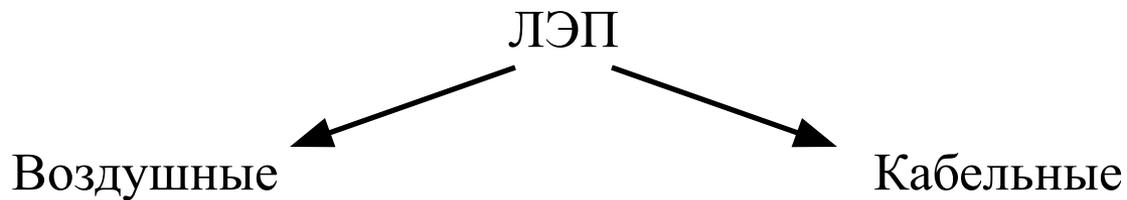


Воздушные и кабельные линии электропередач

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.

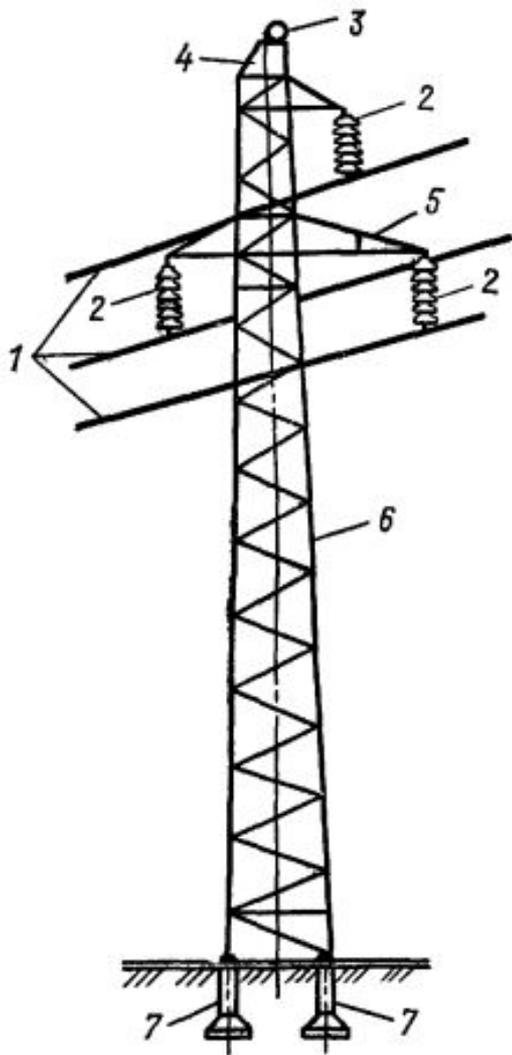


Классификация ЛЭП

Признак	Тип линии	Разновидности
Род тока	Постоянного тока	—
	Трёхфазного переменного тока	—
	Многофазного переменного тока	Шестифазная Двенадцатифазная
Номинальное напряжение	Низковольтная (до 1 кВ)	—
	Высоковольтная (свыше 1 кВ)	СН (3—35 кВ)
		ВН(110—220 кВ)
		СВН (330—750 кВ)
	УВН (свыше 1000 кВ)	
Конструктивное выполнение	Воздушная	—
	Кабельная	—
Число цепей	Одноцепная	—
	Двухцепная	—
	Многоцепная	—
Топологические характеристики	Радиальная	—
	Магистральная	—
	Ответвление	—
Функциональное назначение	Распределительная	—
	Питающая	—
	Межсистемная связь	—

Основные элементы воздушной ЛЭП

Воздушные линии это устройство для передачи электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам инженерных сооружений (ПУЭ)



Основными элементами воздушной ЛЭП являются:

провода (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.

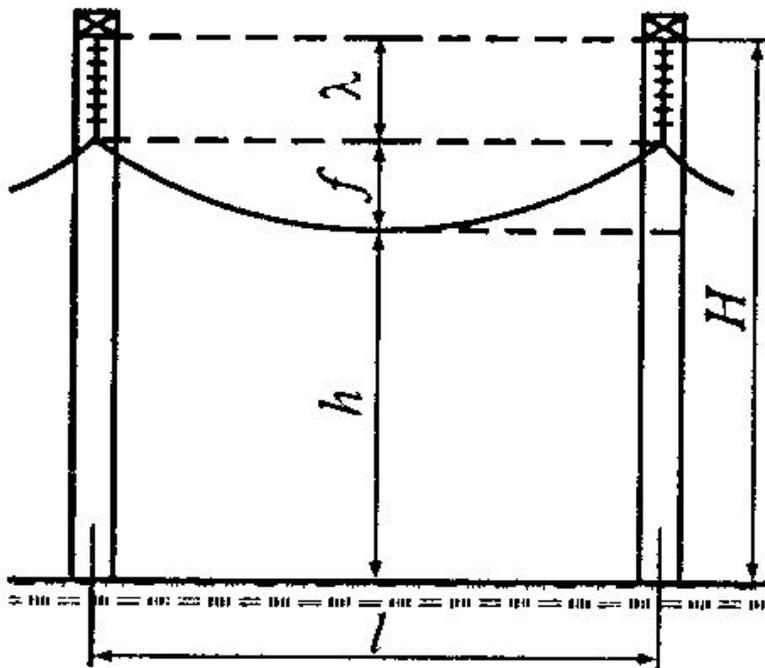
Дополнительными элементами могут быть: грозозащитные тросы (3), заземления, разрядники и др. (виброгасители).

Расстояние между двумя соседними опорами называют *длиной пролета, или пролетом линии l* .

Провода к опорам подвешиваются свободно, и под влиянием собственной массы провод в пролете провисает по цепной линии.

Расстояние от точки подвеса до низшей точки провода называют *стрелой провеса f* .

Наименьшее расстояние от низшей точки провода до земли называется *габаритом приближения провода к земле h* .



Габарит должен обеспечивать безопасность движения людей и транспорта, он зависит от

- условий местности,
- напряжения линии и т.п.

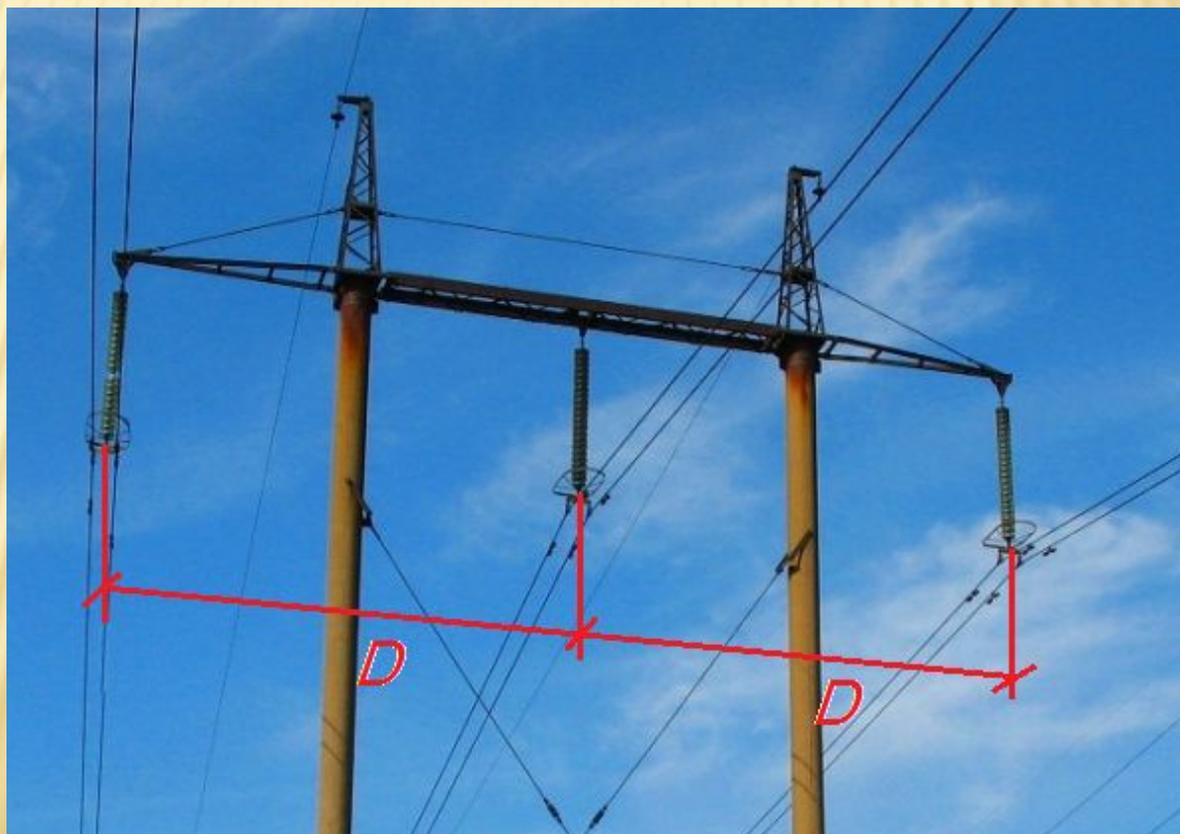
Для ненаселенной местности габарит $h = 5... 7$ м,

для населенной - $h = 6... 8$ м.

Расстояние D между соседними проводами фаз ВЛ обеспечивает требуемый изоляционный промежуток и зависит в основном от ее номинального напряжения.

Для линий напряжением 6... 10 кВ это расстояние в среднем составляет 1 м,

110 кВ - 4 м, 220 кВ - 7 м, 500 кВ - 12 м, 750 кВ - 15 м.



- Для линий напряжением **до 1 кВ** длина пролета обычно составляет **30... 75 м**,
- для линий напряжением **110 кВ - 150...200 м** при высоте опор с горизонтальным расположением проводов **13... 14 м**,
- для линий напряжением **220... 500 кВ** длина пролета составляет **400...450 м** при высоте опор **25...30 м**.

Над проводами воздушных линий для защиты их от атмосферных перенапряжений подвешиваются грозозащитные тросы.

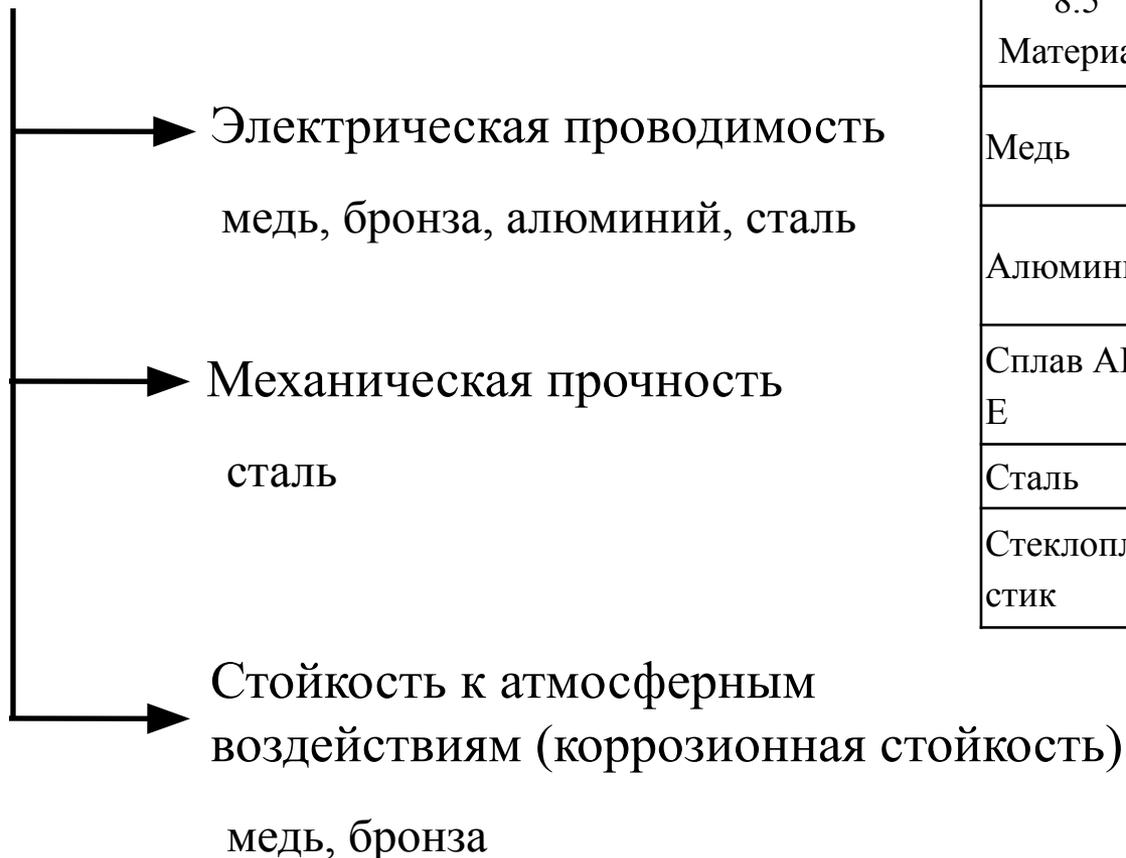


Монтаж грозозащитного троса

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.1 МАТЕРИАЛЫ ПРОВОДОВ

Свойства материалов проводов



Свойства материалов, используемых для изготовления проводов ВЛ			
Таблица 8.5 Материал		γ , кг/м ³	$\sigma_{\text{разр}}$, Н/мм ²
Медь	17,8—18,5	8700	390
Алюминий	30,0—32,5	2750	160
Сплав АВ-Е	Тоже	2790	300
Сталь	—	7850	1200
Стеклопластик	—	2000	1200

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

Сечения проводов соответствуют ГОСТ 839-74. Шкала номинальных сечений проводов ВЛ составляет следующий ряд, мм:

1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 1000.

По конструктивному выполнению провода ВЛ делятся:

- на однопроволочные;
- многопроволочные из одного металла (монометаллические);
- многопроволочные из двух металлов;
- самонесущие изолированные.

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.1 МАТЕРИАЛЫ ПРОВОДОВ

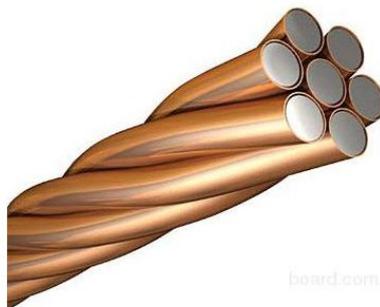
Конструкции проводов в зависимости от применяемых металлов

монометаллические



изготавливаются из
однородных металлов и
сплавов

биметаллические



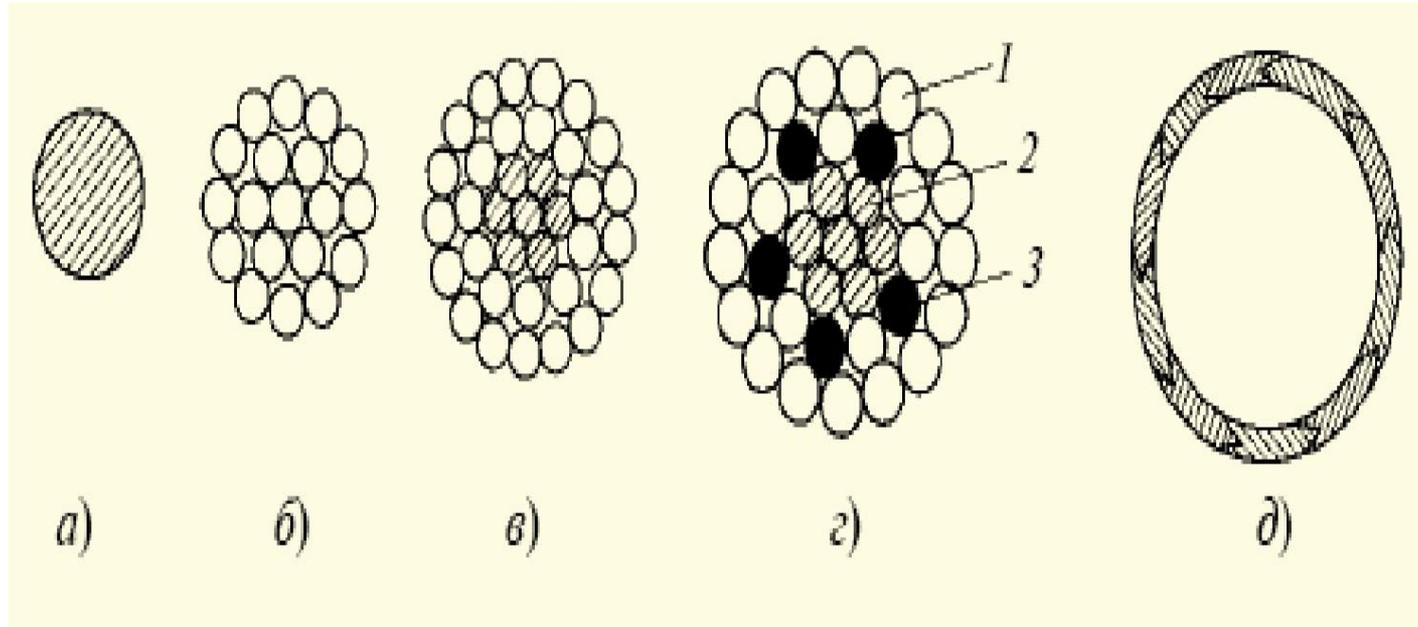
изготавливаются из
проволок, состоящих из
двух слоев металла

комбинированные



изготавливаются из
проволок двух
разных металлов

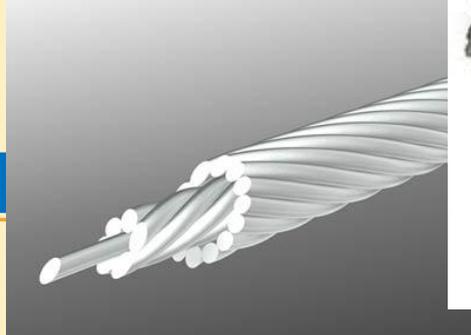
Конструкции не изолированных проводов



а – однопроволочный; б – многопроволочный из одного металла (сплава); в – многопроволочный из двух металлов (сталеалюминевый); г – расширенный; д – пустотелый;

1 – алюминиевый; 2 – сталь; 3 – наполнитель

1.1 ПРОВОДА ВЛ



- Однопроволочные из одного металла
 $S = 4, 6, 10 \text{ мм}^2$ **A-50**
- Многопроволочные из одного металла
от 7 до 37 проволок $S > 10 \text{ мм}^2$
- Многопроволочные из двух металлов:
 - сталеалюминиевые **АС-150, АСО, АСЧ**
 - сталебронзовые **БС-185**
 - сталеалдреевые **АлС**
- Пустотелые медные **М**
- Биметаллические

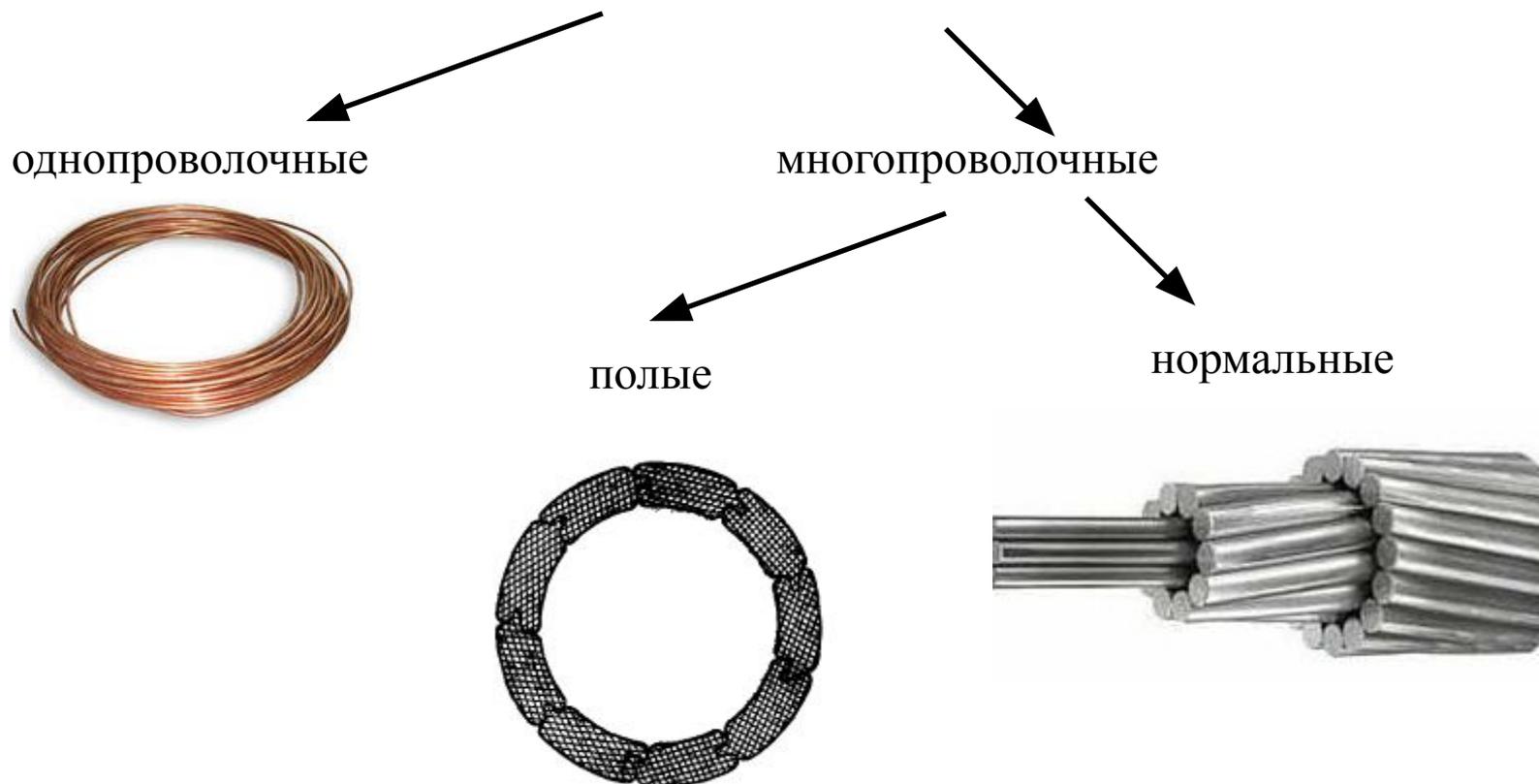


Наиболее целесообразно применение проводов АСО.

