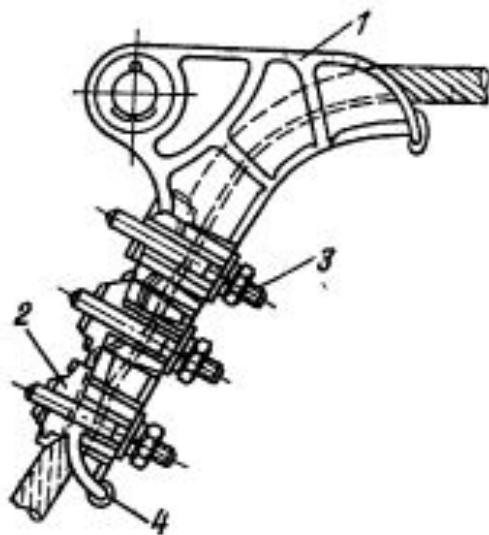


2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Натяжные зажимы

- ▶ Прессуемые натяжные зажимы
- ▶ Клиновые натяжные зажимы
- ▶ Болтовые натяжные зажимы



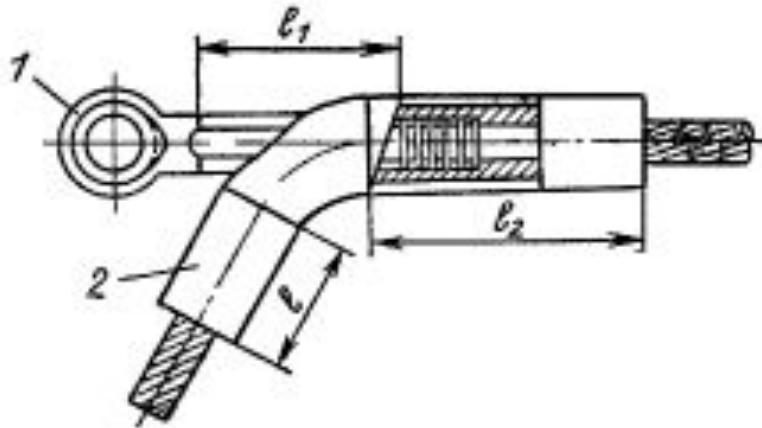
Болтовые зажимы состоят из корпуса 1, плашек 2, натяжных болтов с гайками 3 и прокладок 4 из алюминия

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Натяжные зажимы

Прессуемые натяжные зажимы



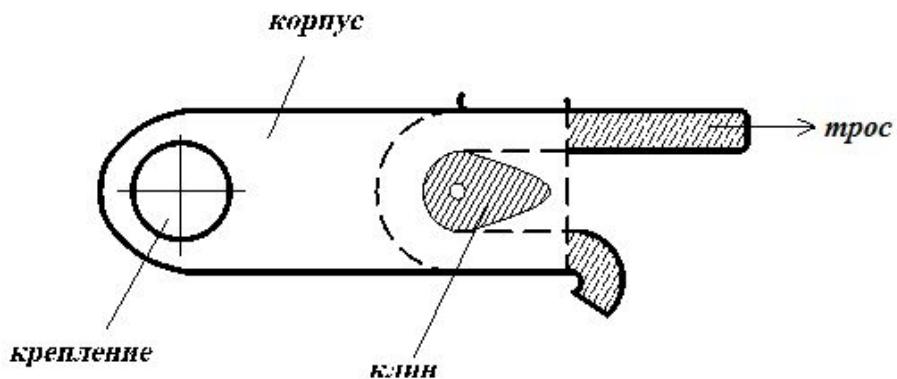
Прессуемые зажимы состоят из стального анкера 1, в котором на длине 11 опрессовывается стальной сердечник, и алюминиевого корпуса 2, в котором на длине 12 опрессовывается алюминиевая часть провода со стороны пролета, а на длине 1 – шлейф

