Содержание

- Конструктивное выполнение распределительных устройств (РУ) энергообъектов
- Электрооборудование
- Токоведущие части
- Грозозащита и заземление

- Презентация Дмитриев С.А.
- Модель ПС Ерошенко С.А

Конструктивное выполнение РУ ПС (часть 1)

Распределительные устройства

- Распределительное устройство (РУ) - электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики, телемеханики, связи и измерений

- <u>Классификация</u> распределительных устройств :

1. По классу напряжения
2. По месту расположения
3. По типу компоновки

Классификации РУ

По классу напряжения

РУ низкого напряжения
- До 1000 В

РУ высокого напряжения
- Свыше 1000 В

По месту расположения

Открытое (ОРУ)
-все или основное оборудование которого расположено на открытом воздухе

Закрытое (ЗРУ)
-оборудование которого расположено в помещении

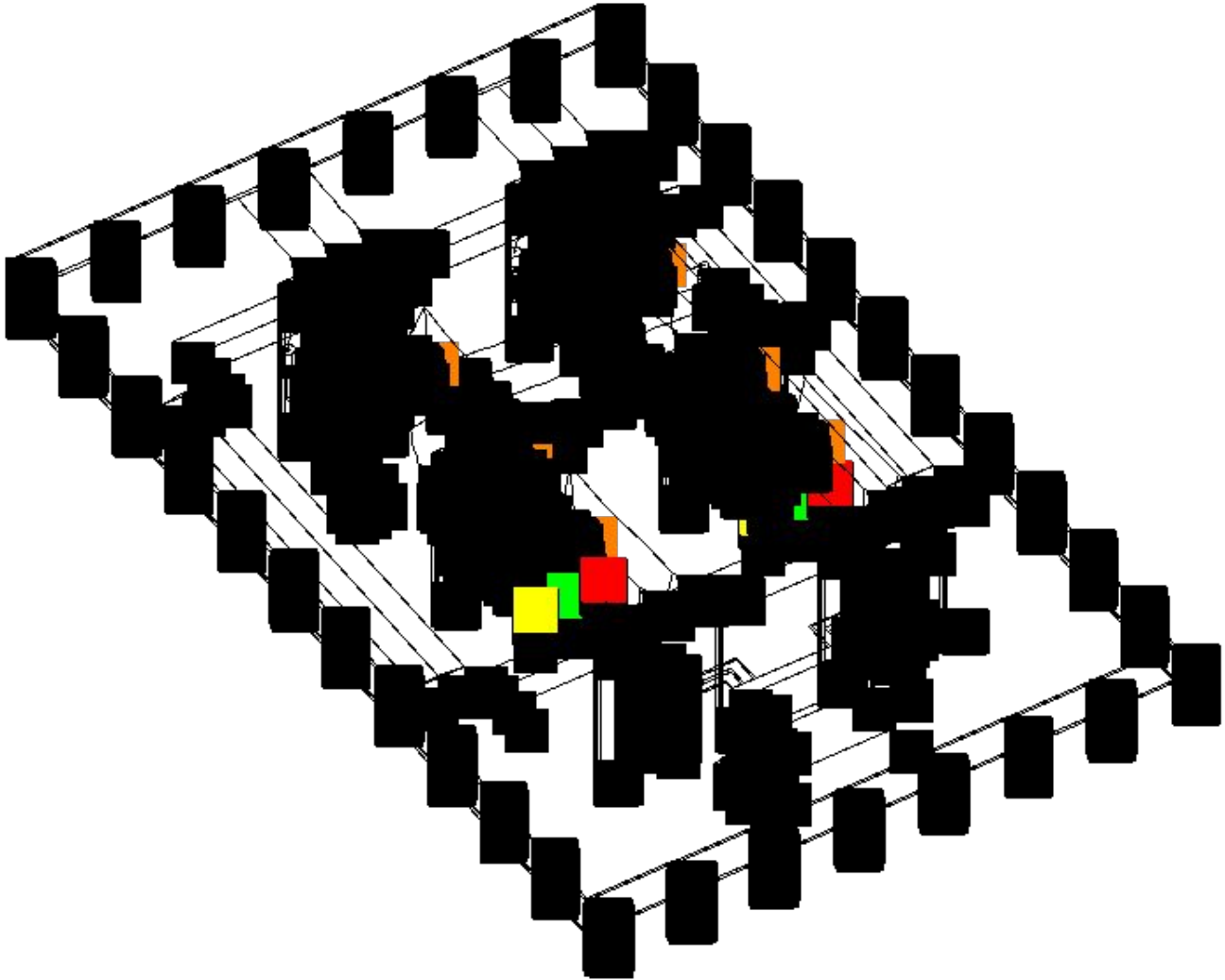
По типу компоновки

Комплектные (КРУ)
- РУ, состоящее из шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами измерения, защиты и автоматики и соединительных элементов, оставляемых в собранном или полностью подготовленном к сборке виде.

Сборные
- РУ, в котором все или почти все составные РУ собираются отдельно друг от друга

По месту расположения

Открытые распределительные устройства



Преимущества и недостатки распределительных устройств

! **Должны обеспечивать надежность работы, безопасность и удобство обслуживания при минимальных затратах на сооружение, возможность расширения, максимальное применение крупноблочных узлов заводского изготовления.**

Преимущества ОРУ:

- Меньше объем строительных работ
- Легче выполняются расширение и реконструкция
- Все аппараты доступны для наблюдения и обслуживания

Недостатки ОРУ:

- Менее удобны в обслуживании при низких температурах и неблагоприятных погодных условиях
- Занимают значительную большую площадь чем ЗРУ
- Аппараты ОРУ подвержены запылению, загрязнению и колебаниям температуры

По месту расположения

Закрытые распределительные устройства

ЗРУ 10(6) кВ

- в районах, где по климатическим условиям, условиям загрязнения атмосферы или наличия снежных заносов и пыльных уносов, невозможно применение КРУН;
- при числе шкафов более 15;
- на ПС напряжением 330-750 кВ;
- при наличии технико-экономического обоснования.

ЗРУ 35-220 кВ применяются в районах:

- с загрязненной атмосферой, где применение ОРУ с усиленной изоляцией или аппаратурой следующего класса напряжения с учетом ее обмыва не эффективно, а удаление ПС от источника загрязнения экономически нецелесообразно;
- требующих установки оборудования исполнения ХЛ при отсутствии такого исполнения;
- стесненной городской и промышленной застройки;
- с сильными снегозаносами и снегопадами, а также в особо суровых климатических условиях и при стесненных площадках при соответствующем

По типу компоновки

Комплектные РУ (КРУ)

Комплектные

- КРУН
- КРУ
- КРУЭ

КРУН - комплектное распределительное устройство наружной установки

КРУЭ - комплектное распределительное устройство элегазовое – РУ, в котором
основное оборудование заключено в оболочки, заполненные элегазом, служащим
изолирующей и/или дугогасящей средой

По типу компоновки

КРУ (6)10-35 кВ

Комплектн

ые

- КРУ
- КРУН
- КСО

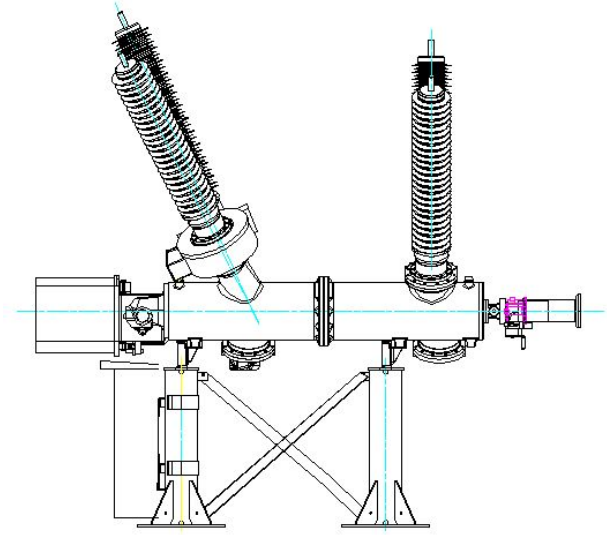
КСО – камера сборная одностороннего обслуживания

