

Внешняя изоляция линий и распределительных устройств

Изоляторы высокого напряжения

Основные понятия и определения

Вид изоляторов	Применение
Линейные	Изоляция и крепление проводов воздушных линий (ВЛ)
Станционные	Изоляция и крепление шин токопроводов в распределительных устройствах электрических станций и подстанций
Аппаратные	Элементы конструкции электрических аппаратов различного назначения

Базовые требования

А) Электрическая прочность Б) Механическая прочность В)
Трекингостойкость

Материалы изоляторов

Электротехнический

фарфор

Собственная
электрическая
прочность

$$E_{пр} = 20-25 \text{ кВ/мм}$$

Механическая
прочность

$$\sigma_{сж} = 400 - 700 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{изг} = 100 - 150 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{разр} = 45 - 70 \text{ МПа}$$

Устойчив к трекингу
и агрессивным
воздействиям

Малощелочное закаленное стекло

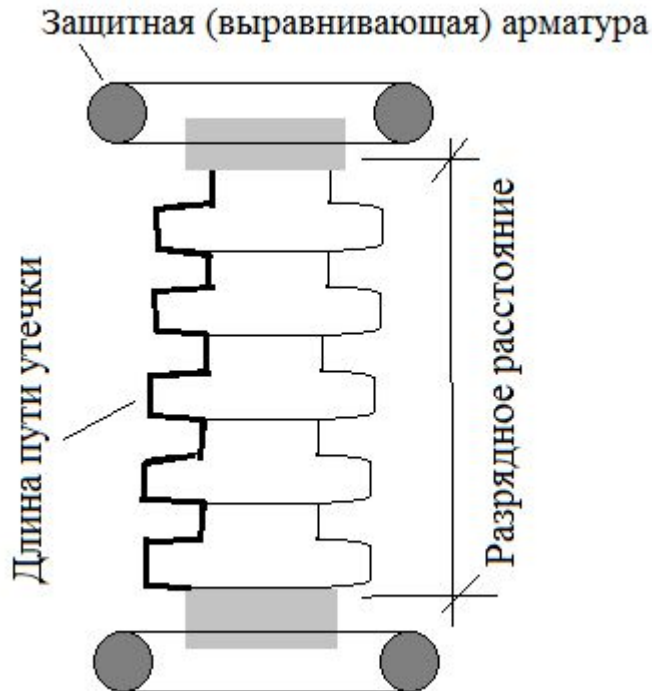
Мало уступает фарфору по основным характеристикам

Литые эпоксидные изоляторы и полимерные изоляционные конструкции

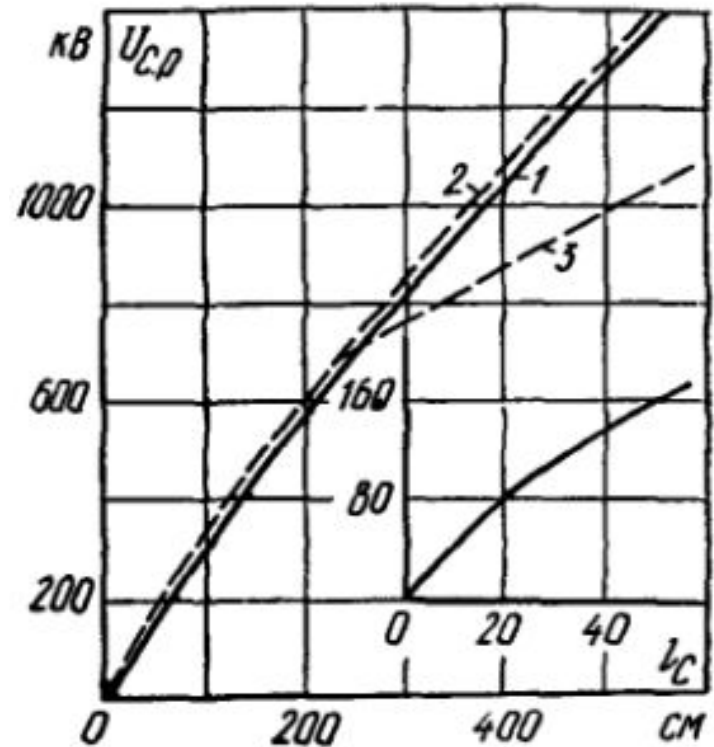
Более низкая механическая прочность, трекингостойкость, меньшая масса

Материалы арматуры крепления

Чугун, сталь, цветные металлы, сплавы, высококачественный цемент



Разрядное напряжение



Разрядное расстояние

Правило выбора материала и геометрии:

$U_{\text{перекрытия}} = 0.6 U_{\text{сквозного пробоя}}$

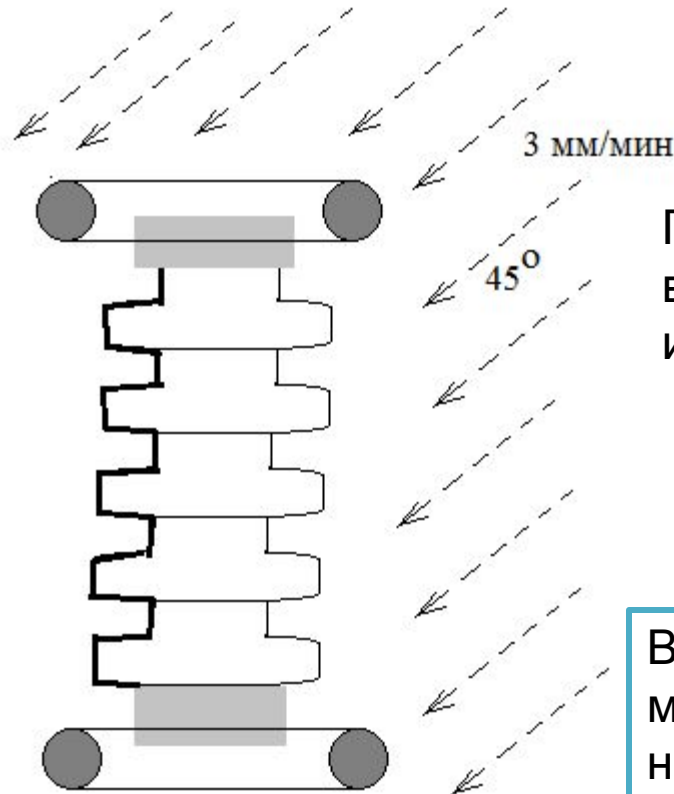
1, 2 – среднее и минимальное значение, 3 – без защитной арматуры

Элементы выбора изоляторов

Нормируется длина пути утечки по ГОСТ $L_{эфф} = L_y / 1.3$

$U_{выдерживаемое} > U_{наибольшее\ рабочее} * K$, K – кратность коммутационных перенапряжений $K \leq 3$

$U_{выдерживаемое}$ измеряется при искусственном дожде



Нормируются U выдерж. при грозовом импульсе ($K_i = 1.2 - 1.3$ при полной волне)

При $U_n > 220$ кВ нормируется напряжение выдерживаемое при коммутационных импульсах

Собственная прочность изолятора

Электромеханическая прочность для подвесных изоляторов при воздействии механической нагрузки