1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.2 КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

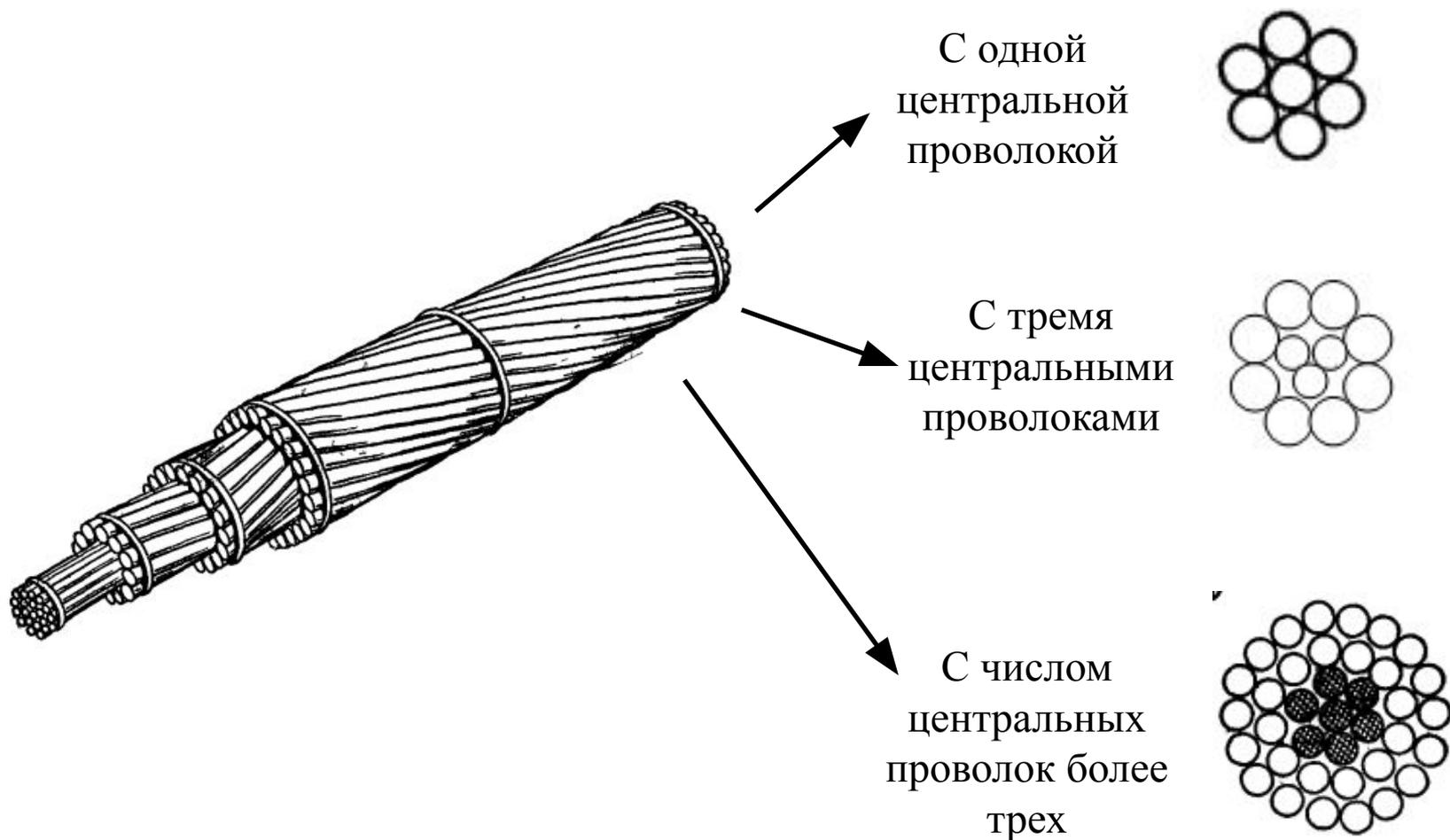
Классификация проводов и тросов по конструкции



1 ПРОВОДА И ГРОЗОЗАЩИТНЫЕ ТРОСЫ

1.2 КОНСТРУКЦИИ ПРОВОДОВ И ТРОСОВ

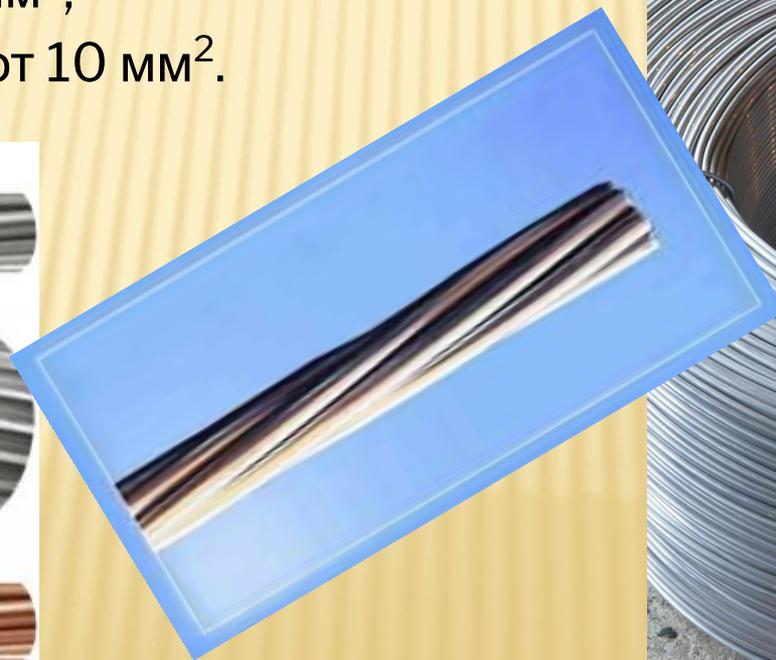
Нормальные многопроволочные провода



Многопроволочные провода имеют по сравнению с однопроволочными ряд существенных преимуществ:

- большую гибкость, что обеспечивает большую сохранность и удобство монтажа;
- высокие сопротивления на разрыв могут быть получены только для проволок относительно небольшого диаметра. Однопроволочные провода с сечениями 25 мм^2 и более имели бы пониженное сопротивление на разрыв.

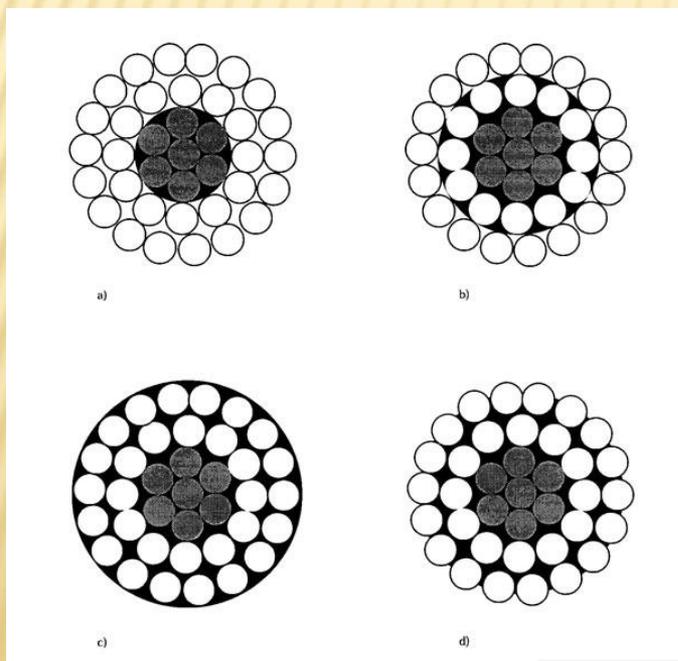
Однопроволочные провода изготавливаются для сечений 4, 6, 10 мм^2 , многопроволочные - от 10 мм^2 .



Желание повысить механическую прочность привело к изготовлению алюминиевых проводов со стальным сердечником, называемых *сталеалюминиевыми*.

Сердечник провода выполняется из одной или нескольких свитых стальных оцинкованных проволок.

Алюминиевые проволоки, покрывающие стальной сердечник одним, двумя или тремя навивами, являются токоведущей частью провода. Электропроводность стального сердечника мала и потому не учитывается.



Сталеалюминиевый провод.

При необходимости сочетать малое активное сопротивление провода с очень большой механической прочностью применяют **сталебронзовые** и **сталеалюдревые** провода.

Алдрей представляет собой сплав алюминия с незначительной долей (около 1,2%) **магния и кремния**.

Пустотелые медные и биметаллические (стальная проволока покрыта приваренным слоем меди) применяются редко.



- Механические (прочностные) характеристики сталеалюминиевого провода определяются соотношением суммарного поперечного сечения алюминиевых проволок $F_{ал}$ к суммарному сечению проволок стального сердечника $F_{ст}$. По соотношению $F_{ал}/F_{ст} = k_F$ различают пять исполнений таких проводов

Варианты исполнения сталеалюминиевых проводов		
Таблица 8.6 Исполнение	$F_{ал}/F_{ст}$	Номенклатура
Специальное облегчённое	12,2—18,1	330/27; 400/22; 500/27; 1000/56
Облегчённое	7,71—8,04	150/19—800/105 (15 марок)
Нормальное	6,00—6,25	35/6,2-400/64 (10 марок)
Усиленное	4,29-4,39	120/27—400/93 (6 марок)
Специальное усиленное	0,65—1,46	70/72; 95/41; 185/128; 300/204; 500/336

- В качестве примера в таблице 8.7 приводятся характеристики проводов марки АС с номинальным сечением алюминиевой части 185 мм^2 для четырёх различных исполнений. Если сопоставить такой провод облегчённого исполнения с проводом специального усиленного исполнения, то последний характеризуется примерно в 2 раза большей массой и в 3 раза большим разрывным усилием $F_{\text{разр}}$. Из данных таблицы 8.7 следует также, что фактическое сечение алюминиевой части провода совпадает с номинальным лишь для провода усиленного исполнения, а стального сердечника — лишь для провода марки АС 185/128. В остальных случаях они различаются, хотя и незначительно.

Характеристики проводов с $F_{\text{ал. ном}} = 185 \text{ мм}^2$

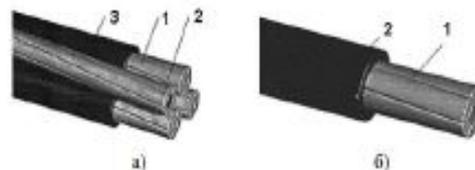
Таблица 9.7 Марка провода	Фактические сечения, мм^2		Масса, кг/км			$F_{\text{разр}}, \text{ Н}$	k_F	Исполнени е
	$F_{\text{ал}}$	$F_{\text{ст}}$	алюминия	стали	провода			
АС 185/24	187,0	24,2	515	190	705	604	7,73	Облегчённо е
АС 185/29	181,0	29,0	500	228	728	648	6,24	Нормально е
АС 185/43	185,0	43,1	509	337	846	808	4,29	Усиленное
АС 185/128	187,0	128,0	517	1008	1525	1837	1,46	Специально е усиленное

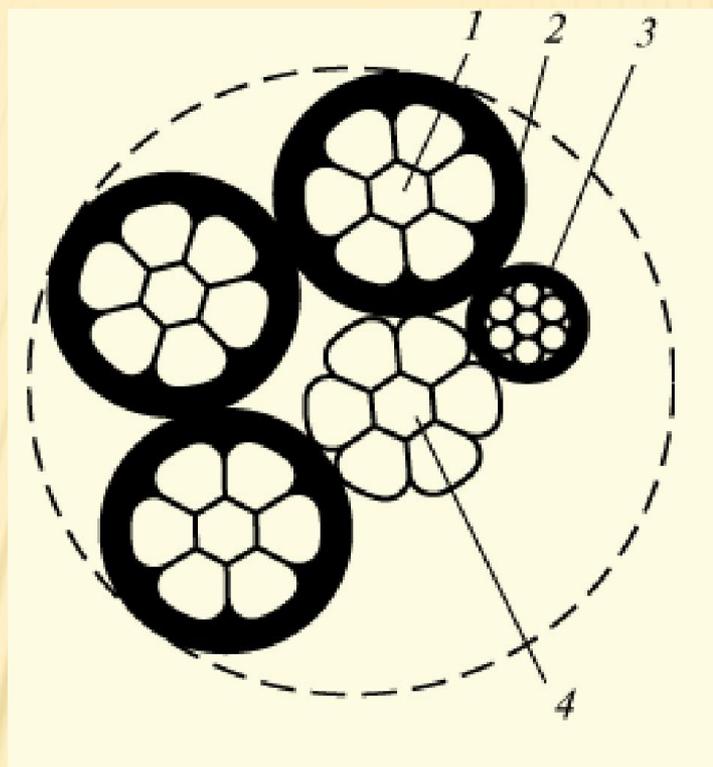
□ СИП провода

Самонесущие изолированные провода (СИП) применяются для ВЛ напряжением до 20 кВ. При напряжениях до 1 кВ (рис. 3а) такой провод состоит из трех фазных многопроволочных алюминиевых жил.

Четвертая жила 2 является несущей и одновременно нулевой. Фазные жилы скручены вокруг несущей таким образом, чтобы вся механическая нагрузка воспринималась несущей жилой, изготовляемой из прочного алюминиевого сплава АВЕ.

Фазная изоляция 3 выполняется из *термопластичного светостабилизированного или сшитого светостабилизированного полиэтилена*. Благодаря своей молекулярной структуре, такая изоляция обладает очень высокими термомеханическими свойствами и большой стойкостью к воздействию солнечной радиации и атмосферы. В некоторых конструкциях СИП нулевая несущая жила выполняется с изоляцией.





Конструкция самонесущего изолированного провода для ЛЭП напряжением до 1 кВ:

1 – токопроводящая жила из алюминиевой проволоки; 2 – изоляция из сшитого полиэтилена; 3 – изолированный провод освещения; 4 – нулевая несущая жила; из сплава алюминия

□ Преимущества СИП

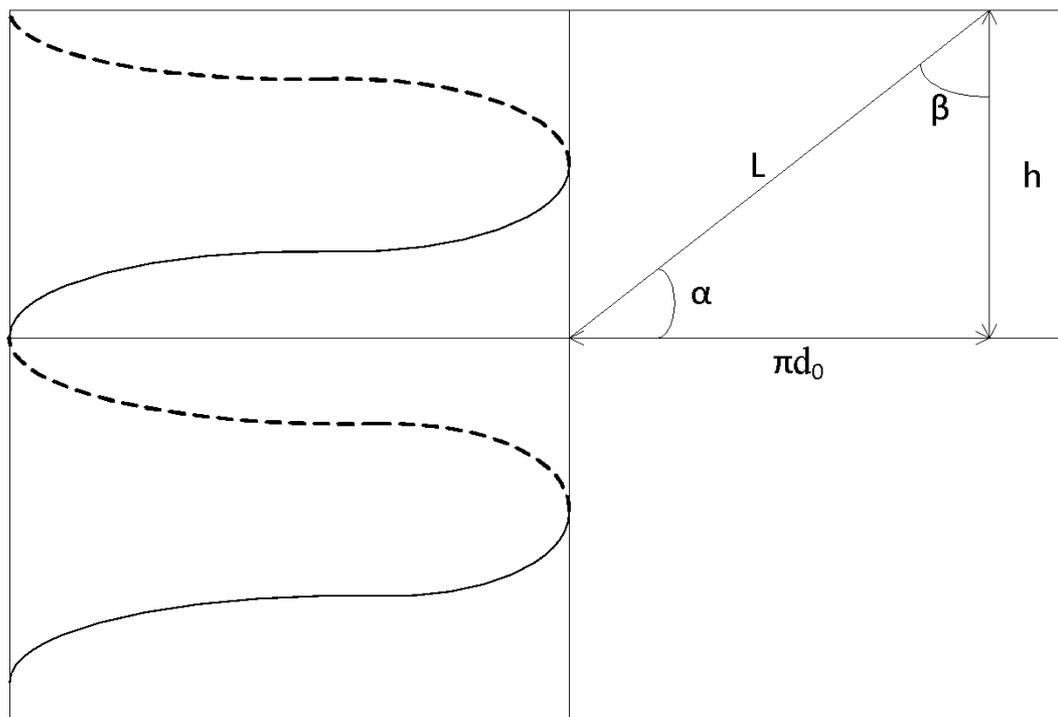
ВЛ с СИП по сравнению с традиционными ВЛ имеют следующие преимущества:

- меньшие потери напряжения (улучшение качества электроэнергии), благодаря меньшему, приблизительно в три раза, реактивному сопротивлению трехфазных СИП; не требуют изоляторов;
- практически отсутствует гололедообразование; допускают подвеску на одной опоре нескольких линий различного напряжения;
- меньшие расходы на эксплуатацию, благодаря сокращению, приблизительно на 80%, объемов аварийно-восстановительных работ;
- возможность использования более коротких опор благодаря меньшему допустимому расстоянию от СИП до земли;
- уменьшение охранной зоны, допустимых расстояний до зданий и сооружений, ширины просеки в лесистой местности;
- практическое отсутствие возможности возникновения пожара в лесистой местности при падении провода на землю;
- высокая надежность (5-кратное снижение числа аварий по сравнению с традиционными ВЛ);
- полная защищенность проводника от воздействия влаги и коррозии.

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:

$$P = \alpha \cdot pi$$

где: pi – разрывное усилие одной
проволаки;

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

Для сталеалюминиевого
многопроволочного провода
формула расчета разрывного
усилия:

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

Выбор сечения проводов ЛЭП

Выбор сечения проводов осуществляется по условию нагрева допустимым током:

$$I_{p.н} = \frac{S_p}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}}, I_{p.ав} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}$$

Определяется допустимая длина линии по потерям напряжения:

$$L_{доп} = L_{\Delta u 1\%} \cdot \Delta U_{доп} \cdot \frac{I_{доп}}{I_p};$$

$L_{\Delta u 1\%}$ – длина линий на 1 % потери напряжения при полной нагрузке;
 $\Delta U_{доп}$ – допустимое отклонение сетевого напряжения;

Проверка по экономической плотности тока:

$$S_э = \frac{I_p}{j_э}, \quad j_э - \text{нормированное значение экономической плотности тока}$$

Минимально допустимые сечения изолированных проводов

Нормативная толщина стенки гололеда b_g , мм	Сечение несущей жилы, мм, на магистрали ВЛИ, на линейном ответвлении от ВЛИ	Сечение жилы на ответвлениях от ВЛИ и от ВЛ к вводам, мм
10, 15 и более	35 (25)* 50 (25)*	16, 16

* В скобках дано сечение жилы самонесущих изолированных проводов, скрученных в жгут, без несущего провода.