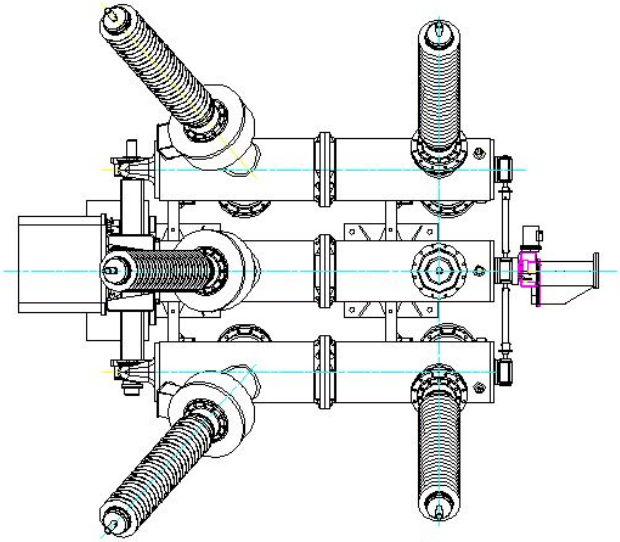
По типу компоновки

КРУЭ 6-750 кВ

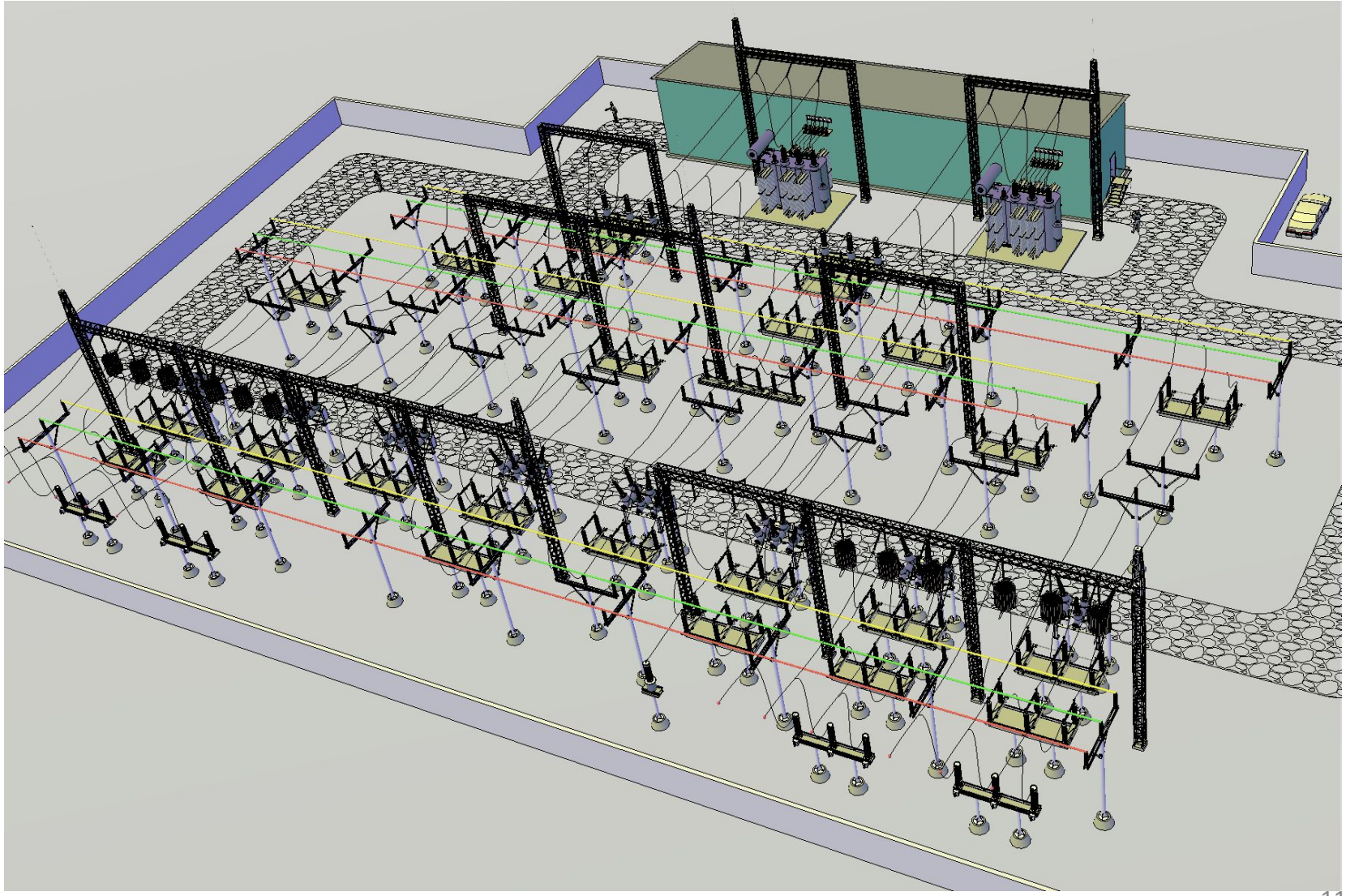
Комплектные

- КРУЭ 6-750 кВ
- КРУЭ 110-220 кВ

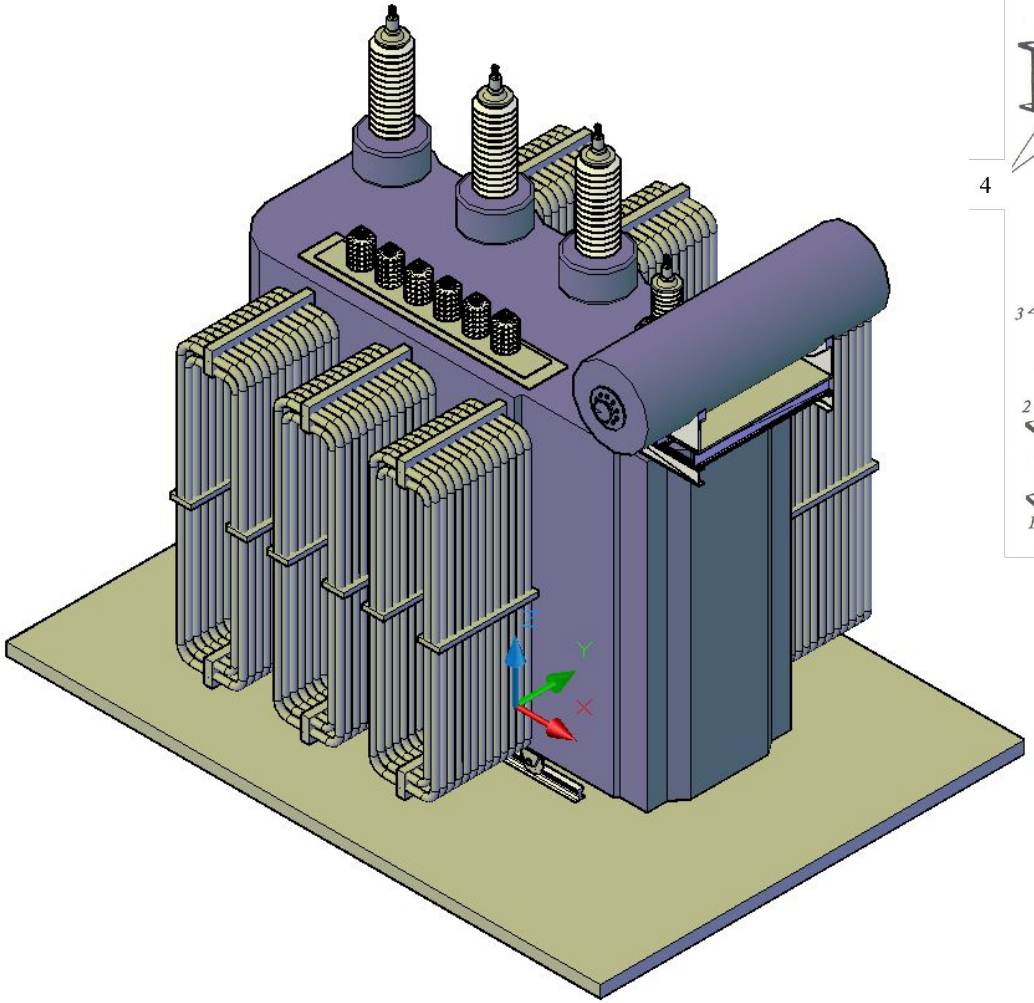


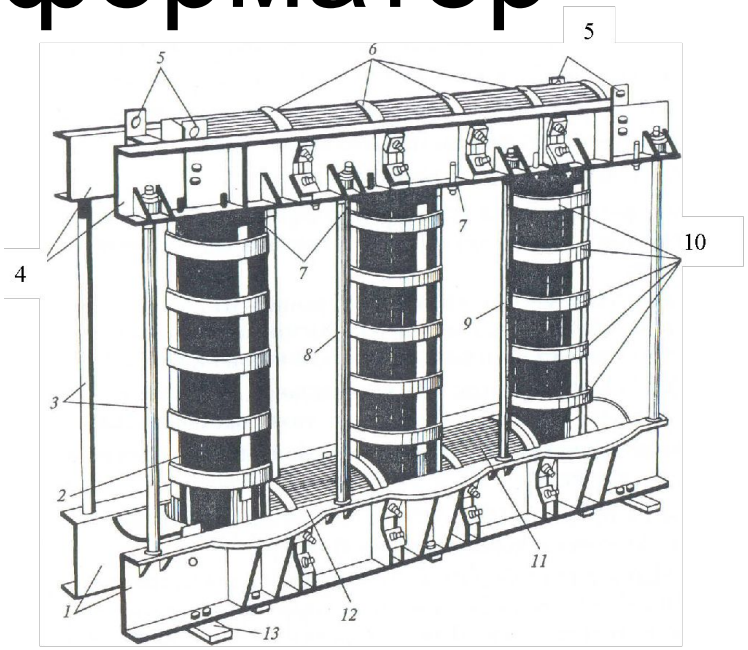


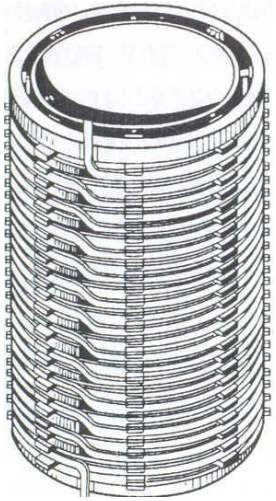
Вид подстанции



Силовой трансформатор

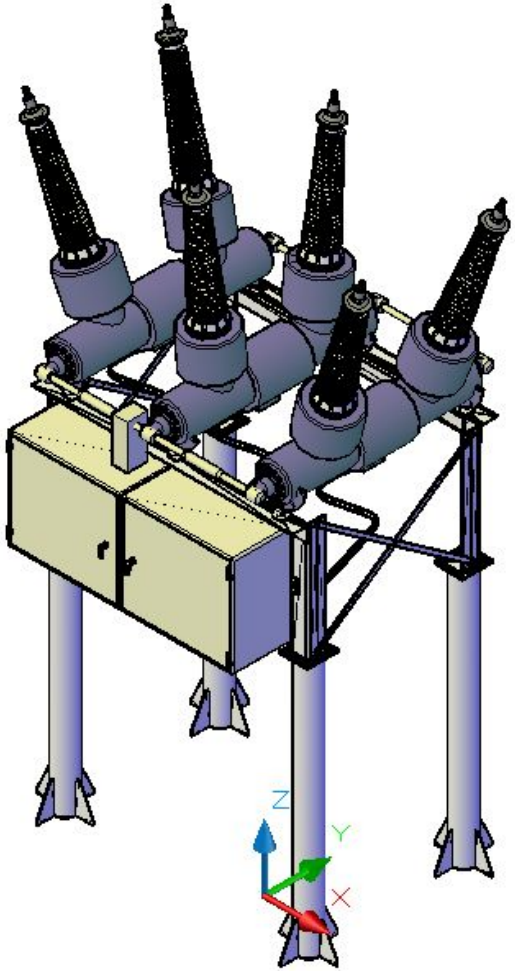


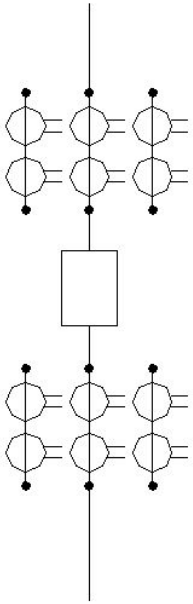




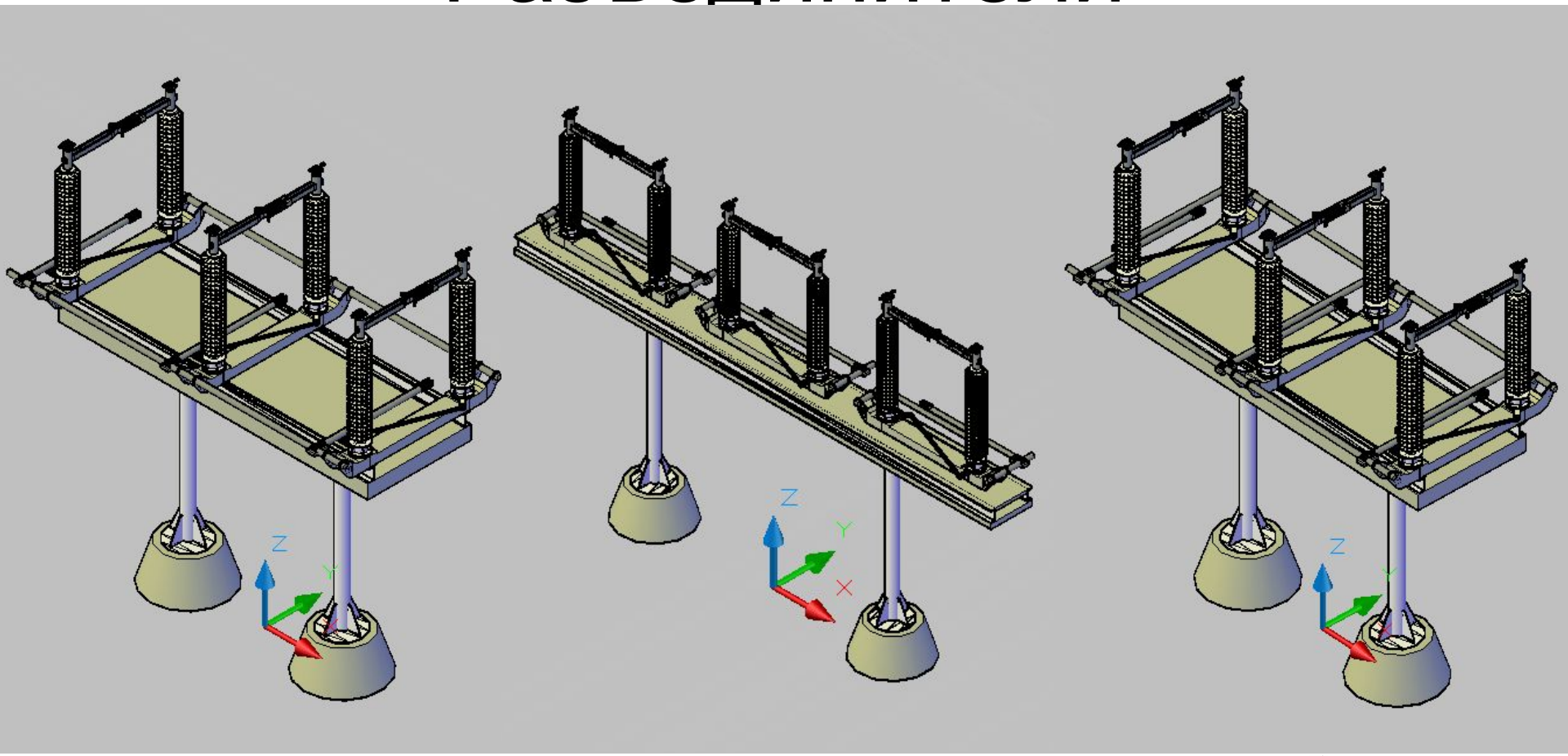
Силовой выключатель

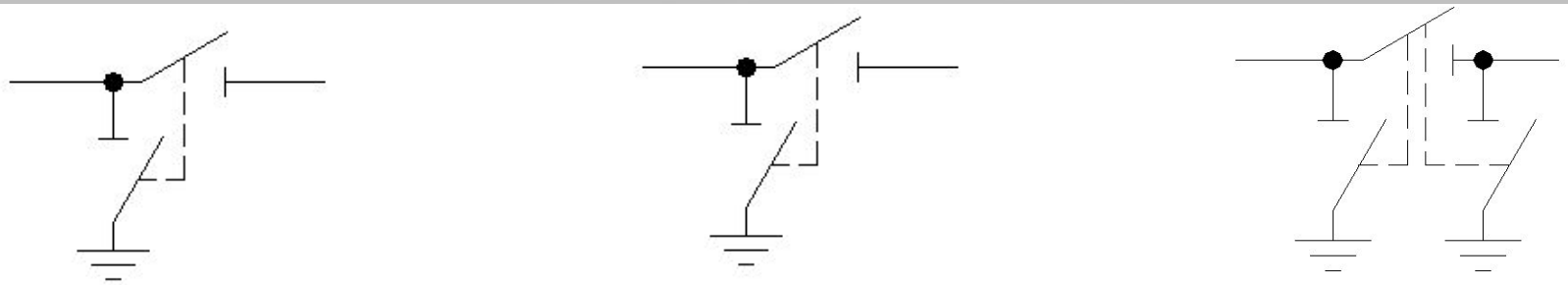
Выключатели предназначены для оперативной и аварийной коммутации в энергосистемах, т.е. выполнения операций включения и отключения отдельных цепей при ручном или автоматическом управлении.

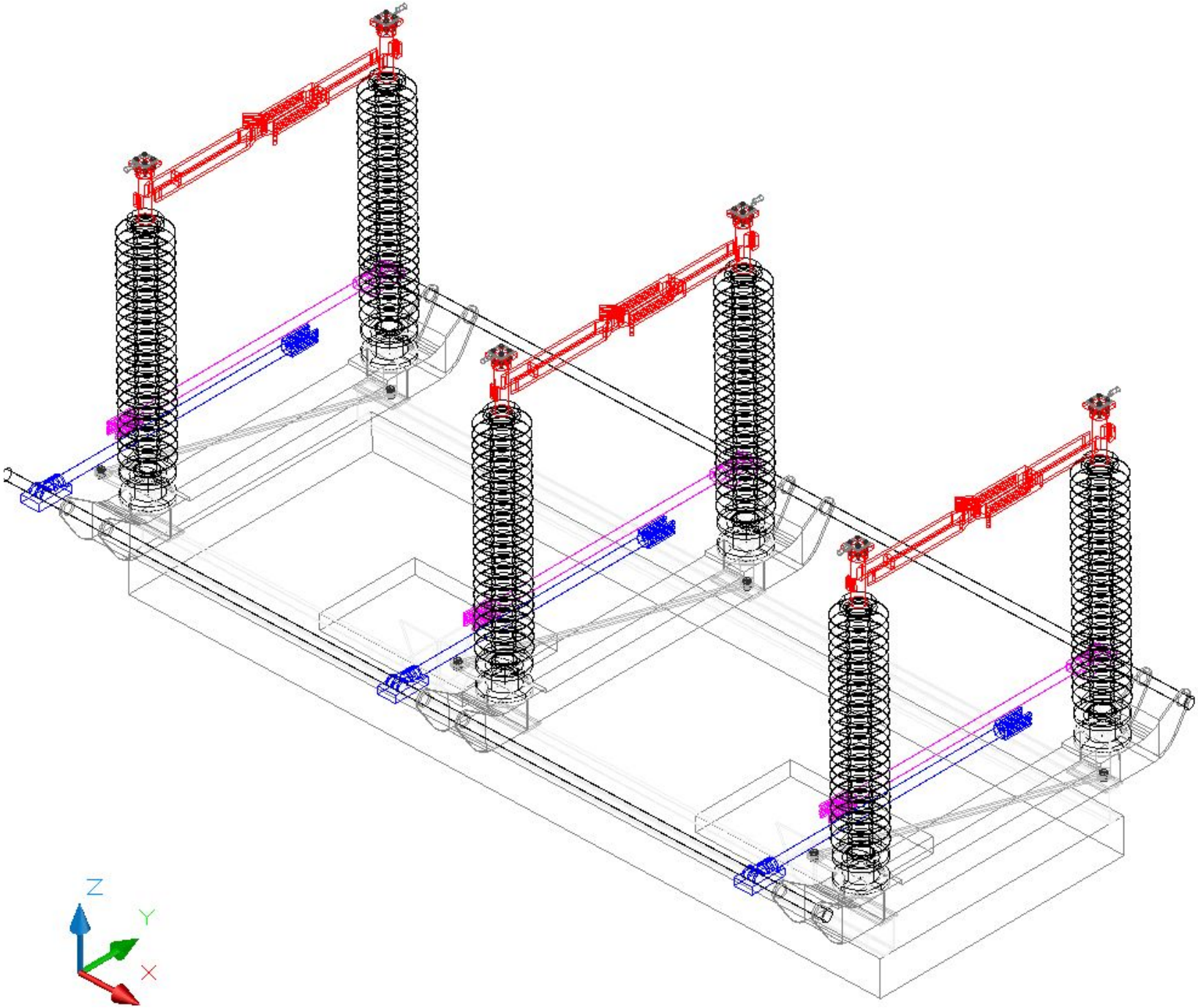




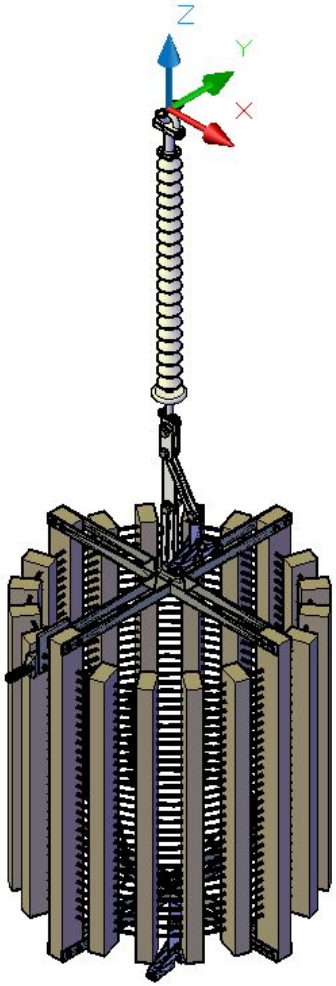
Разъединители






Z
Y
X

Высокочастотный заградитель



Конструкция
состоит из цилиндрической катушки, выполненной из голого многожильного провода (силовой реактор) и элемента настройки.

Назначение
для уменьшения утечки токов ВЧ каналов связи по линии электропередачи в сторону, противоположную направлению к корреспонденту, и состоят из соединенных параллельно элемента настройки и силового реактора

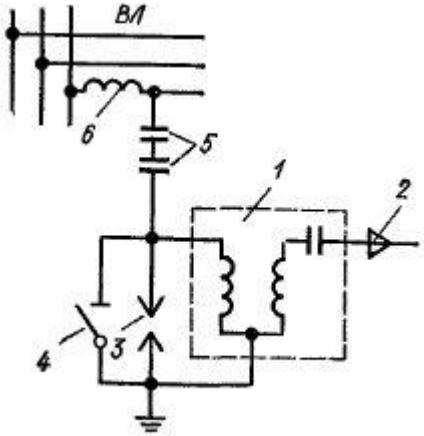
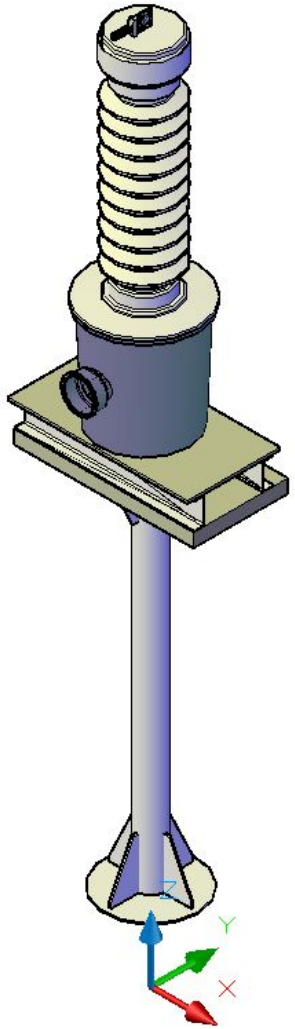
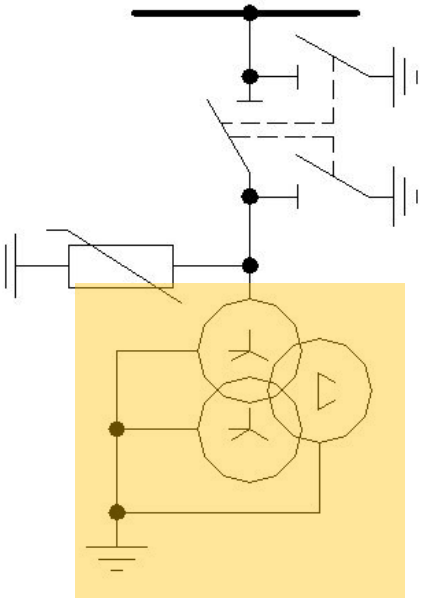
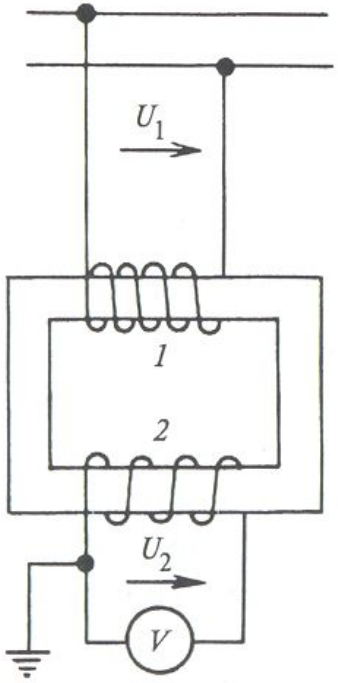


Схема включения фильтра присоединения
1 - фильтр присоединения,
2 - кабель для подключения полукомплекта высокочастотной аппаратуры,
3 - разрядник,
4 - заземляющий нож,
5 - конденсатор связи,
6 - заградитель