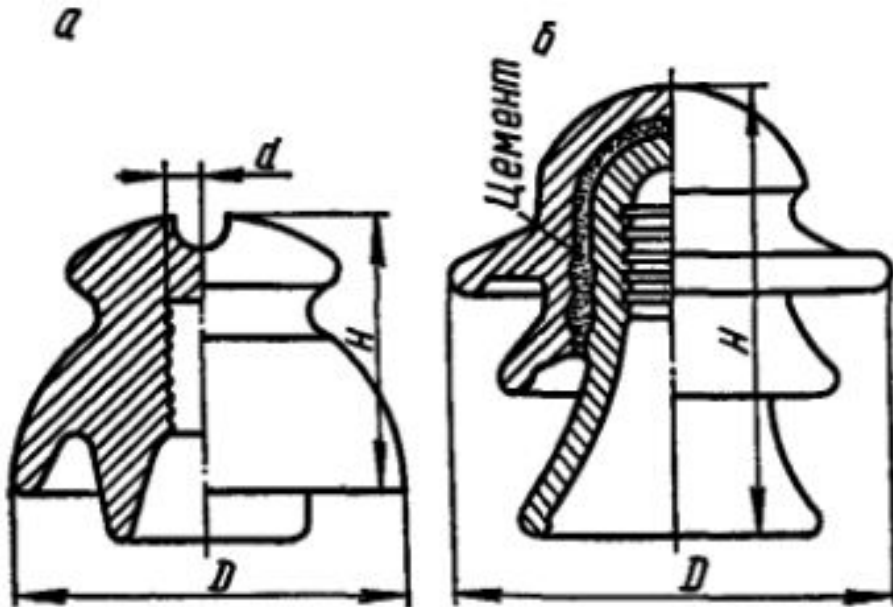
Величина минимальной разрушающей механической нагрузки на изолятор, находящийся под напряжением $(0.6-0.7)U_{разр}$

Нормируемые механические характеристики изоляторов:

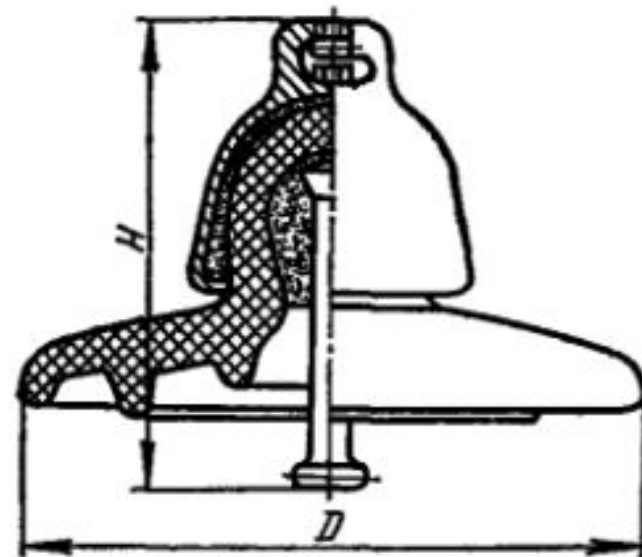
Подвесные: выдерживаемое растягивающее усилие

Опорные: выдерживаемое изгибающее усилие

Линейные изоляторы имеют два вида - штыревые и подвесные



Линейные штыревые изоляторы:
а — типа ШФ (6—10 кВ); б — типа ШФ (20 кВ).



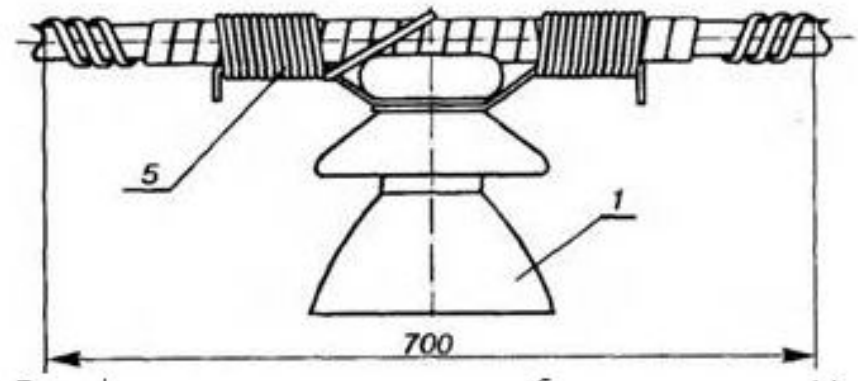
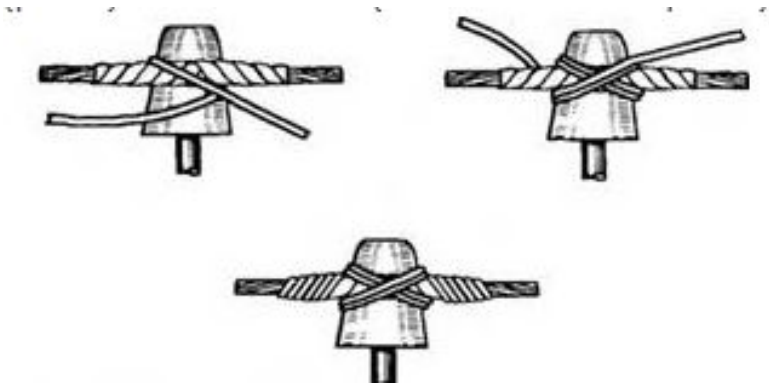
Подвесной изолятор тальчатого типа.

Монтаж штыревых изоляторов



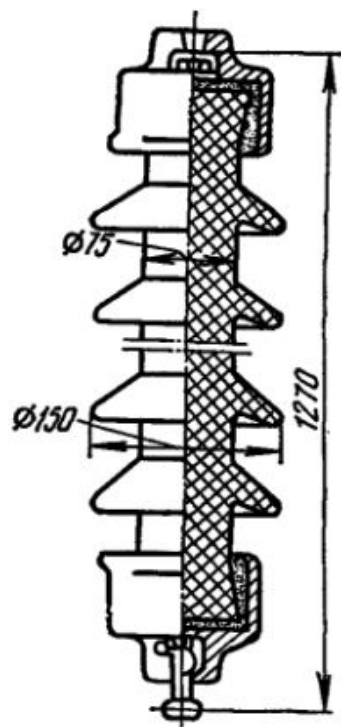
Боковая вязка провода

Головная вязка провода



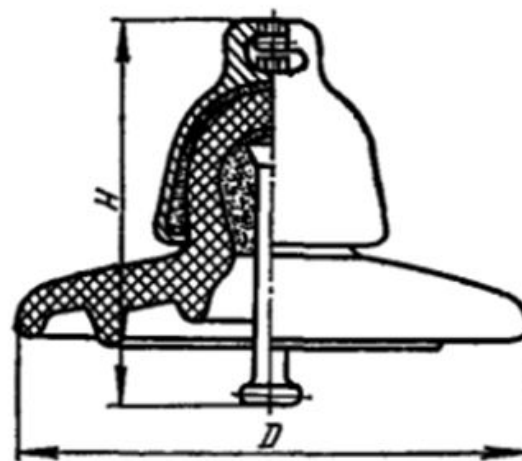
Характеристики штыревых линейных изоляторов

Тип изолятора	Размеры, мм		Электро-механическая нагрузка, Н	Сухоразрядное напряжение, кВ	Мокроразрядное напряжение, кВ	Импульсное 50%-ное разрядное напряжение, кВ	
	высота H	Диаметр D				+	-
ШФ6-А	94	126	13 720	50	28	63	81
ШФ10-А	105	140	13 720	60	34	90	112
ШС10-А	110	150	13 720	60	34	90	—
ШФ20-А	199	185	19 600	86	57	—	200



