



**Министерство образования и науки РФ
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова»**

О.П. БАЛАШОВ

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

**Методическое пособие к выполнению расчетного задания
для студентов, обучающихся по направлению
«Электроэнергетика и электротехника», заочной
формы обучения**

Рубцовск 2015

УДК 621.31

Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Методические указания к выполнению расчетного задания для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», заочной формы обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2015. – 43 с.

В методических указаниях приводится содержание расчетного задания по технике высоких напряжений. Рассмотрены методики расчета зон защиты подстанций от прямых ударов молнии, расчет заземляющего устройства. Предназначено для студентов направления заочной формы обучения.

Рассмотрены и одобрены
на заседании кафедры электро-
энергетики РИИ.
Протокол № 5 от 30.04.2015 г.

Рецензент: к.т.н., доцент

Э.С. Маршалов

© Рубцовский индустриальный институт, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Содержание расчетного задания.....	5
Расчет зоны защиты ОРУ подстанции от прямых ударов молнии	6
Расчет заземляющего устройства подстанции	23
Вопросы текущего контроля знаний	32
Вопросы к экзамену	34
Список литературы и учебно-методических материалов	36
ПРИЛОЖЕНИЕ А	37

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Техника высоких напряжений» относится к дисциплинам базовой части профессионального цикла федерального компонента ФГОС ВПО направления «Электроэнергетика и электротехника».

Целью изучения дисциплины является получение студентами знаний в области возникновения и развития электрических разрядов в различных средах, видов изоляции высоковольтного оборудования, способов получения и измерения высоких напряжений, различной природе возникновения перенапряжений и защиты от них.

В результате изучения дисциплины обучающиеся должны

Знать:

Основные процессы возникновения и развития электрических разрядов в различных средах и механизмы пробоя диэлектриков, состав и виды изоляции высоковольтного оборудования, виды перенапряжений, методики выбора молниезащитного оборудования и аппаратов защиты от перенапряжений на электроэнергетических объектах.

Уметь:

Использовать методы моделирования для анализа и расчета электрофизических процессов в различных диэлектрических средах, выбирать оптимальные условия функционирования высоковольтной изоляции электроэнергетических установок, рассчитывать зоны защиты молниеотводов, параметры контура заземляющего устройства и величину перенапряжений при несимметричных режимах работы электроэнергетических установок.

Владеть:

Основами оценки конфигурации электрических полей и состояния диэлектрической и высоковольтной изоляции электроэнергетических установок, навыками определения параметров и выбора состава аппаратов защиты от перенапряжений и молниезащиты электроэнергетических объектов.

Указанная дисциплина не только имеет самостоятельное значение, но и является базой для ряда специальных дисциплин.

Для освоения необходимы знания дисциплин: «Физика», «Теоретические основы электротехники».

СОДЕРЖАНИЕ РАСЧЕТНОГО ЗАДАНИЯ

1. Начертить план и боковой разрез понизительной подстанции, определить его основные размеры.
2. На территории подстанции расставить молниеотводы для защиты электрооборудования от прямых ударов молнии. Определить необходимое число молниеотводов и рассчитать их высоту.
3. На плане и боковом разрезе подстанции показать границы зоны защиты молниеотводов.
4. С учетом сопротивления заземления естественных заземлителей определить допустимую величину стационарного сопротивления контура заземления.
5. Определить параметры контура заземления (длину и число вертикальных электродов, шаг сетки), обеспечивающие допустимую величину его стационарного сопротивления заземления.

РАСЧЕТ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ОРУ ПОДСТАНЦИИ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ

Содержание задания:

Согласно своему варианту рассчитать и построить зоны защиты молниеотводов подстанции на уровне земли, на уровне h_{X1} и на уровне h_{X2} . Исходные данные для расчета геометрические размеры объекта и места установки молниеотводов показаны в приложении А.

Примечание. Для объектов I категории по устройству молниезащиты согласно Инструкции РД 34.21.122-87 (защитная зона типа А) или СО-153-34.21.122-2003 (I уровень надежности защита) построить защитные зоны, которые бы полностью покрывали всю территорию объекта.

Методические указания к выполнению задания п. 1-3.

Расчет зоны защиты ОРУ подстанции от прямых ударов молнии

Общие требования

Одним из важных условий бесперебойной работы подстанций является обеспечение надежной грозозащиты зданий, сооружений и электрооборудования.

Защита подстанций от прямых ударов молнии осуществляется стержневыми и тросовыми молниеотводами.