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Натяжные зажимы

Клиновые натяжные зажимы



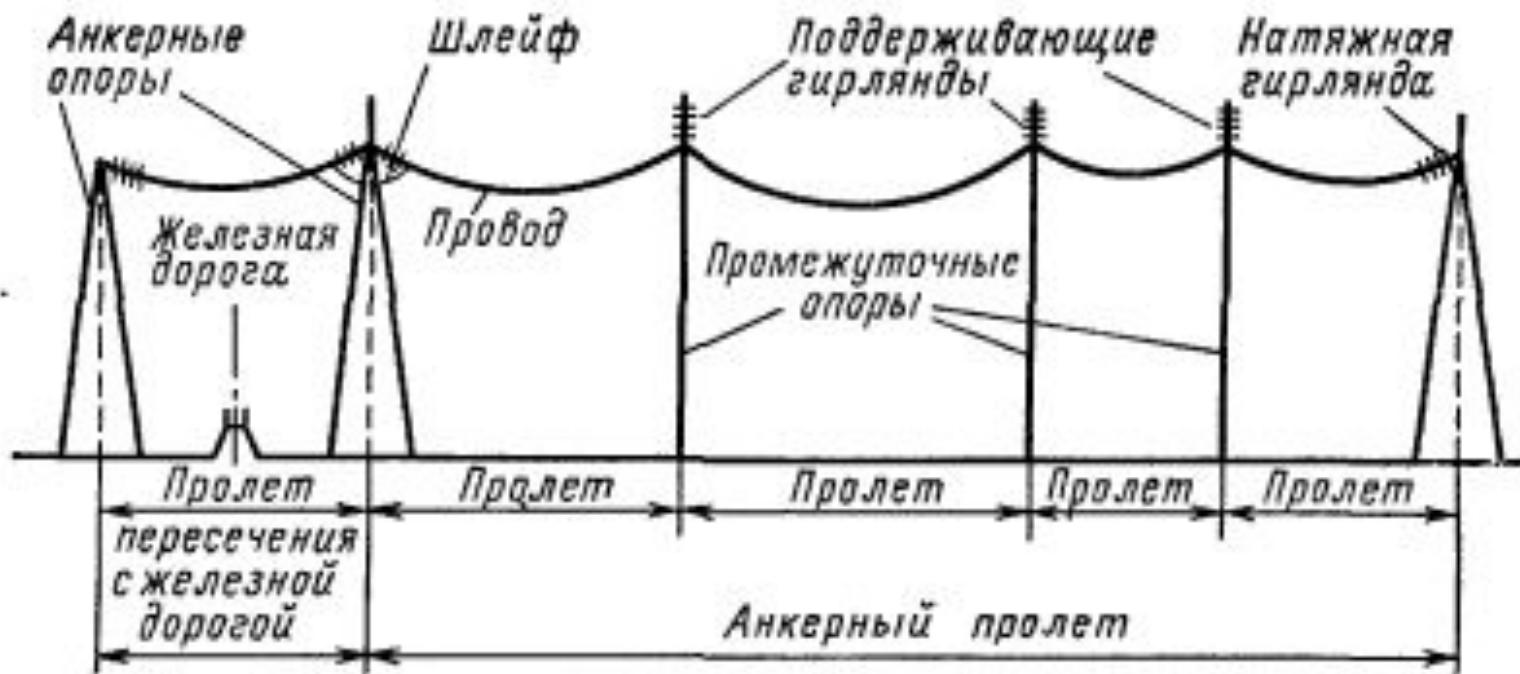
При натяжении троса клин прижимает трос к корпусу