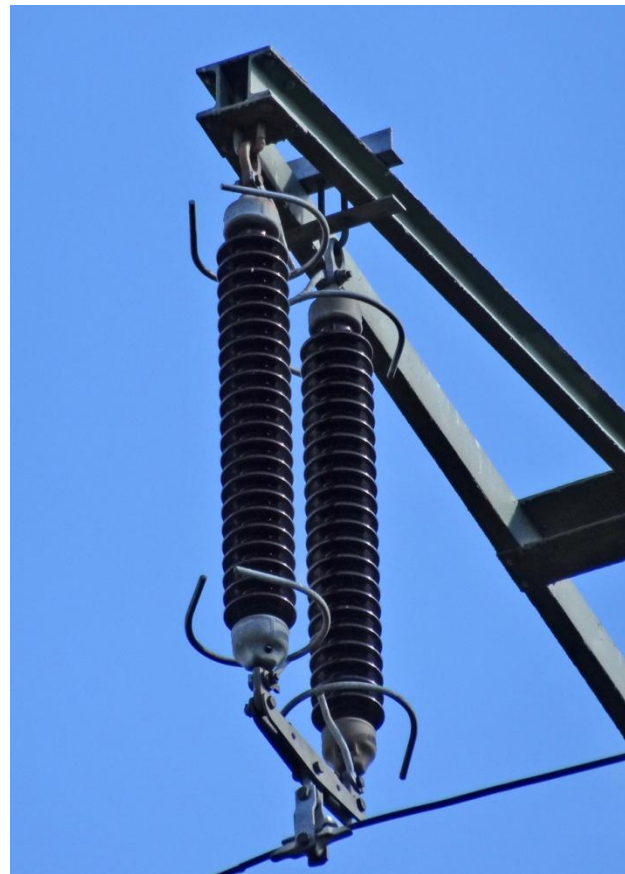
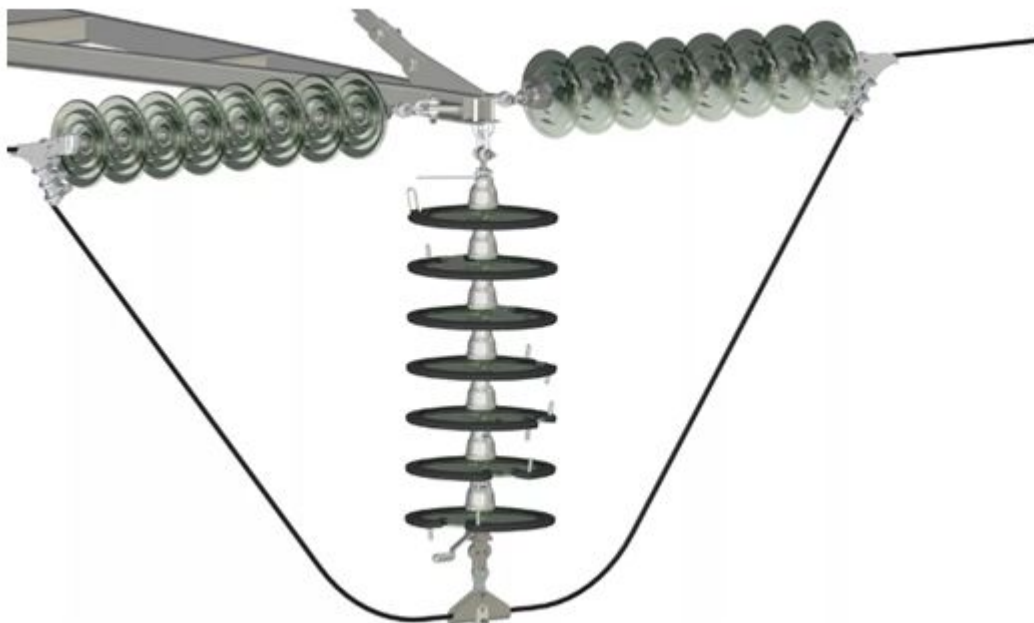
Подвесной изолятор стержневого типа
СФ 110/2.25

Подвесные изоляторы делятся на тарельчатые и стержневые

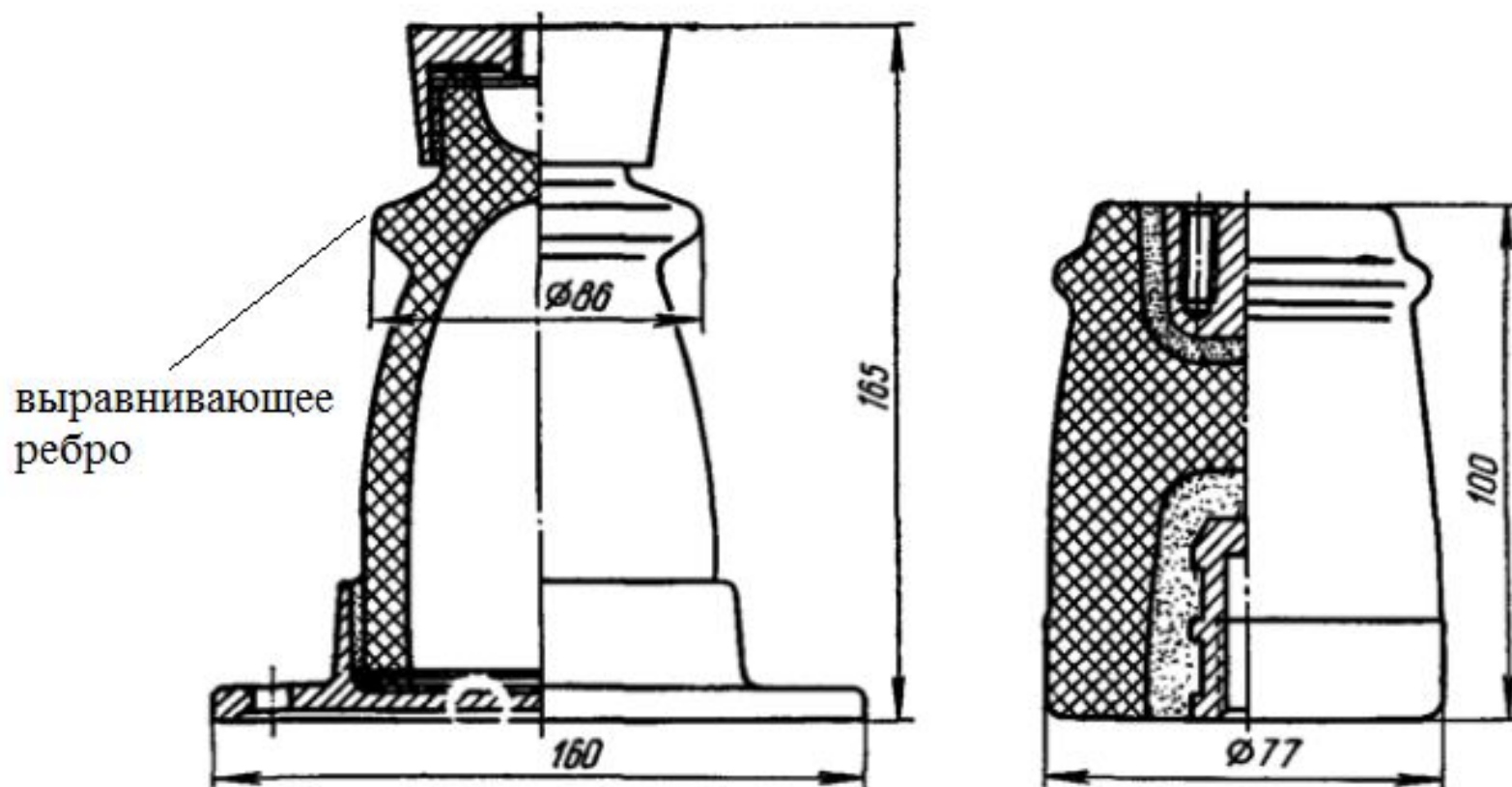


Подвесной изолятор тарельчатого типа.