Минимально допустимые сечения неизолированных и изолированных проводов

Нормативная толщина стенки гололеда b_g , мм	Материал провода	Сечение провода на магистрали и линейном ответвлении, мм
10	Алюминий (А), нетермообработанный алюминиевый сплав (АН)	25
	Сталеалюминий (АС), термообработанный алюминиевый сплав (АЖ)	25
	Медь (М)	16
15 и более	А, АН, АС, АЖ, М	35
		25
		16

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.1 ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Изоляционные материалы



фарфор



стекло



Полимерные
материалы

Конструктивно изоляторы ВЛ изготавливаются двух основных типов: *штыревые и подвесные.*

Штыревые изоляторы применяются для ВЛ напряжением до 20 кВ и представляют собой монолитное тело 1 специальной формы с канавками для укладки провода и посадочным местом для металлического штыря или крюка 2. К штыревым изоляторам провода привязываются мягкой проволокой того же металла, что и сам провод.

Для ВЛ напряжением 35 кВ и выше применяются подвесные изоляторы. Такой изолятор состоит из изолирующей части шапки из ковкого чугуна 2, стального стержня 3. Шапка и стержень с изолирующей частью соединяются цементной связкой 4.

В верхней части чугунной шапки имеется гнездо, совпадающее по форме с нижней головкой стального стержня. Эти элементы позволяют собирать подвесные изоляторы в гибкие гирлянды. Гирлянды изоляторов удобны при монтаже и эксплуатации в связи с несложной заменой поврежденного изолятора в гирлянде.

ТИПЫ ИЗОЛЯТОРОВ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ



Подвесные изоляторы применяются на ВЛ напряжением 35 кВ и выше. Марка изолятора содержит буквы П (подвесной), С (стеклянный) или Ф (фарфоровый), Г (грязестойкий) и А, Б, В, Д (обозначение модификации). Цифрой обозначается максимальная (разрушающая) механическая нагрузка в килоньютонах (кН), например ПФ70-В, ПСП20-А, ПС400-А и т.п.

Подвесные изоляторы собираются в *гирлянды* путем введения в сферическое гнездо шапки головки стержня смежного изолятора.

Количество изоляторов в гирлянде в зависимости от напряжения ЛЭП

Марка изолятора	Количество изоляторов при $U_{ном}$, кВ				
	35	110	150	220	330
ПФ70-В	3	7	9	13	19
ПС70-Б	3	8	10	14	21

Маркировка **штыревого** изолятора - Ш, материал (С - стекло или Ф - фарфор), номинального напряжения (в киловольтах) и исполнения (А, Г и др.). Изолятор ШС10-Г грязестойкого исполнения, т.е. для районов с загрязненной атмосферой.

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 клеевой 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

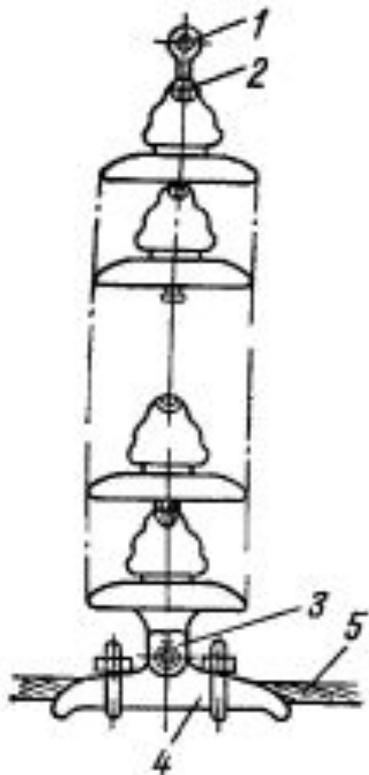
Виды арматуры



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

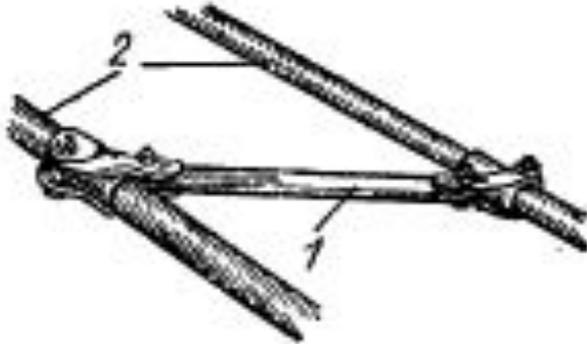
АРМАТУРА



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.

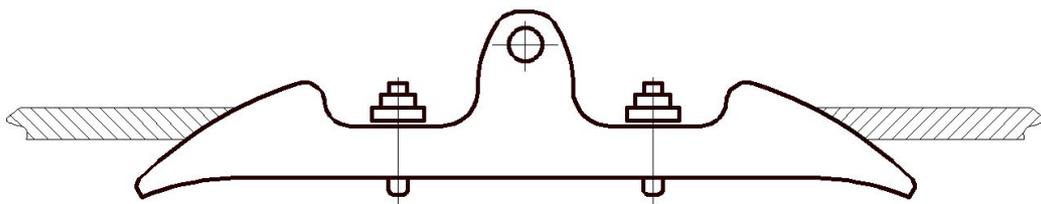
2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Зажимы

Поддерживающие

Натяжные

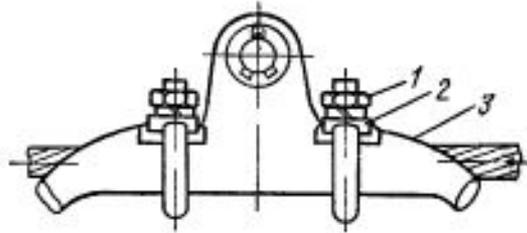


2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

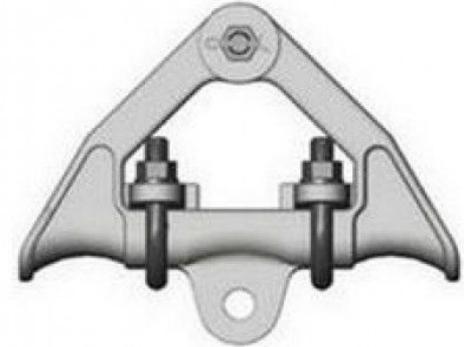
2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Поддерживающие зажимы

→ Глухие зажимы



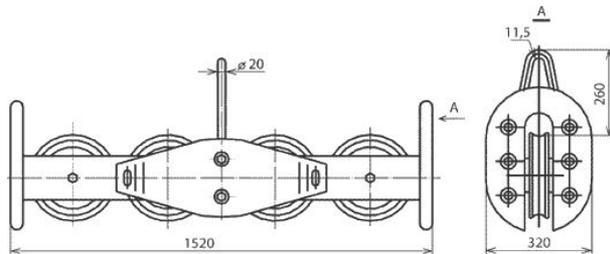
(нажимные болты 1 через плашку 2 прижимают провод к корпусу зажима 3 и удерживают его на месте при одностороннем тяжении)



→ Выпадающие (выпускающие зажимы)

→ Зажимы с ограниченной прочностью заделки

→ Многороликовые подвесы

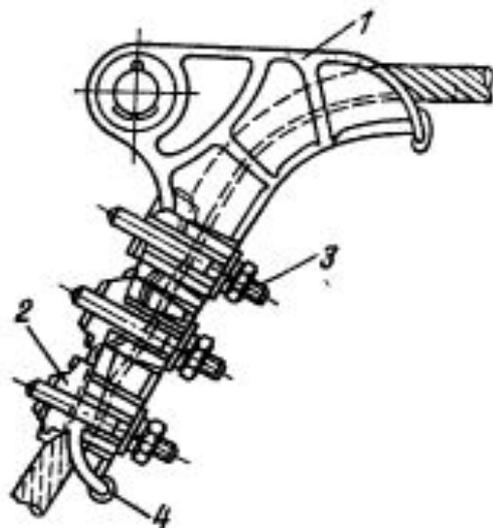


2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Натяжные зажимы

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



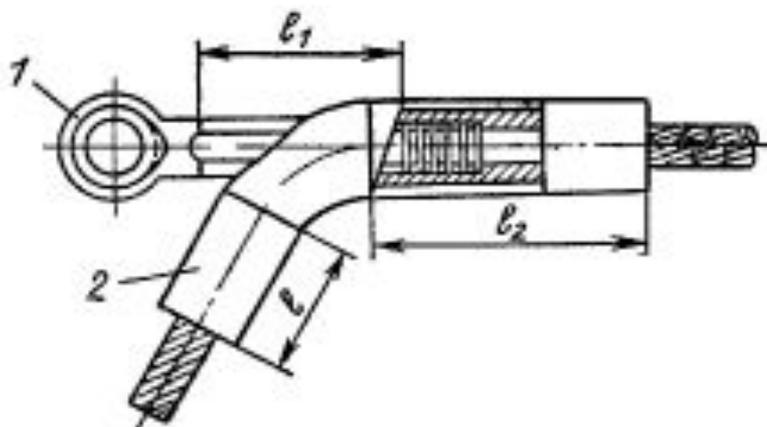
Болтовые зажимы состоят из корпуса 1, плашек 2, натяжных болтов с гайками 3 и прокладок 4 из алюминия

2 ИЗОЛЯТОРЫ И АРМАТУРА

2.2 ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА

Натяжные зажимы

Прессуемые натяжные зажимы



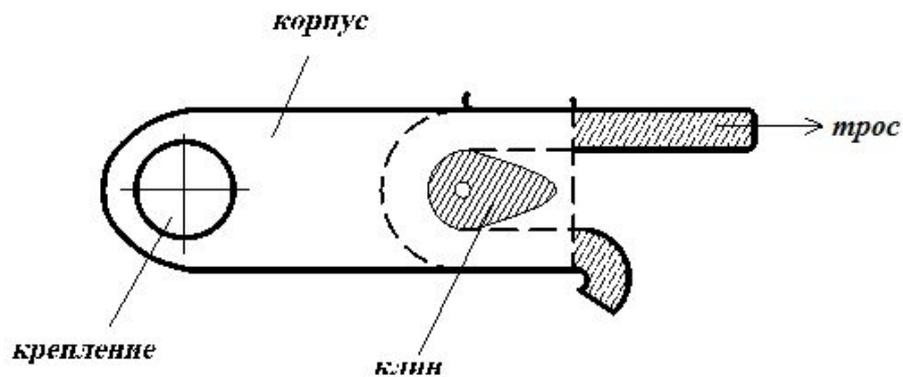
Прессуемые зажимы состоят из стального анкера 1, в котором на длине l_1 опрессовывается стальной сердечник, и алюминиевого корпуса 2, в котором на длине l_2 опрессовывается алюминиевая часть провода со стороны пролета, а на длине l – шлейф

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

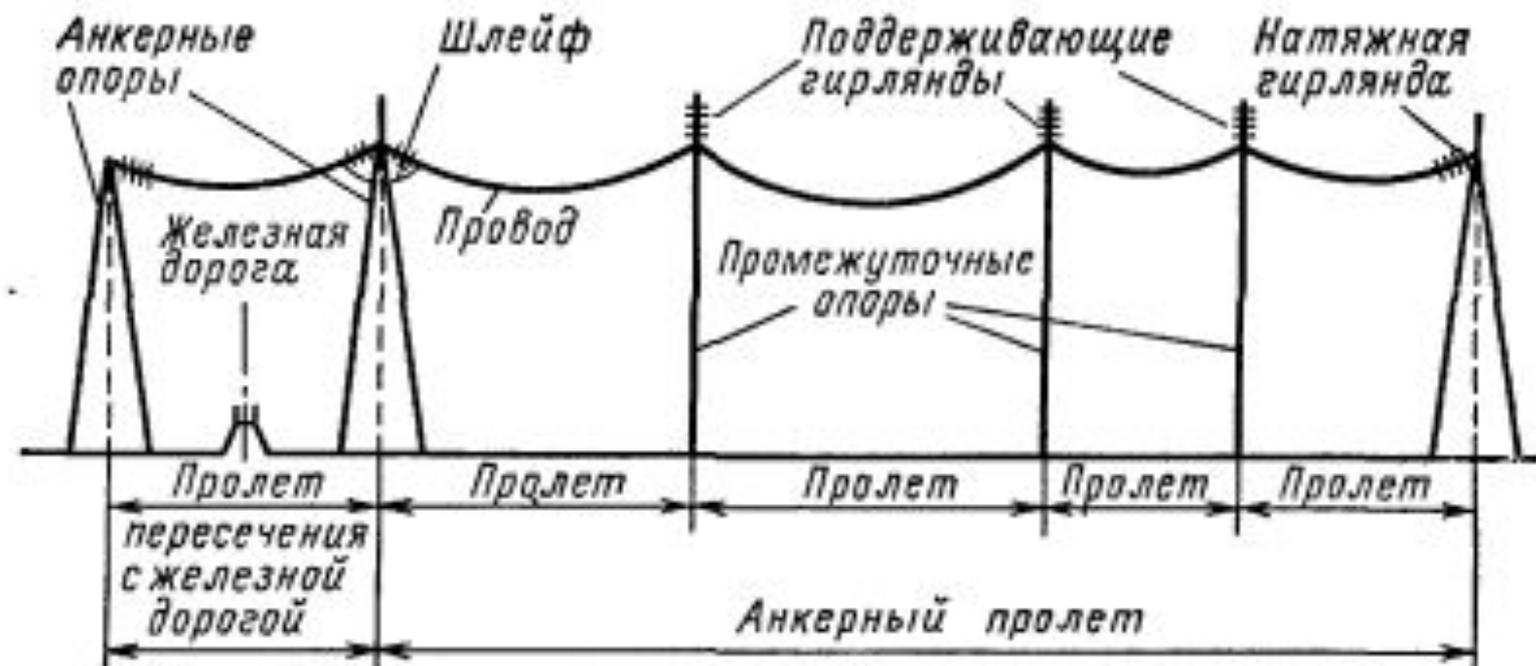
Классификация опор воздушных линий		
Признак	Тип опоры	Примечание
Количество трехфазных цепей	Одноцепная	Всех напряжений
	Двухцепная	35—330 кВ
	Многоцепная	—
Способ крепления проводов	Промежуточная	Зажимы поддерживающие
	Анкерная	Зажимы натяжные
Положение на трассе	Угловая	В точках поворота трассы
Конструктивное выполнение	Свободностоящая	—
	На оттяжках	—
Материал	Деревянная	До 220 кВ включительно
	Железобетонная	До 500 кВ включительно
	Металлическая	Всех напряжений
Специальное назначение	Транспозиционная	По концам участков цикла
	Ответвительная	Ответвления от магистрали
	Переходная	Переходы через реки и т. п.

3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.1 КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПОР

Классификация по назначению

Промежуточные и анкерные опоры



При подходах к подстанциям устанавливаются **концевые опоры**, назначение которых принять тяжения, действующие по проводам линии.

Концевые опоры являются ближайшими к подстанциям. Концевые опоры выполняются жесткими, провода на них крепятся, как и на анкерных опорах, натяжными гирляндами изоляторов.

В точках поворота линии устанавливаются угловые опоры.



.Концевая металлическая опора

На линиях напряжением 220 кВ и выше применяют **расщепление проводов** - подвешивают несколько проводов в фазе.

Этим достигается уменьшение напряженности электрического поля около проводов и ослабление ионизации воздуха (короны).

Расстояние между проводами расщепленной фазы составляет около 40 см.

Для фиксирования вдоль линии устанавливают специальные распорки между проводами расщепленной фазы.



Расщепление фазы на два провода.



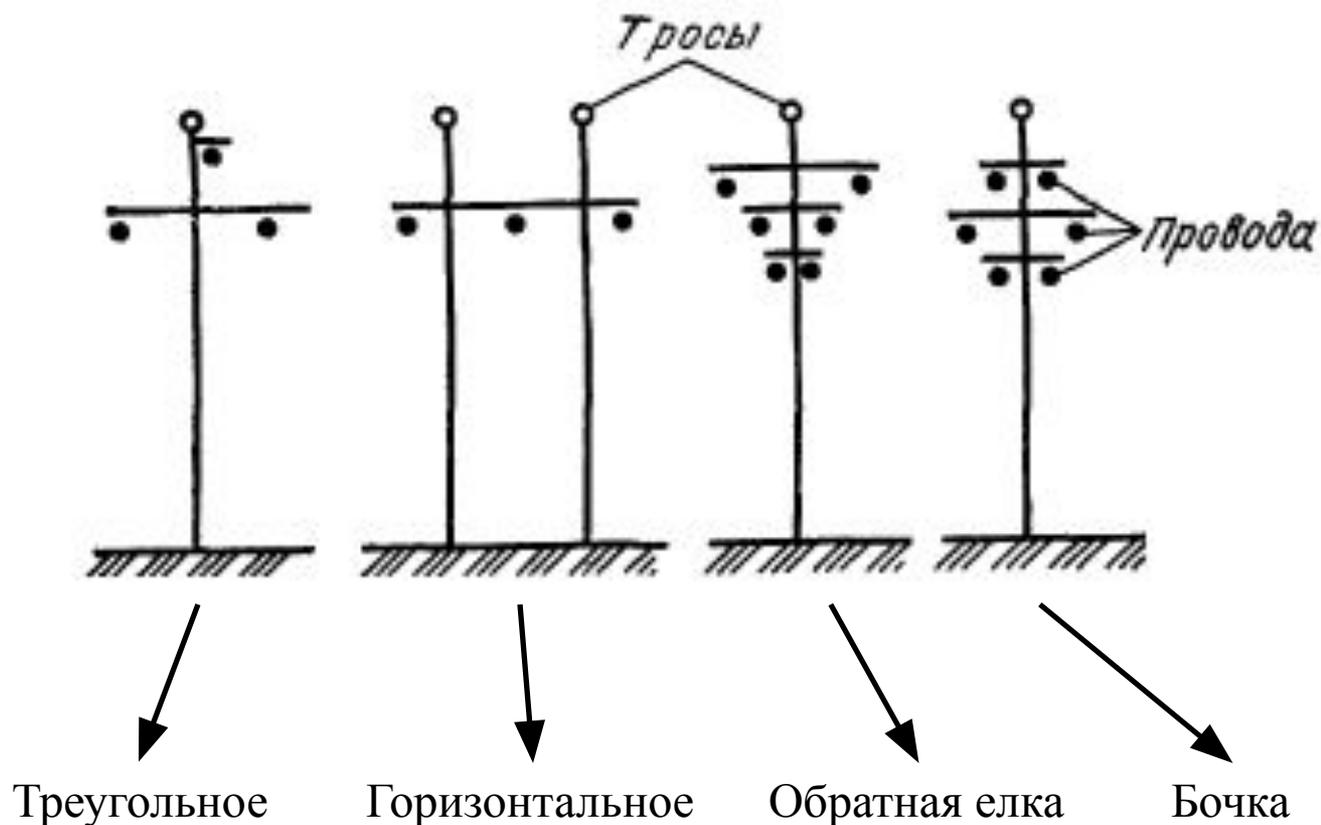
Расщепление фазы на четыре провода.