3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по назначению

Промежуточные и анкерные опоры

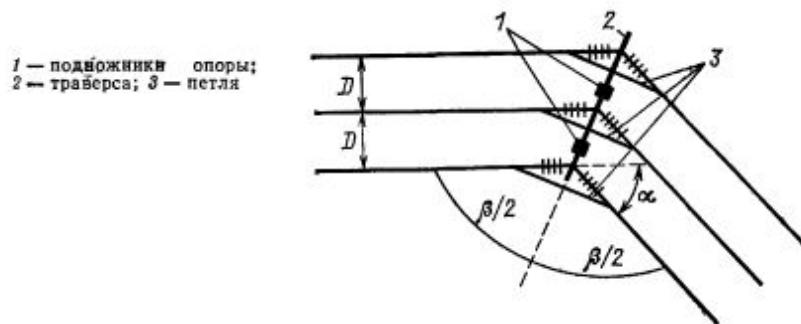


3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по назначению

Угловые опоры



Ответвительные опоры



Транспозиционные опоры



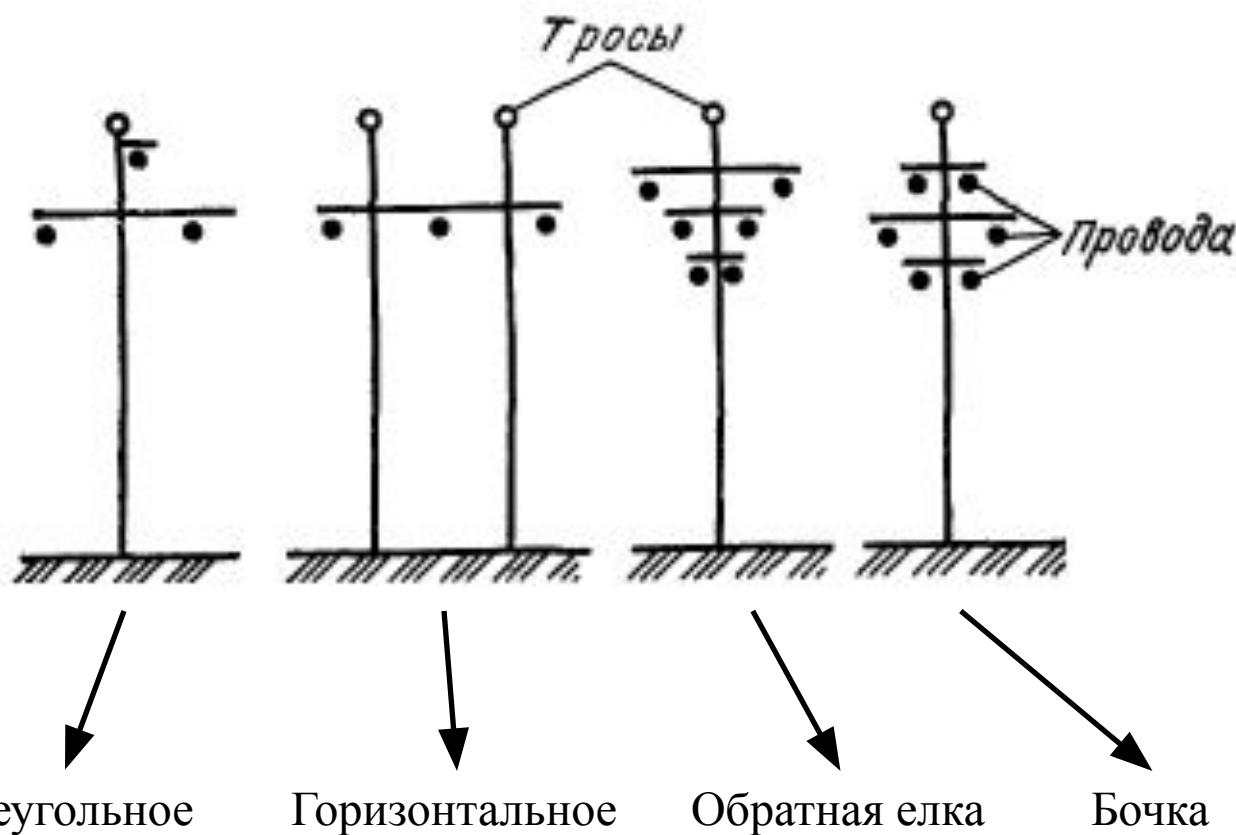
Переходные опоры



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по расположению проводов

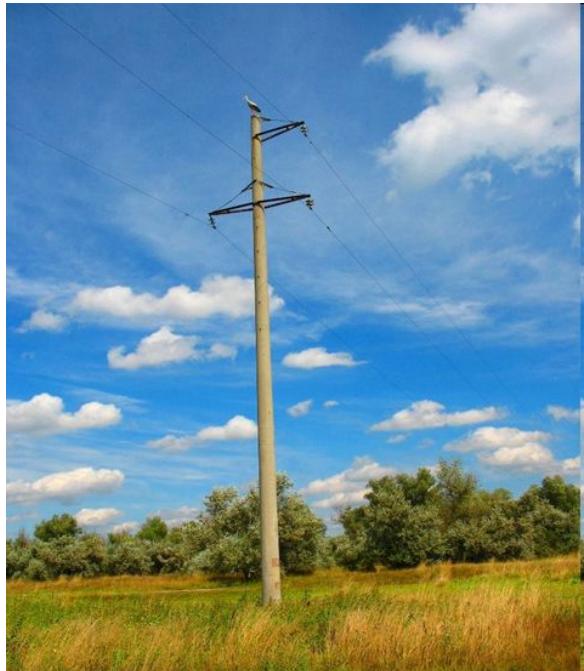


3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по количеству цепей на опоре

Одноцепные



Двухцепные



Многоцепные



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по конструкции

Одностоечные



Портальные



Опоры с оттяжками



Свободностоящие



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по характеру основания

Узкобазые



Широкобазые



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по материалу

Деревянные



Металлические



Железобетонные



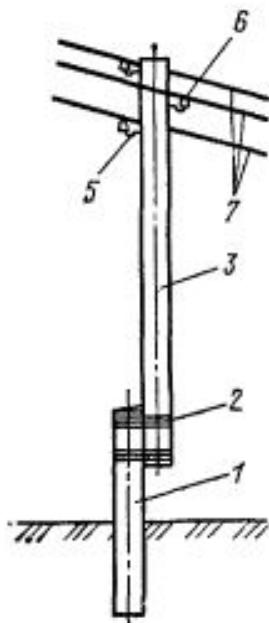
3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.2 ДЕРЕВЯННЫЕ ОПОРЫ

Основные типы опор

Одностоечная промежуточная опора с треугольным расположением проводов.