Монтаж подвесных изоляторов



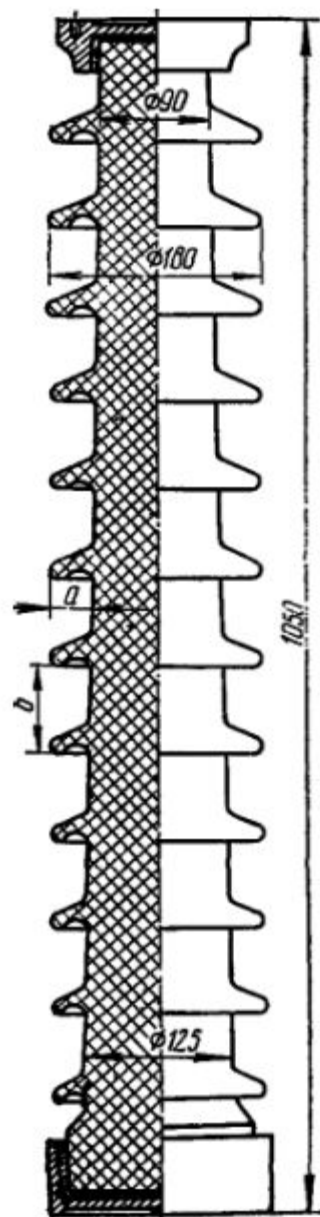
Опорные изоляторы



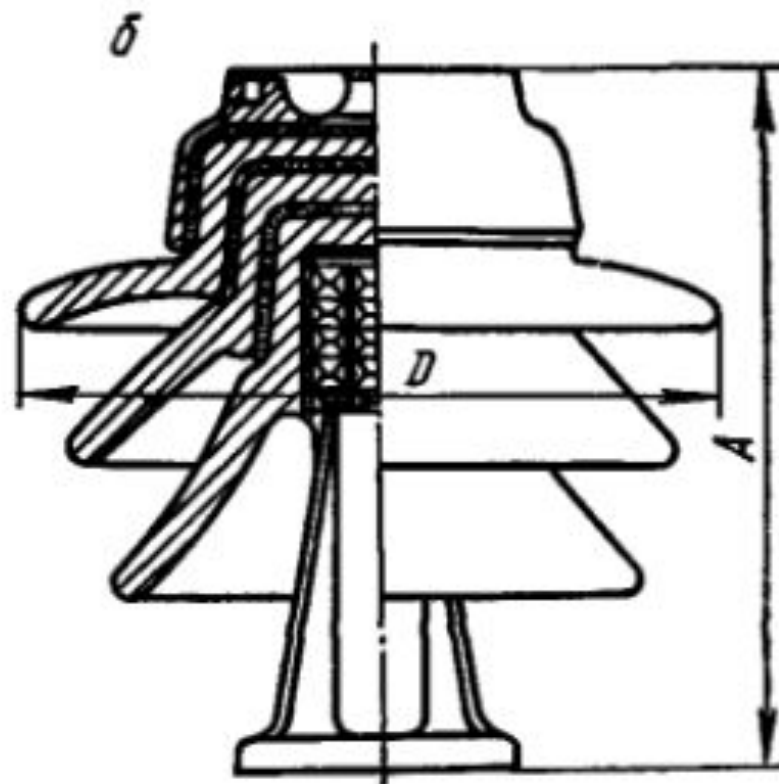
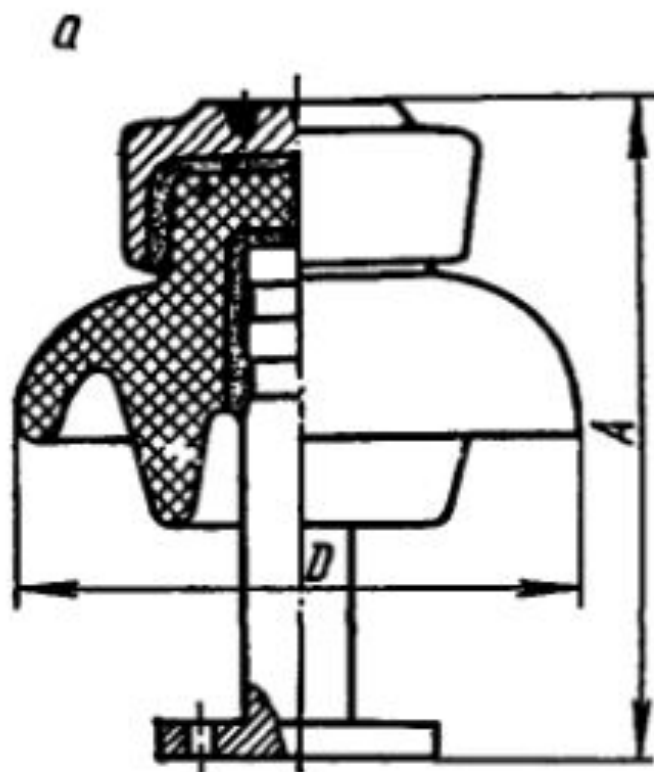
Опорные изоляторы типа ОФ-6 для внутренней установки.

Основные характеристики опорных изоляторов

Тип изолятора новый (старый)	Класс напря- жения, кВ	Высо- та, мм	Длина пути утеч- ки, см	Най- боль- ший диа- метр фарфо- ра, мм	Меха- ничес- кая проч- ность, Н	Испытатель- ное напряже- ние 50 Гц, кВ (не менее)		Испы- татель- ное им- пульс- ное нап- ряже- ние, кВ
						в су- хом состоя- нии	под дож- дем	
ОФ-6-375 (ОА-6)	6	165	—	86	3675	36	—	60
ОФ-10-3000 (ОМЕ-10)	10	134	—	180	29400	47	—	80
ОНШ-10-500 (ШН-10)	10	190	22,5	160	4900	47	34	80
ОНШ-35-2000 (ИШД-35)	35	400	86	460	19600	110	85	195
ОНС-110-300 (СТ-110)	110	1050	168	200	2940	295	215	480
5ОНШ-35-2000	220	2000	450	460	2450	520	425	950



Стержневой изолятор
на 330 кВ (свыше 330 кВ
одиночные изоляторы не

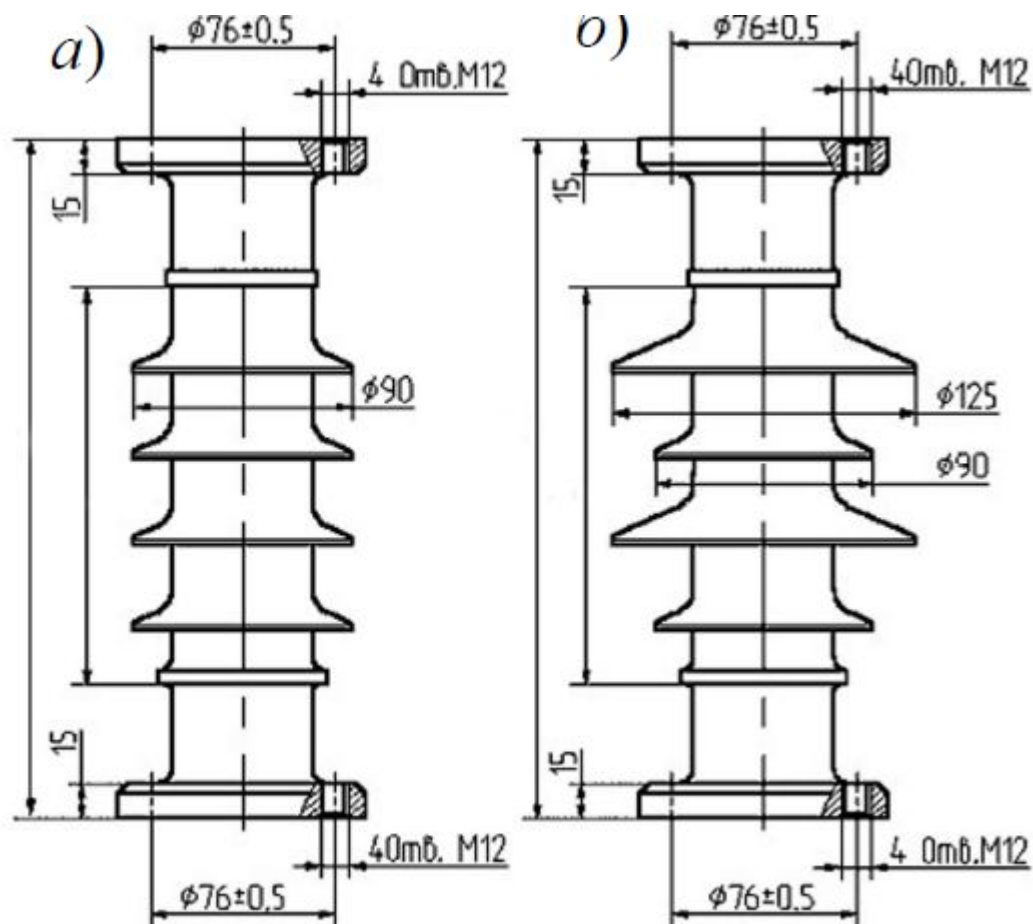


Опорные штыревые изоляторы для наружной установки:

a — ОШШ-10-500; *б* — ОШШ-35-2000.