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

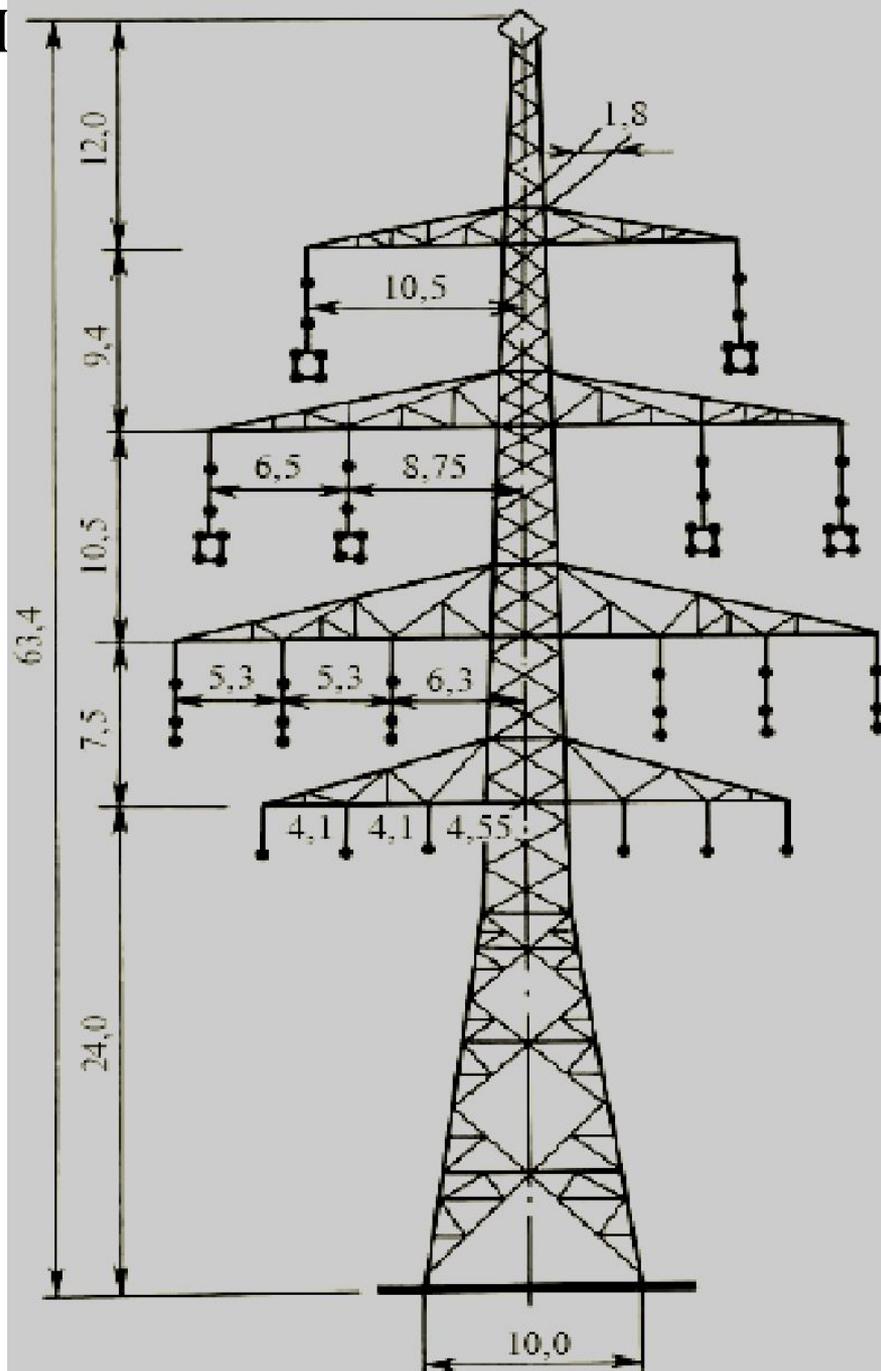


Многоцепные



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

Опора
многоцепной
комбинированной
ВЛ-380-220-110 кВ

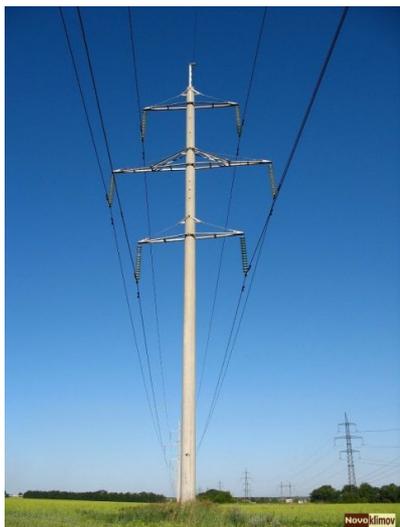


3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

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



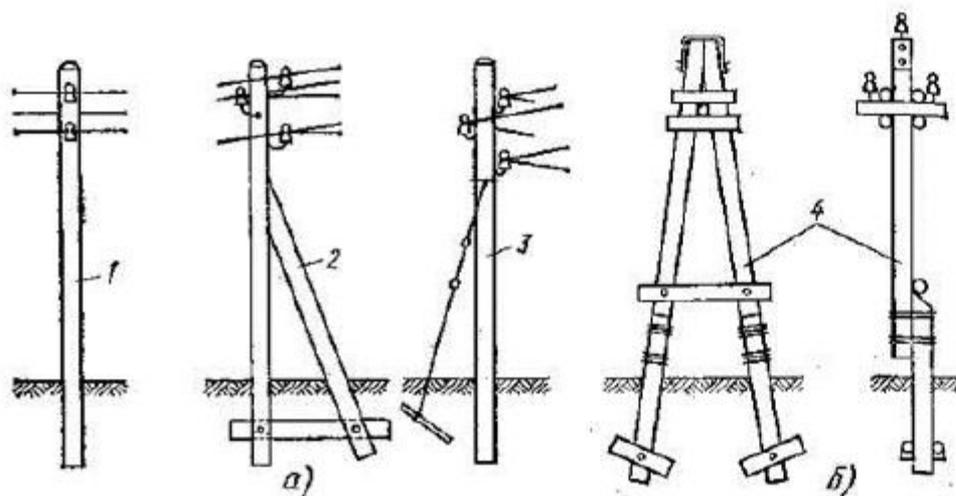
Железобетонные



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.2 ДЕРЕВЯННЫЕ ОПОРЫ

Основные типы опор



а - на напряжение ниже 1000 В,

б - на напряжение 6 и 10 кВ;

1 - промежуточная,

2 - угловая с подкосом,

3 - угловая с оттяжкой,

4 - анкерная

Преимущества:

Деревянные опоры дешёвы, сравнительно просты в изготовлении и надёжны в эксплуатации.

Недостатки:

подверженность их загниванию.

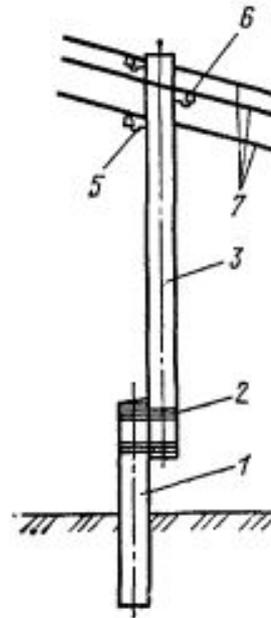


3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

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.

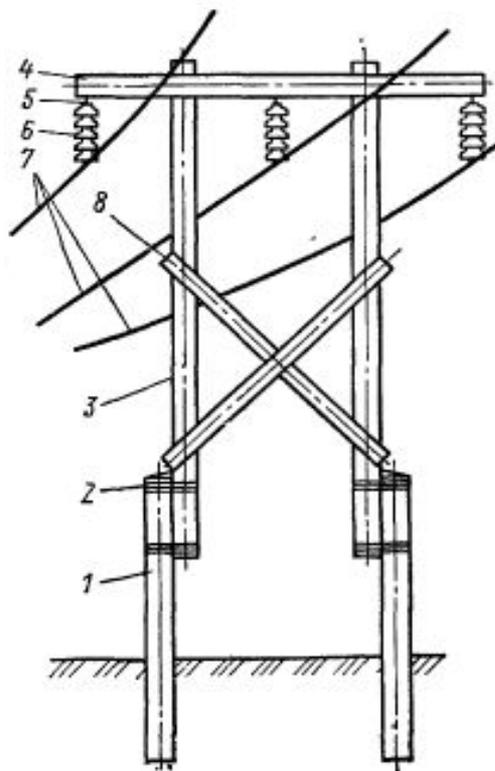


3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.2 ДЕРЕВЯННЫЕ ОПОРЫ

Основные типы опор

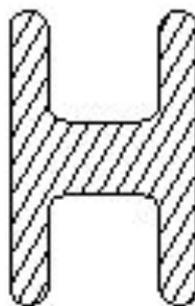
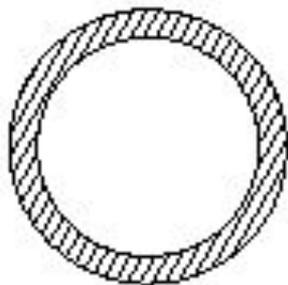
Промежуточная опора для ВЛ 35-110 кВ представляет собой портал, имеющий две стойки с ветровыми связями 8 (раскосы) и горизонтальную траверсу 4.



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

Железобетонные опоры широко применяются на ВЛ до 500 кВ включительно. Срок службы железобетонных опор в среднем в два раза выше, чем деревянных, хорошо пропитанных опор. Отпадает необходимость в использовании древесины, повышается надежность электроснабжения.

Преимущества:

- + технологичность изготовления;
- + долгий срок службы.

Недостатки:

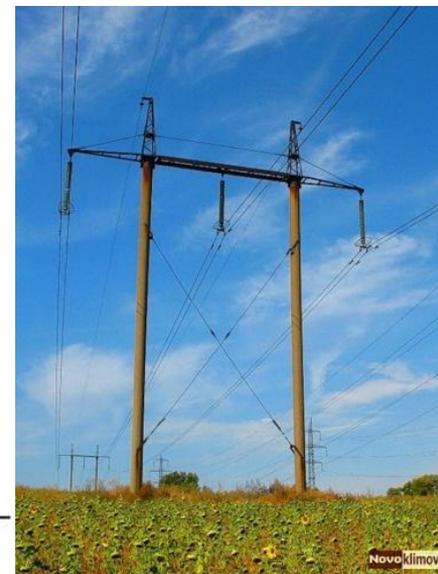
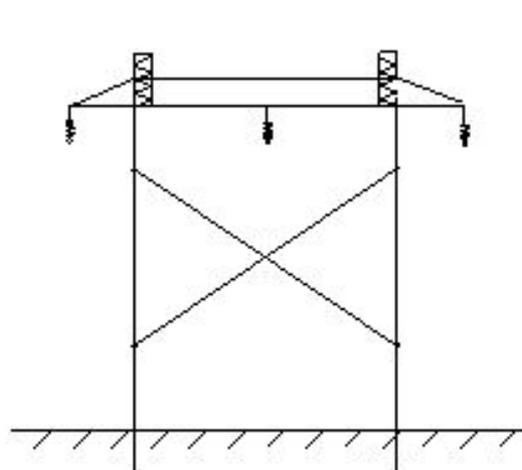
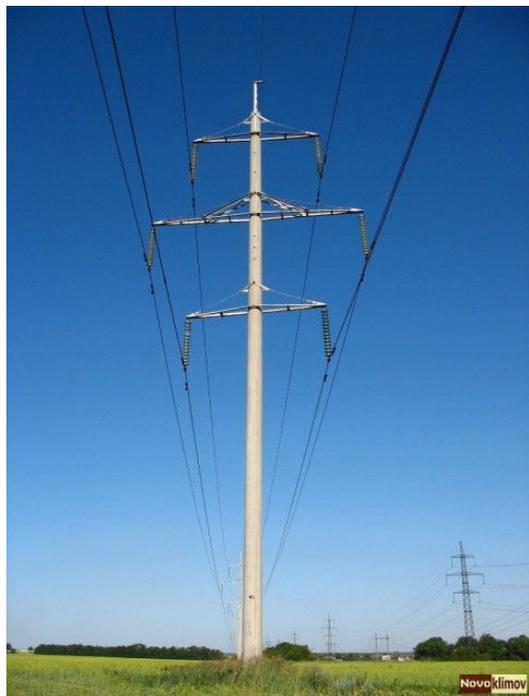
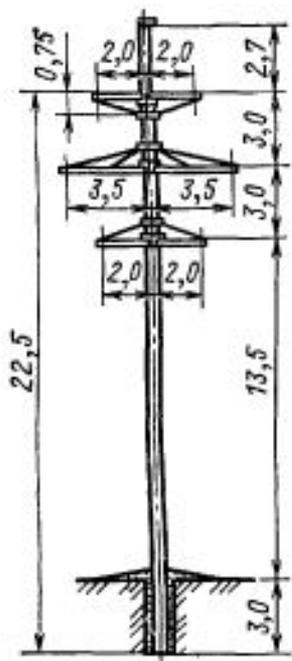
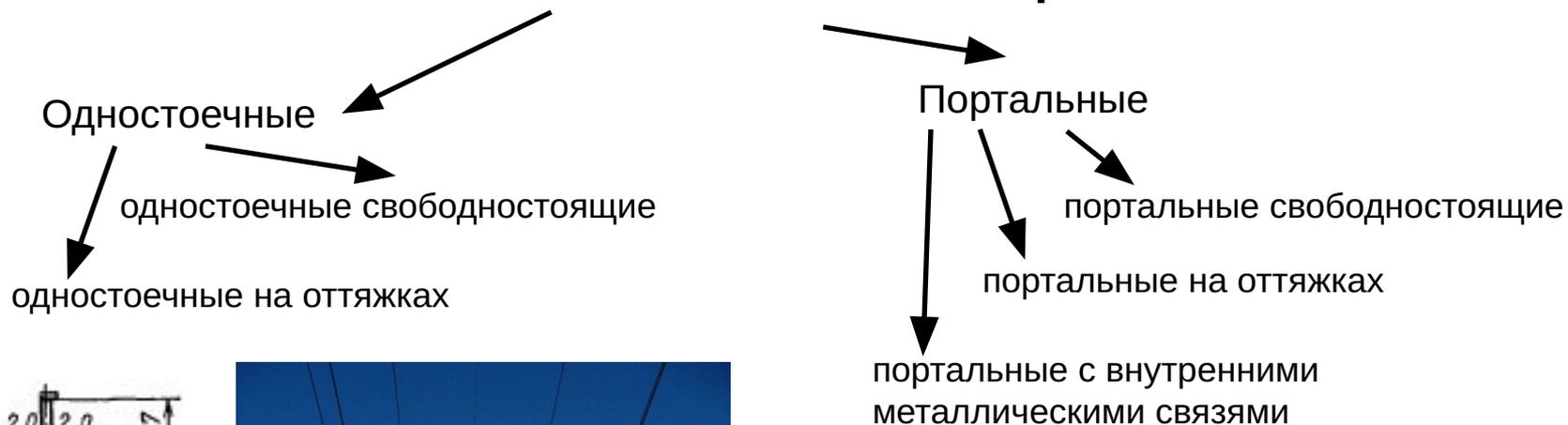
- для перевозки автотранспортом стоек с территории завода-изготовителя на места их установки необходимы специальные полуприцепы с длиной до 12 метров;
- сложность демонтажа.



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.3 ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ОПОРЫ

Основные типы опор



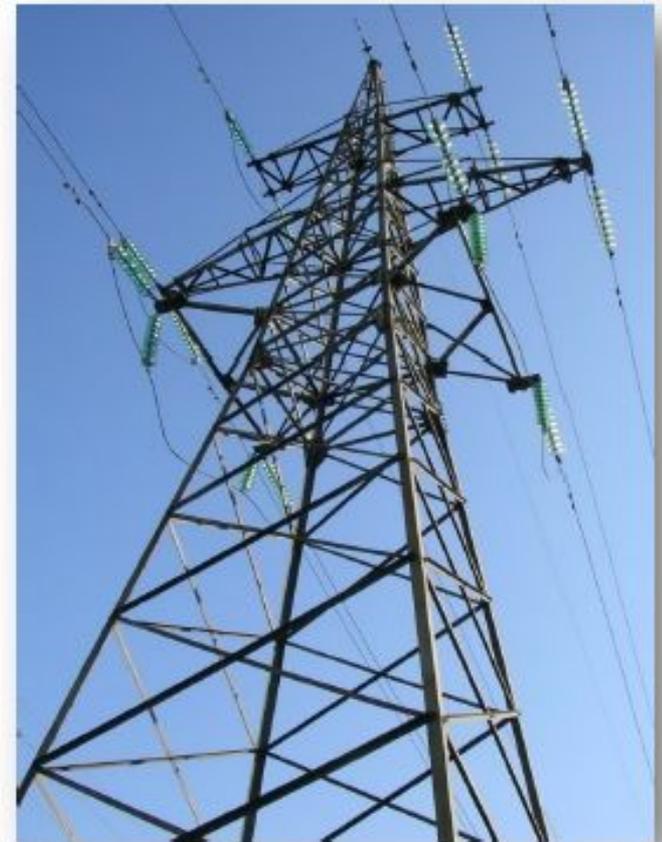
3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.4 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОПОРЫ

Обладают меньшей, чем железобетонные, массой и **высокой механической прочностью**, что позволяет создавать опоры значительной высоты, рассчитанные на большие нагрузки. Их применяют на линии электропередач всех напряжений, часто в сочетании с железобетонными промежуточными опорами.

Металлические опоры незаменимы на линиях с большими механическими нагрузками.

Металлические опоры передач изготавливают в основном из стали, в отдельных случаях (за рубежом) из алюминиевых сплавов; для защиты от коррозии их окрашивают или оцинковывают.



3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.4 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОПОРЫ

Основные типы опор

Одностоечные

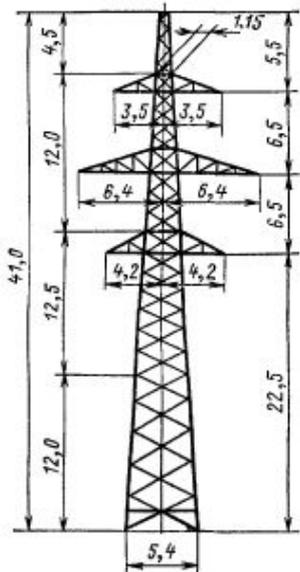
Портальные

одностоечные свободстоящие

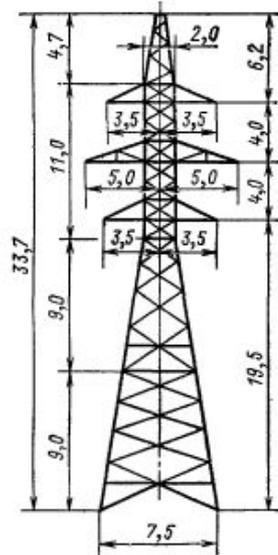
портальные свободстоящие

одностоечные на оттяжках

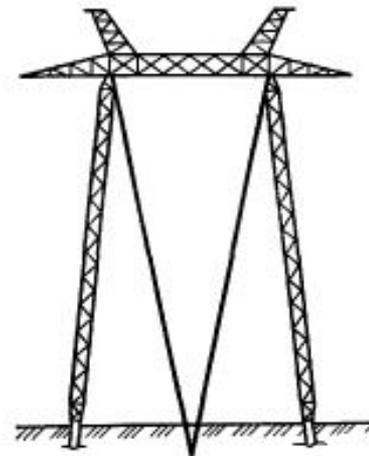
портальные на оттяжках



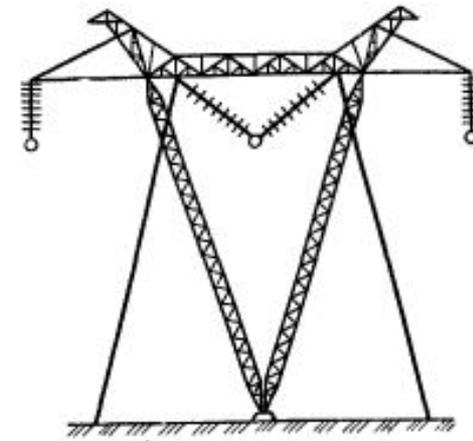
Промежуточная 220 кВ



Анкерная угловая 110 кВ



Одноцепная на оттяжках 500 кВ



V-образная 1150 кВ

3 ОПОРЫ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

3.4 МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОПОРЫ

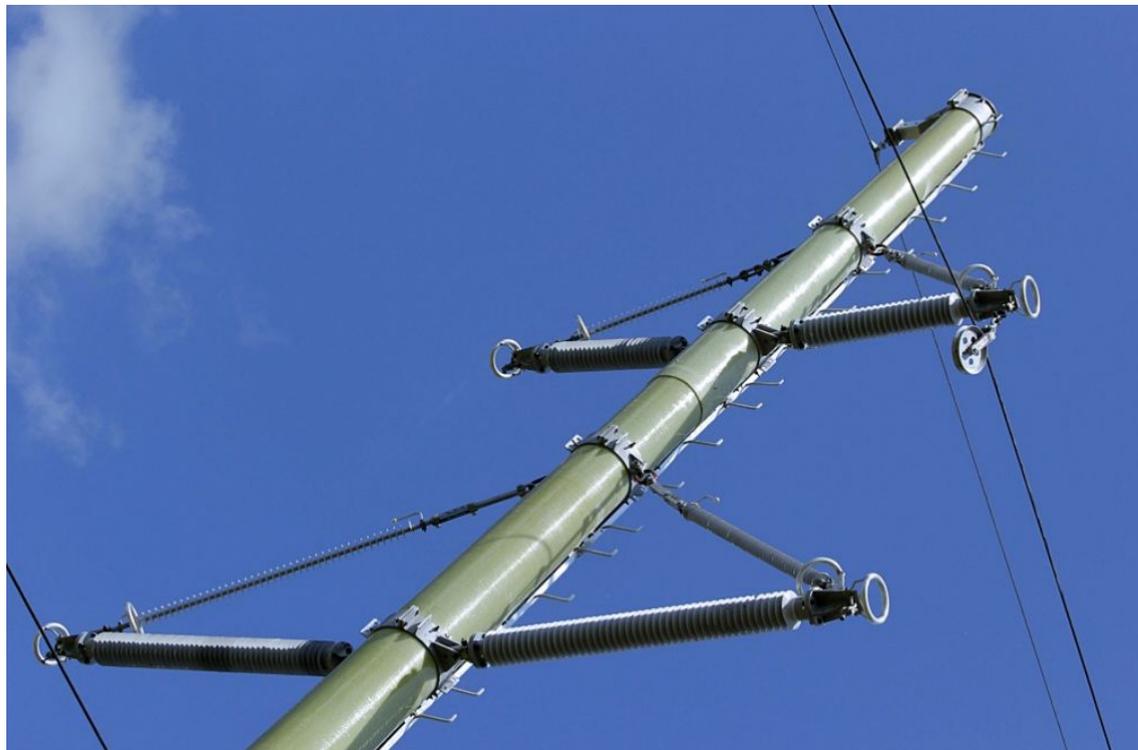
Стальные опоры из гнутого профиля имеют ряд преимуществ перед железобетонными опорами:

- большая долговечность - срок службы стальных опор составляет 50 лет;
- большой габаритный пролет за счет более высокой механической прочности, что приводит к сокращению расхода материалов и объема строительно-монтажных работ;
- увеличенные междуфазные расстояния, что позволяют избежать схлестывания проводов и их пережигания даже при больших пролетах;
- меньший вес опор, что приводит к сокращению объема перевозок, облегчает выполнение погрузо-разгрузочных и монтажных работ;
- высокая стойкость к повреждениям при перевозках, проведении погрузочно-разгрузочных и монтажных работ;
- возможность быстрого демонтажа и повторного их применения.