Нога опоры состоит из стойки 3 и пасынка 1. Пасынок соединяют со стойкой двумя бандажами 2 из стальной проволоки. Пасынки могут быть деревянными и железобетонными.

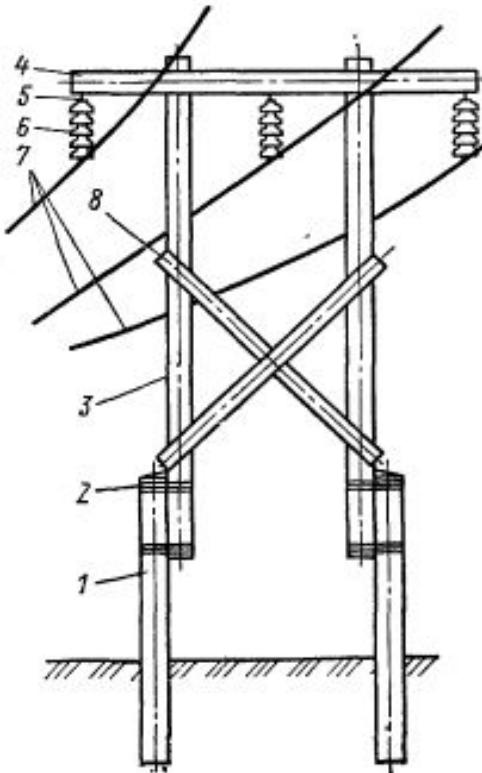


3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.2 ДЕРЕВЯННЫЕ ОПОРЫ

Основные типы опор

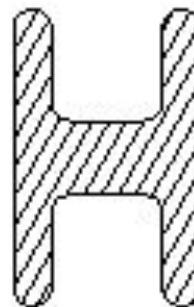
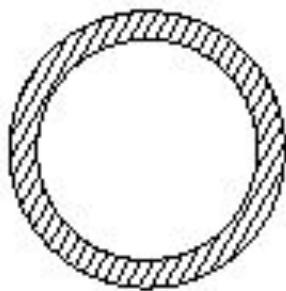
Промежуточная опора для ВЛ 35-110 кВ представляет собой портал, имеющий две стойки с ветровыми связями 8 (раскосы) и горизонтальную траверсу 4.



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.3 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОПОРЫ

Сечения опор



Наиболее экономичным является сечение опоры круглого профиля.

3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

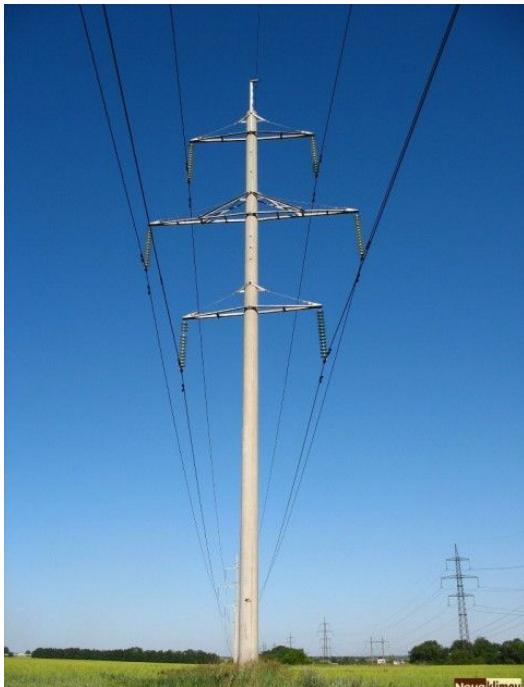
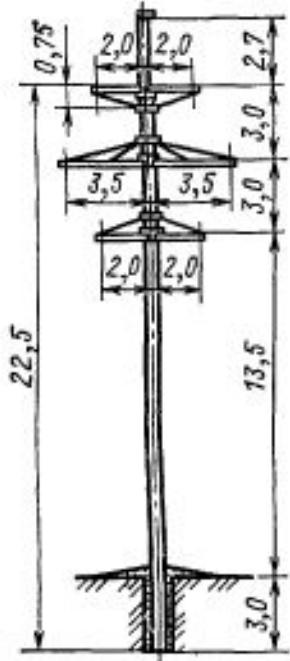
3.3 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОПОРЫ

Основные типы опор

Одностоечные

одностоечные свободностоящие

одностоечные на оттяжках

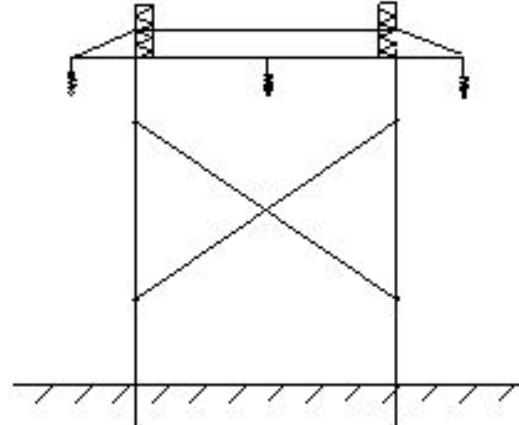


Портальные

портальные свободностоящие

портальные на оттяжках

портальные с внутренними
металлическими связями



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.4 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОПОРЫ

Основные типы опор

Одностоечные

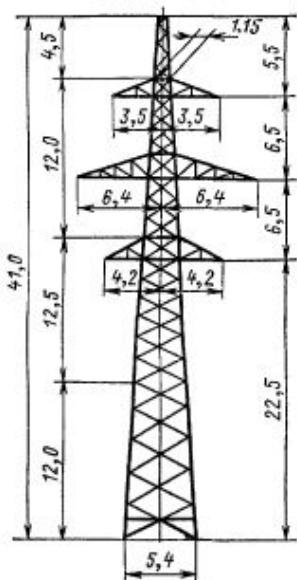
одностоечные свободностоящие

одностоечные на оттяжках

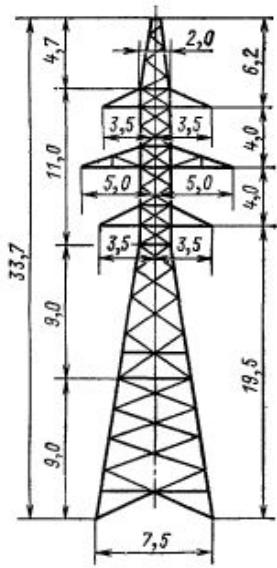
Портальные

портальные свободностоящие

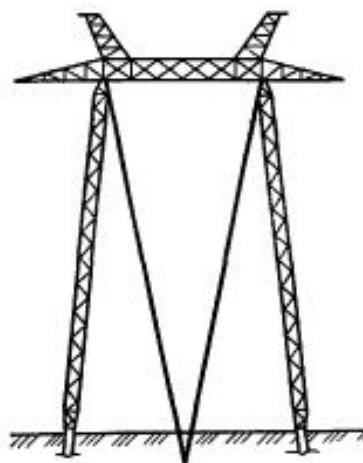
портальные на оттяжках



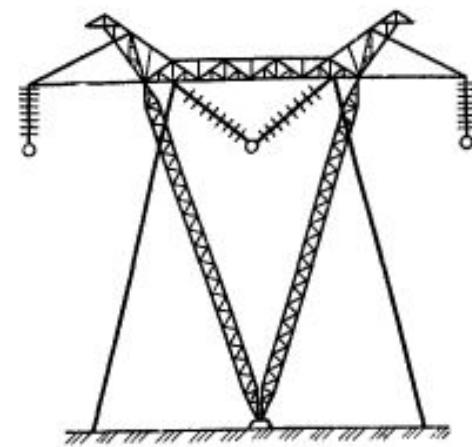
Промежуточная 220 кВ



Анкерная угловая 110 кВ



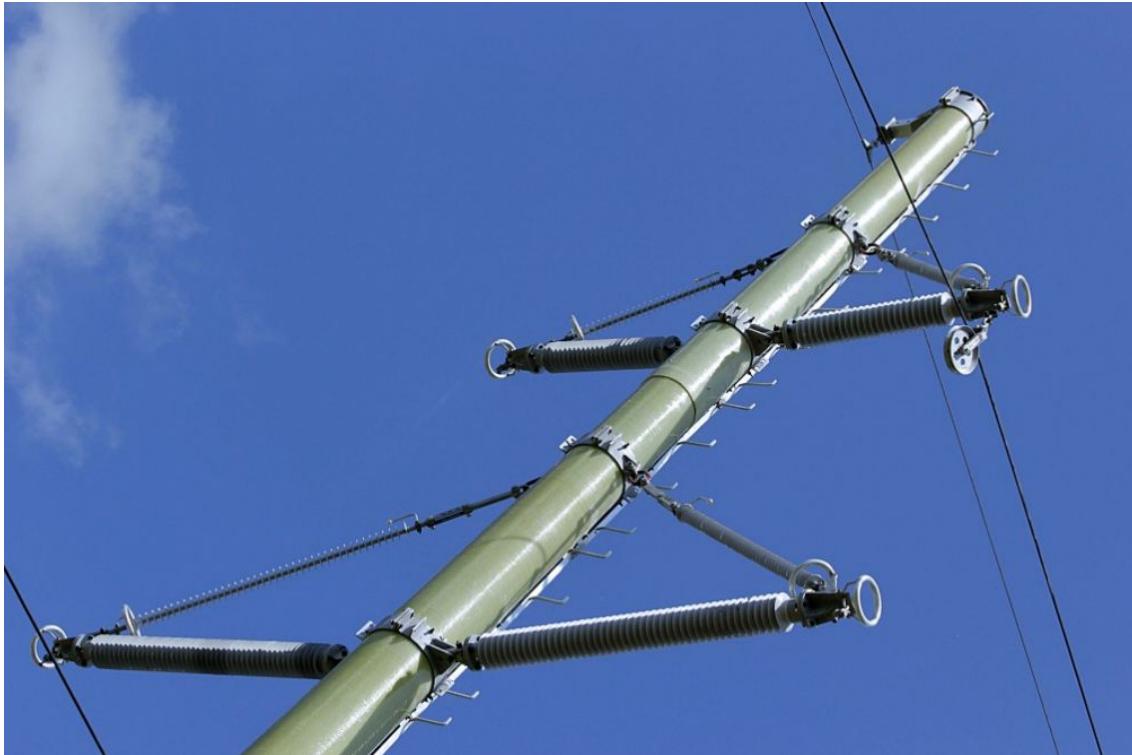
Одноцепная на
оттяжках 500 кВ



V-образная 1150 кВ

3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.5 ОПОРЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ



Общий вид композитной опоры