Полимерные изоляторы

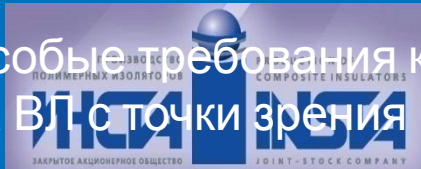


Полимерные опорные изоляторы на 10 кВ

Механическая основа - стеклопластиковый стержень

Электроизоляционная оболочка – кремнийорганическая композиция (трекингостойкая резина)

Особые требования к технологии полимерной изоляции на ВЛ с точки зрения надежности.



У полимерных подвесных изоляторов тоже есть своя эволюция:

I поколение



Клеевой (шашлычной) конструкции с кремнийорганической защитной оболочкой



Цельнолитой с полиэфирной защитной оболочкой

II поколение



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

III поколение

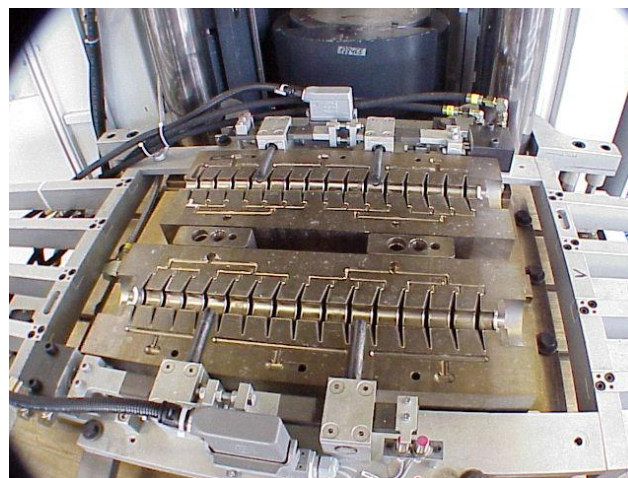


«ИНСТА»
Цельнолитой с кремнийорганической оболочкой и защитой от проникновения влаги узла сопряжения оконцевателя с защитной оболочкой

Литьевые машины



Двухместные прессформы для отливки защитных оболочек
изоляторов типа ЛК на напряжение 110 и 220 кВ



Участок отливки защитных оболочек
изоляторов типа ЛК на напряжение 10
- 35 кВ



Участок испытаний на механическую
прочность



Производство линейных полимерных изоляторов

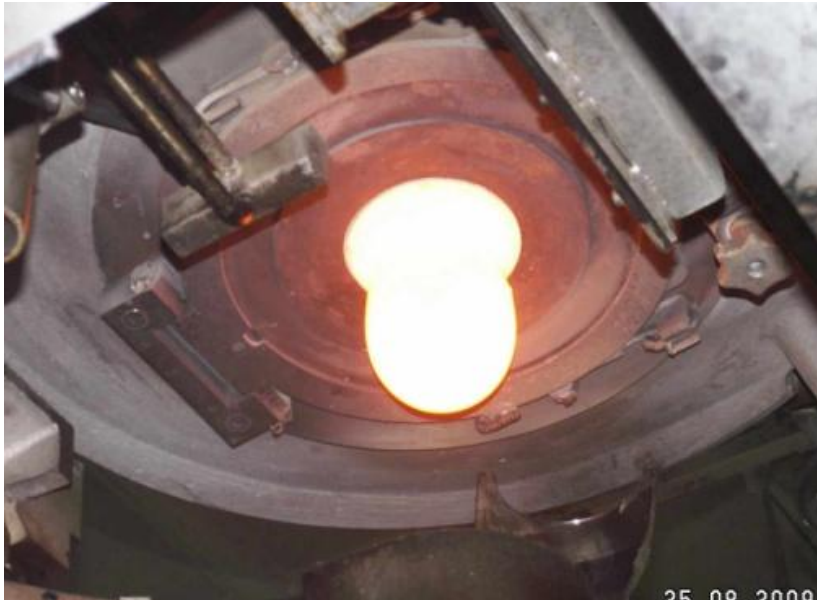


Современное производство стеклянных тарельчатых изоляторов



Технологический процесс производства стеклянных подвесных изоляторов





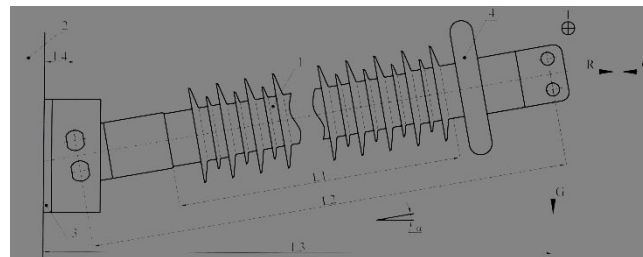
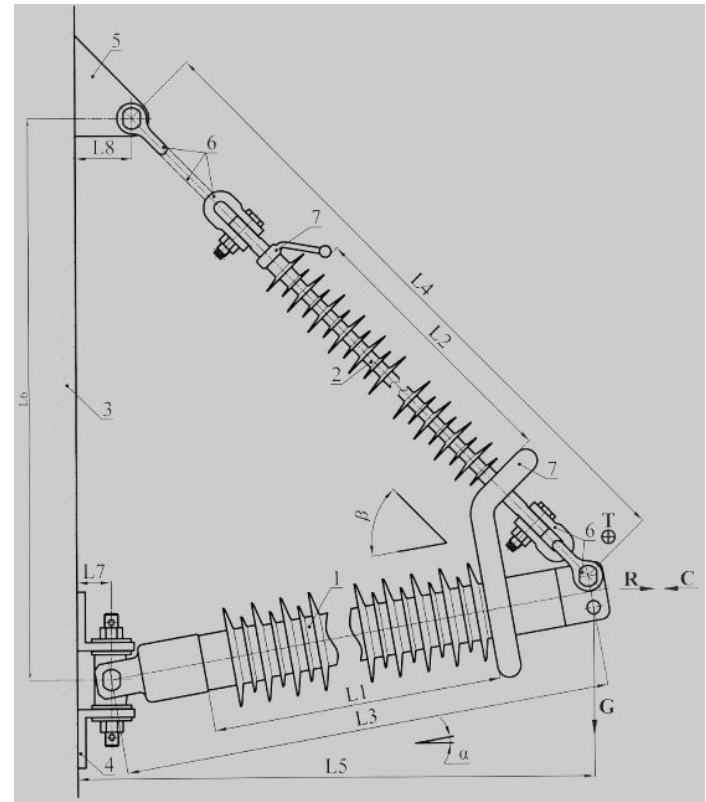
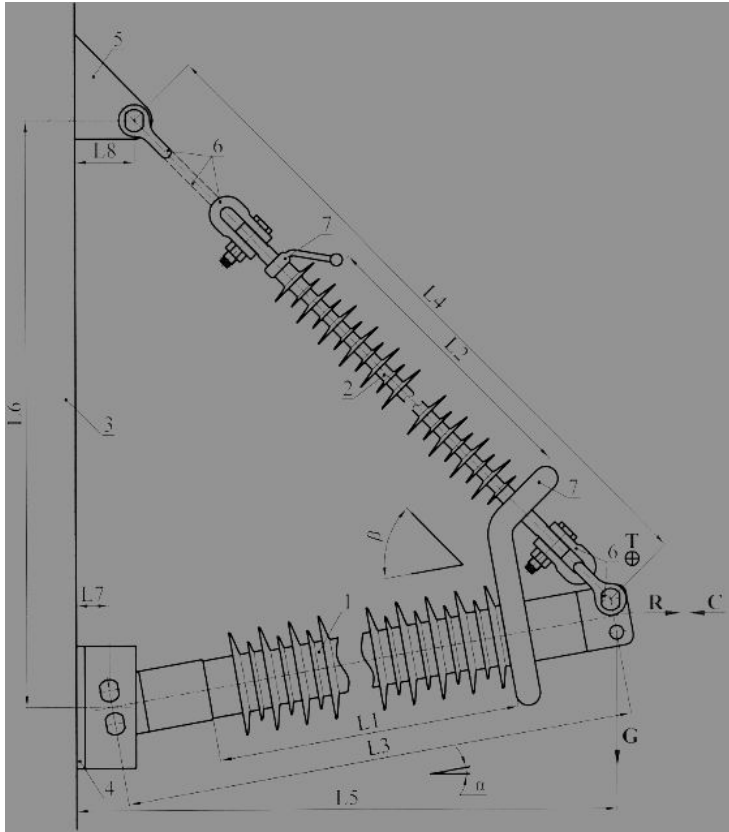
Технологическая схема