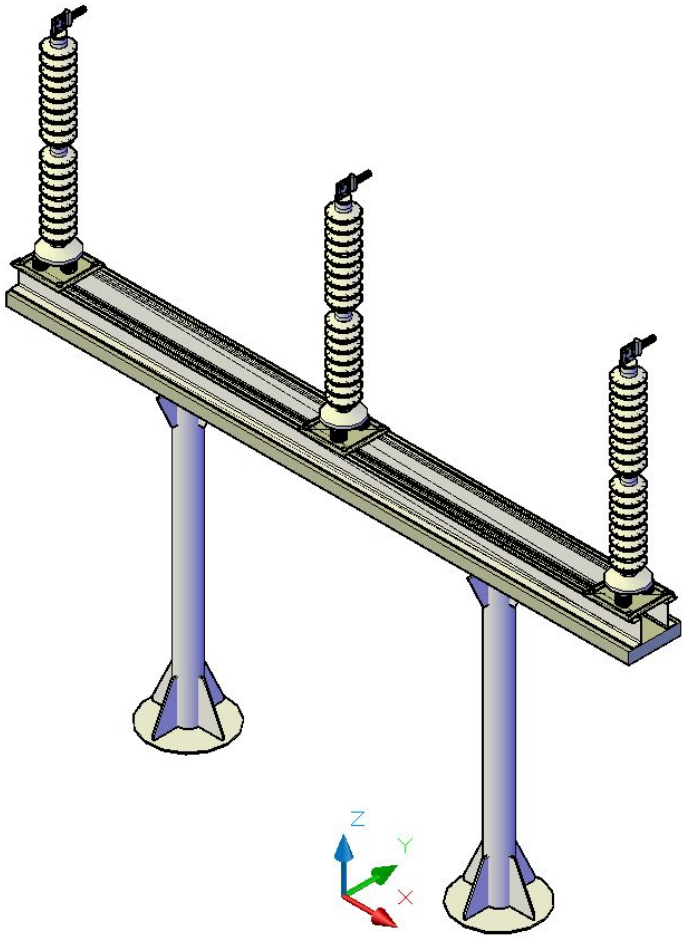
Трансформатор напряжения







Ограничители перенапр



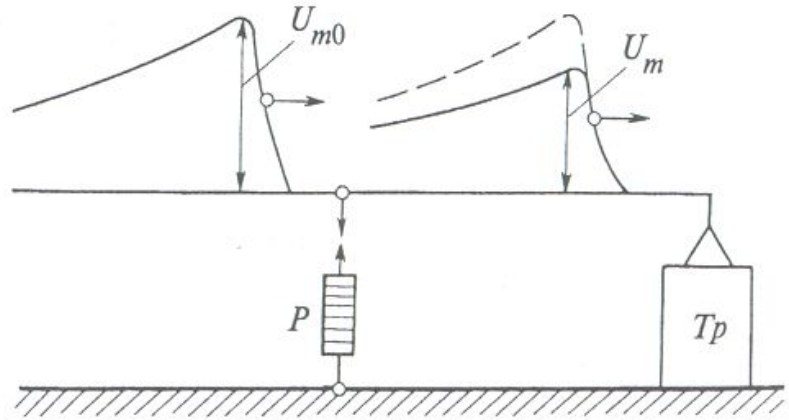
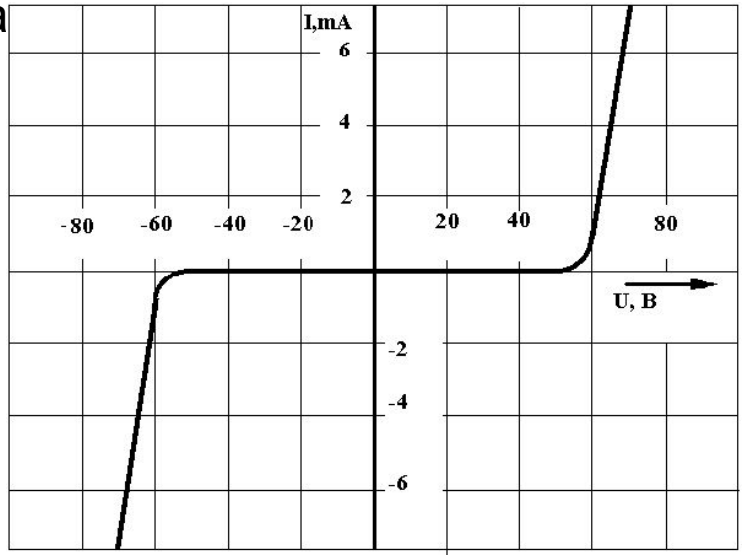


схема защиты трансформатора при воздействии перенапряжения атмосферного хара



Вид подстанции

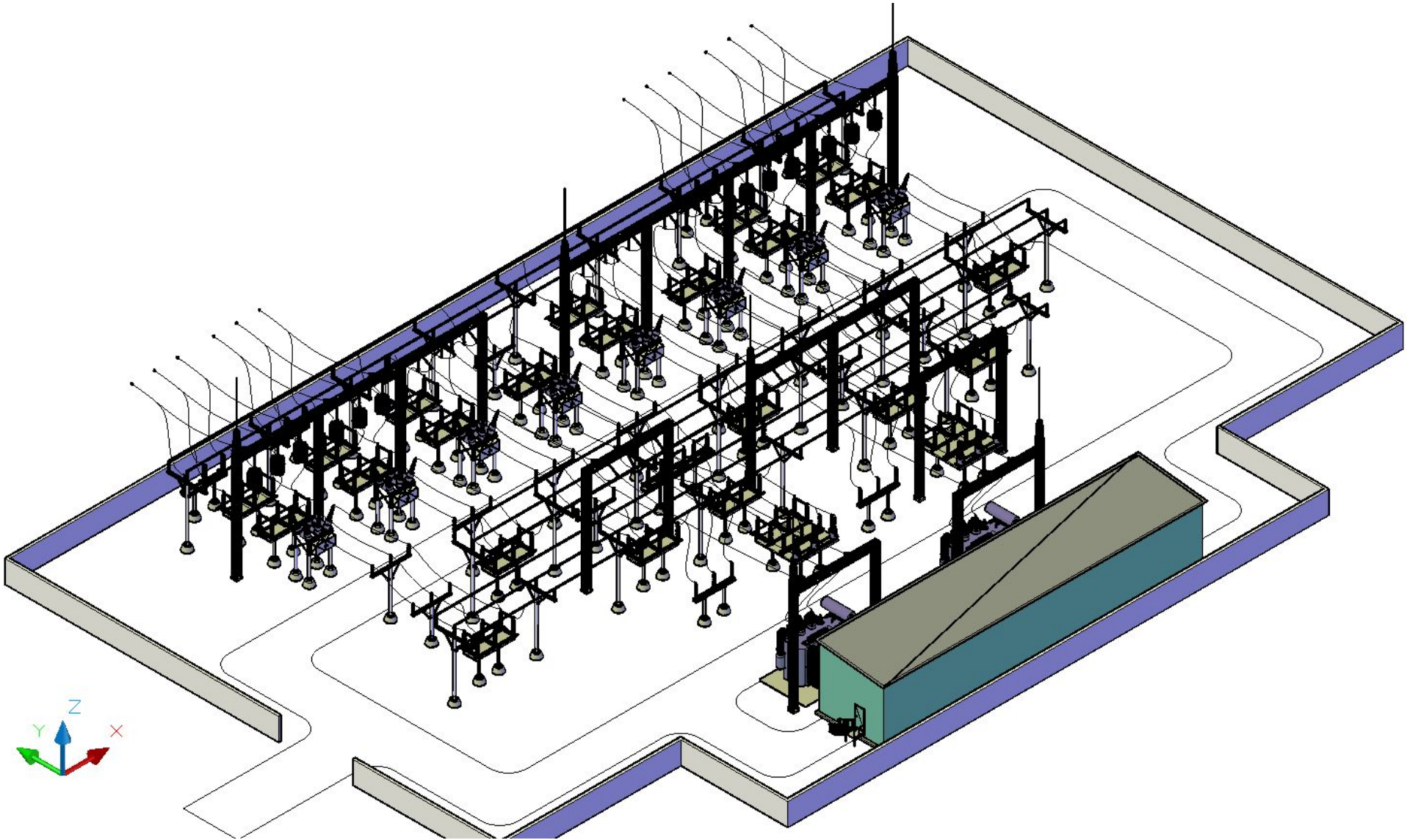
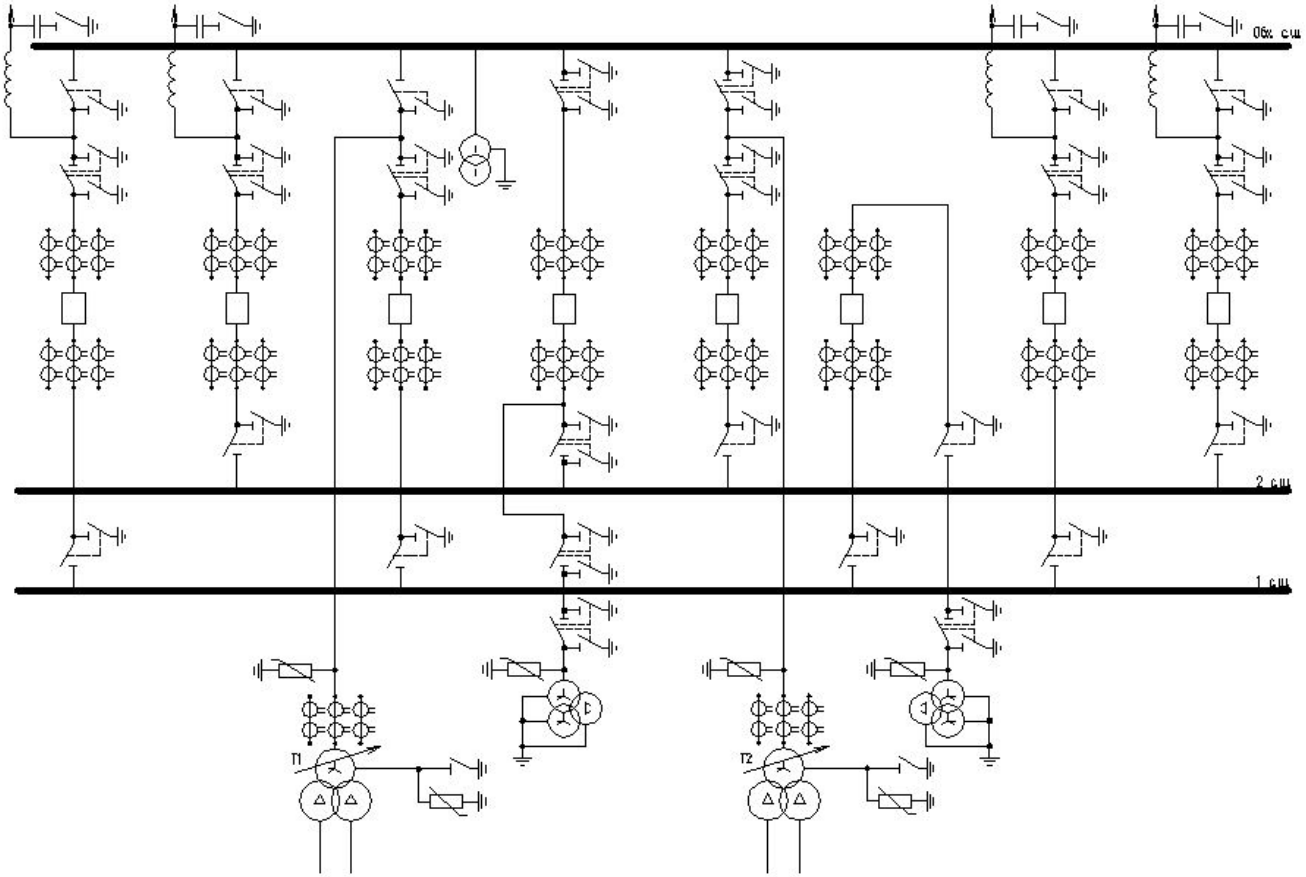
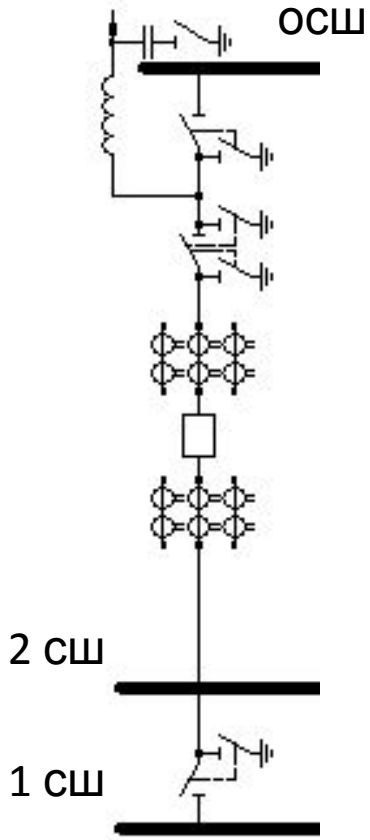
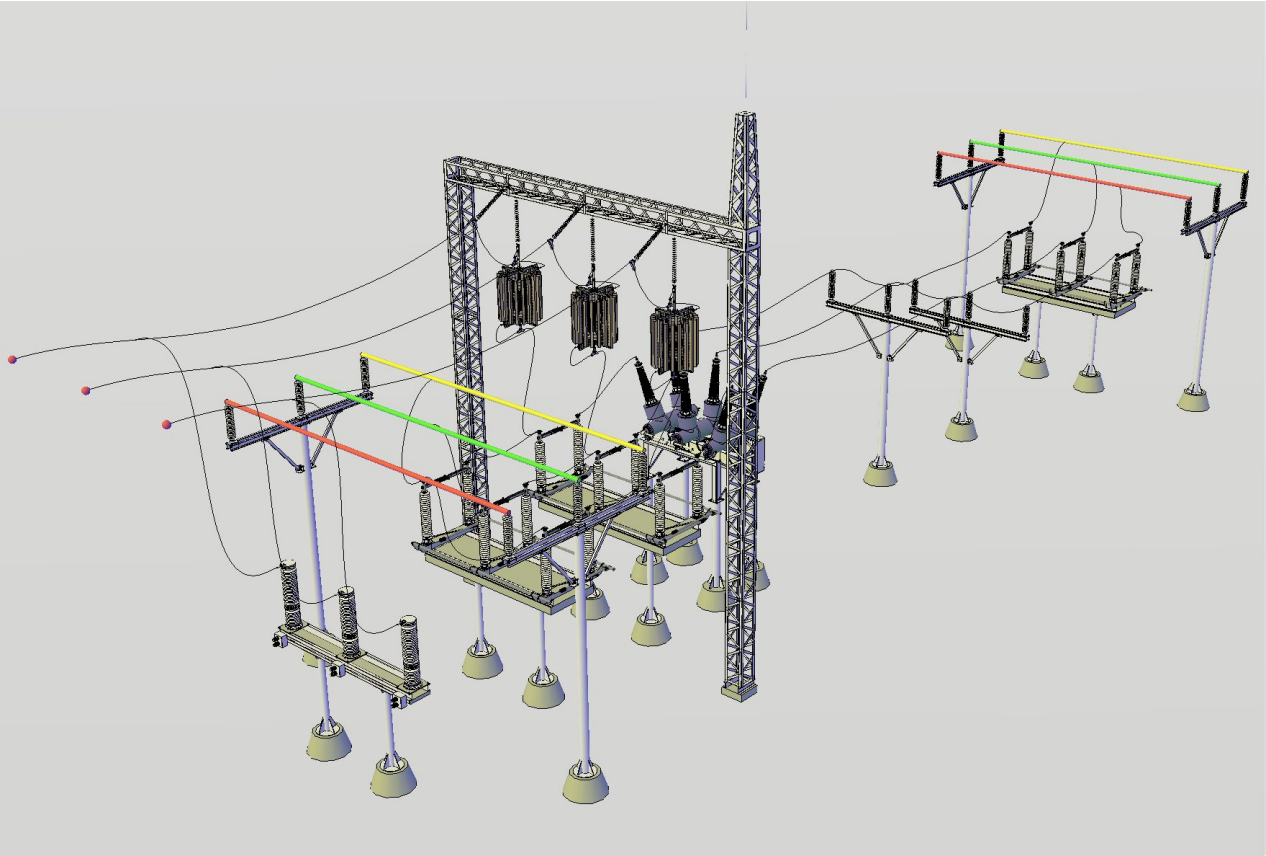