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

Маркировка опор

Все опоры ВЛ унифицированы. Унификация означает объединение опор ВЛ в единую систему конструкций, сокращение типоразмеров опор и устанавливает для каждой опоры область ее применения. В маркировке унифицированной опоры указываются:

- вид опоры (П - промежуточная, У - анкерно-угловая, С - специальная);
- материал опоры (Д - дерево, Б - железобетон, у стальных опор буква отсутствует);
- номинальное напряжение;
- номер опоры, характеризующий область ее применения и количество цепей на опоре (четная цифра соответствует двухцепной опоре, нечетная - одноцепной).

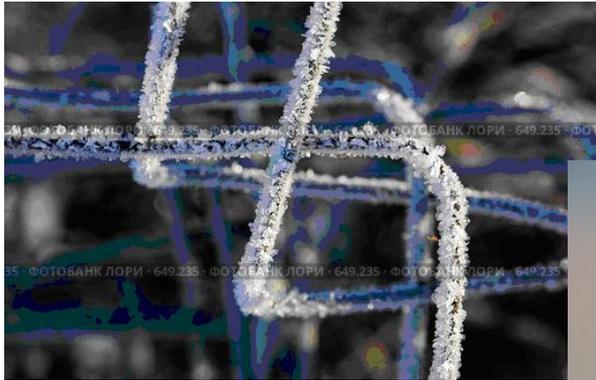
Например, опора ПБ110-4 - это промежуточная (П), железобетонная (Б) опора, на номинальное напряжение 110 кВ, двухцепная (4).

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.2 ГОЛОЛЕД

Виды гололедо-изморозевых образований

Иней и кристаллическая изморозь



Зернистая изморозь



Мокрый снег



Гололед

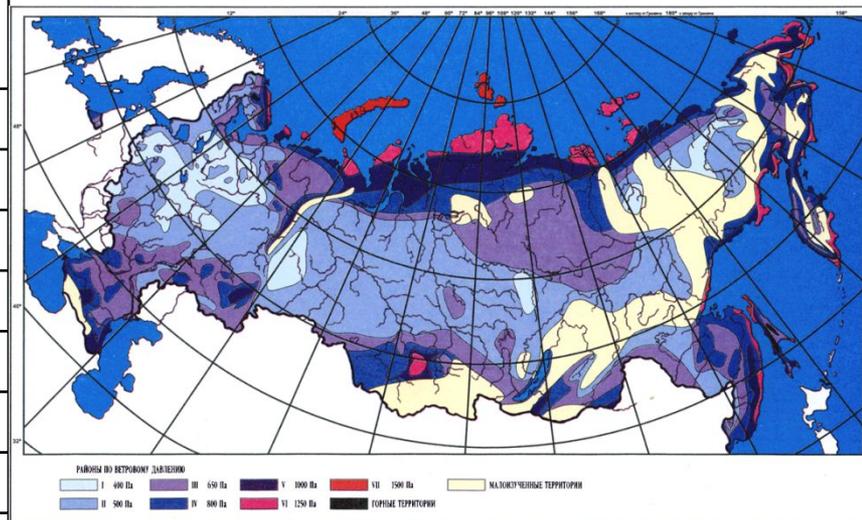


Районирование по гололеду

При определённых погодных условиях (обычно при температуре воздуха от -3 до -5 °С и скорости ветра до 10 м/с) происходит образование ледяного покрова на проводах, тросах и опорах ВЛ с массой 900 кг/м^3 . Вес такого покрова, приходящийся на одну опору, может достигать тысяч ньютонов. Интенсивность гололёдообразования неодинакова в различных регионах страны. Вся территория России делится на восемь районов, различающихся возможной максимальной толщиной стенки гололёда.

Значения максимальных толщин стенок гололёда и максимальных ветровых давлений для ВЛ определяются на высоте 10 м над поверхностью земли с повторяемостью 1 раз в 25 лет (нормативные значения) Карты районирования страны по гололёдным условиям приводятся в ПУЭ

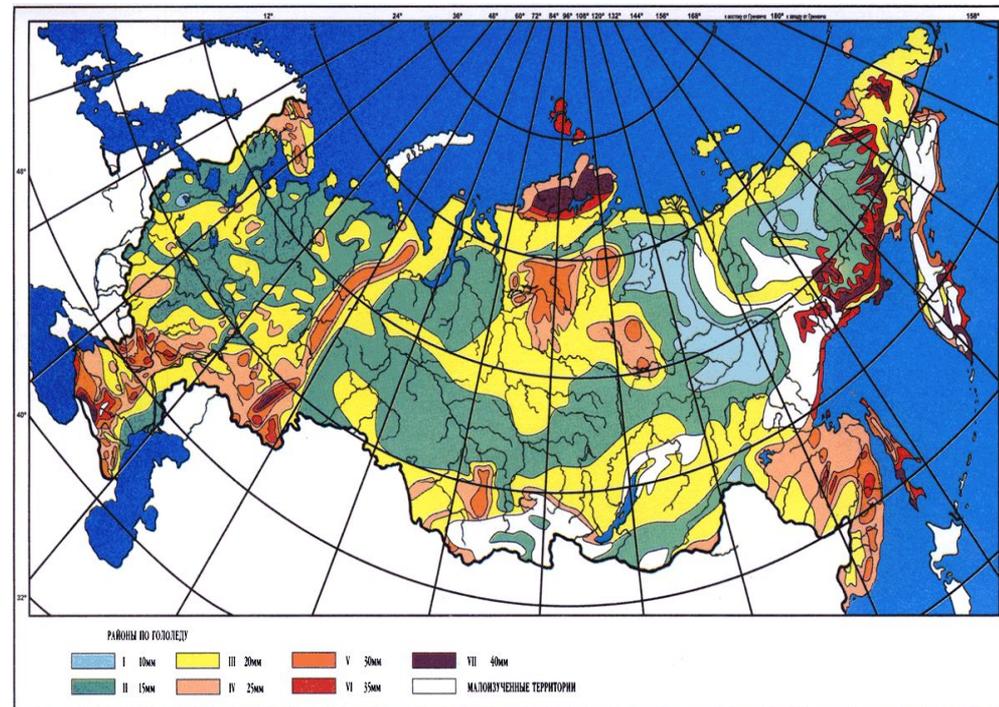
Район по гололёду	Нормативная толщина стенки гололёда b , мм
I	10
II	15
III	20
IV	25
V	30
VI	35
VII	40
Особый	Выше 40



Районирование по ветру

Аналогичным образом территория России делится на восемь районов с различной максимальной скоростью ветра. Ветровые нагрузки (скоростной напор ветра) также должны восприниматься всеми конструктивными элементами ВЛ. Обычно считается, что давление ветра направлено параллельно поверхности земли и перпендикулярно продольной оси линии. Силы, обусловленные действием ветра, в расчёте на одну опору могут достигать сотен тысяч ньютонов и обязательно учитываются при проектировании механической части ВЛ

Район по ветру	Нормативное ветровое давление W_n , Па (скорость ветра v , м/с)
I	400 (25)
II	500 (29)
III	650 (32)
IV	800 (36)
V	1 000 (40)
VI	1 250 (45)
VII	1 500 (49)
Особый	Выше 1 500 (выше 49)



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

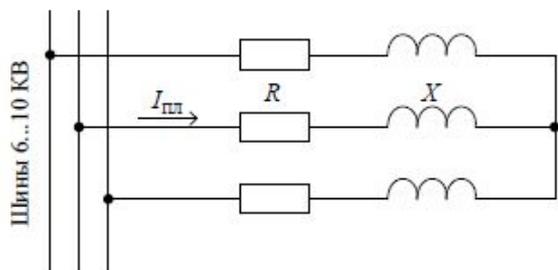
- Плавка электрическим током
- Механические способы
- Использование гидрофобных покрытий
- Скин-эффекты и бегущие волны

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.2 ГОЛОЛЕД

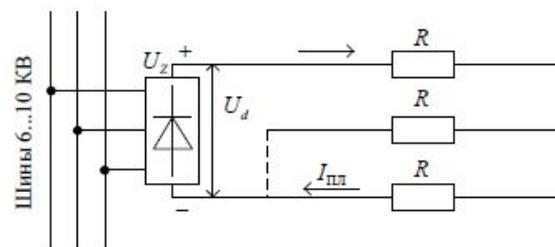
Плавка гололеда электрическим током

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	
АС 50	330	270	240	160
АС 70	410	330	290	205
АС 95	510	400	350	245
АС 120	565	450	400	275
АС 150	660	525	460	325
АС 185	750	600	520	375

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.2 ГОЛОЛЕД

Механические способы борьбы с гололедом

Робот LineScout



Робот Expliner



Действие ветра обуславливает и два нежелательных явления, отрицательно влияющих на конструктивную часть ВЛ. Во-первых, это **вибрация** проводов и тросов, возникающая при равномерном движении воздуха со скоростью 4—8 м/с. Она характеризуется частотой колебаний в десятки герц и амплитудами до десятков миллиметров. Вибрация вызывает многократные перегибы проволок проводов и тросов, что в конечном счёте приводит к их излому, ослаблению прочности провода или троса и к возможности их обрыва, т.е. к аварийной ситуации

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.3 ВИБРАЦИЯ ПРОВОДОВ



Установка виброгасителей



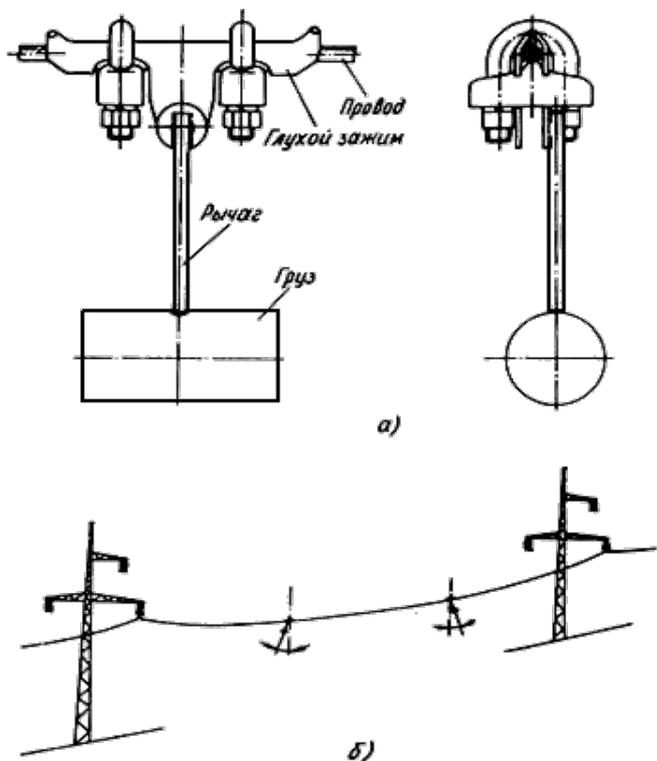
при скоростях ветра 15—30 м/с может возникать так называемая **ПЛЯСКА**

Проводов и тросов. Обычно это явление наблюдается в период, когда провода и тросы покрыты гололёдом. Эти колебания характеризуются частотой в единицы герц, однако их амплитуда может достигать величины, равной стреле провеса провода или троса. Возникающие при этом динамические воздействия на узлы крепления проводов к гирляндам изоляторов и последних к опорам настолько значительны, что могут приводить к поломкам арматуры и деталей опор. Кроме того, при пляске возможны касания и схлестывания проводов между собой и с тросами, что вызывает короткие замыкания и аварийное отключение линии

4 АТМОСФЕРНЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЛ

4.4 ПЛЯСКА ПРОВОДОВ

Установка гасителей пляски



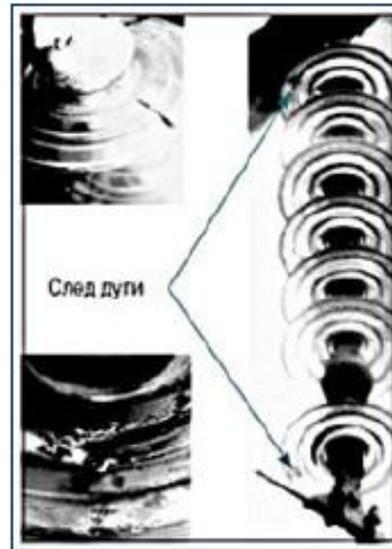
а) Установленные гасители и маятники «пляски» типа МП-120

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

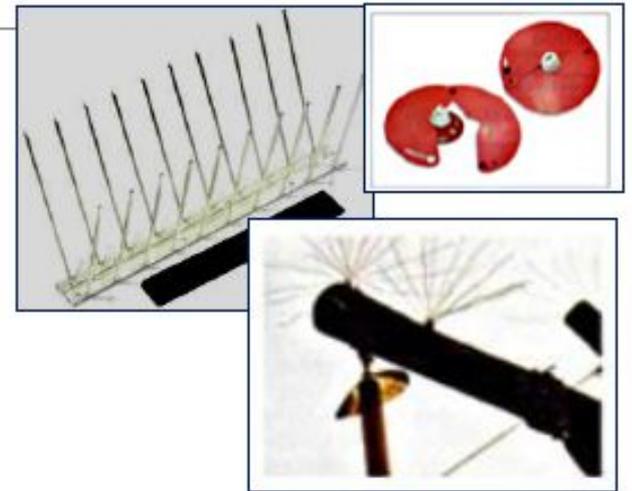
Методы борьбы с сидкой птиц на ЛЭП



Массовая сидка птиц на ЛЭП



Остатки птичьих экскрементов и следы перекрытия гирлянды ВЛ 110 кВ



Защита от птиц в виде пластиковых «ежей» и зонтиков



Полимерные изоляторы с увеличенным диаметром верхнего ребра

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Кабелем называют устройство, предназначенное для передачи и распределения электрической энергии и состоящее из одного или нескольких изолированных друг от друга проводников (жил), заключенных в герметическую защитную оболочку из резины, пластмассы, алюминия или свинца.

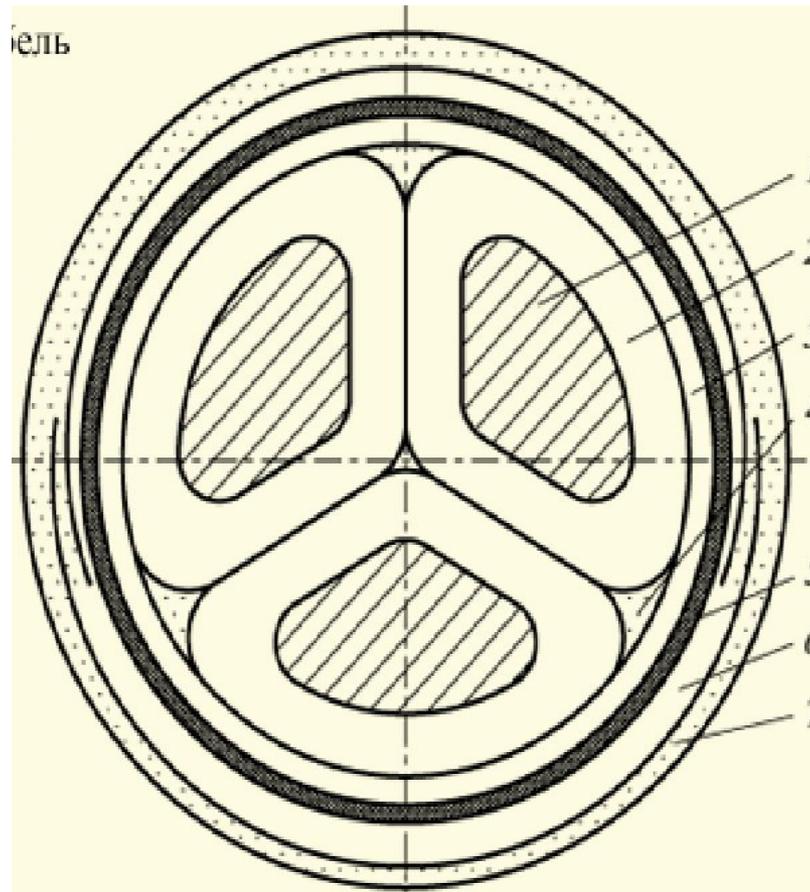
Электрические кабели *с металлическими жилами* классифицируют по порядку передаваемой через кабели мощности, величине напряжения, типу изоляции, назначению и т.д.

В соответствии с этим различают:

- силовые кабели (СК) низкого, среднего и высокого напряжения (для питания осветительных и силовых электроустановок);
- силовые гибкие кабели (для питания передвижных установок);
- кабели управления;
- контрольные кабели (для создания цепей контроля, сигнализации);
- низковольтные провода и шнуры;
- кабели и провода связи;
- радиочастотные кабели.

Кабели кроме вместо металлической жилы могут иметь оптические волокна, их называют *оптическими*.





Трёхжильный кабель с поясной изоляцией и секторными уплотнёнными жилами

1 – токопроводящая жила, 2 – фазная изоляция, 3 – поясная изоляция, 4 – заполнение, 5 – свинцовая оболочка, 6 – подушка под бронёй, 7 – броня из двух стальных лент.

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

По типу изоляции силовых кабелей различают:

- кабели с **бумажной** изоляцией, в т.ч. пропитанные и маслонаполненные;
- силовые кабели с **пластмассовой** изоляцией (ПВХ, СПЭ);
- кабели с **резиновой** изоляцией.



Кабели с бумажно-пропитанной изоляцией



Кабели с поливинилхлоридной (ПВХ) изоляцией



Кабели с сшитой полиэтиленовой (СПЭ) изоляцией

По величине линейного рабочего напряжения кабели подразделяют на:

- кабели на напряжение до **1 кВ**;
- кабели на напряжение **1..10 кВ**;
- кабели на напряжение **20..35 кВ**;
- кабели на напряжение **110..500 кВ**.

Силовые кабели состоят из следующих основных элементов: *токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов*. Помимо основных элементов в конструкцию силовых кабелей могут входить экраны, нулевые жилы, жилы защитного заземления и заполнители.



КАБЕЛИ НИЗКОГО И СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ



Кабели с бумажно-пропитанной изоляцией

В группу низкого напряжения включены кабели, предназначенные для работы в электрических сетях с **изолированной нейтралью** переменного напряжения **1, 3, 6, 10, 20 и 35 кВ** частотой 50 Гц. Эти же кабели могут быть использованы с заземленной нейтралью и в сетях постоянного тока. Такие кабели выпускаются с бумажной пропитанной, пластмассовой и резиновой изоляцией, причем наиболее перспективным видом изоляции является пластмассовая.

Кабели низкого напряжения



Кабели НН изготавливаются в основном в **4-жильном исполнении** (3 фазных проводника и один нулевой проводник для соединения с заземленной нейтралью), однако сейчас всё чаще используют **пятипроводную сеть** (3 фазы, нулевой проводник и защитное заземление от пробоя на корпус оборудования).



Кабели с поливинилхлоридной (ПВХ) изоляцией

В качестве изоляции жил и защитных оболочек кабелей применяются пластмассы преимущественно на основе ПВХ пластика. Форма токопроводящих жил чаще всего **секторная**, так как она позволяет получить компактную и соответственно экономичную конструкцию кабеля. Материал жил – медь и алюминий.

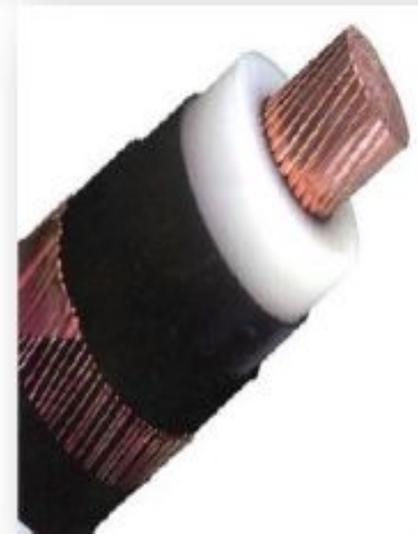
Кабели среднего напряжения (СН)

В качестве электрической изоляции кабелей СН используется применяется бумажная пропитанная и пластмассовая изоляция из сшитого полиэтилена.