Хранение и перевозка
композитных опор

3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.5 ОПОРЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ



Проекты ЛЭП с опорами из
композитных материалов



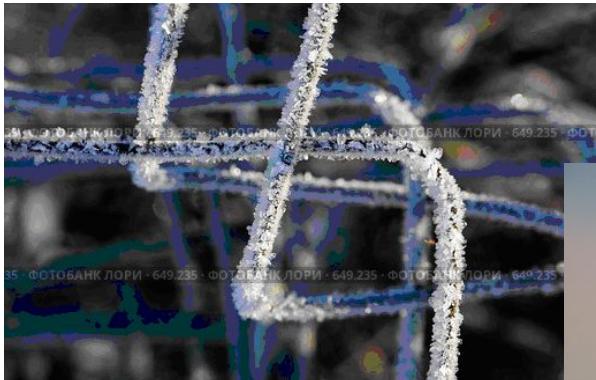
Установка опор из
композитных материалов

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

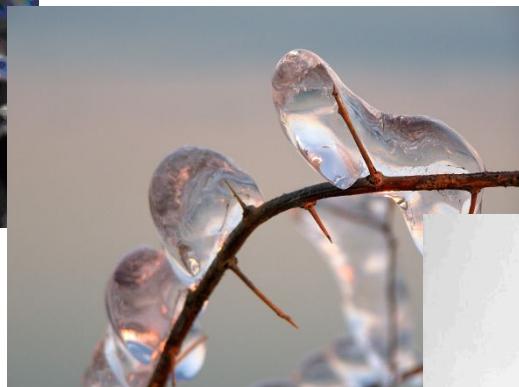
4.2 ГОЛОЛЕД

Виды гололедо-изморозевых образований

Иней и кристаллическая изморозь



Зернистая изморозь



Мокрый снег



Гололед



4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.2 ГОЛОЛЕД

Методы борьбы с гололедными образованиями

Пассивные методы

- Не применяются ВЛ с вертикальным расположением проводов
- Применение композитных проводов повышенной прочности
- Установка опор через небольшие интервалы

Активные методы

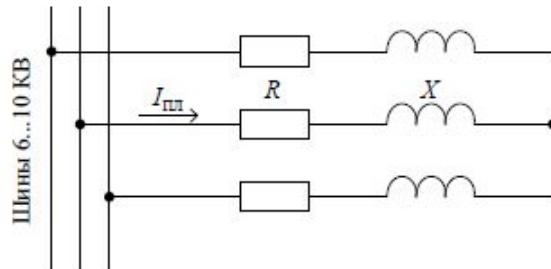
- Плавка электрическим током
- Механические способы
- Использование гидрофобных покрытий
- Скин-эффекты и бегущие волны