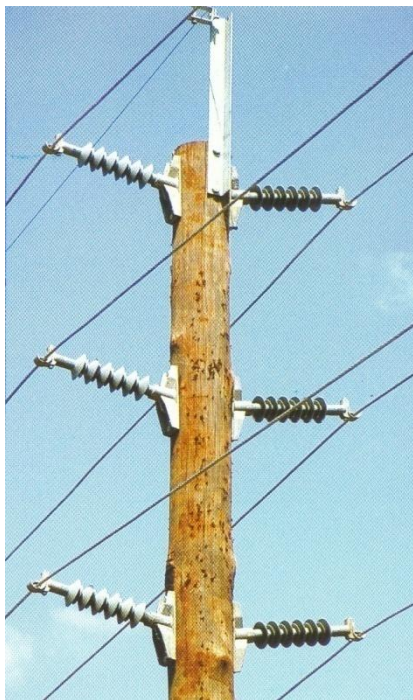


Поддерживающие зажимы изолирующей подвески

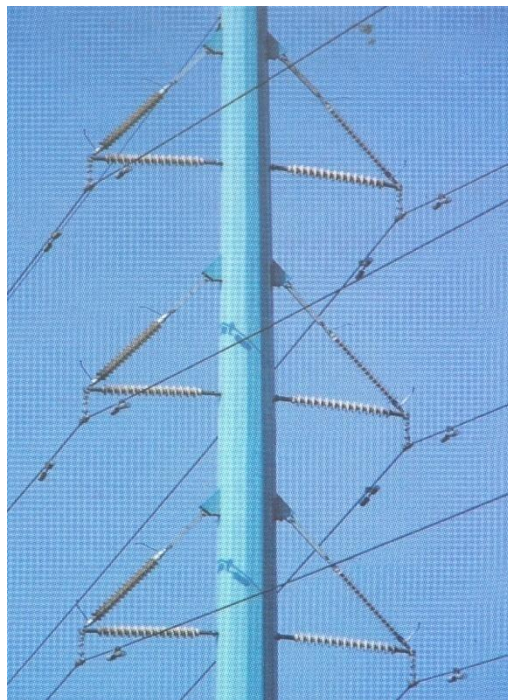


Траверсы изолирующие для ВЛ 110-220 кВ

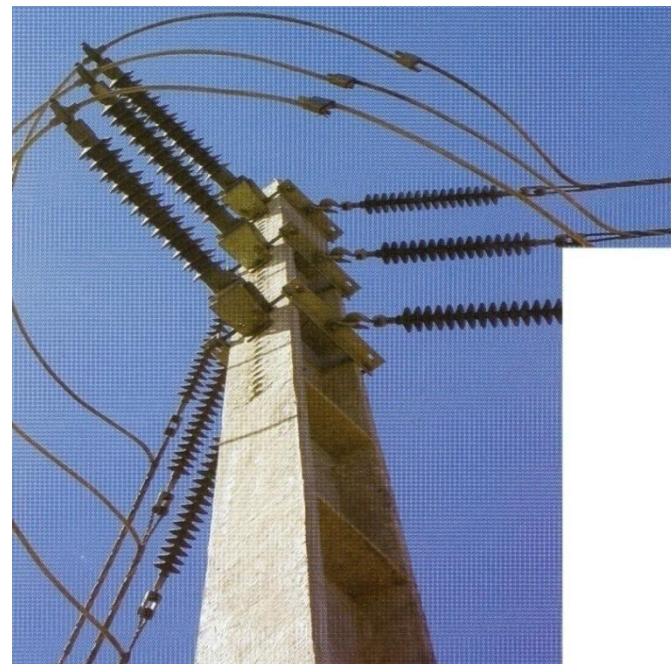




Двухцепная
промежуточная
опора ВЛ 72 кВ
(Isoelectric, Италия)



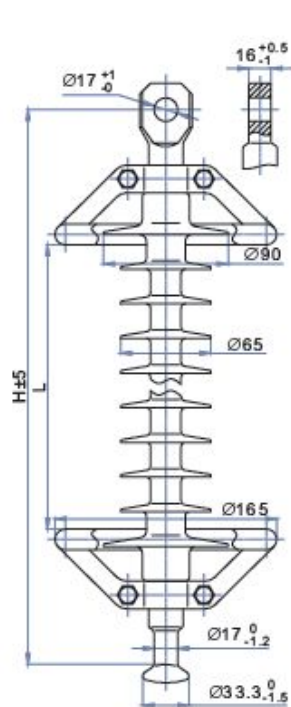
Общий вид
двухцепной ВЛ
120 кВ Венгрии
(Капосвар)



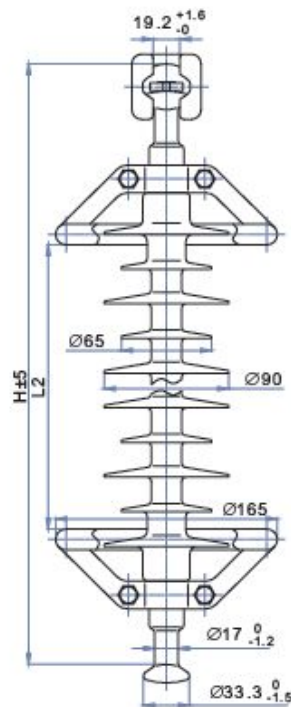
Анкерно-угловая
безтраверсная опора
ВЛ 72 кВ
(Isoelectric, Италия)

Экранирование для выравнивания распределения напряжения вдоль изолятора

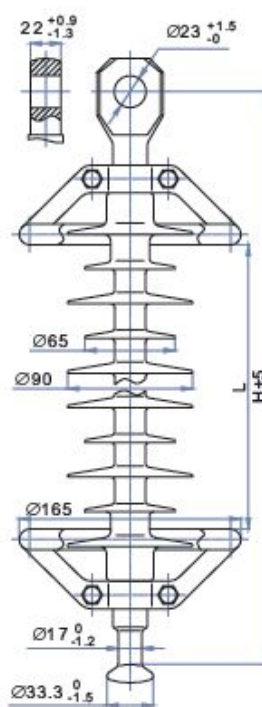
ЛК70/220-И-2 СП
(ЛК70/220-А2)