Последние обладают очень хорошими электрическими, механическими и теплофизическими свойствами и выполняются в основном **в одножильном исполнении**.

Немаловажным преимуществом является также и отсутствие жидких компонентов в конструкции кабелей, что не накладывает дополнительных требований по перепаду высот вдоль трассы их прокладки.

Однако однофазная конструкция накладывает определенные ограничения на способы их прокладки в отличие от кабелей традиционных трехфазных конструкций с бумажно-пропитанной изоляцией.



Кабели с сшитой полиэтиленовой (СПЭ) изоляцией

Термические параметры силовых кабелей среднего напряжения с пропитанной бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого ПЭ

Основные термические параметры силовых кабелей среднего напряжения с пропитанной бумажной изоляцией и изоляцией из сшитого ПЭ		
Параметр	Изоляция	
	пропитанная бумажная	сшитый ПЭ
Длительно допустимая рабочая температура, °С	70	90
Максимально допустимая температура при перегрузках, °С	75	130
Максимально допустимая температура при КЗ, °С	200	250

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 сшитого полиэтилена на 6–35 кВ

- 1- круглая алюминиевая или медная уплотненная жила;
- 2- экран по жиле полупроводящего материала;
- 3- изоляция из сшитого 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 пластиката.

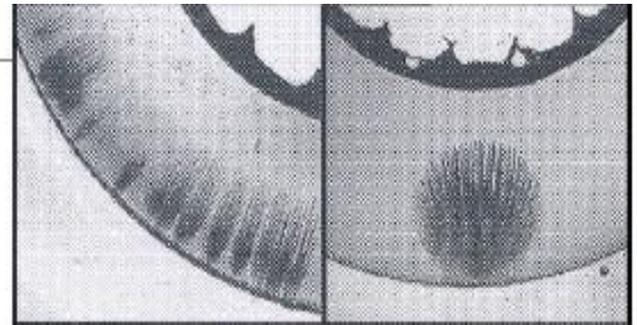
Недостатки СПЭ-изоляции:

1. Отсутствие «эффекта самозалечивания» СПЭ-изоляции.

2. Чувствительность СПЭ к разного рода посторонним микровключениям - образования трингов, которые в силу природы их образования можно разделить на тринги электрического (ЭТ) и водные тринги (ВТ) электрохимического происхождения.

3. СПЭ более чувствителен к воздействию высокочастотных перенапряжений.

4. Резкое ухудшение механических свойств полиэтилена при температурах, близких к температуре плавления ($220\text{ }^{\circ}\text{C}$) – термомеханическое старение, растрескивание оболочек и изоляции кабелей.



Типичный дефект изоляции из СПЭ, водный тринг



Поврежденная фаза кабеля, проложенного в стальной трубе

Кабели высокого напряжения (ВН)

В группу кабелей высокого напряжения включены кабели, предназначенные для работы в сетях переменного напряжения **110, 220, 330, 380, 500, 750 кВ** и выше, а также кабели постоянного напряжения от +100 до +400 кВ и выше.

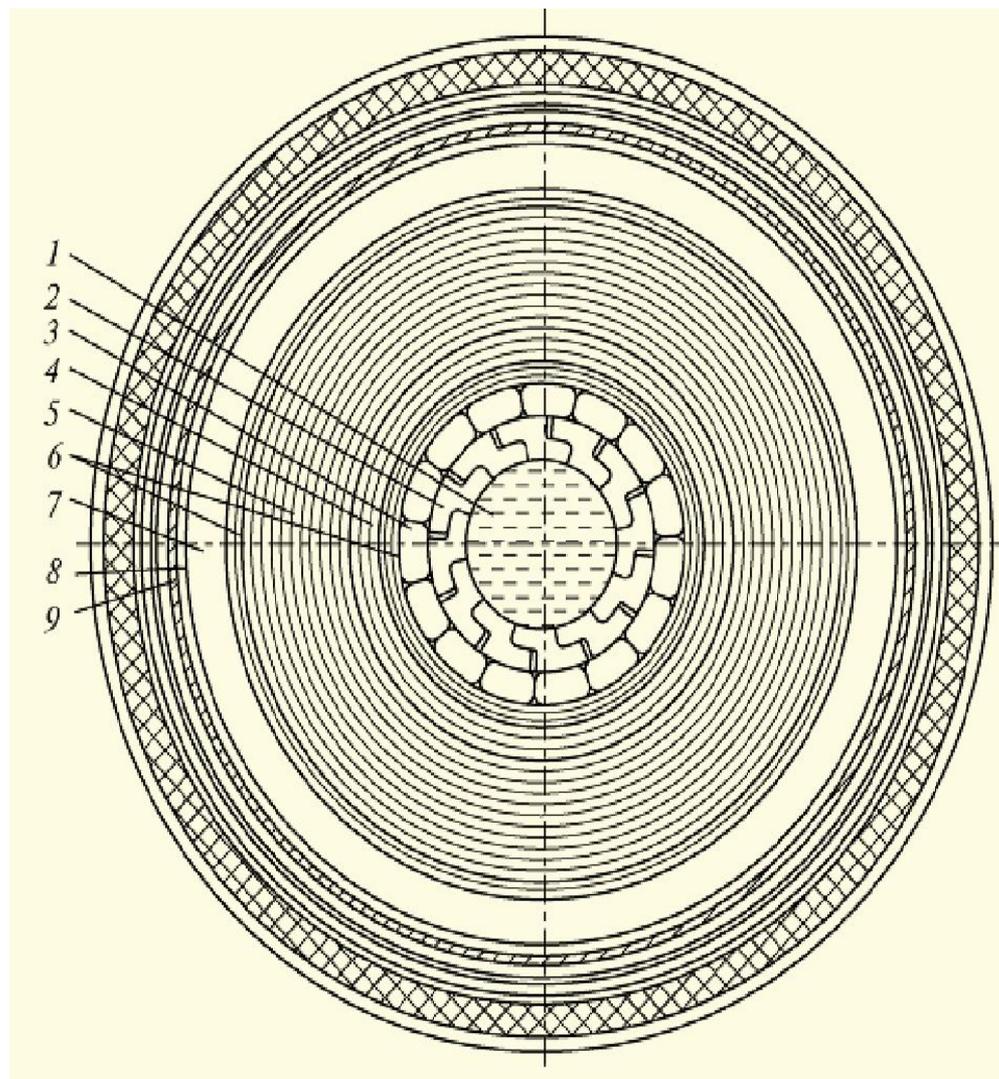
В основном изготавливаются с пропитанной маслом бумажной изоляцией - это маслонаполненные кабели низкого и высокого давления. Высокая электрическая прочность изоляции этих кабелей обеспечивается избыточным давлением масла в них (от 1 до 15 ат). Для напряжений до 275 кВ применяются также силовые кабели с наполнением газом (азотом) под давлением 15 ат (газонаполненный кабель).



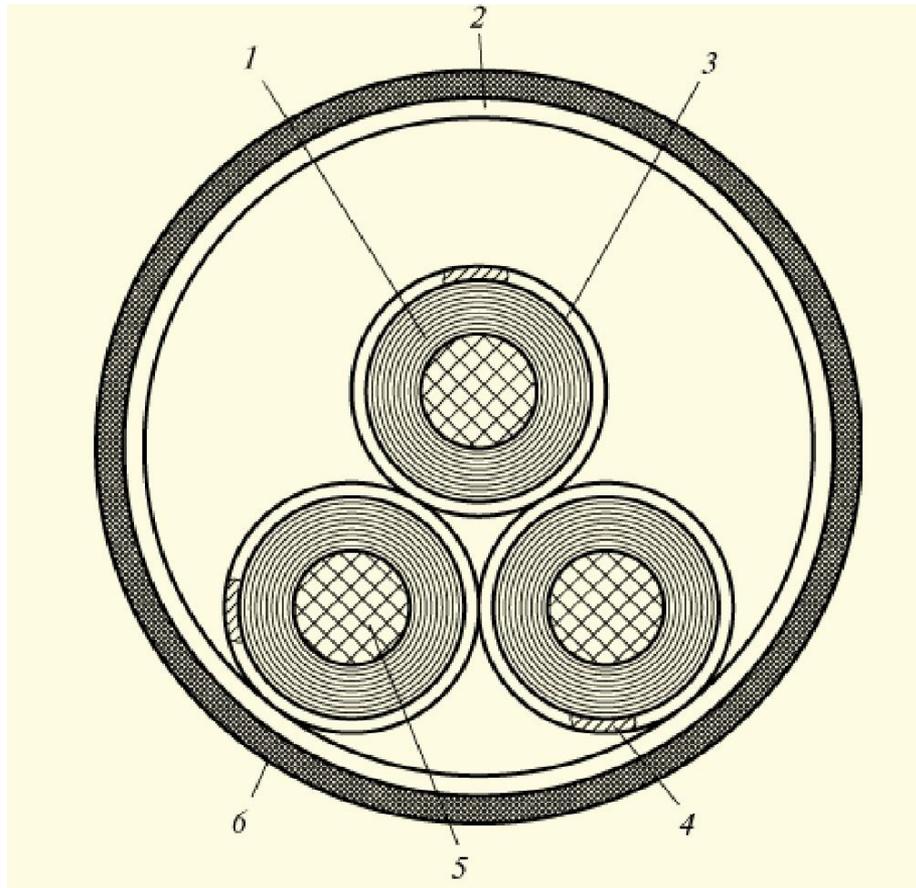
Маслонаполненный кабель 110 кВ



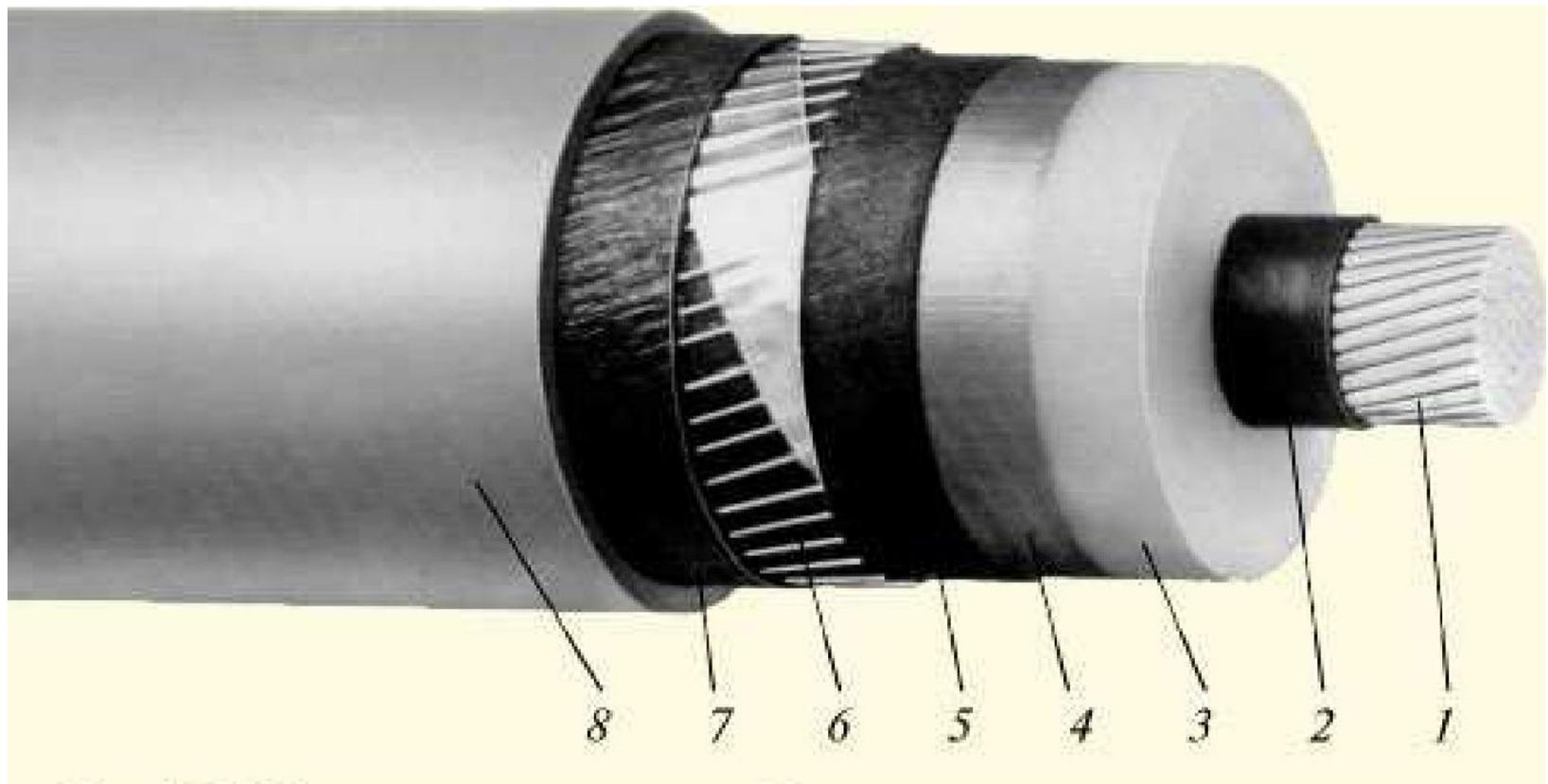
Газонаполненный кабель



Конструкция маслонаполненного кабеля низкого давления на напряжение 110 кВ:
1 – канал для циркуляции масла; 2 – Зобразные проволоки токопроводящей жилы; 3 – сегментные проволоки жилы; 4 – слой изоляции из уплотнённой бумаги; 5 - слой изоляции из неуплотнённой бумаги; 6 – экран из электропроводящей бумаги; 7 – свинцовая оболочка; 8 – уплотняющие ленты; 9 – защитные покровы



Конструкция маслонаполненного кабеля высокого давления в стальной трубе:
1 – бумажная изоляция пропитанная маслом; 2 – стальная труба; 3 – экран из медной ленты; 4 – медная проволока скольжения; 5 – токопроводящая жила; 6 – антикоррозионное покрытие



Конструкция силового кабеля высокого напряжения с изоляцией из сшитого ПЭ:

1 – токопроводящая жила; 2 – экран по токопроводящей жиле; 3 – изоляция; 4 – экран по изоляции; 5 ,7 – водонабухающая лента; 6 – проволочный экран; 8 – наружная оболочка

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Кабели высокого напряжения



Маслонаполненный кабель 110 кВ



Газонаполненный кабель

5 КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Маркировка силовых кабелей



Примеры маркировки силовых кабелей:

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

Отдельные отрезки кабелей напряжением до 1 кВ соединяются чугунными муфтами, напряжением выше 1 кВ - свинцовыми муфтами, залитыми специальным составом.

Кабельная муфта – это устройство, предназначенное для механического и электрического соединения кабелей в КЛ и для их подвода к электроустановкам и воздушным линиям электропередач.

Муфты могут быть как **соединительными**, так и **концевыми**.

Наибольшее распространение за рубежом и в России получили новые технологии изготовления кабельной арматуры на основе термоусаживаемых сшитых полимеров (полиэтилена, ПВХ), направленные на повышение надежности и экономичности кабельных электрических сетей на напряжение 1 - 10 кВ.

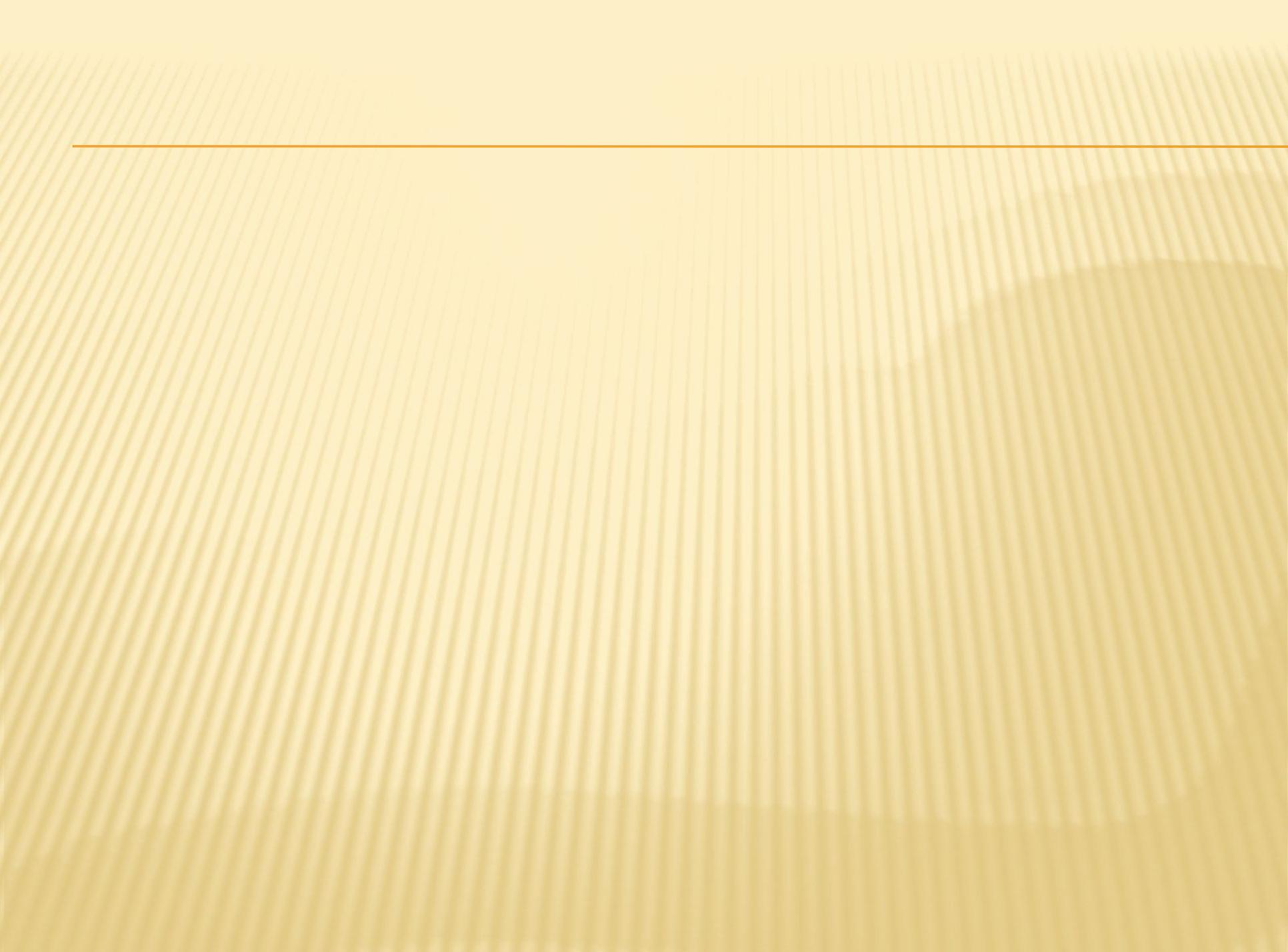
Также широкое применение имеют эпоксидные, свинцовые муфты и муфты холодной усадки.