Схема РУ-110

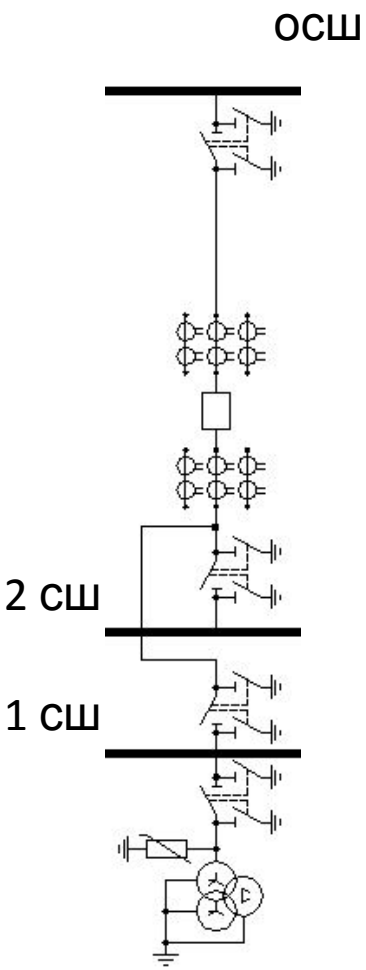


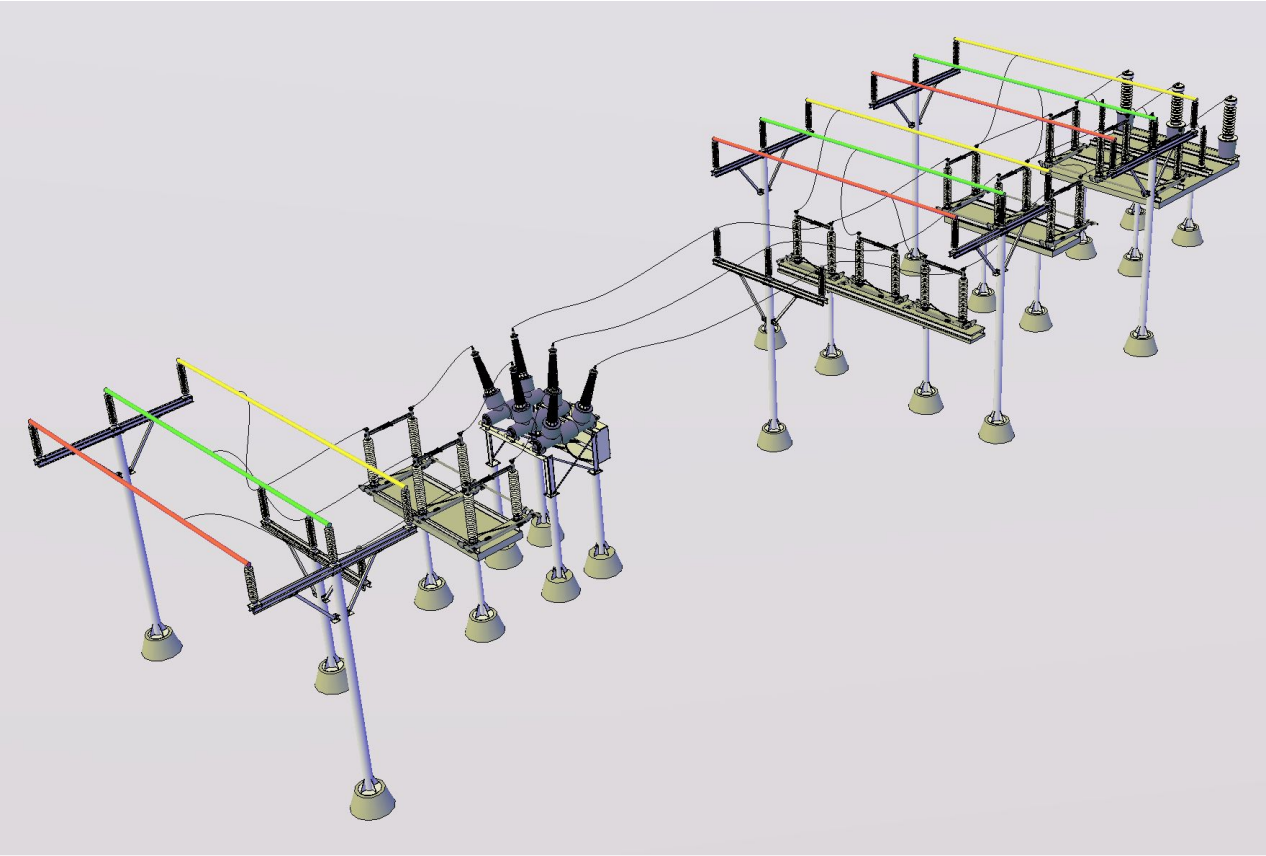
Ячейка линии



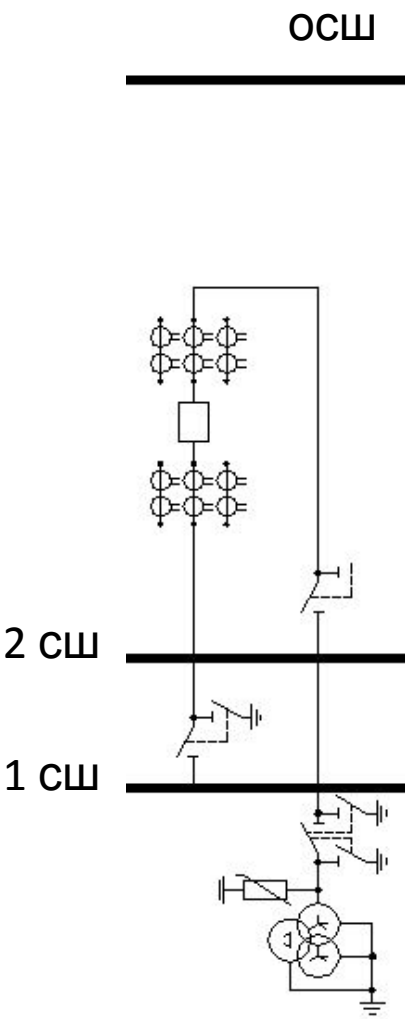


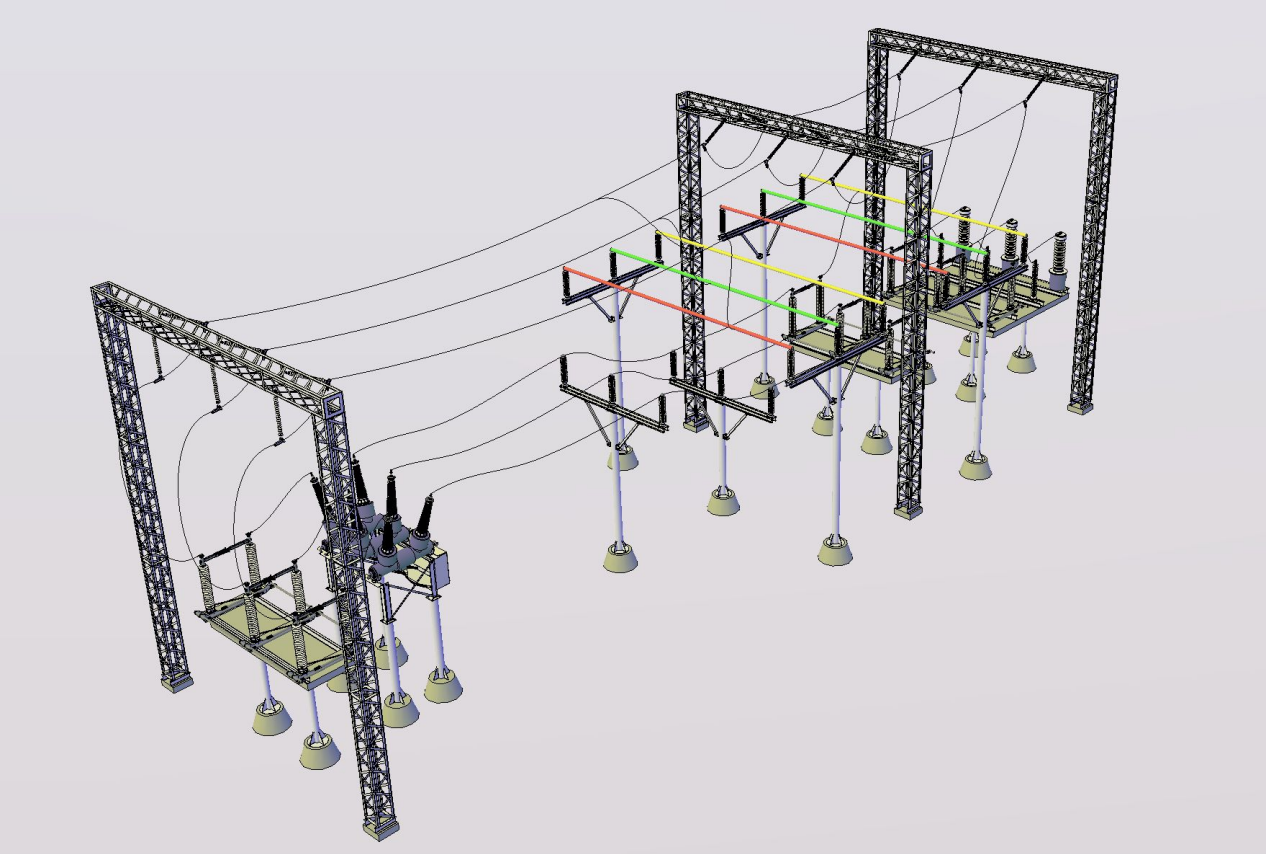
Ячейка обходного выключателя



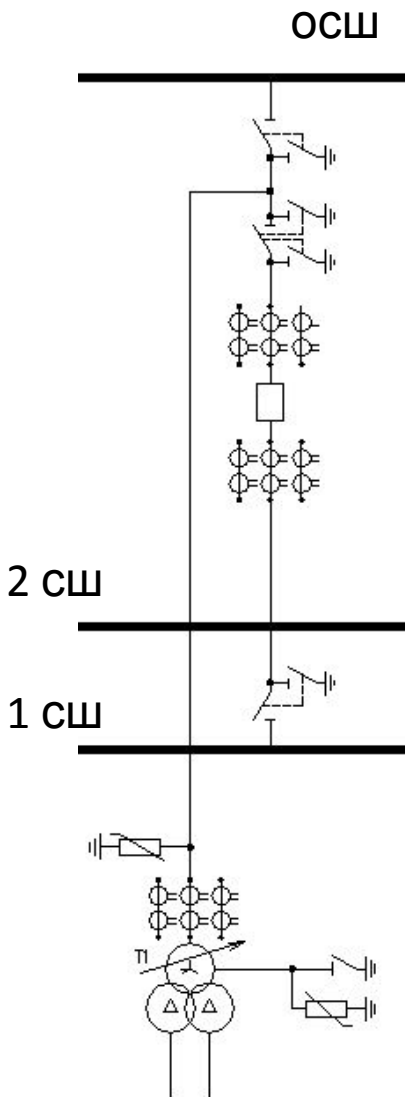


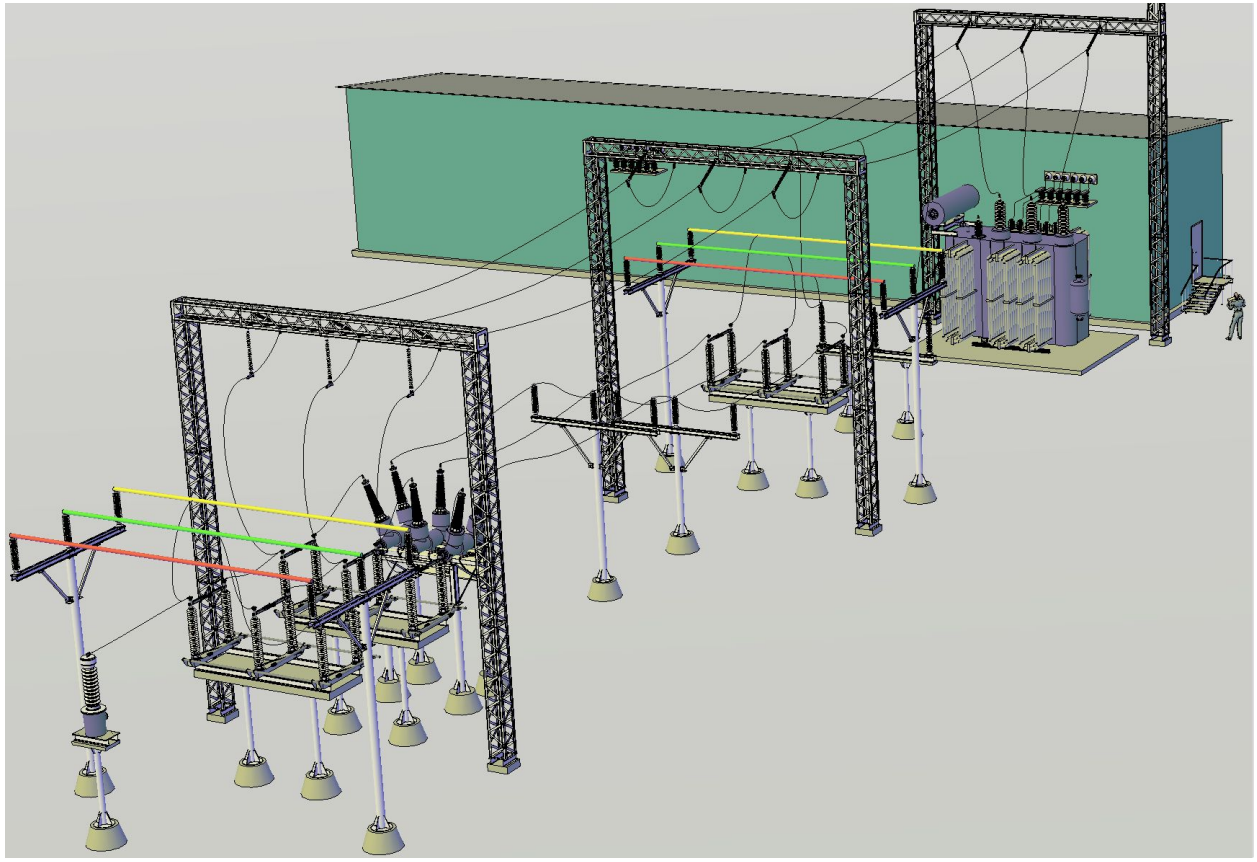
Ячейка секционного выключателя



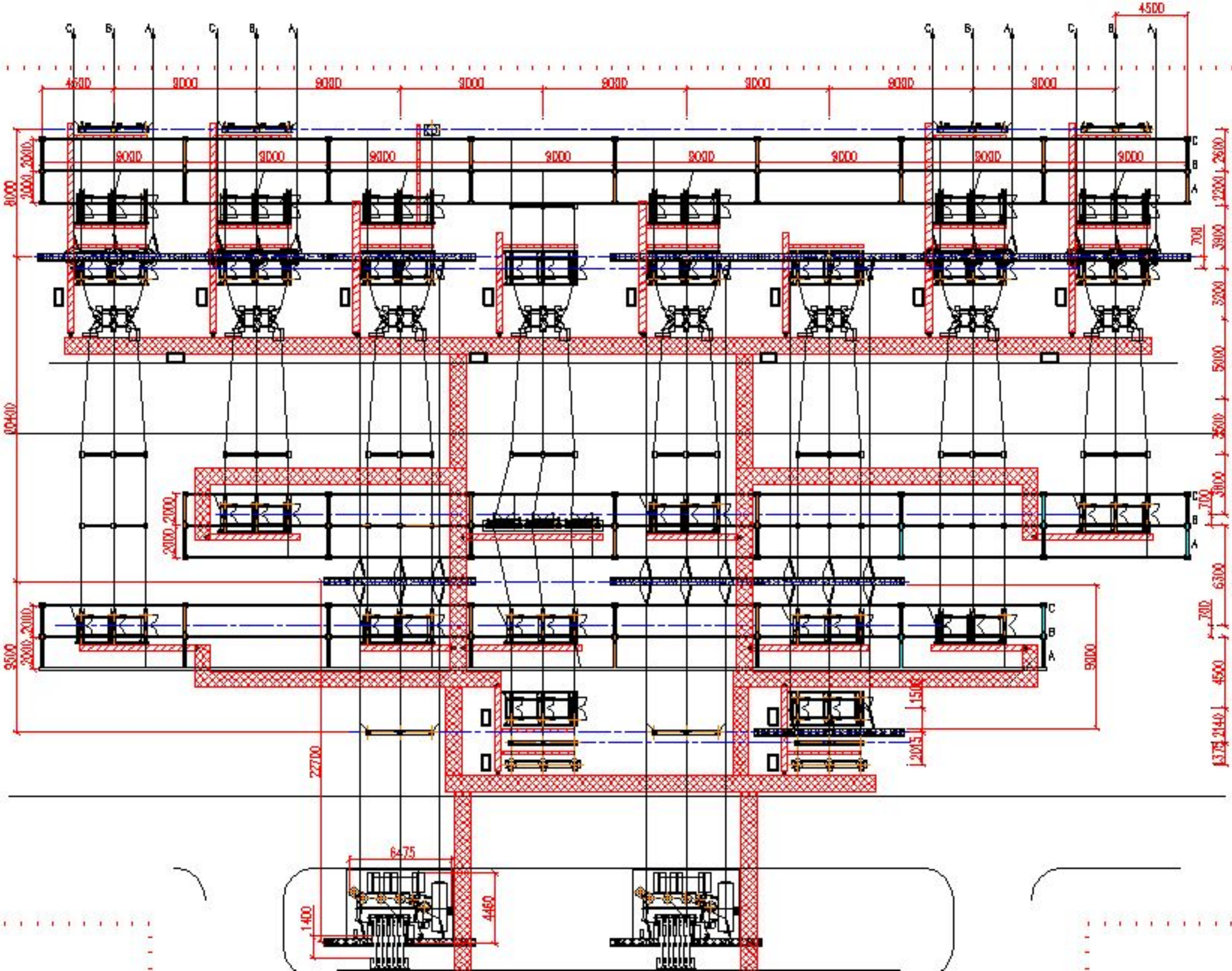


Ячейка трансформатора

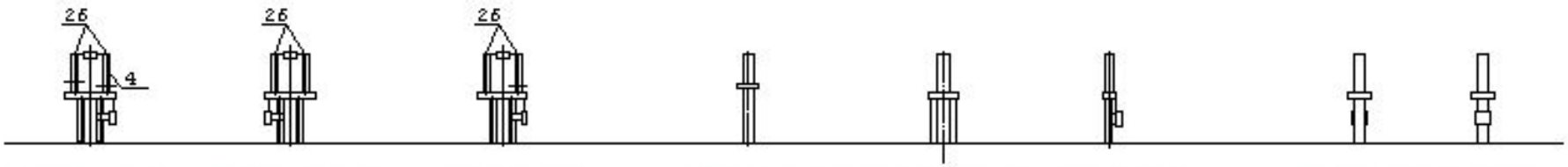




Ввод 110кВ ВЛ1	Ввод 110кВ ВЛ2	Трансформатор Т1	Обходной выключатель	Трансформатор Т2	Секционный выключатель	Ввод 110кВ ВЛ3	Ввод 110кВ ВЛ4
1	2	3	4	5	6	7	8



Блоки



БЛОК "_4"
Разъединитель 3-х полюсный с двумя комплектами ЗН с приводом ____

БЛОК "_2"
Отделитель одно-полюсный с с приводом ____

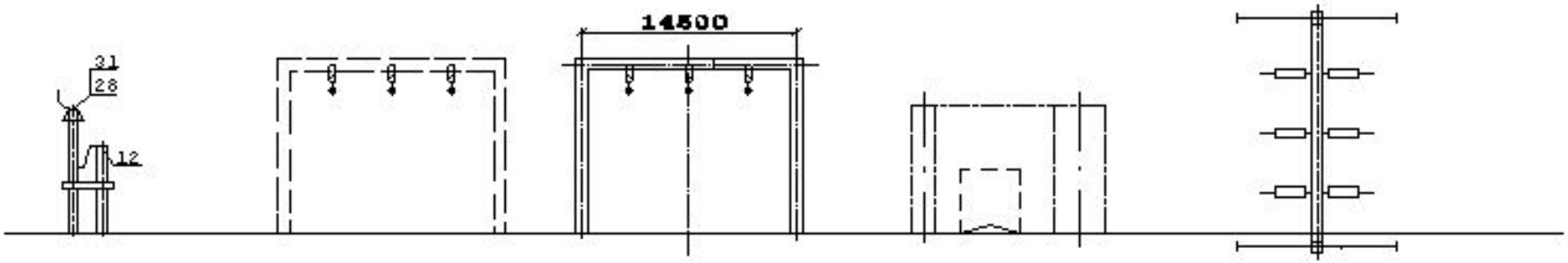
БЛОК "_5"
Разъединитель 3-х полюсный с одним комплектом ЗН с приводом ____

БЛОК "_13"
Шинная опора для крепления одного провода

БЛОК "_10"
Трансформатор тока

БЛОК "_3"
Короткозамыкатель 1-но полюсный с приводом ПРК-171 и с трансформаторами тока ТШЛ-0.5

БЛОК "_8А и 8В"
Разъединитель 1-но полюсный с двумя комплектами ЗН с приводом ____



БЛОК "_12"
Разрядник вентильный с регистратором срабатывания

БЛОК "ШИН"