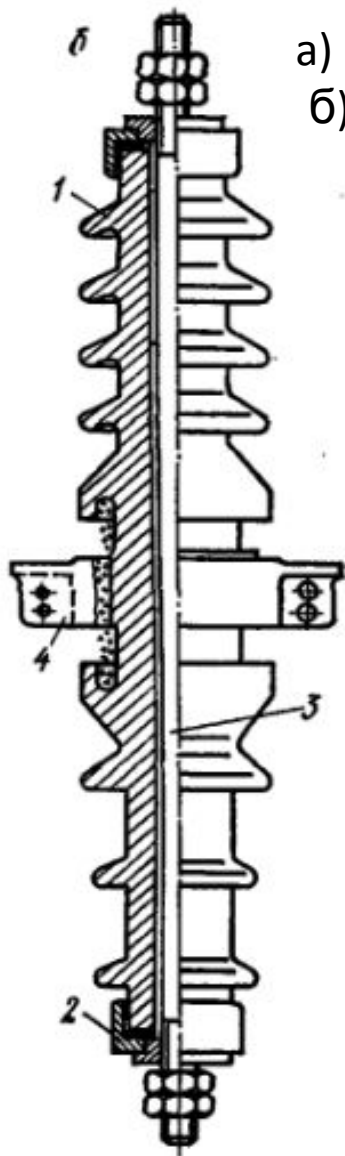
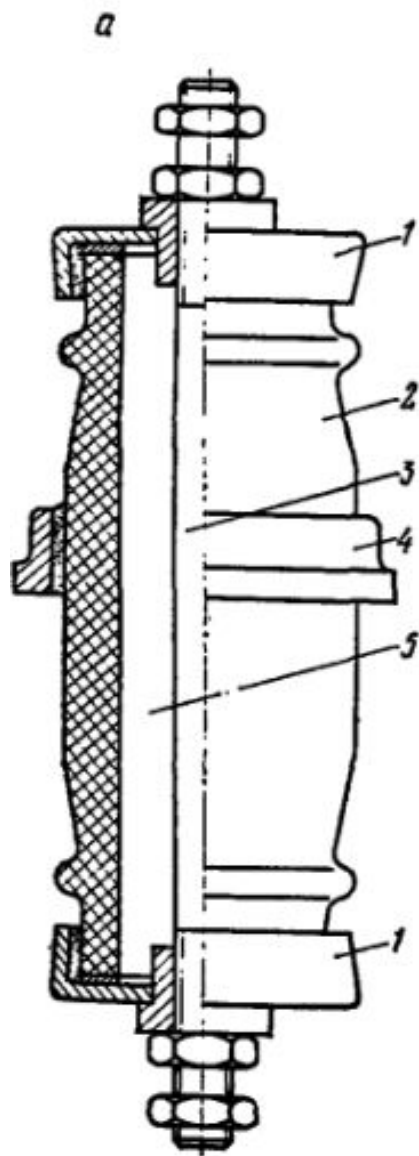
ЛК70/220-И-3 ГП
(ЛК70/220-В3)



ЛК120/220-И-4 СП
(ЛК120/220-А4)



Проходные изоляторы



- а) Внутренней установки 3-10 кВ (полые)
б) Наружной установки 6-35 кВ
(сплошные)

1 – тело изолятора 2 – концевые колпачки 3- токоведущий стержень, 4 – фланец, 5-воздушная полость

Изоляция воздушных линий.

Принципы выбора параметров изолирующей подвески проводов

Допускается незначительное число перекрытий изоляционных промежутков, т. к. полное исключение перекрытий ведет к чрезмерным затратам и экономически нецелесообразно.

Средства изоляции проводов линий ВЛ – изоляторы и воздушные промежутки

Гирлянды изоляторов : натяжные, поддерживающие , одиночные, сдвоенные

Выбор числа изоляторов в гирлянде:

$U = 6-10 \text{ кВ}$ - 1 тарельчатый или штыревой изолятор

$U \geq 35 \text{ кВ}$

А) Районы полевого (обычного) загрязнения: ограничивающий фактор – импульсное мокроразрядное напряжение

$$U_{mr} = E_{mr} \cdot H \cdot n$$

$E_{mr} = 200-260 \text{ кВ/м}$ - средний

мокроразрядный градиент, H -

строительная высота изолятора, n - число изоляторов в гирлянде, $k_1 = 1.1$ – учитывает временные повышения напряжения, k_2 – расчетная кратность внутренних перенапряжений

$$n > \frac{k_1 k_2 U_n \sqrt{2}}{E_{mr} H \sqrt{3}}$$

Выбор изоляторов с учетом загрязнений. Данный метод является основным

Основной критерий – удельная длина пути утечки

$$\lambda = \frac{L_y}{U_{\text{линейное наибольшее}}} \quad \text{см/кВ}$$

Удельная эффективная длина пути утечки гирлянд изоляторов ВЛ и внешней изоляции открытых распределительных устройств (ОРУ) 3-750 кВ, см/кВ (не менее)

Степень загрязненности атмосферы	Номинальное напряжение для ВЛ, кВ			Номинальное напряжение для ОРУ, кВ	
	35	110—220	330—750	35	110—750
I	1,7	1,4	1,3	1,7	1,5
II	1,9	1,6	1,5	1,7	1,5
III	2,25	1,9	1,8	2,25	1,8
IV	2,6	2,25	2,25	2,6	2,25*
V	3,5	3,0	2,0	3,5	3,0** (ЗРУ)
VI	4,0	3,5	3,5	4,0 (ЗРУ)	3,5** (ЗРУ)

* Кроме 750 кВ.

** Кроме 500 и 750 кВ.

I – полевые загрязнения без внешних источников (лес, луга), II – земледельческие и промышленные районы за пределами защитной зоны III –IV – в пределах защитной зоны предприятий, загрязняющих атмосферу, V- VI – загрязняемые зоны вблизи предприятий, соленых почв, морей и озер

Выбор числа изоляторов в гирлянде

$$n \geq \frac{U_{\text{линейное наибольшее}} \cdot \lambda}{L_{\text{unit}}} + \begin{cases} 1, & U_H = 110 - 220 \text{ кВ} \\ 2, & U_H = 330 - 500 \text{ кВ} \\ 2, & \text{натяжные } U_H = 110 \text{ кВ} \end{cases}$$

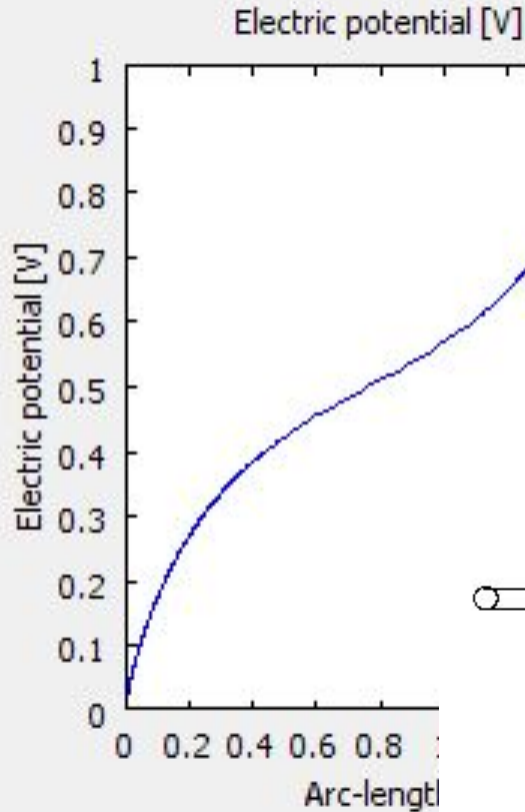
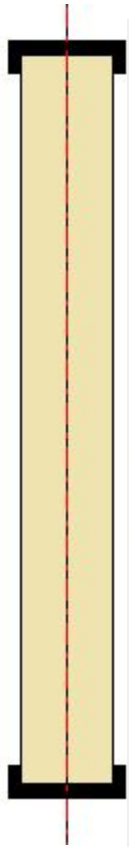
По опасности уносов для внешней изоляции все предприятия разделены на категории А, Б, В, Г, Д, для каждой из которых определена длина защитной зоны