При разработке системы молниезащиты для конкретных подстанций следует пользоваться следующими рекомендациями ПУЭ:

1) Открытые подстанции и ОРУ напряжением 20-500 кВ должны быть защищены от прямых ударов молнии. Выполнение защиты от прямых ударов молнии не требуется: для подстанций напряжением 20 и 35 кВ с трансформаторами единичной мощностью 1600 кВА и менее - независимо от числа грозовых часов в году; для всех ОРУ и подстанций напряжением 20 и 35 кВ в районах с числом грозовых часов в году не более 20; для ОРУ и подстанций напряжением 220 кВ и ниже на площадках с удельным сопротивлением грунта в грозовой сезон более 2000 Ом-м при числе грозовых часов в году не более 20*.

2) Здания ЗРУ и закрытых подстанций следует защищать от прямых ударов молнии в районах с числом грозовых часов в году более 20. Защиту зданий ЗРУ и закрытых подстанций, имеющих металлические покрытия кровли или железобетонные несущие конструкции кровли, следует выполнять заземлением этих покрытий (конструкций). Для защиты зданий ЗРУ и закрытых подстанций,

* Среднегодовая продолжительность гроз.

крыша которых не имеет металлических покрытий либо железобетонных несущих конструкций или не может быть заземлена, следует устанавливать стержневые молниеотводы или молниеприемные сетки непосредственно на крыше зданий.

3) Защита от прямых ударов молнии ОРУ напряжением 220 кВ и выше должна быть выполнена стержневыми молниеотводами, устанавливаемыми, как правило, на конструкциях ОРУ (порталах). Следует использовать также защитное действие высоких объектов, которые являются молниеприемниками (опоры ВЛ, прожекторные мачты, радиомачты и др.). На конструкциях ОРУ напряжением 35-150 кВ стержневые молниеотводы могут устанавливаться при эквивалентном удельном сопротивлении грунта в грозовой сезон*: до 500 Ом·м (35 кВ) и до 1000 Ом·м (110 и 150 кВ) - независимо от площади заземляющего контура подстанции; от 500 до 750 Ом·м (35 кВ) и от 1000 до 2000 Ом·м (110 и 150 кВ) - при площади заземляющего контура подстанции 10000 м² и более.

4) От стоек конструкции ОРУ с молниеотводами должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в трех-четырех направлениях для ОРУ 35 кВ и не менее чем в двух-трех - для ОРУ 110 и 150 кВ. Кроме того, должно быть установлено соответственно два-три или один-два вертикальных электрода длиной 3-5 м на расстоянии, не меньшем длины электрода от стойки с молниеотводом.

5) Гирлянды подвесной изоляции на порталах ОРУ 35 кВ с тросовыми или стержневыми молниеотводами, а также на концевых опорах ВЛ 35 кВ в том случае, если трос не заводится на подстанцию, должны иметь на два изолятора больше, чем обычно. Расстояние по воздуху от конструкций ОРУ, на которых установлены молниеотводы, до токоведущих частей должно быть не менее длины гирлянды.

Большую опасность для изоляции трансформаторов представляет установка молниеотводов на трансформаторных порталах, т.к. при поражении молнией молниеотвода, находящегося вблизи трансформатора, кожух трансформатора приобретает потенциал молниеотвода, который может привести к обратному перекрытию изоляции трансформатора. Допускается устанавливать молниеотводы на трансформаторных порталах и конструкциях ОРУ, удаленных от порталов трансформаторов на расстояние менее 15 метров, если удельное сопротивление грунта на площадке подстанции в грозовой сезон не превышает 350 Ом·м, при соблюдении условий:

* Данная величина сопротивления определяется по данным замеров без учета коэффициента сезонности k_c .

- непосредственно на выводах обмоток 3-35 кВ или на расстоянии не более 5 м по ошиновке от выводов установлены вентильные разрядники;
- присоединение стоек порталов с молниеотводами к магистралям заземления выполняется таким образом, чтобы обеспечивалась возможность растекания тока молнии в трех-четыре направлениях;
- на магистралях заземления, на расстоянии 3-5 м от стойки с молниеотводом, должно быть установлено два-три вертикальных электрода длиной 5 м;
- на подстанциях с высшим напряжением 20 и 35 кВ сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом без учета заземлителей, расположенных вне контура заземления ОРУ.