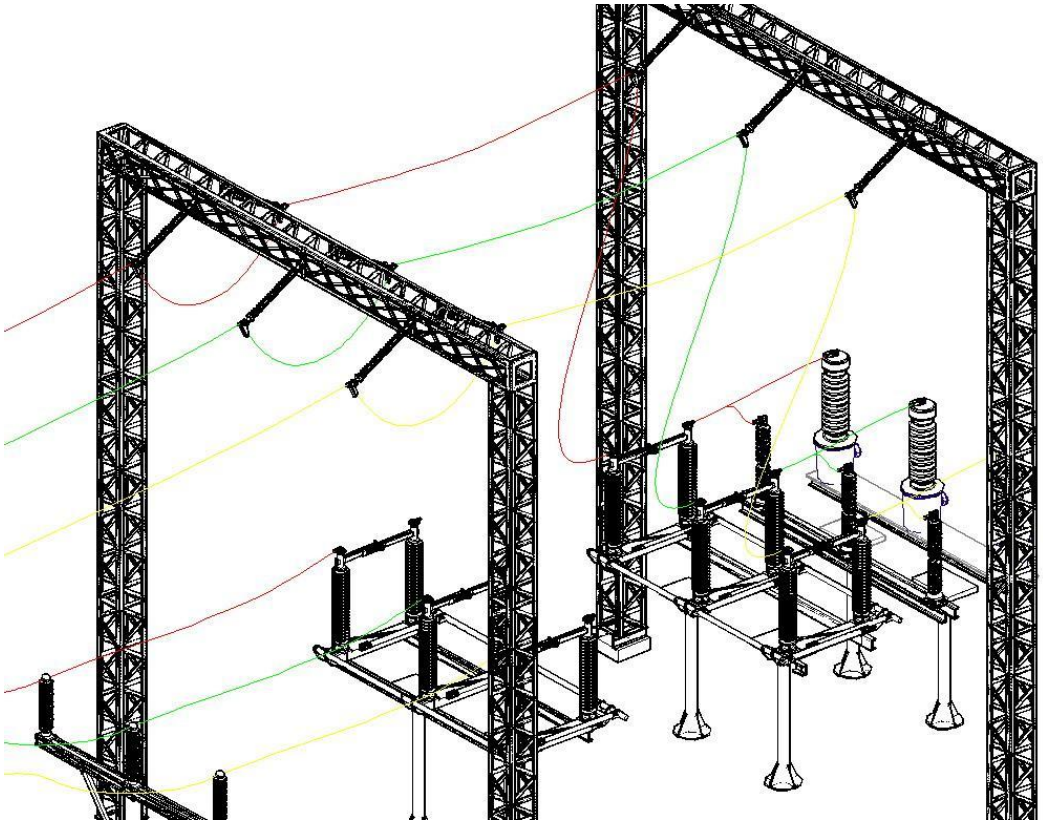
БЛОК "SHIN"

БЛОК "_1"
Узел выключателя с трансформатором тока, либо шинной опорой

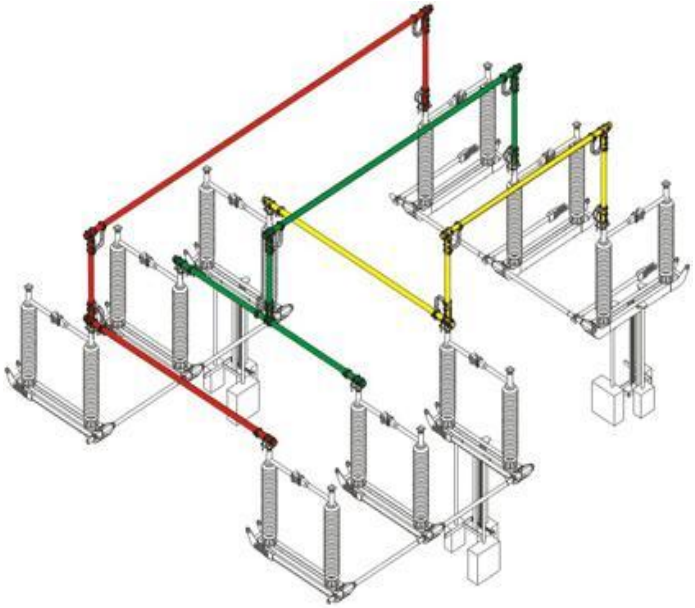
БЛОК "PORT2"

Конструктивное выполнение РУ ПС (часть 2. Токоведущие части РУ)

Ошиновка РУ-110 кВ

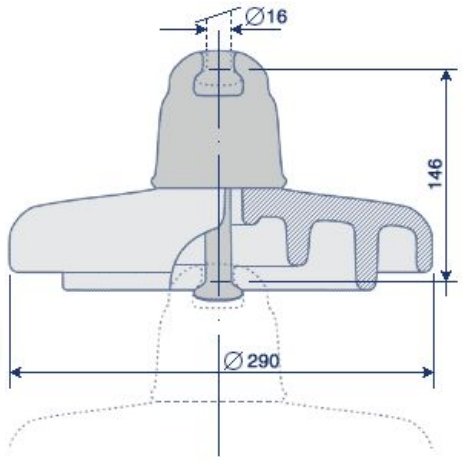


Гибкая ошиновка



Жесткая ошиновка

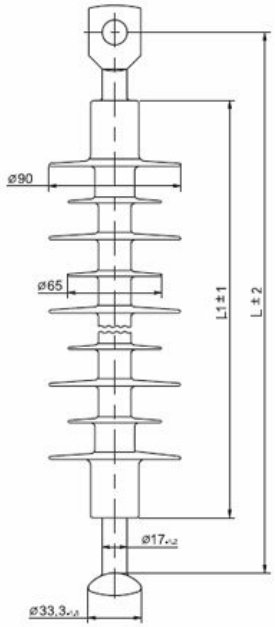
Подвесные изоляторы



Стеклянные изоляторы ПС, ПСВ, ПСД

Фарфоровые изоляторы серии ПФ

на 6/10/35/110/220/330/500 кВ

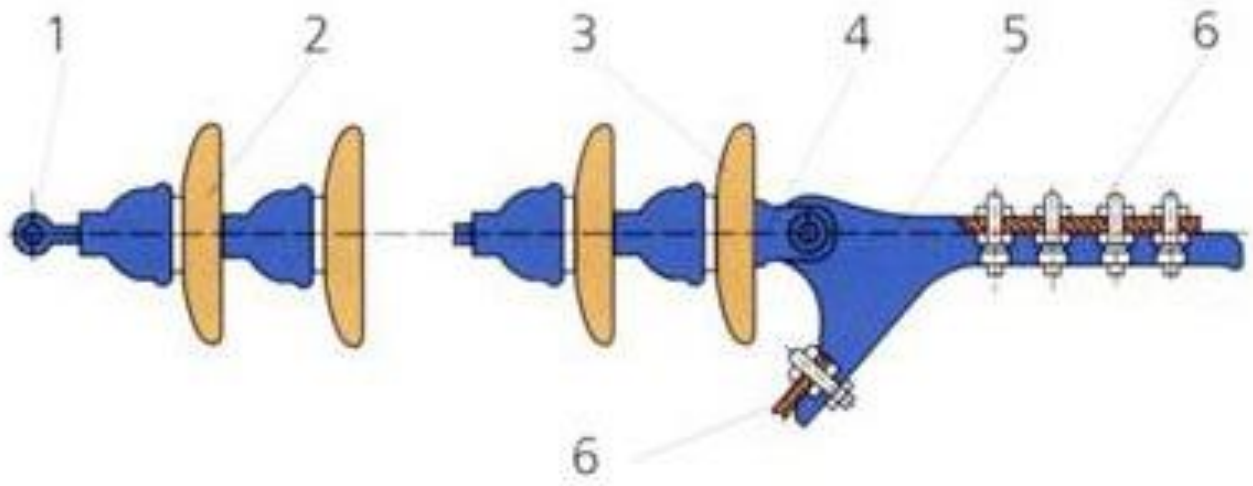


Полимерные изоляторы

Полимерные изоляторы состоят из стеклопластикового стержня, защитной оболочки из кремнийорганической резины и металлических оконцевателей

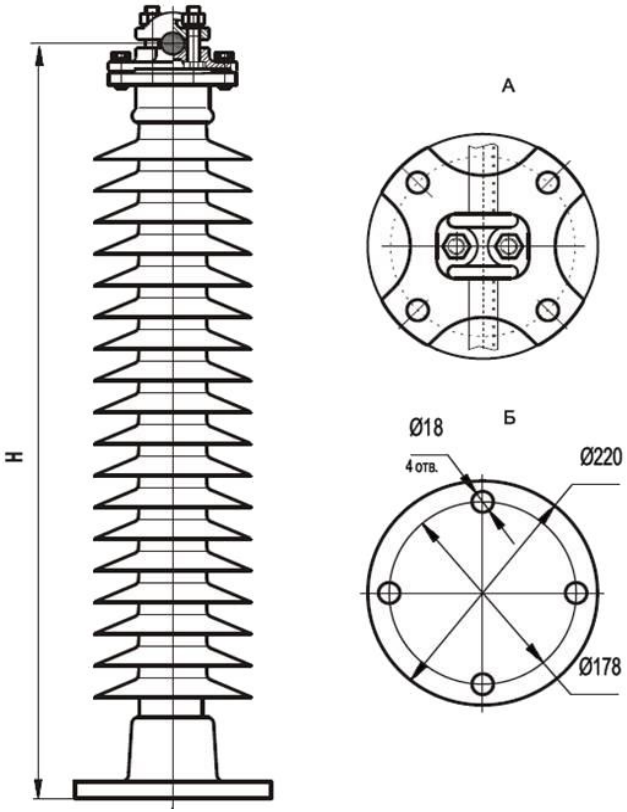
Серия ЛК на 10/20/35/110/220/330/500 кВ

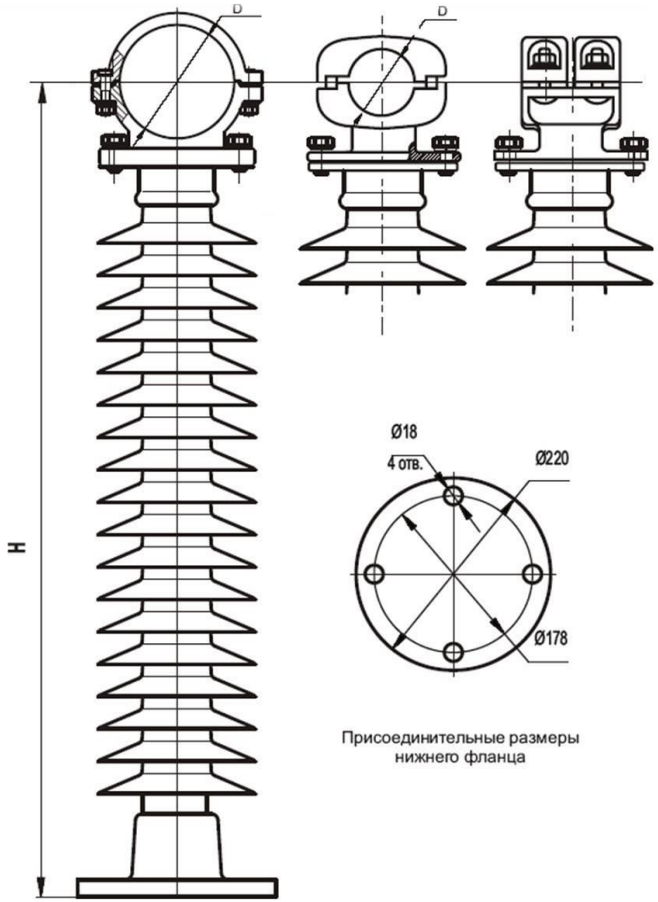
Гирлянды изоляторов

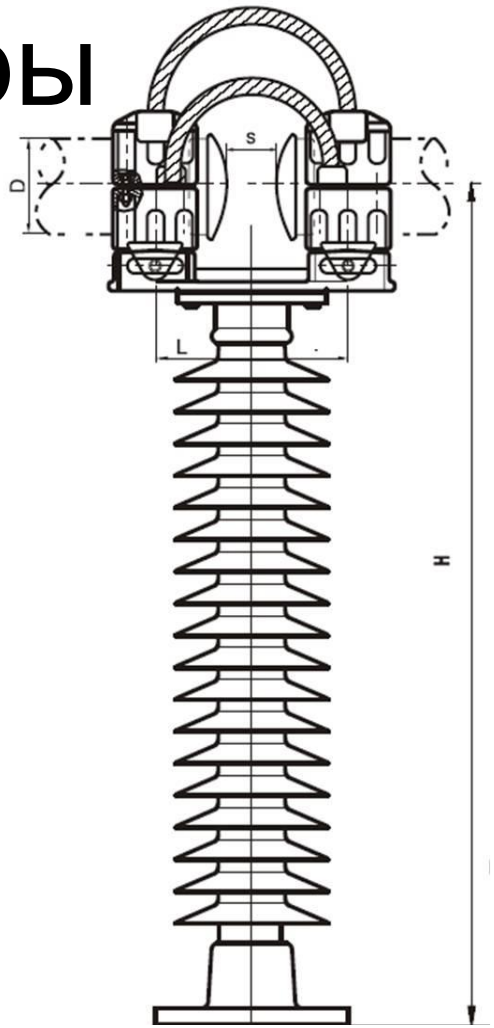


Натяжная гирлянда
1 - серьга;
2-первый изолятор;
3 - последний изолятор;
4 - ушко двулапчатое;
5 - седло (натяжной зажим);
6 - провод

Опорные изоляторы





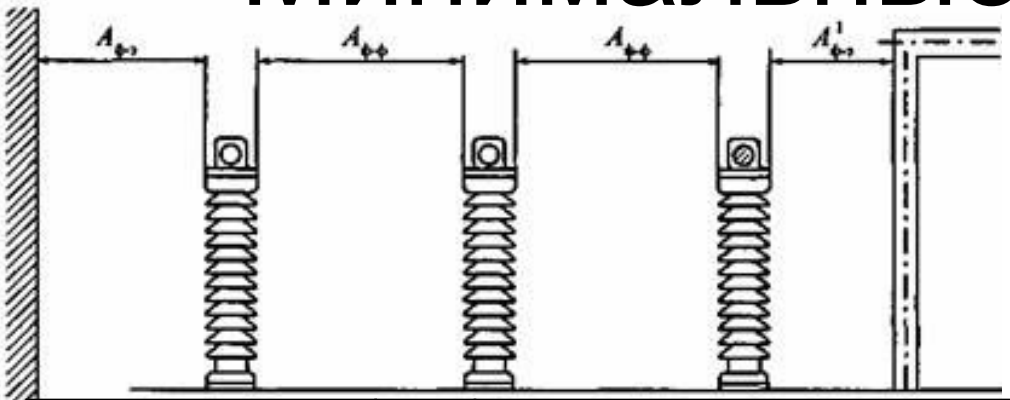


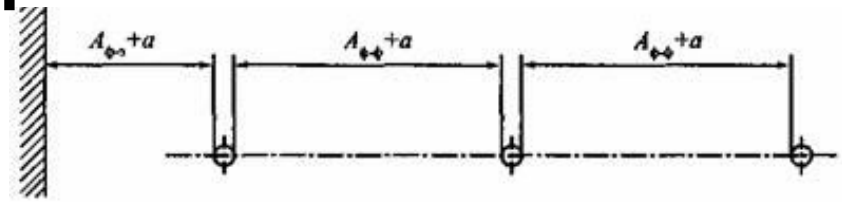
Жесткие опоры наружной установки типа ШОП предназначены для поддержания проводов (шин) , в сетях переменного тока частотой до 60 Гц, а также для изоляции токоведущих частей в электрических аппаратах и ОРУ электрических станций и подстанций

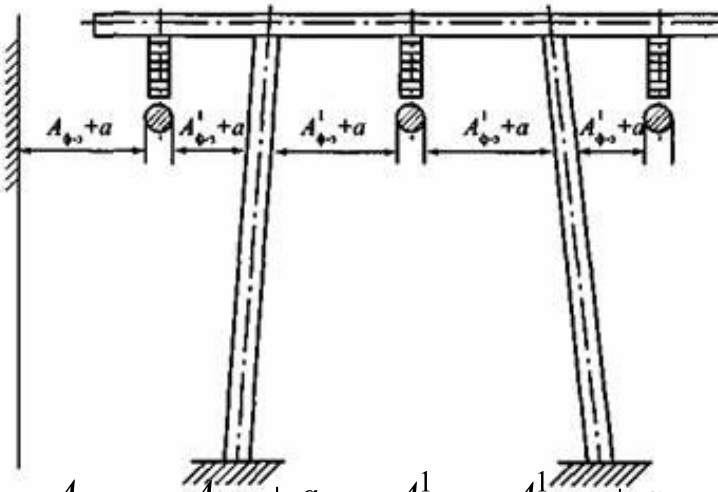
Жесткие опоры наружной установки ШОП-110-Ж предназначены для поддержания алюминиевой трубы жесткой ошиновки 110 кВ в ОРУ электрических станций и подстанций

Жесткие опоры наружной установки предназначены для осуществления гибкой связи

Минимальные расстояния







Наименование расстояния	Обозначение	Изоляционное расстояние, мм, для номинального напряжения, кВ								
		до 10	20	35	110	150	220	330	500	750
От токоведущих частей, находящихся под напряжением, до протяженных заземленных конструкций и до постоянных внутренних ограждений высотой не менее 2 м	$A_{ф-з}$	200	300	400	900	1300	1800/1200	2500/2000	3750/3300	5500/5000
От токоведущих частей, элементов оборудования и изоляции, находящихся под напряжением, до заземленных конструкций	$A'_{ф-з}$	200	300	400	1000	1300	1600/1200	2200/1800	3300/2700	5000/4500
Между токоведущими частями разных фаз	$A_{ф-ф}$	220	330	440	1000	1400	2000/1600	1800/2200	4200/3400	8000/6500

$$A_{ф-з.г} = A_{ф-з} + a \qquad A^1_{ф-з} = A^1_{ф-з.г} + a$$

$$A_{ф-ф.г} = A_{ф-ф} + a$$

где $a = f\sin\alpha$; f - стрела провеса проводов при температуре +15 °С, м; $\alpha = \mathrm{arctg}\, P/Q$; Q - расчетная нагрузка от веса провода на 1 м длины провода, даН/м; P - расчетная линейная ветровая нагрузка на провод, даН/м; при этом скорость ветра принимается равной 60 % значения, выбранного при расчете строительных конструкций.

Выбор токоведущих частей

- **по экономической плотности тока**

$$q_э = \frac{I_{раб}}{j_{эк}},$$

- **по допустимому току из условий нагрева в рабочих утяжеленных режимах**

$$I_{раб.утяж} \leq I_{доп},$$

- **по термической стойкости при к.з**

$$\theta_к \leq \theta_{к.доп}, \quad q_{min\ терм} = \frac{\sqrt{B_к}}{C},$$

- **проверка на динамическую стоикость**

$$\sigma_{расч} \leq \sigma_{доп},$$

- **проверка гибких токоведущих частей по условию коронирования**

$$1{,}07 \cdot E \leq 0{,}9 \cdot E_0.$$

Выбор по экономической плотности тока

$$q_э = \frac{I_{раб}}{j_{эк}},$$

Проводник	Число часов использования максимума		
	до 3000	3000-5000	Свыше 5000
Неизолированные провода и шины:			
из меди	2,5	2,1	1,8
алюминия	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной, провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
из меди	3,0	2,5	2,0
алюминия	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией и жилами:			
из меди	3,5	3,1	2,7
алюминия	1,9	1,7	1,0

Выбор по экономической плотности тока

*По экономической плотности тока **не выбираются**:

- сборные шины электроустановок и ошиновка в пределах открытых и закрытых распределительных устройств всех напряжений, так как нагрузка по их длине неравномерна и на многих участках меньше рабочего тока;
- проводники, идущие к резисторам, пусковым реостатам и т. п.;
- сети временных сооружений, а также устройства со сроком службы 3-5 лет;
- сети промышленных предприятий и сооружений напряжением до 1 кВ при числе часов использования максимума нагрузки , поскольку потери при этом невелики;
- ответвления к отдельным электроприемникам напряжением до 1 кВ, а также осветительные сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий.