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.2 ГОЛОЛЕД

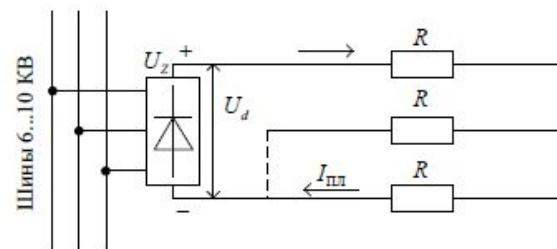
Плавка гололеда электрическим током

Схема плавки гололеда переменным током
искусственного короткого замыкания



$I_{пл}$ – ток плавки; R – активное сопротивление линии; X – реактивное сопротивление линии

Принципиальная схема плавки гололеда выпрямленным током



U_z – выпрямитель; U_d – выпрямленное напряжение; $I_{пл}$ – ток плавки; R – активное сопротивление линии

Ориентировочные величины токов плавки гололеда

Марка провода	Ток плавки, А, при продолжительности, мин			Ток предупреждения, А
	30	60	100	
AC 50	330	270	240	160
AC 70	410	330	290	205
AC 95	510	400	350	245
AC 120	565	450	400	275
AC 150	660	525	460	325
AC 185	750	600	520	375

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.2 ГОЛОЛЕД

Механические способы борьбы с гололедом

Робот LineScout



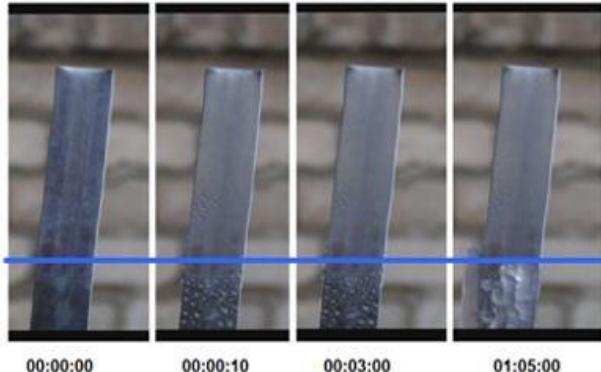
Робот Expliner



4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

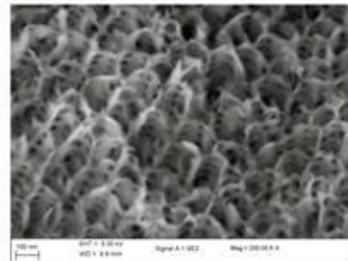
4.2 ГОЛОЛЕД

Использование гидрофобных покрытий



Поверхность с
супергидрофобным
покрытием

Поверхность
без покрытия



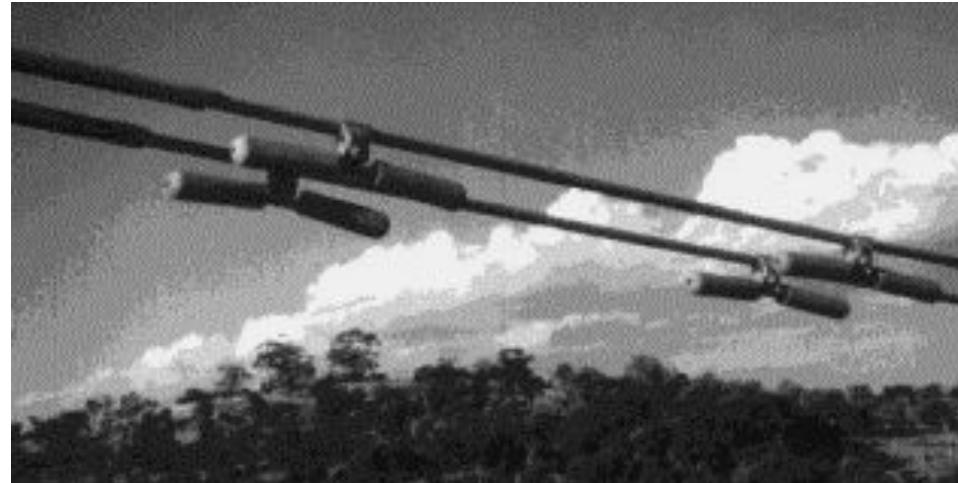
Особенности нанорельефа после
электрохимической обработки
поверхности алюминиевого провода.