Защиту от прямых ударов молнии ОРУ, на конструкциях которых установка молниеотводов не допускается или нецелесообразна по конструктивным соображениям, следует выполнять отдельно стоящими молниеотводами, имеющими обособленные заземлители с сопротивлением не более 80 Ом.

Молниеотводы состоят из четырех конструктивных элементов (рисунок 1): молниеприемника 1, несущей конструкции 2, токоотвода 3 и заземлителя 4. Молниеприемник должен надежно противостоять механическим и тепловым воздействиям тока молнии. Несущая конструкция должна иметь высокую механическую прочность, которая исключила бы случаи падения молниеотвода на оборудование подстанции. Токопроводящий спуск молниеотвода соединяется с заземляющим устройством ОРУ. Электрические соединения отдельных частей токоотвода между собой, с молниеотводом и ЗУ выполняются при помощи сварки. Необходимо предусмотреть и антикоррозионные покрытия токоотводов.

Стержневые молниеприемники изготавливают из прокатной стали различного профиля. Наиболее распространенными сортаментом стали являются прутки и водогазопроводные трубы.

В качестве тросового молниеприемника часто используют стальной оцинкованный спиральный канат марки ТК сечением 50 мм².

Для устройства токоотводов применяют круглую сталь и стальной канат диаметром 5-6 мм или полосовую сталь прямоугольную и угловую с площадью поперечного сечения 24 и 48 мм². На металлических или железобетонных молниеотводах токоотводом может служить металлическая ферма или стальная арматура конструкции.

Несущие конструкции молниеотводов изготавливают из древесины, железобетона и металла. Деревянные конструкции отдельно стоящих молниеотводов используют в основном для защиты сельскохозяйственных объектов. Высота молниеотводов такого типа составляет 8-20 м.

Несущие конструкции из железобетона применяют при тех же геометрических размерах защищаемых объектов, что и деревянные.

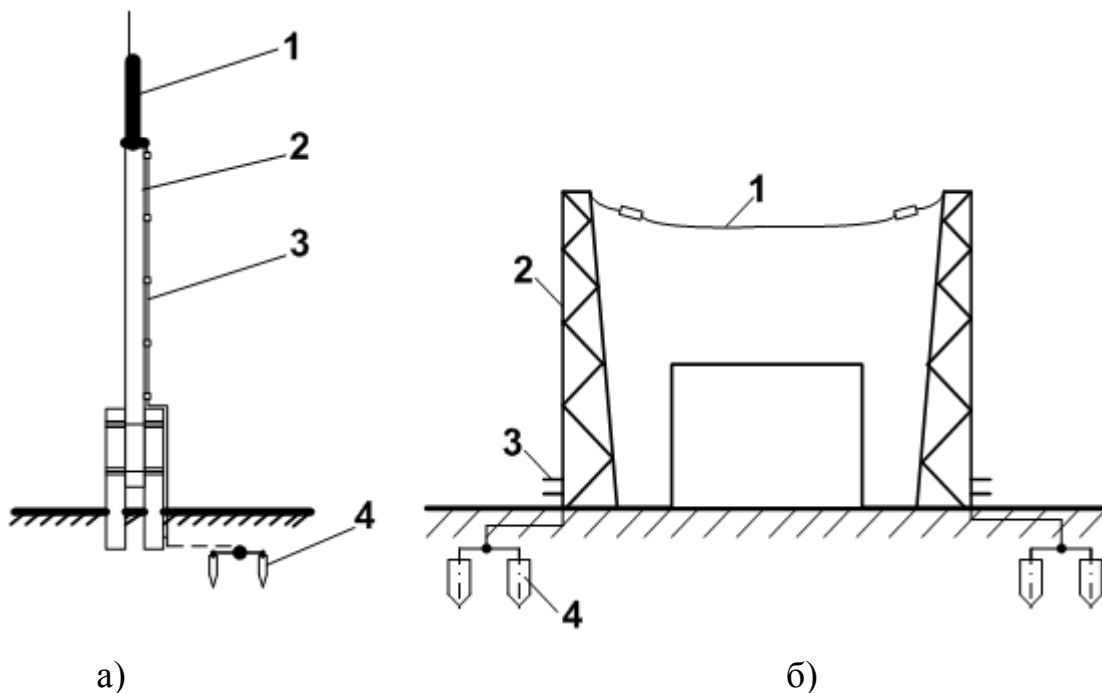


Рисунок 1 – Конструкция стержневого (а) и тросового (б) молниеотводов:

1 - молниеприемник, 2 - несущая конструкция, 3 - токоотвод, 4 – заземлитель

Металлические молниеотводы находят широкое применение при защите высоких протяженных объектов, где требуемая высота молниеотвода составляет 20-30 м.