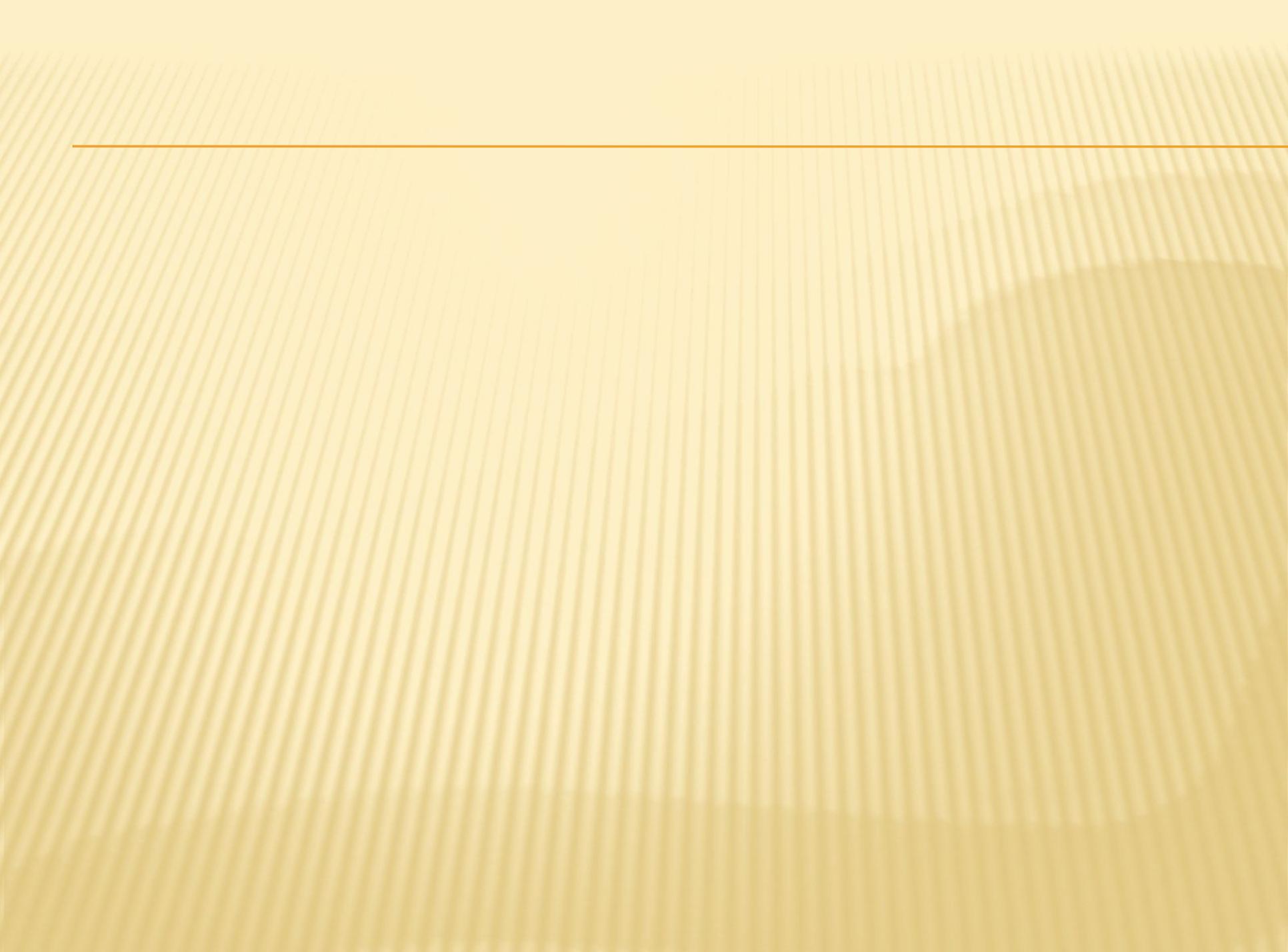


Кабельная муфта с концевой разделкой

Основные типы кабельной арматуры

Вид кабельной арматуры	Область применения	Основные эксплуатационные характеристики	Конструктивные элементы	Технологические особенности монтажа	Примечание
Концевые муфты (КМ)	Для соединения кабеля с элементами ЛЭП	Рабочие напряжения 1,6, 10, 110, 220, 500 кВ; климатическое исполнение У и ХЛ (от -60° до + 40°С)	Фарфоровый изолятор, заполненный изоляционной жидкостью, усиливающая изоляция, токовый вывод	Намотка из рулонов или лент, прессованные соединения жилы и наконечника, вакуумирование	В России могут быть изготовлены для всех видов кабелей
Кабельные вводы в элегазовые распределительные устройства (РУ) и трансформаторы	Для закрытого соединения кабеля с шиной элегазового РУ или обмоткой трансформатора	В элегазовое РУ на рабочее напряжение кабелей 110 и 220 кВ, климатическое исполнение У, но при температуре не ниже -25°С, в трансформаторы на рабочее напряжение 110, 220 и 500 кВ	Металлический кожух, эпоксидный или фарфоровый изолятор, заполненный изоляционной жидкостью, усиливающая изоляция, токовый вывод или токовая перемычка	Намотка из рулонов и/или лент, прессованные соединения жилы и наконечника, вакуумирование и вулканизация изоляции для вводов кабелей с пластмассовой изоляцией	В настоящее время для кабелей с пластмассовой изоляцией в России могут быть изготовлены вводы только на напряжение 110 кВ
Соединительные муфты (СМ)	Для соединения отдельных строительных длин кабелей	Рабочие напряжения 1,6, 10, 110, 220, 500 кВ, установка в земле или подземных сооружениях при температуре окружающей среды -10°С	Металлический кожух или термоусаживаемая трубка, усиливающая изоляция, соединительная гильза	Прессованные, сварные или паяные соединения жил, намотка из рулонов или лент, вакуумирование и вулканизация изоляции для СМ кабелей с пластмассовой изоляцией	В настоящее время для кабелей с пластмассовой изоляцией СМ в России могут быть изготовлены только на напряжение 110 кВ
Стопорные и переходные муфты	Для соединения двух кабелей, в том числе с разной изоляцией и с разделением жидких изоляционных сред, заполняющих кабели	Рабочее напряжение 110 кВ, климатическое исполнение УХЛ 3 при температуре окружающей среды -10°С	Металлический кожух, эпоксидный изолятор, усиливающая изоляция, токовые выводы, электроды, регулирующие напряжённость электрического поля	Намотка из рулонов и/или лент, прессованные соединения наконечников, вулканизация изоляции для кабелей с пластмассовой изоляцией, вакуумирование	Переходные муфты широко используются при реконструкции кабельных линий 110 кВ в г. Москве





Существенные преимущества перед кабельной арматурой на основе заливочных компаундов и изоляционных обмоточных материалов и обеспечивает:

- полную герметизацию кабелей и отличные изоляционные свойства;
- высокую стойкость к воздействию окружающей среды;
- повышенную механическую прочность;
- возможность применения современной технологии монтажа, позволяющей немедленно ввести муфту в эксплуатацию;
- длительное хранение комплектов деталей и материалов для монтажа муфт, которые практически не подвергаются старению;
- экологическую безопасность для монтажников и эксплуатационников, а также для окружающей среды.



Термоусаживаемая кабельная муфта

Устройство соединительной муфты



Способы прокладки кабелей напряжением 6... 10 кВ

Кабельные прокладки требуют меньших площадей по сравнению с воздушными и могут применяться при любых природных и атмосферных условиях.

Кабельные прокладки напряжением 6... 10 кВ применяются на предприятиях небольшой и средней мощности и в городских сетях.

Трасса кабельных линий выбирается кратчайшая с учетом наиболее дешевого обеспечения их защиты от механических повреждений, коррозии, вибрации, перегрева и от повреждений при возникновении электрической дуги в соседнем кабеле



Трасса кабельных линий

Способ и конструктивное выполнение прокладки выбираются в зависимости:

- от числа кабелей,
- условий трассы,
- наличия или отсутствия взрывоопасных газов тяжелее воздуха,
- степени загрязненности почвы,
- требований эксплуатации,
- экономических факторов и т.п.

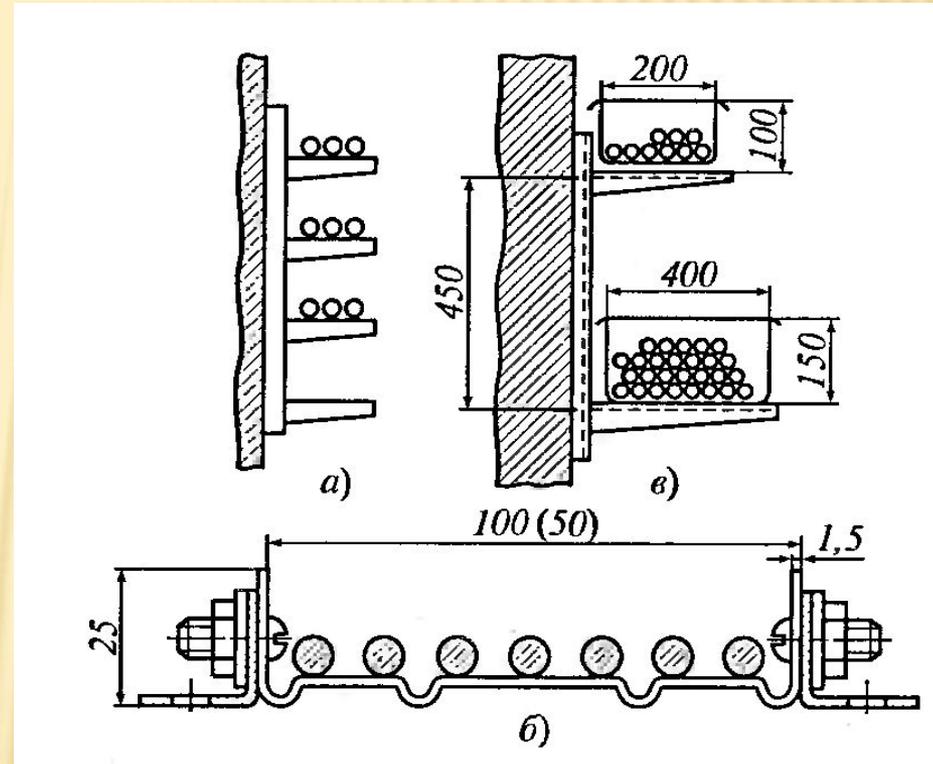
Прокладка кабелем может осуществляться несколькими способами:

- в траншеях,
- в каналах,
- в туннелях,
- в блоках,
- на эстакадах.

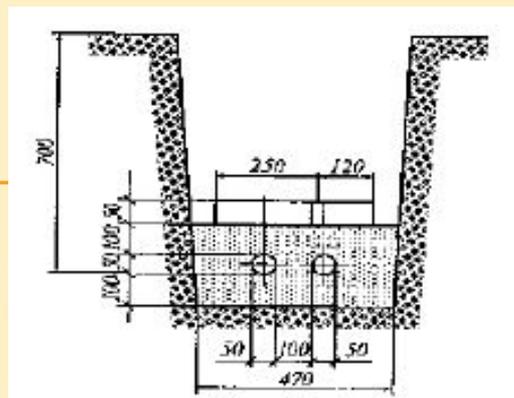


Внутри кабельных сооружений и производственных помещений предусматривают прокладку кабелей на стальных конструкциях различного исполнения

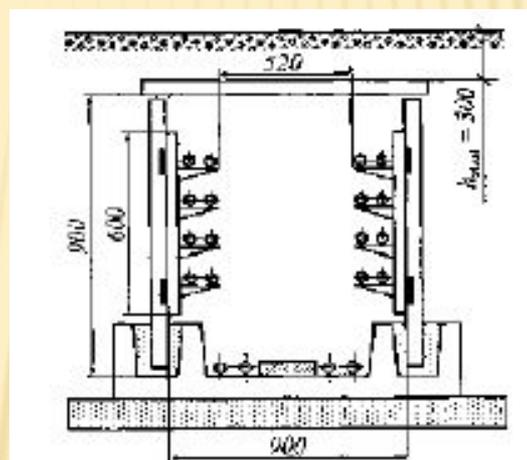
- На настенных конструкциях
- На перфорированных лотках
- В коробах



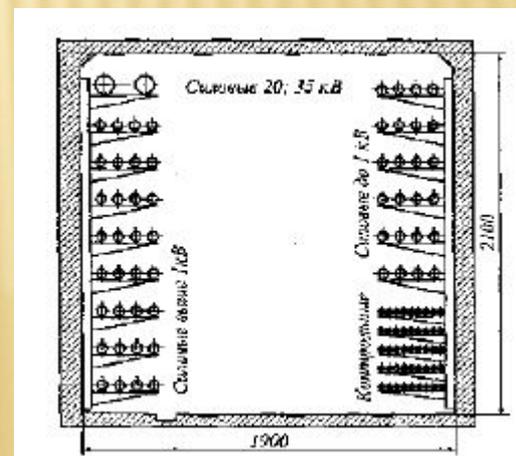
□ В траншеях



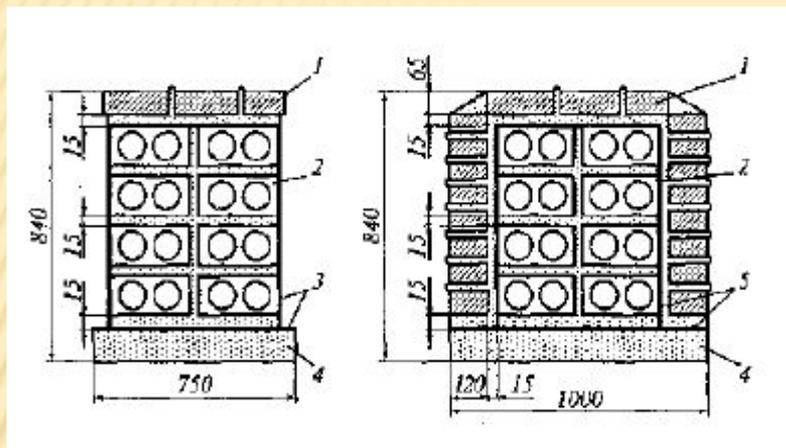
□ В каналах



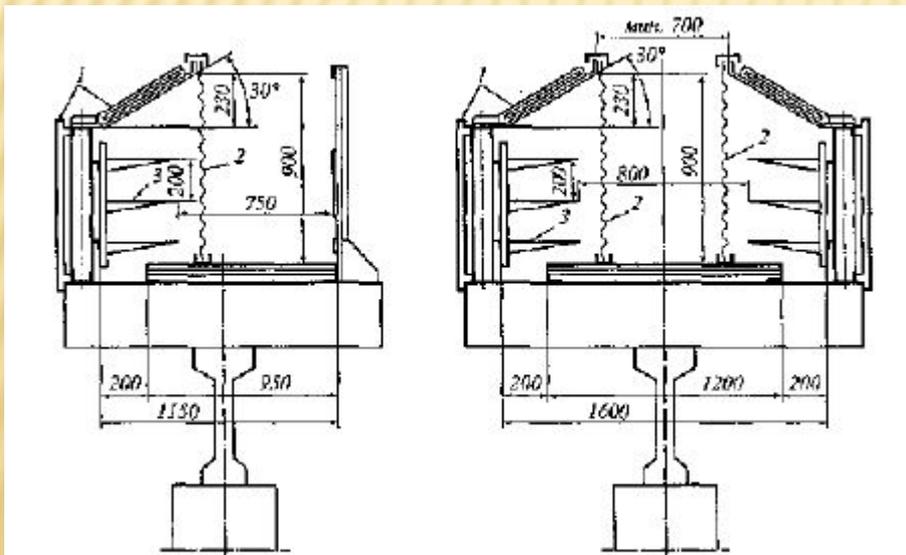
□ В туннелях



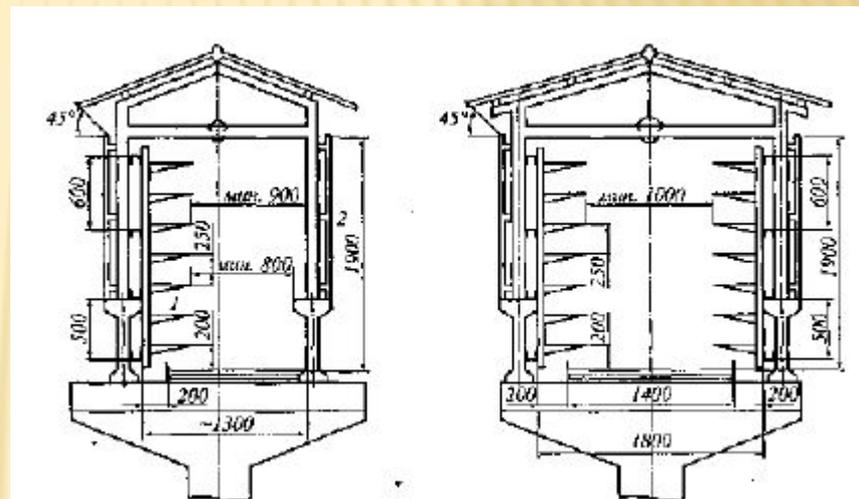
□ В блоках

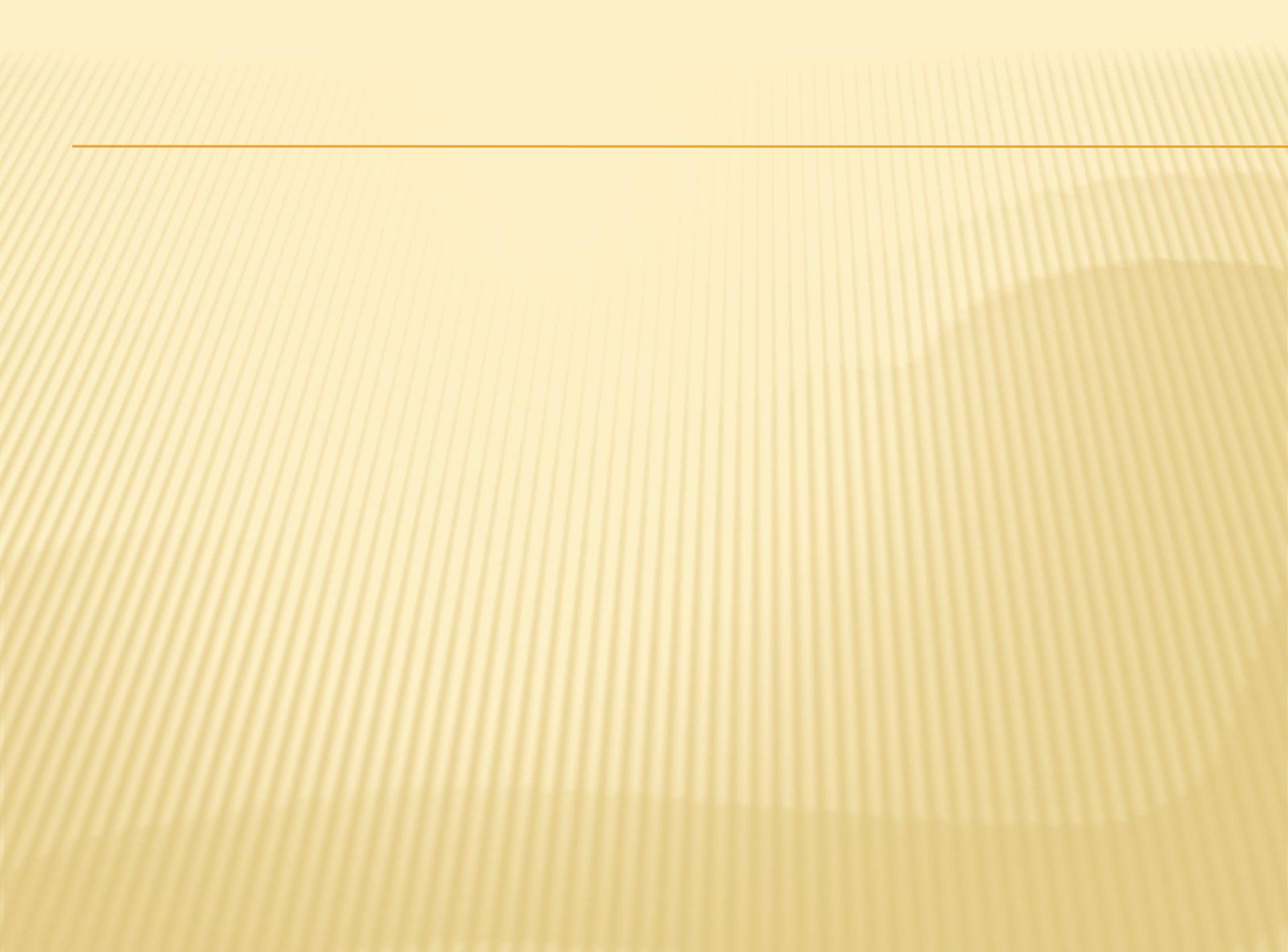


□ На эстакадах



□ На галереях





Прокладка кабелей в траншеях.

Наиболее простой является прокладка кабелей в траншеях (Она экономична и по расходу цветного металла, так как допустимые токи на кабели больше (примерно в **1,3** раза) при прокладке в земле, чем в воздухе.

Однако по ряду причин этот способ не получил широкого применения на промышленных предприятиях.

Прокладка в траншеях не применяется:

- на участках с большим числом кабелей;
- при большой насыщенности территории подземными и наземными технологическими и транспортными коммуникациями и другими сооружениями;
- на участках, где возможно разлитие горячего металла или жидкостей, разрушающе действующих на оболочку кабелей;
- в местах, где возможны блуждающие токи опасных значений, большие механические нагрузки, размывание почвы и т.