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.3 ВИБРАЦИЯ ПРОВОДОВ



Установка виброгасителей



4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.4 ПЛЯСКА ПРОВОДОВ

Установка гасителей пляски

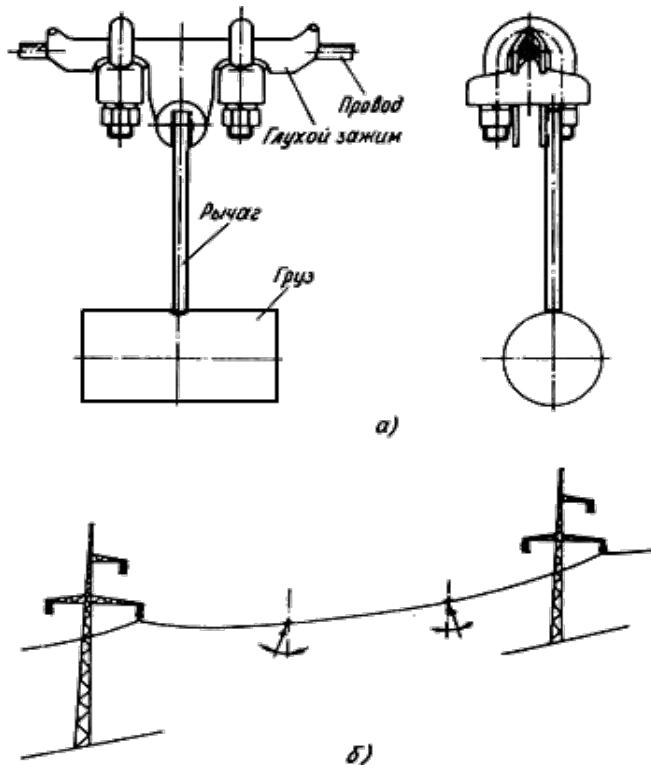
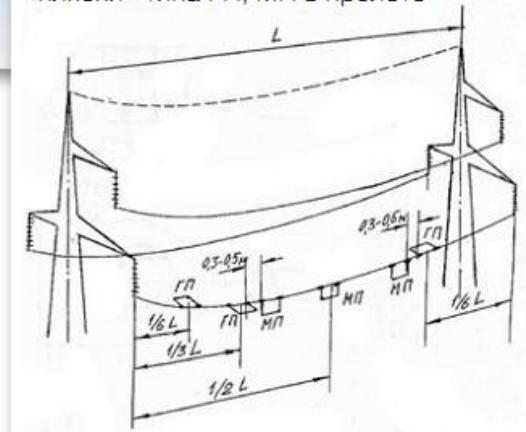


Схема установки гасителей и маятников «пляски» типа ГП, МП в пролете



5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Виды изоляции



Кабели с бумажно-пропитанной изоляцией



Кабели с поливинилхлоридной (ПВХ) изоляцией



Кабели с сшитой полиэтиленовой (СПЭ) изоляцией

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Кабели с СПЭ-изоляцией



Использование СПЭ-кабелей в мире:

- в США и Канаде - 85%,
- в Германии и Дании - 95%,
- в Японии, Франции, Финляндии и Швеции - 100%,
- в России - 5%.

Конструкция кабеля с изоляцией из спитого полиэтилена на 6–35 кВ

- 1- круглая алюминиевая или медная уплотненная жила;
- 2- экран по жиле полупроводящего материала;
- 3- изоляция из спитого полиэтилена;
- 4- экран по изоляции полупроводящего покрытия;
- 5- слой водоблокирующей ленты;
- 6- экран из медных проволок, со спиральным повивом медной ленты;
- 7- разделительная лента и оболочка из полиэтилена или ПВХ, нераспространяющего горение.
- 8- разделительный слой;
- 9- оболочка из полиэтилена или ПВХ пластика.

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Кабели высокого напряжения



Маслонаполненный кабель 110 кВ



Газонаполненный кабель

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Маркировка силовых кабелей

Материал токопроводящих жил	A - алюминий. Отсутствие в марке провода буквы - токопроводящая жила изготовлена из меди.
Материал оболочки	C - свинец. A - алюминий. Без буквы - бумажная пропитанная изоляция. Н и НР - негорючая резина. ВР - поливинилхлорид.
Защитное покрытие	A - асфальтированный. Б - бронированный лентами. Г - голый (т.е. без защитного покрова). К - бронированный круглыми проволоками. П - борнированный плоскими проволоками. Шв - наружный покров выполнен в виде шланга из поливинилхлорида. Шп - то же из полиэтилена.
А В Р Г	

Примеры маркировки силовых кабелей:

ААБ (3×95), ААГ, ААП, АВВГ (5×16), ААШв, АСБ, АСПГ, АСБГ, АСШв