Выбор по допустимому току из условий нагрева

$$I_{раб.утяж} \leq I_{доп},$$

допустимый ток выбранного сечения с учетом поправки при расположении плоских шин плашмя (см. ПУЭ п. 1.3.23) или температуре охлаждающей среды, отличной от номинальной (25 ^{0}С). В последнем случае

$$I_{доп} = I_{доп.ном} \cdot \sqrt{\frac{\theta_{дл.доп} - \theta_{охл}}{\theta_{дл.доп} - \theta_{охл.ном}}},$$

где $I_{доп.ном}$ – допустимый ток при температуре охлаждающей среды $\theta_{охл.ном} = \mathbf{25}$ °С ;$\theta_{дл.доп} = \mathbf{70}$ °С – допустимая температура нагрева (для шин); – действующая температура охлаждающей среды.

Выбор по термической стойкости при к.з.

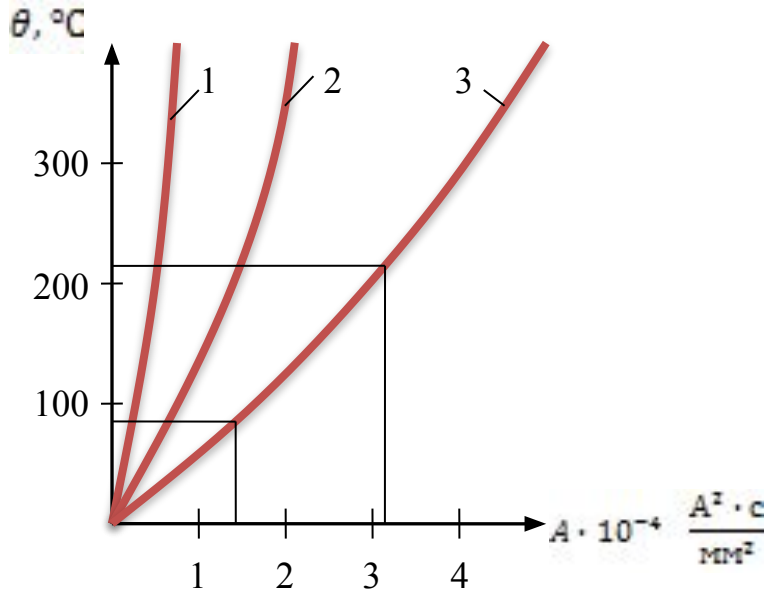


Рисунок – Кривые для определения температуры нагрева токами к.з. проводников из стали (1), алюминия (2), меди (3)

$$\theta_к \le \theta_{к.доп},$$

$\theta_к$ – температура токоведущих частей при нагреве т.к. з.;

$\theta_{к.доп}$ – допустимая температура нагрева шин при к. з.

$$A_к - A_н = B_к / q^2$$

$$A_к = A_н + B_к / q^2$$

$$q_{\min\ терм} = \sqrt{\frac{B_к}{A_{к.доп} - A_н}} = \frac{\sqrt{B_к}}{C},$$

$$q = \max\left(q_{эк} + q_{доп} + q_{\min\ терм}\right).$$

Проверка по электродинамической стойкости

$$f_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-7}}{a} i_{уд}{}^{2} \cdot K_{ф} \cdot K_{расп},$$

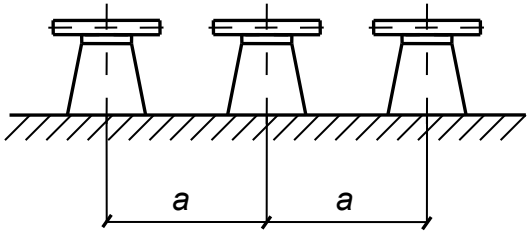
$$\nu_0 = \frac{173{,}2}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{J}{q}},$$

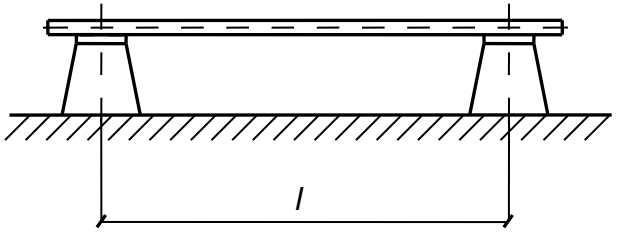
Особенно большие напряжения возникают в условиях резонанса, когда собственные частоты системы шины-изоляторы оказываются близкими к 50 и 100 Гц.

Если собственные <u>частоты системы меньше 30 и больше 200 Гц</u>, то механического резонанса не возникает.

Необходимо исключить резонанс

$$\nu_0 > 200 \text{ Гц}$$





Жесткие шины

Проверка по электродинамической стойкости

- Равномерно распределенная сила f, возникающая в шинах при протекании т.к.з., создает изгибающий момент M

$$M = \frac{f \cdot l^2}{\lambda},$$

где λ – коэффициент, учитывающий используемый тип шинной конструкции.

- Напряжение (в МПа), возникающее в материале шин, определяется из выражения

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W} = \frac{f \cdot l^2}{\lambda \cdot W},$$

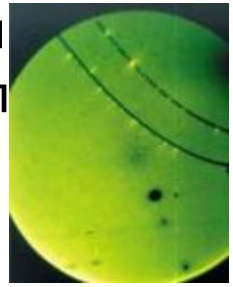
где M – момент инерции, W – момент сопротивления

Шины механически прочны, если выполняется условие:

$$\sigma_{расч} \leq \sigma_{доп},$$

Проверка по условию коронирования

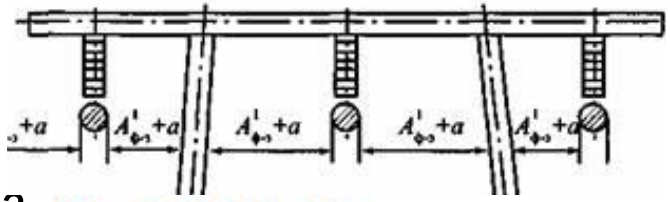
- Разряд в виде короны возникает при максимальном значен начальной критической напряженности электрического пол



$$E_0 = 30{,}3m\left(1 + \frac{0{,}299}{\sqrt{r_0}}\right),$$

- Напряженность электрического поля около нерасщепленного провода определяется по выражению

$$E = \frac{0{,}354 \cdot U}{r_0 \cdot lg\,\frac{D_{ср}}{r_0}},$$



- При горизонтальном расположении фаз $D_{ср} = 1{,}26 \cdot D$,

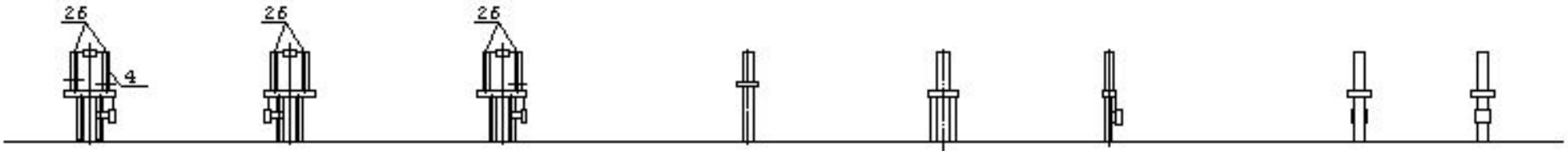
- Провода не будут коронировать, если

$$1{,}07 \cdot E \leq 0{,}9 \cdot E_0.$$

Технико-экономические показатели ОРУ 110 кВ с жесткой и гибкой ошиновкой

Технико-экономические показатели	Вариант с гибкой ошиновкой	Вариант с жесткой ошиновкой
Занимаемая площадь, м^2	4000	3280 (82)
Масса металлоконструкций, т	62	28,1 (45)
Объем, м^2:		
Сборного железобетона	125	112,5 (90)
Земляных работ	820	672,4 (80)
Количество:		
Изоляторов опорных	20	80 (400)
Гирлянд	70	14 (20)
Масса, т:		
Провода АС	1,6	0,9 (55)
Жестких шин	-	1,8
Трудозатраты, чел-дней	800	680 (85)

Блоки



БЛОК "_4"
Разъединитель 3-х полюсный с двумя комплектами ЗН с приводом ____

БЛОК "_2"
Отделитель одно-полюсный с с приводом ___

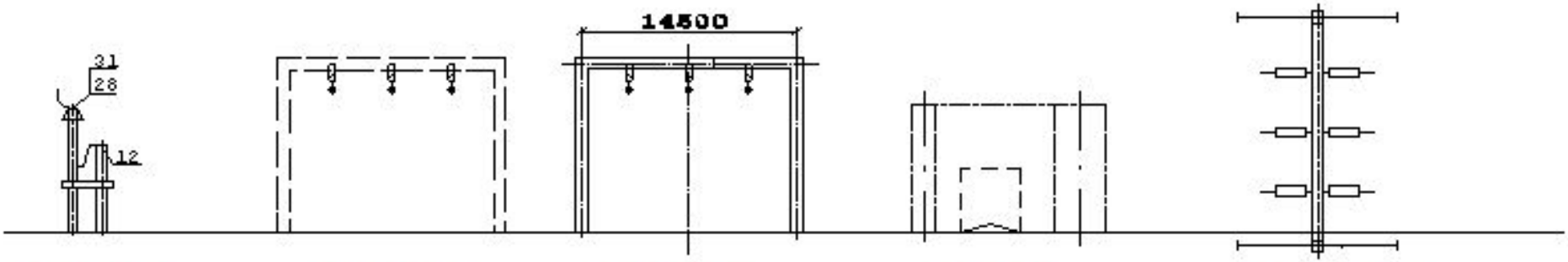
БЛОК "_5"
Разъединитель 3-х полюсный с одним комплектом ЗН с приводом ____

БЛОК "_13"
Шинная опора для крепления одного провода

БЛОК "_10"
Трансформатор тока

БЛОК "_3"
Короткозамкнатель 1-но полюсный с приводом ПРК-1У1 и с трансформаторами тока ТШЛ-0.5

БЛОК "_8А и 8В"
Разъединитель 1-но полюсный с двумя комплектами ЗН с приводом ____



БЛОК "_12"
Разрядник вентильный с регистратором срабатывания

БЛОК "ШИН"

БЛОК "SHIN"

БЛОК "_1"
Узел выключателя с трансформатором тока, либо шинной опорой

БЛОК "PORT2"

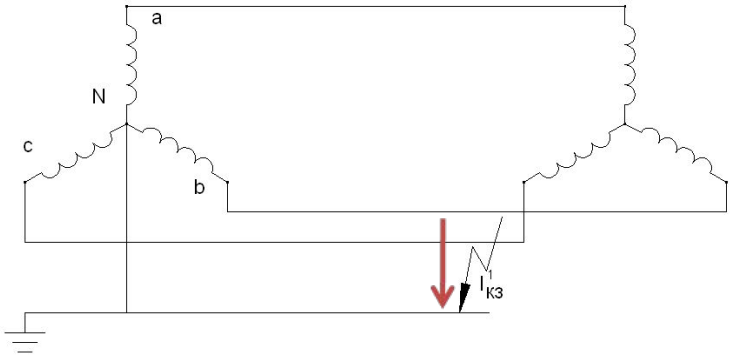
Конструктивное выполнение РУ ПС (часть 3) Грозозащита и Заземление

Заземление

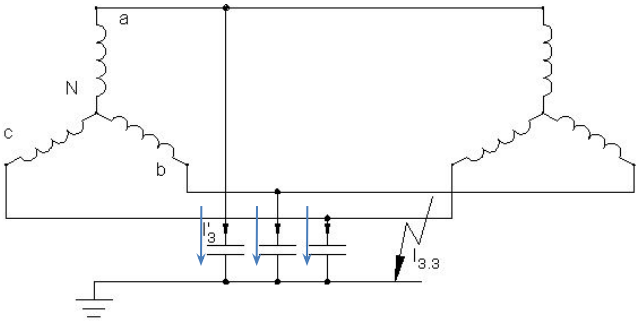
- Рабочее – заземление нейтралей генераторов и трансформаторов;
- Защитное – заземление всех металлических частей установки (*корпусов, каркасов, приводов аппаратов, опорных и монтажных конструкций*);
- Грозозащитное – заземление молниеотводов, защитных тросов, разрядников, ОПН (*ограничителей перенапряжений*)

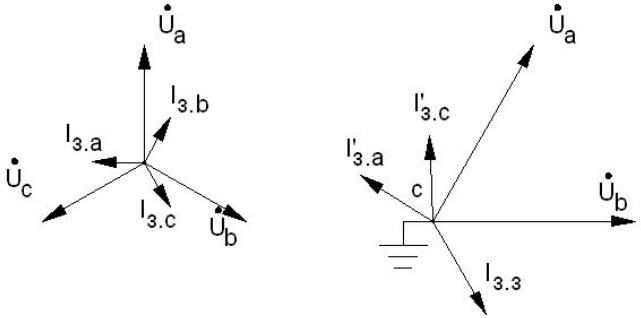
Рабочее заземление

А. Сеть с заземленной нейтралью

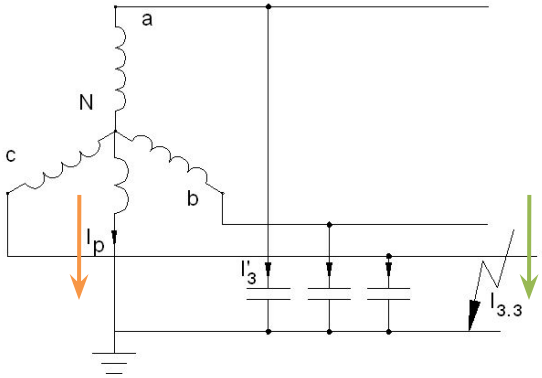


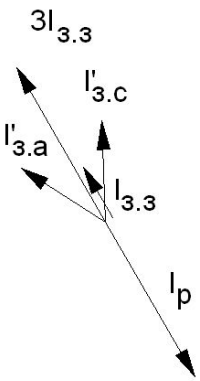
Б. Сеть с изолированной нейтралью





В. Сеть с резонансно-заземленной нейтралью





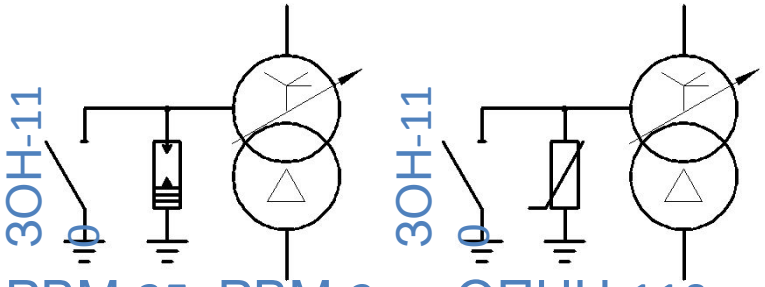
$$\dot{I}_{ЗЗ} = 3\dot{I}_З - \dot{I}_p$$

$$\dot{I}_p = 3\dot{I}_З$$

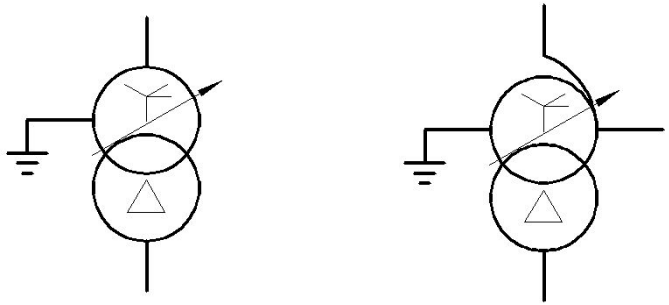
$$\dot{I}_L = -\dot{I}_C, \quad \dot{I}_L + \dot{I}_C = 0$$

Устройство рабочего заземления

А. Трансформатор 110– 220 кВ с РПН



Б. Трансформатор 330–500 кВ и Автотрансформатор с РПН



Защитное заземление

- Защитное заземление - это заземление всех металлических частей установки (*корпусов, каркасов, приводов аппаратов, опорных и монтажных конструкций*);

- Выполняется с целью повышения безопасности эксплуатации, уменьшения вероятности поражения персонала и животных электрическим током в процессе эксплуатации электроустановок.

Защитное заземление

- Нарушение электроизоляции обмоток электродвигателей или проводов, а также накопление электростатических зарядов на различных деталях технологического оборудования часто приводят к поражению людей электрическим током, возгораниям и взрывам.