Различие деревянных и железобетонных опор

$$n_{\text{дер}} = n_{\text{жс}} / \epsilon - 1 \quad \text{Т.к. используются изолирующие свойства дерева}$$

В IV-VI районах при использовании деревянных опор арматура изоляторов заземляется для избежания возгорания опор при больших токах утечки

Проблемы длинных изоляторов (гирлянд)

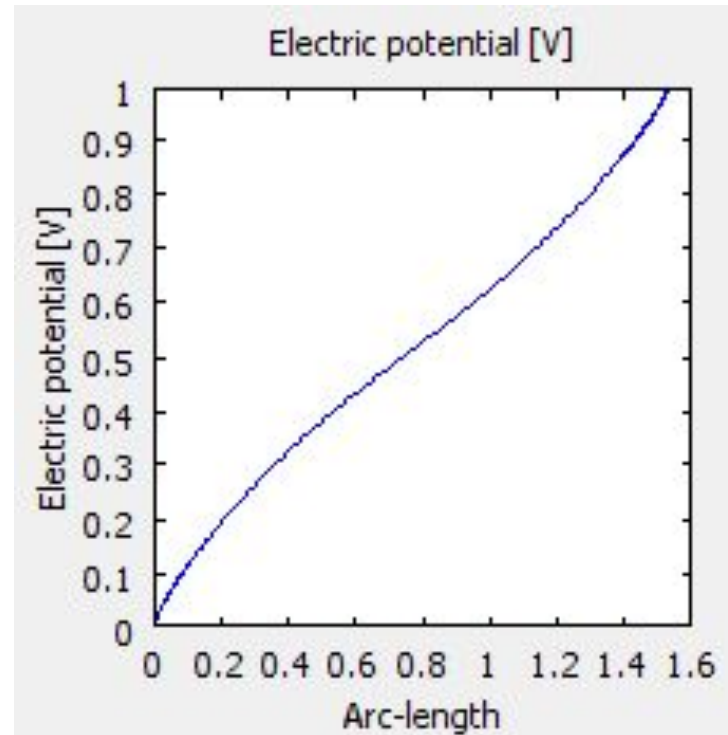
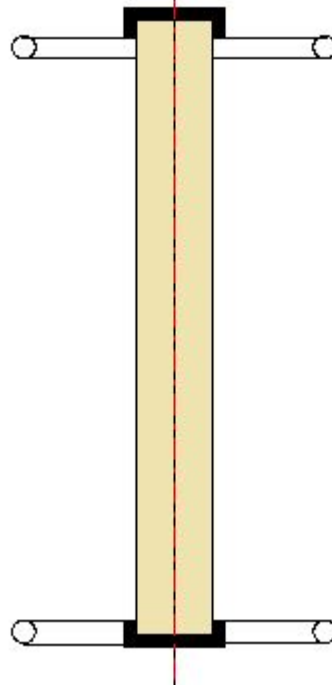


Коронирование и другие разрядные процессы на участках с высоким градиентом напряжения в сухом состоянии

Эффект применения экранной арматуры (тороиды)

Рачетный пример Comsol MultiPhysics Задача электростатики

$$\Delta U = 0$$

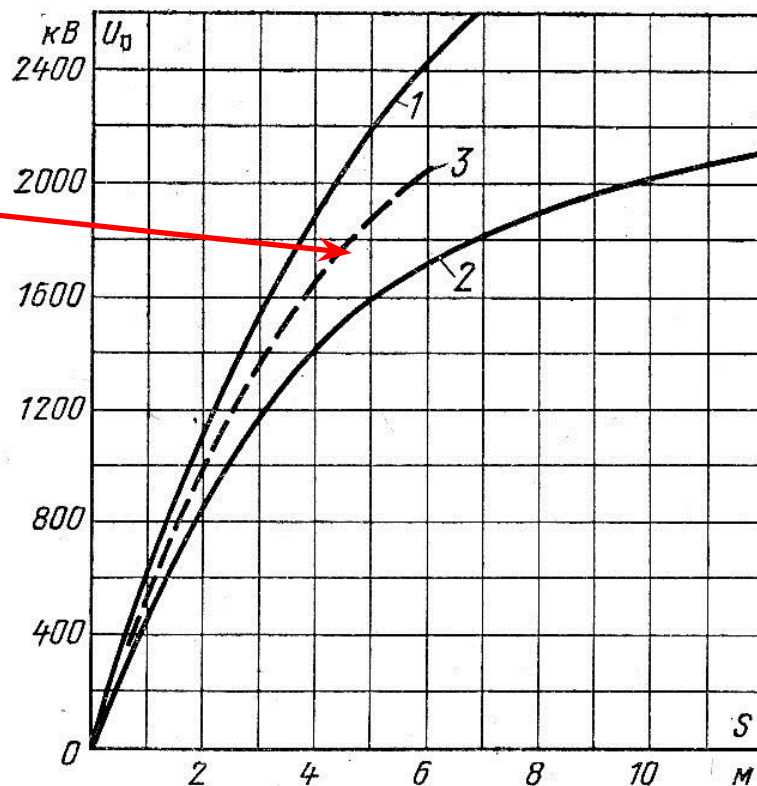


Выбор воздушных промежутков ВЛ

$$U_{разр} \geq \frac{(1.1 - 1.15)kU_{раб\ max}}{\beta}$$

k – наибольшая расчетная кратность внутренних перенапряжений

Высота над уровнем моря, м	β
500	0.89
1000	0.84
2000	0.74



Амплитуда разрядных напряжений воздушных промежутков при промышленной частоте. Нормальные атмосферные условия.

- 1 — промежуток стержень — стержень;
 2 — промежуток стержень — плоскость;
 3 — промежуток провод — стойка опоры.

Внешняя изоляция распределительных устройств



Внешняя изоляция распределительных

Параметры поддерживающих устройств для воздушных гирлянд выбираются аналогично ВЛ с поправкой в сторону увеличения числа изоляторов в гирлянде

Класс напряжения, кВ	Число дополнительных изоляторов в гирлянде
35-330	1-2
500	3
750	4

Для размещения ОРУ 500, 750 кВ

Допускаются районы со степенью загрязнения не выше III

Категории электрооборудование, применяемого на ОРУ

Допустимые величины λ_3 для электрооборудования ОРУ

Категория электрооборудования	Отношение длины пути утечки внешней изоляции к наибольшему рабочему линейному напряжению для электрооборудования, установленного в сетях, см/кВ (не менее)	
	с заземленной нейтралью	с изолированной нейтралью

(I-II) нормальное →
 (III-IV) усиленное →
 (V) особо усиленное →

А
Б
В

1,50
2,25
3,10

1,7
2,6
3,5

Таблица изоляционных расстояний по воздуху для различных классов напряжения

Наименьшие изоляционные расстояния по воздуху на опорах воздушных линий электропередачи

Расчетные условия	Наименьшие изоляционные расстояния, см, при номинальном напряжении ВЛ, кВ								
	до 10	20	35	110	150	220	330	500	750
По грозovým перенапряжениям	20/20	40/45	40/50	100/135	130/175	180/250	260/310	320/400	—
По внутренним перенапряжениям	10/22	15/33	30/44	80/140	110/140	160/200	215/280	300/420	410/600
По рабочему напряжению	—	7/15	10/20	25/45	35/60	55/95	80/140	115/200	190/330

Примечание. В числителе — между токоведущими и заземленными частями ВЛ, в знаменателе — между фазами ВЛ.