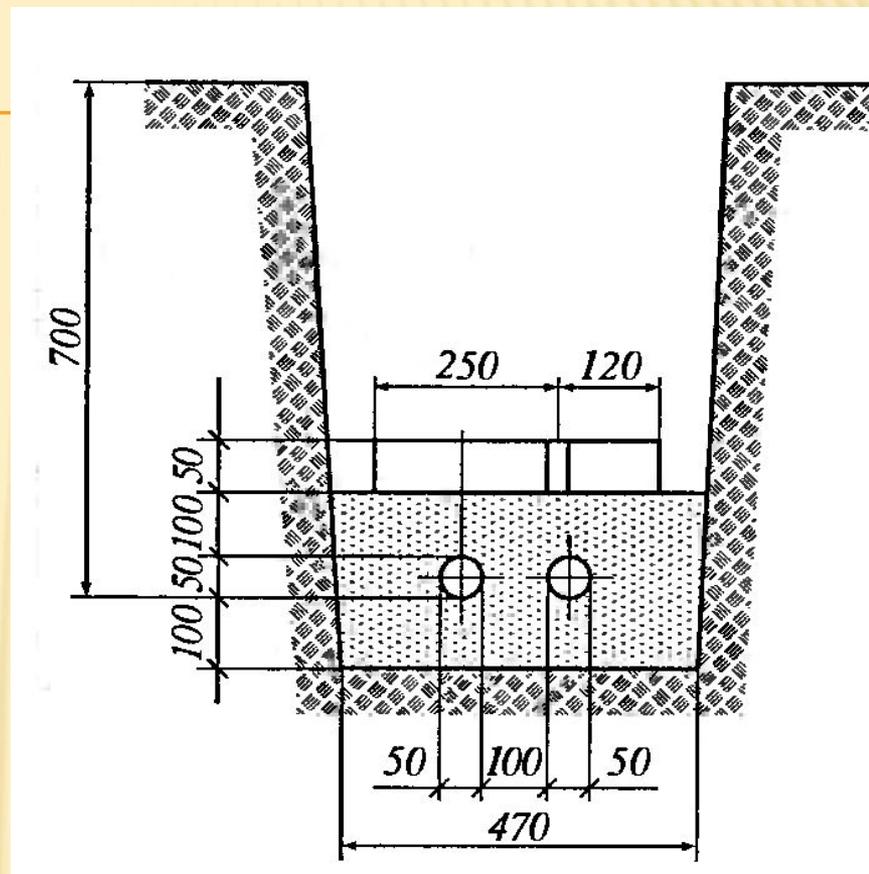
Земляная траншея для укладки кабелей должна иметь **глубину не менее 800 мм.**

На дне траншеи создают мягкую подушку **толщиной 100 мм из просеянной земли.**

Глубина заложения кабеля должна быть **не менее 700 мм.** Ширина траншеи зависит от числа кабелей, прокладываемых в ней.

Расстояние между несколькими кабелями напряжением до 10 кВ должно быть **не менее 100 мм.** Кабели укладывают на дне траншеи в один ряд.

Сверху кабели засыпают слоем мягкого грунта.



Прокладка кабеля в траншее

Для защиты кабельной линии напряжением выше 1 кВ от механических повреждений ее по всей длине поверх верхней подсыпки покрывают бетонными плитами или кирпичом, а линии напряжением до 1 кВ - только в местах вероятных разрытии.

Трассы кабельных линий прокладываются по непроезжей части **на расстоянии не менее:**

- 600 мм от фундаментов зданий,
- 500 мм до трубопроводов,
- 2000 мм до теплопроводов.



Прокладка кабеля в траншее

Прокладка кабелей в каналах.

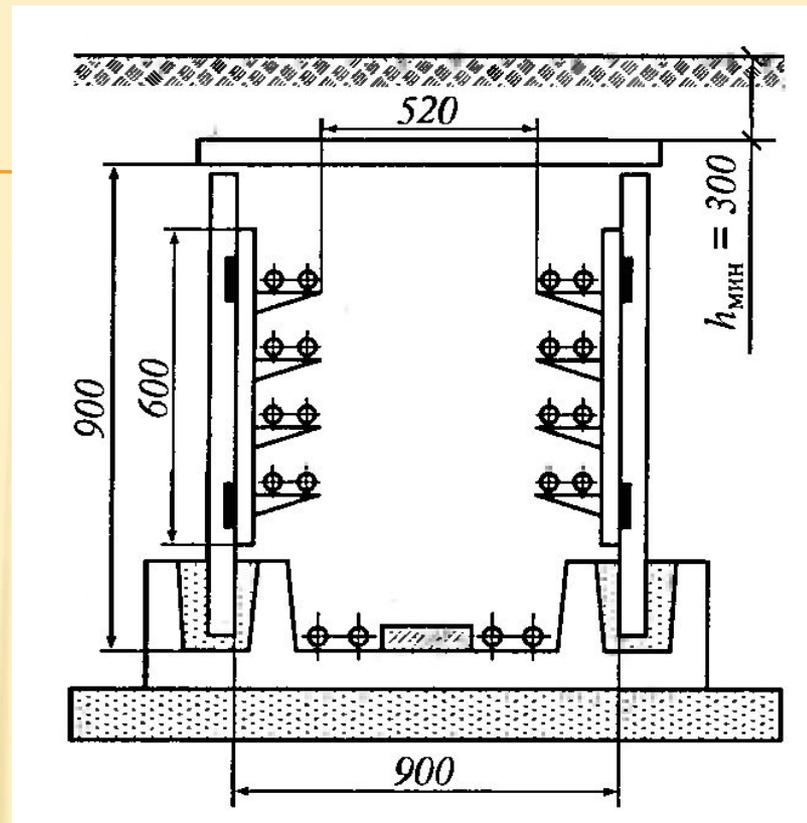
Прокладка кабелей в железобетонных каналах может быть **наружной и внутренней**

Этот способ прокладки более дорогостоящий, чем в траншеях.

При внецеховой канализации на неохраямемой территории каналы прокладываются под землей **на глубине 300 мм и более.**

Глубина канала не более 900 мм.

На участках, где возможно разлитие расплавленного металла, жидкостей или других веществ, разрушительно действующих на оболочки кабелей, кабельные каналы применять нельзя.



Прокладка кабелей в каналах.

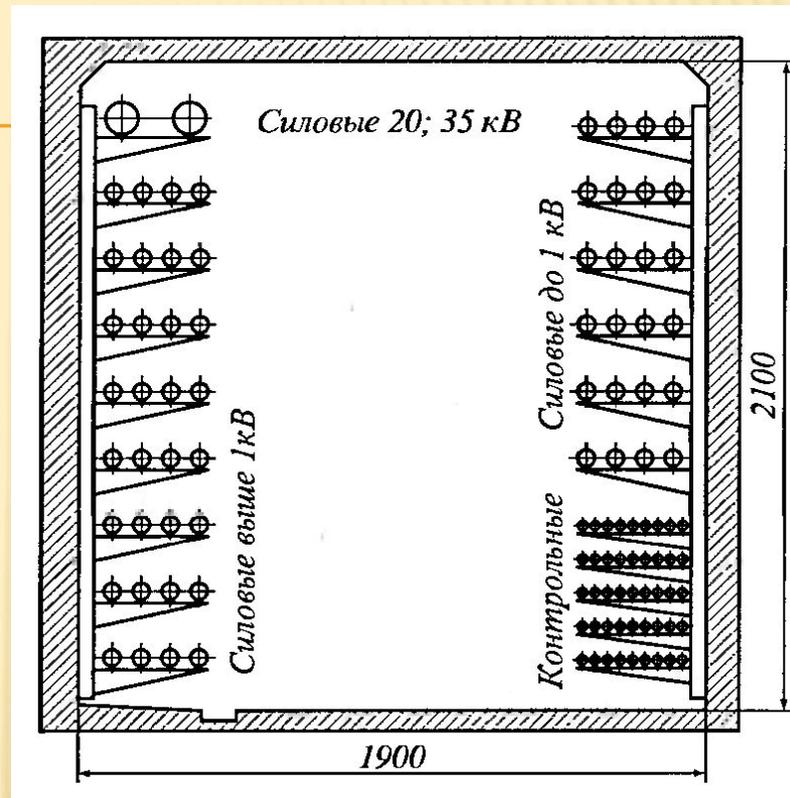
Прокладка кабелей в туннелях.

Прокладка в туннелях удобна и надежна в эксплуатации, но она оправдана **лишь при большом числе (более 30...40) кабелей**, идущих в одном направлении, например, на главных магистралях, для связей между главной подстанцией и распределительной и других аналогичных случаях.

Туннели бывают **проходные** высотой 2100 мм и **полупроходные** высотой 1500 мм.

Полупроходные туннели допускаются на коротких участках (до 10 м) в местах, затрудняющих прохождение туннелей нормальной высоты.

Глубина заложения туннеля от верха покрытия принимается не менее 0,7 м.



Прокладка кабелей
в туннелях

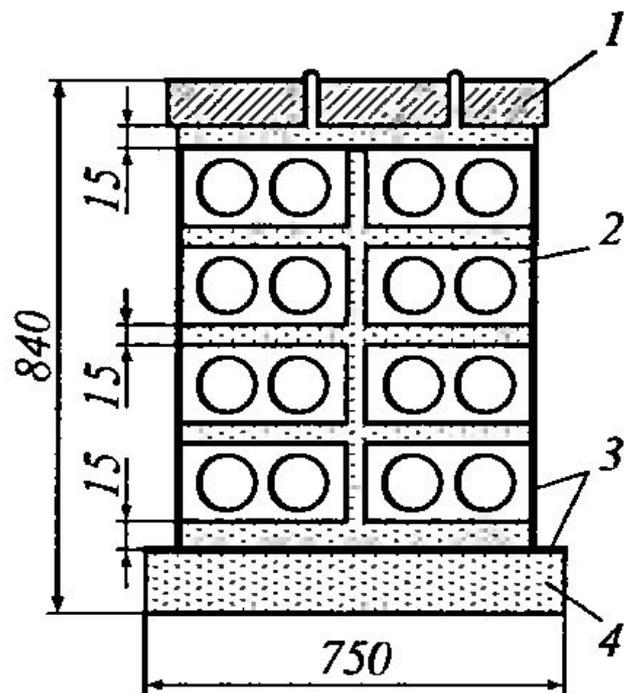
Прокладка кабелей в блоках.

Прокладка кабелей в блоках надежна, но наименее экономична как по стоимости, так и по пропускной способности кабелей.

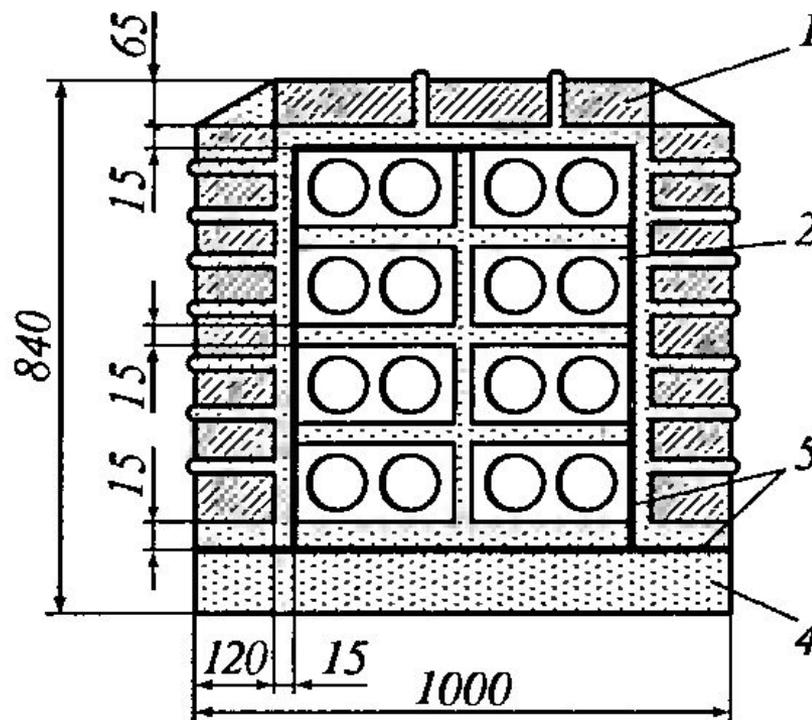
Прокладка кабелей в блоках рекомендуется в следующих случаях:

- в местах пересечения с железными и автомобильными дорогами;
- в условиях стесненности по трассе (при большом числе других подземных коммуникаций и сооружений);
- при вероятности разлива металла или агрессивных жидкостей в местах прохождения кабельных трасс,
- при прокладке кабельных линий в агрессивных по отношению к оболочке кабелей грунтах;
- при необходимости защиты кабелей от блуждающих токов.

Тип кабельных блоков выбирается в зависимости от уровня грунтовых вод, их агрессивности и наличия блуждающих токов.



а)



б)

Блоки из железобетонных панелей:

а - для прокладки в сухих грунтах;

б - для прокладки во влажных и насыщенных водой грунтах;

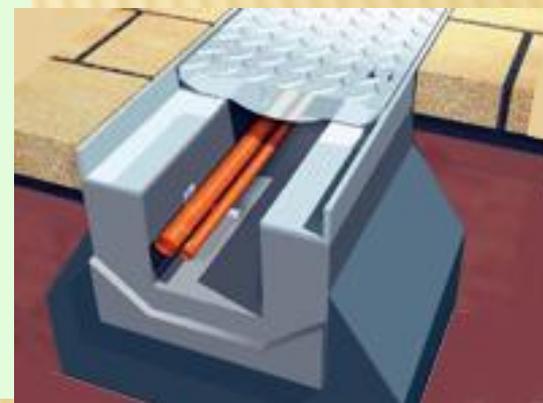
1 - кирпич;

2 - железобетонная панель;

3 - окрасочная гидроизоляция;

4 - бетон;

5 - оклеенная гидроизоляция



Бетонные блоки для прокладки кабелей

Прокладка кабелей на галереях и эстакадах.

При больших потоках кабелей целесообразно вместо туннелей применять для прокладки кабелей открытые эстакады и закрытые галереи, а также использовать стены зданий, в которых нет взрыво- и пожароопасных производств.



Открытая
кабельная эстакада

Прокладка кабелей на эстакадах и в галереях целесообразна:

- на химических, нефтехимических, металлургических и других заводах, территории которых насыщены различными подземными коммуникациями;
- на предприятиях с большой агрессивностью почвы;
- в местах, где возможно значительное скопление при подземных способах прокладки (каналы и туннели) взрывоопасных газов тяжелее воздуха.



Кабельная галерея

□ Выбор и проверка КЛ

В силовых сетях сечения проводников выбираются по расчетному току соответствующего участка сети по таблицам длительно допустимых токовых нагрузок.

Сечения КЛ подвергаются обязательной проверке:

1. По нагреву длительно допустимым токам нагрузки;
2. По потере напряжения;
3. По термической стойкости к токам КЗ;
4. По экономической плотности тока.

По нагреву длительно допустимым токам нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; I_p < I_{\text{доп}}$$

$$I_{\text{рав.}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}; I_{\text{рав.}} < I_{\text{доп ав.}}$$

где S_p – расчетная полная мощность, кВА;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, кВ;

I_p и $I_{\text{рав.}}$ – номинальный ток в рабочем и аварийном режиме, А;

n – количество КЛ, шт.

□ Выбор и проверка КЛ

Понижение напряжения на зажимах силовых электроприемников при нормальном режиме их работы допускается согласно ПУЭ не более 5 % номинального. Поэтому электрические сети после расчета по нагреву проверяют **по потерям напряжения**. При большой длине этот расчет является определяющим для выбора сечения проводников.

$$l_{\text{доп}} = l_{\Delta U 1\%} \Delta U_{\text{доп}} \frac{I_{\text{доп}}}{I_{\text{р}}},$$

$\Delta U_{\text{доп}}$ – допустимые потери напряжения (10% – послеаварийный режим, 5% – нормальный режим);

$l_{\Delta U 1\%}$ – длина на 1% потерю напряжения (справочное значение)

$$\Delta U_{\text{ф}} \leq \Delta U_{\text{доп}}$$

$$l_{\text{ф}} \leq l_{\text{доп}}$$

□ Выбор и проверка КЛ

По термической стойкости к токам короткого замыкания:

$$S_{\text{терм.ст.}} = \alpha \cdot I_{\infty} \sqrt{t_{\text{п}}},$$

где I_{∞} - установившееся значение тока к.з;

$t_{\text{п}}$ – приведенное время срабатывания защиты, $t_{\text{п}} = t_{\text{эл.ап.}} + t_{\text{РЗА}}$,

$t_{\text{эл.ап.}}$ – собственное время срабатывания электрических аппаратов;

$t_{\text{РЗА}}$ - собственное время срабатывания релейной защиты и автоматики;

α – температурный коэффициент, учитывающий ограничение допустимой температуры нагрева жил провода.

□ Выбор и проверка КЛ

По экономической плотности тока:

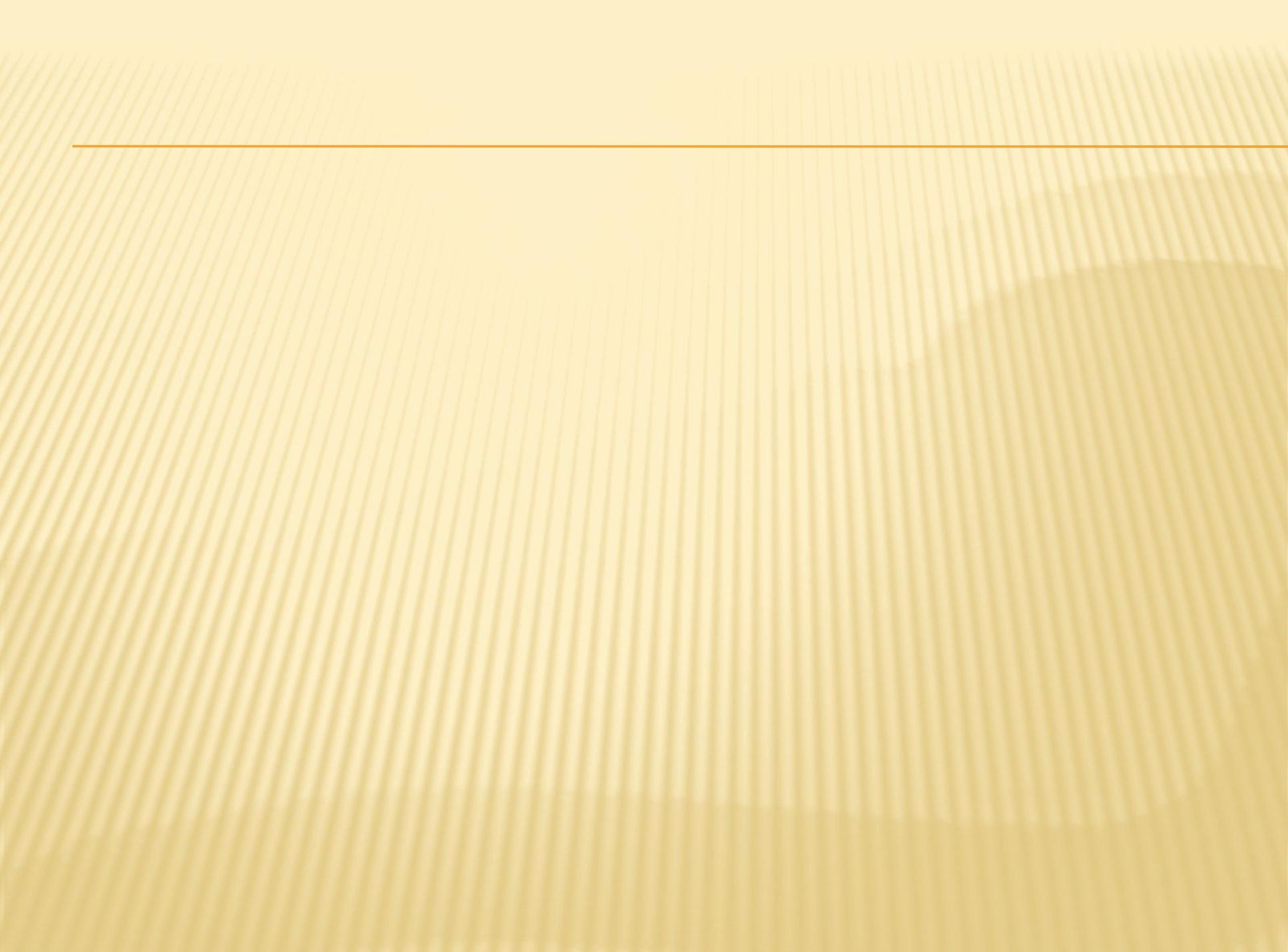
$$S_э = \frac{I_p}{j_э},$$

где $j_э$ – экономическая плотность тока, А/мм² (определяется по ПУЭ).

По $S_э$ выбирается ближайшее большее стандартное значение сечения кабеля соответствующего напряжения и марки.

Проверке по экономической плотности тока не подлежат:

- сети промышленных предприятий и сооружений напряжением до 1000 В при числе часов использования максимума нагрузки предприятия до 4000 - 5000;
- ответвления к отдельным электроприемникам напряжением до 1000 В, а также осветительные сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий, проверенные по потере напряжения;
- сборные шины электроустановок всех напряжений;
- проводники, идущие к сопротивлениям, пусковым реостатам и т.д.;
- сети временных сооружений, а также устройства с малым сроком службы (3 - 5 лет);
- при длине КЛ менее 1 км.



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 Московю 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.