Виды перенапряжений

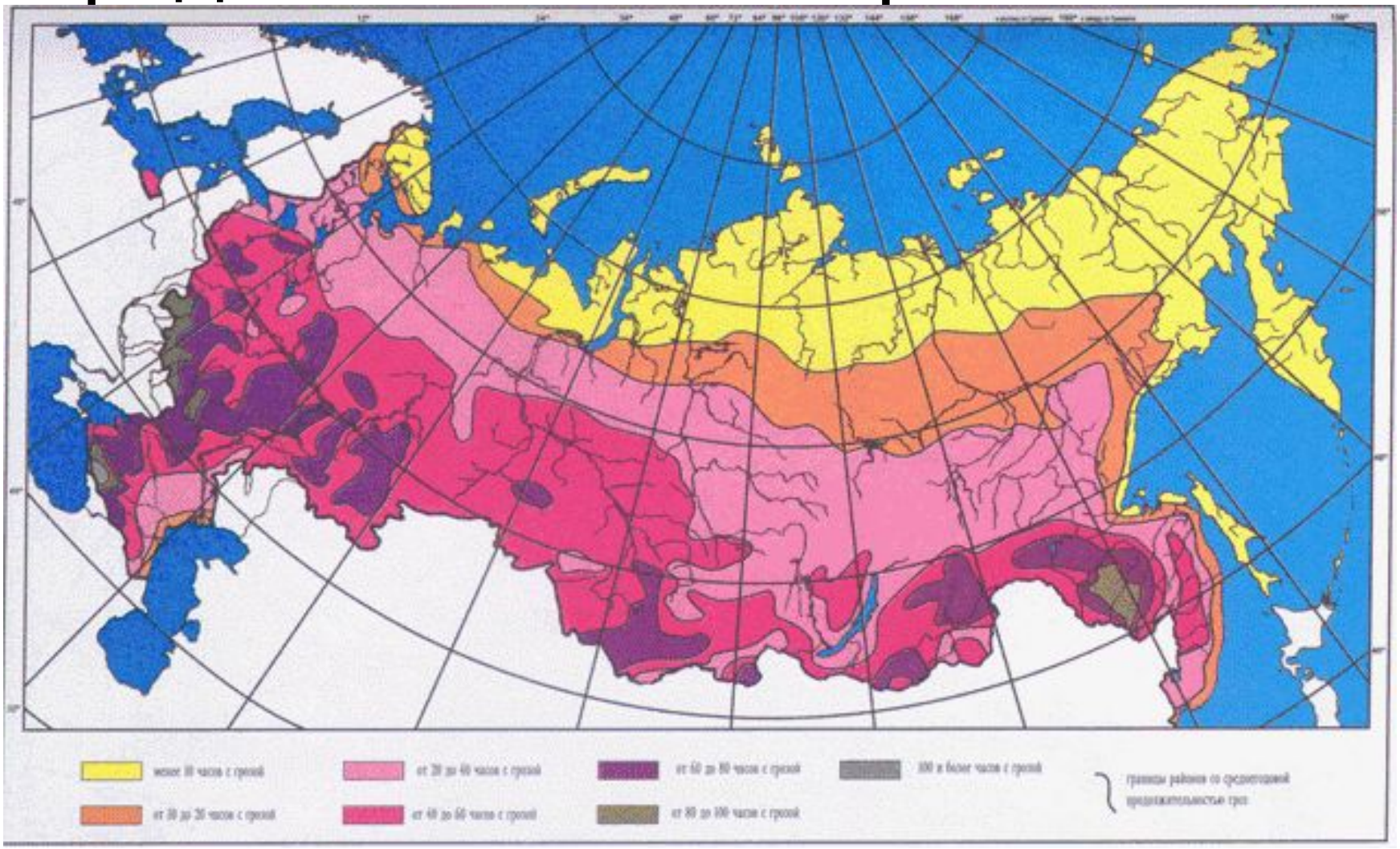
- Внутренние (коммутационные и резонансные).

  Перенапряжения дуговых замыканий на землю в электросетях с незаземленной нейтралью достигают значений $(3,5 – 3,65)\cdot U_{ср}$;

  Перенапряжения при отключении ненагруженных линий достигает $3,5\cdot U_{ср}$;

  Перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов для сетей с заземленной нейтраллью достигает значения $3\cdot U_{ср}$, а для сетей о изолированной нейтралью - $(4 - 5)\cdot U_{ср}$;
- Атмосферные перенапряжения (перенапряжения прямого удара молнии и индуцированные перенапряжения).

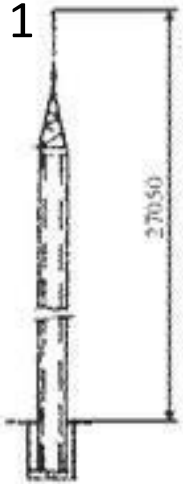
Среднегодовая продолжительность гроз в часах



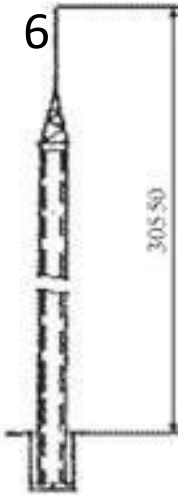
Защита от прямого удара молнии

МЖ-24,3

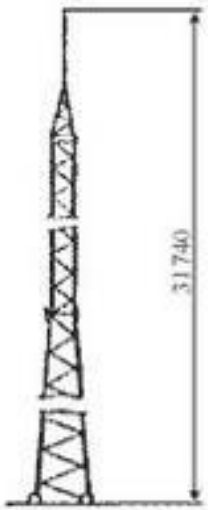
МЖ-27,1



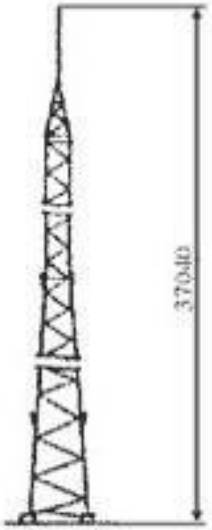
МЖ-30,6



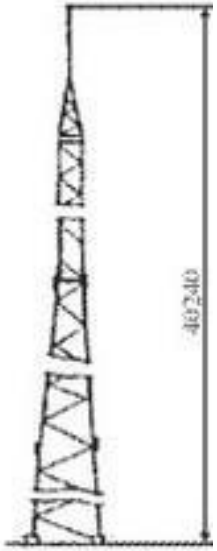
МС-31,7



МС-37,0



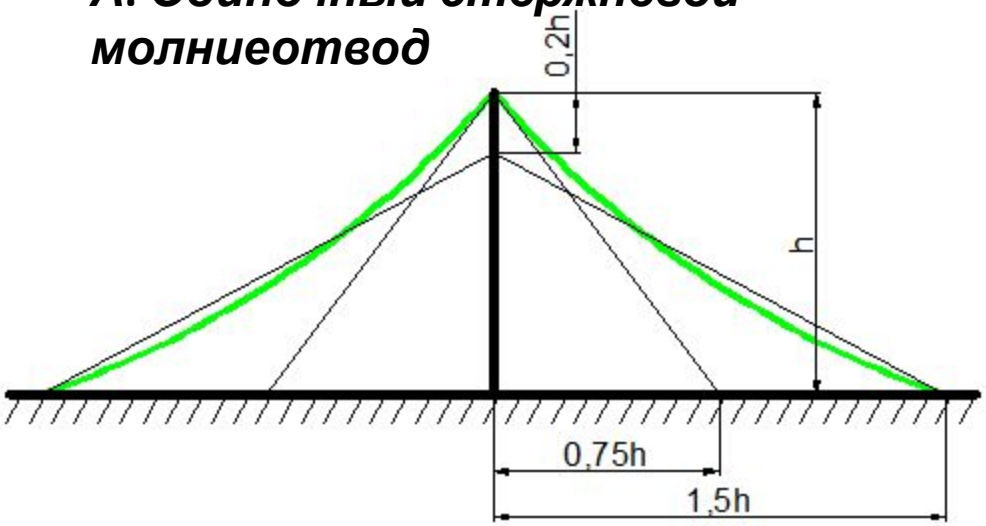
МС-40,2



- Железобетонные молниеотводы
- Стальные молниеотводы

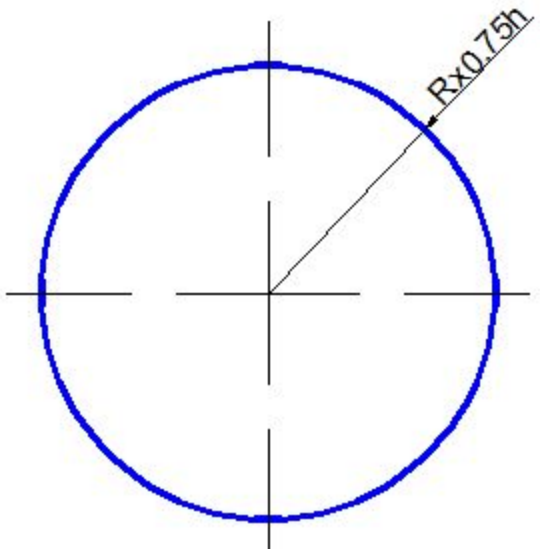
Зоны защиты молниеотводов

А. Одиночный стержневой молниеотвод



Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

$$r_x = \frac{1.6 \cdot h_a}{\left(1 + \frac{h_x}{h}\right)}$$



r_x - радиус защиты на высотh_x

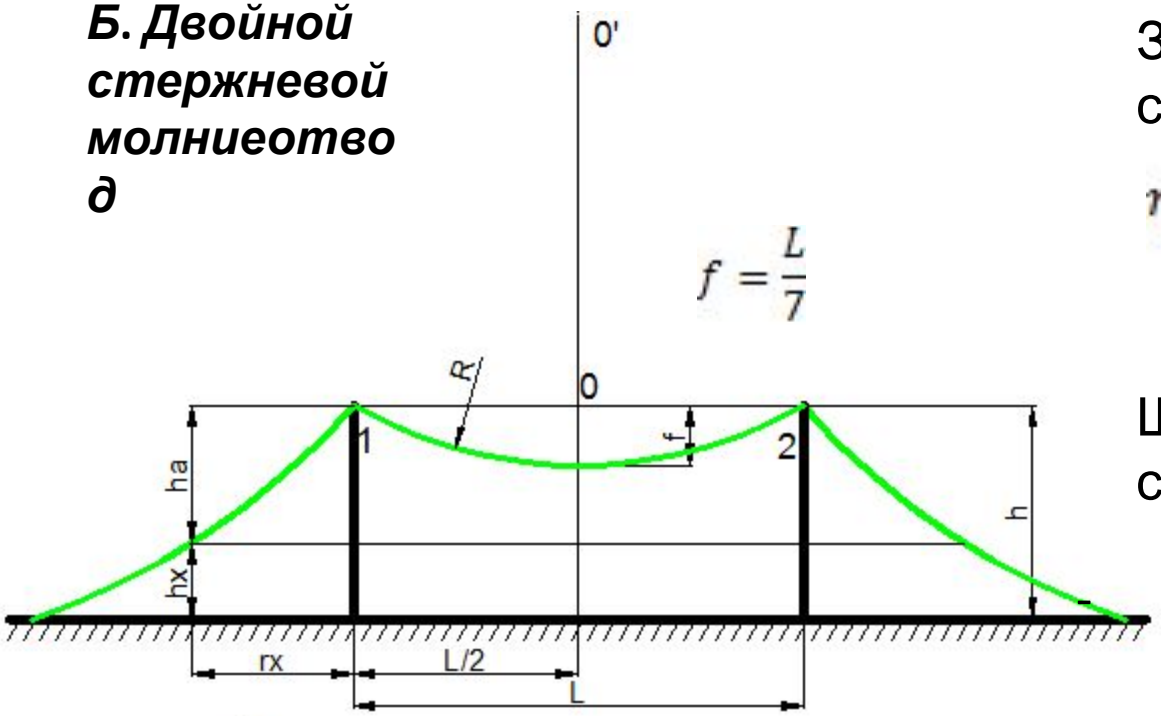
h - высота молнтеотвода

h_x - высота защищаемого объекта

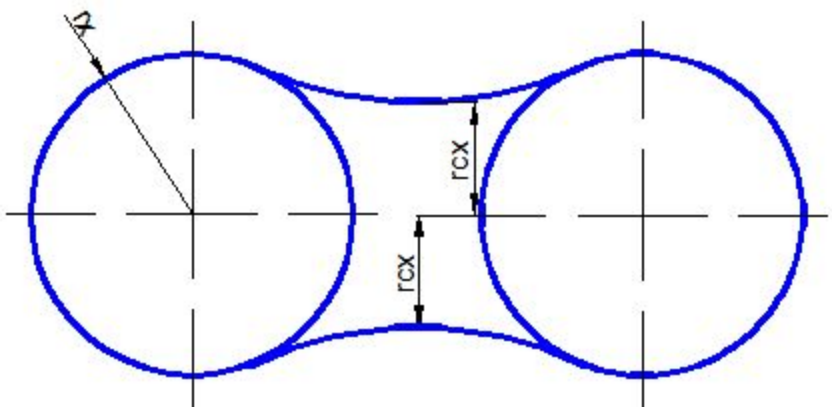
$h_a = h - h_x$ - активная высота молниеотвода

Зоны защиты молниеотводов

Б. Двойной стержневой молниеотвод



$$f = \frac{L}{7}$$



Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

$$r_x = \frac{1.6 \cdot h_a}{\left(1 + \frac{h_x}{h}\right)}$$

Ширина зоны защиты двух стержневых молниеотводов:

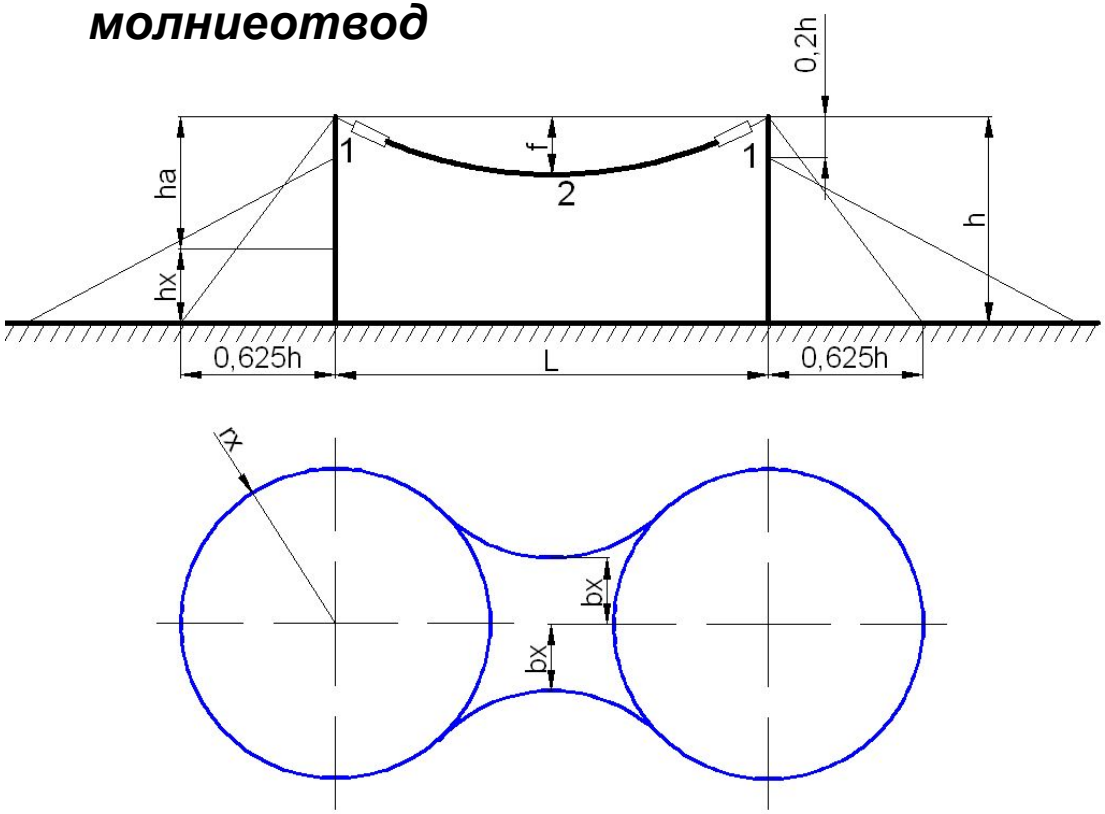
$$r_{cx} = 4r_x \cdot \frac{7 \cdot h_a - L}{14 \cdot h_a - L}$$

L -расстояние между молниеотводами, м

f -стрела провеса троса в середине пролета, м

Зоны защиты молниеотводов

В. Тросовый молниеотвод



Зона защиты

$$r_x = h \cdot \frac{1,2}{1 + \frac{h_x}{h_{mp}}}$$

$$h_{mp} = h - f$$

f -стрела провеса троса в середине пролета, м (определяется по кривым провеса троса)

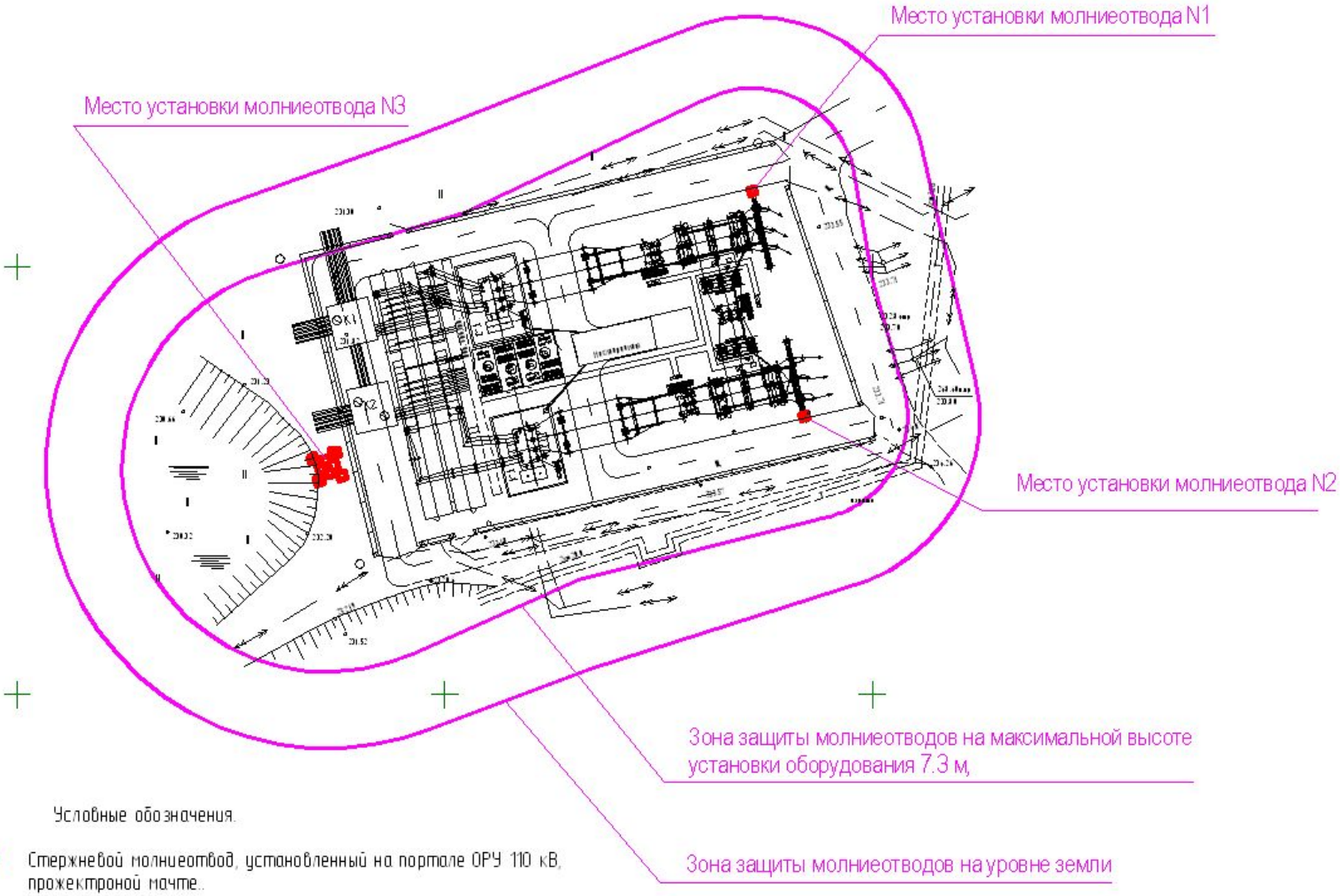
h -высота точки подвеса троса, м

Зоны защиты ПС

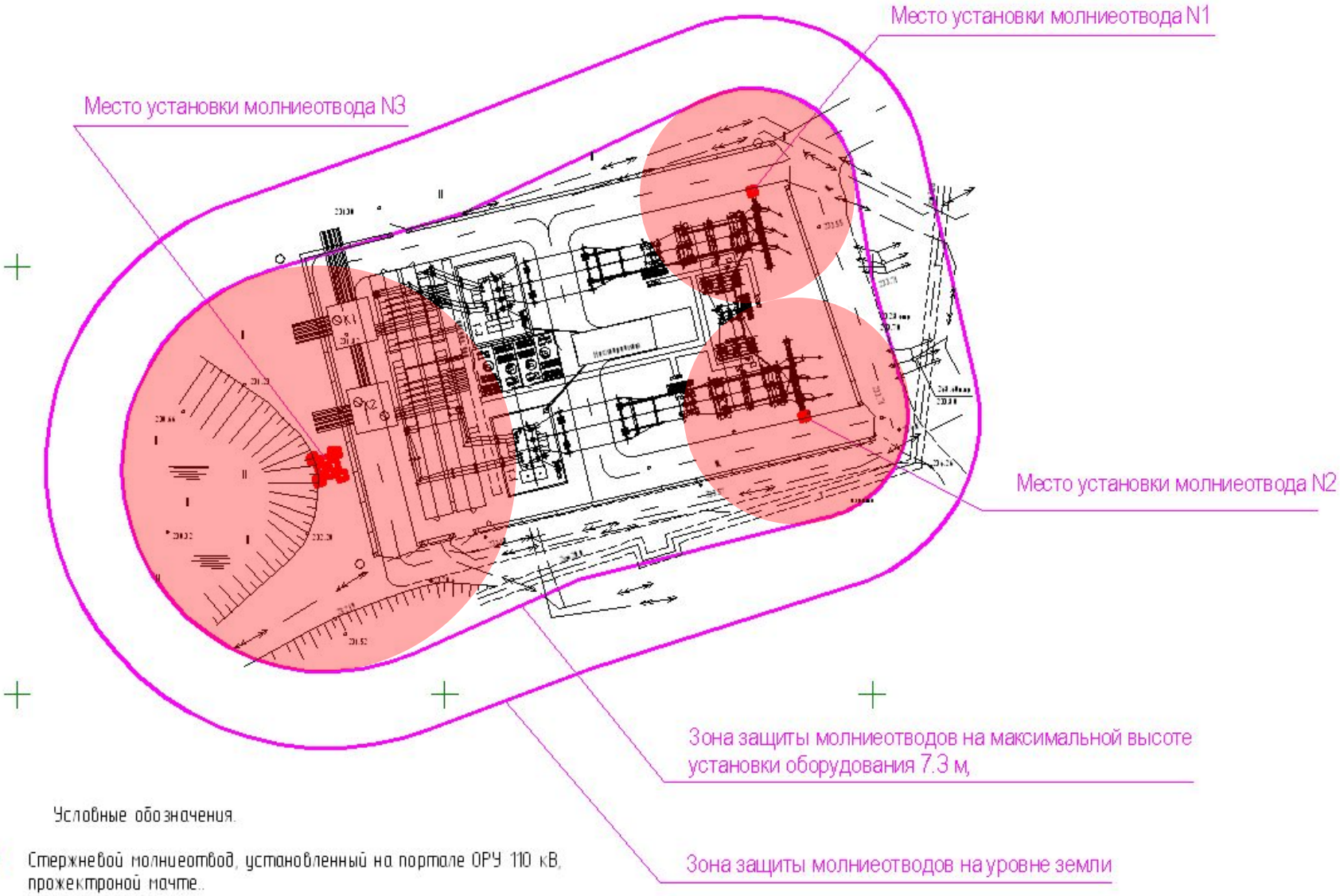
- По полученным данным строится сечение зоны защиты.

Для построения зоны защиты трех- и четырехстержневых молниеотводов строят зоны защиты всех соседних, взятых попарно единичных молниеотводов, рассчитываемые как двойные стержневые молниеотводы.

Грозозащита



Грозозащита



Зона защиты молниеотводов

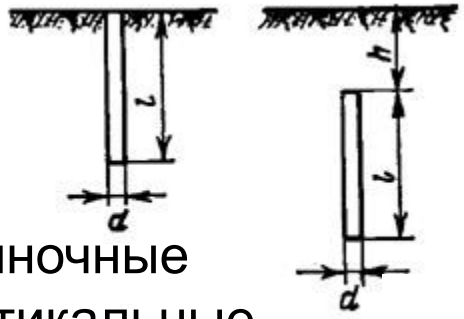
$$D \leq 8(h - hx)$$

где D:

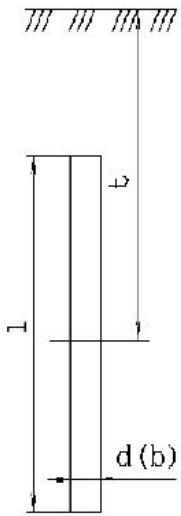
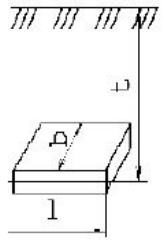
-*для трехстержневых* молниеотводов – диаметр окружности, проходящей через точки их установки;

для четырехстержневых молниеотводов

Заземлители



Одиночные вертикальные заземлители

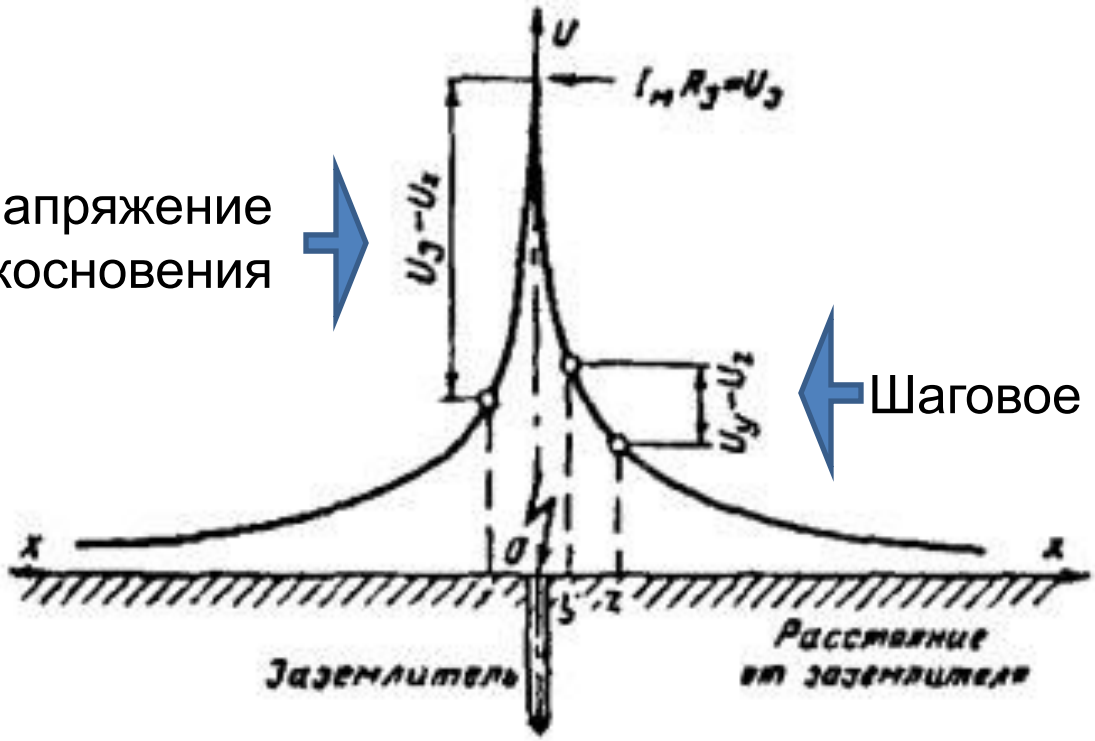
Форма электрода и его размеры, см	Расположение электрода	**Сопротивление заземлителя,**
Труба длиной l и диаметром d		$R_{тр} = \frac{0{,}365 \cdot \rho_{расч}}{l} \cdot \left[\lg\frac{2l}{d} + 0{,}5 \cdot \lg\frac{4t+l}{4t-l} \right]$
Уголок длиной l и шириной полки b		Формула (7.4) при $d = 0{,}35b$
Уголок 5х5 $l = 250$		$R_{уг} = 0{,}00318 \cdot \rho_{расч}$
Уголок 6х6		$R_{уг} = 0{,}002318 \cdot \rho_{расч}$
Труба d = 6 $l = 250$		$R_{тр} = 0{,}00308 \cdot \rho_{расч}$
Полоса длиной l и шириной b		$R_{пол} = \frac{0{,}366 \cdot \rho_{расч}}{l} \cdot \lg\frac{2l^2}{b \cdot t}$
Круглый проводник длиной l и диаметром d		Формула (7.8) при $b = 2d$

Эквивалентное удельное сопротивление грунта

Грунт	ρ, Ом·см
Песок	$7 \cdot 10^4$
Супесок речной	$3 \cdot 10^4$
Суглинок	$2 \cdot 10^4$
Глина	$1 \cdot 10^4$
Глина, смешанная с известняком и щебнем	$1{,}5 \cdot 10^4$
Садовая земля	$0{,}4 \cdot 10^4$
Чернозем	$2 \cdot 10^4$
Лесс	$3 \cdot 10^4$
Гранит, известняк, песчаник	$1 \cdot 10^7$

Контур заземления

Напряжение прикосновения

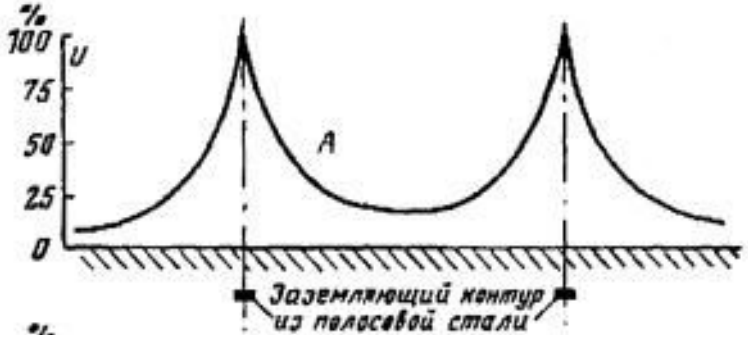


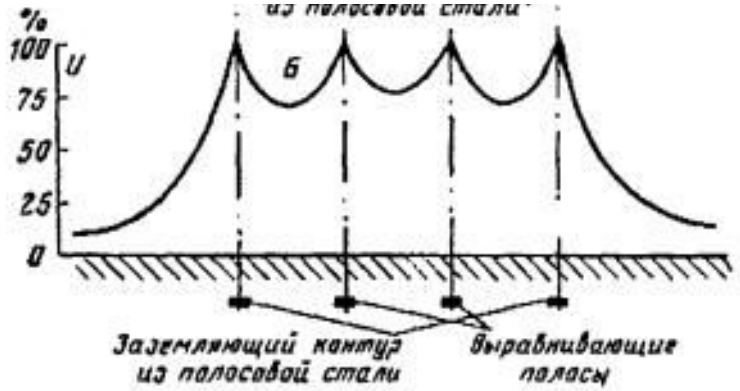
Шаговое напряжение

Изменение потенциала вблизи заземлителя при прохождении через него тока молнии

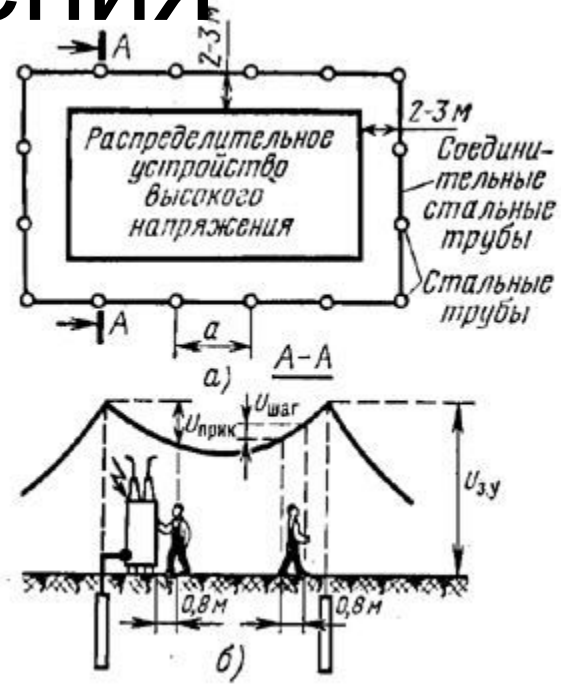
Контур заземления

Заземляющих контур

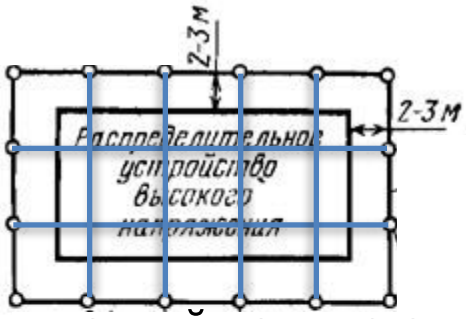




Распределение потенциалов на поверхности земли при стекании с заземляющего контура тока молнии



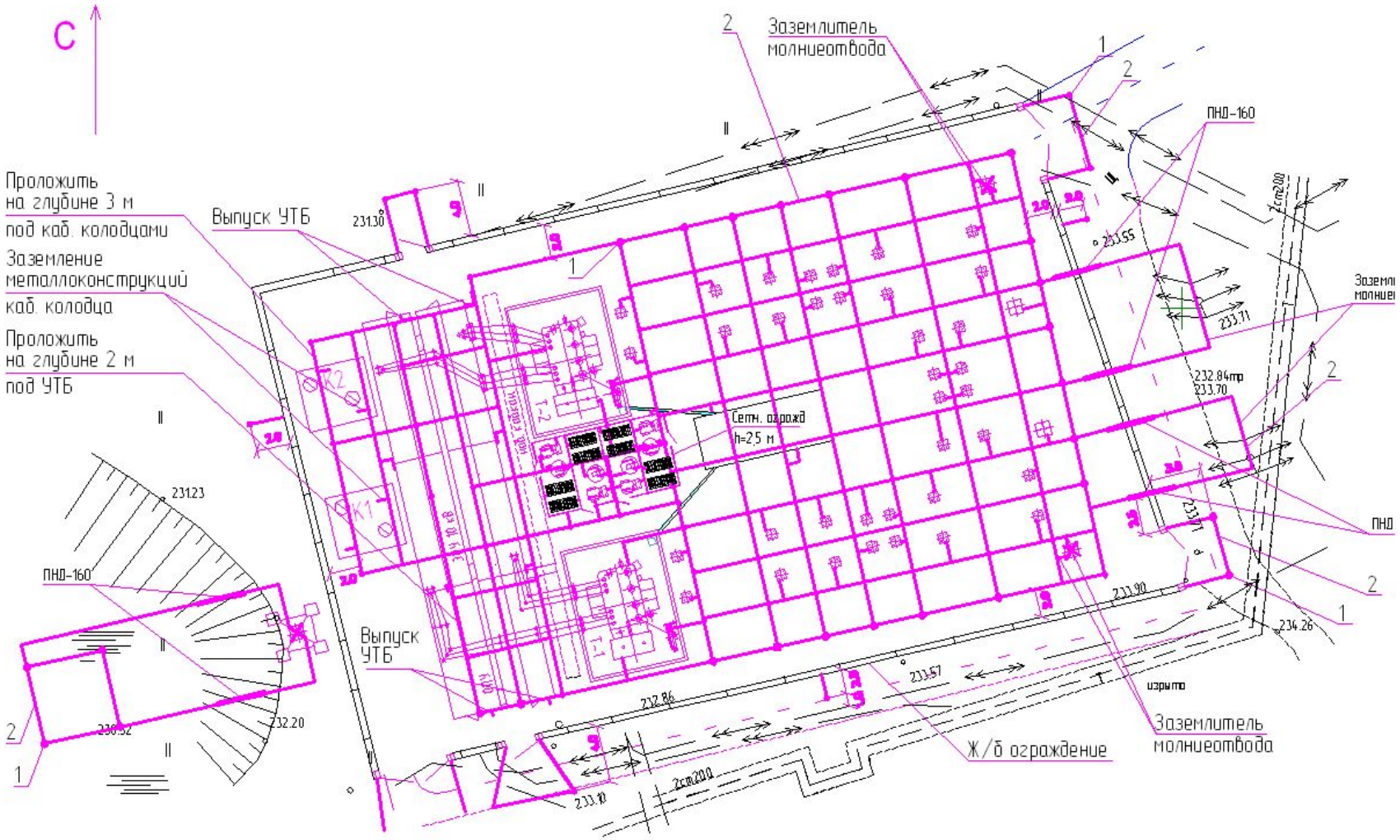
Заземляющий контур из полосовой



Заземляющий контур с полосами выравнивания потенциалов

Заземляющие устройства

- Рабочее
- Грозозащитное
- Защитное

Общая система заземления электроэнергетическог о объекта

Устройство системы