Наибольшая оптимальная высота несущих конструкций отдельно стоящих молниеотводов (тросовых и стержневых) не превышает 45-50 м.

Заземляющее устройство молниезащиты выполняют аналогично заземляющим устройствам электроустановок.

Определение зоны защиты стержневых молниеотводов

Защитное действие молниеотводов характеризуется его зоной защиты, которая представляет пространство, не поражаемое прямыми ударами молний. Сооружение считается защищенным от ударов молнии, если все его части находятся в пределах зоны защиты молниеотводов. Согласно нормативным документам:

1) РД 34.21.122-87 различают зоны защиты *типа А*, где степень надежности составляет 99,5% и выше (для электроустановок), и зону защиты *типа В* со степенью надежности 95% и выше.

2) СО-153-34.21.122-2003 различают - 4 уровня защиты: I уровень надежность защиты принимается $P_3 = 0,99$ (для электроустановок); II – $P_3 = 0,95$; III – $P_3 = 0,9$; IV – $P_3 = 0,8$.

Такие объекты, как открытые распределительные устройства подстанций, располагаются на достаточно большой территории и защищаются поэтому несколькими молниеотводами. В этом случае зону защиты определяют как зону защиты попарно взятых соседних молниеотводов (рисунок 2).

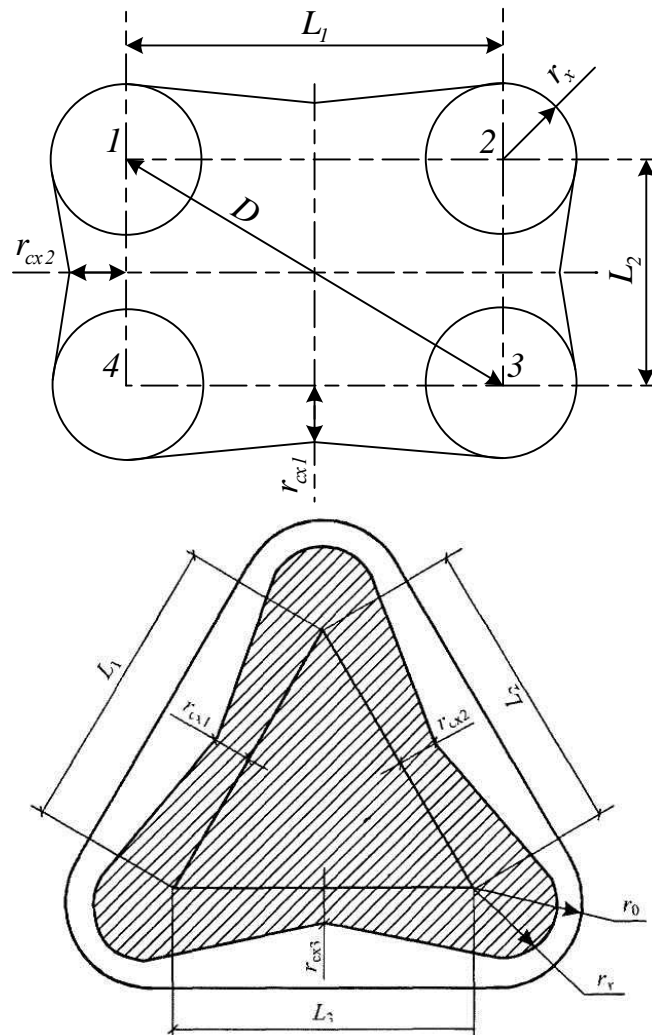


Рисунок 2 - Защитные зоны четырех (а) и трех стержневых (б) молниеотводов

Объект высотой h_x , находящийся внутри остроугольного треугольника или прямоугольника, в вершинах которого установлены молниеотводы, защищен в том случае, если диаметр окружности, проходящей через вершины треугольника, в которых установлены молниеотводы, или диагональ прямоугольника, в углах которого находятся молниеотводы, удовлетворяют условию:

$$D \leq 8 \cdot p \cdot h_A. \quad (1)$$

Условием защищенности объектов высотой h_x с надежностью, соответствующей зонам, является выполнение неравенства $r_{cx} > 0$ для всех попарно взятых молниеотводов.

Рассчитать молниезащиту - это значит определить тип защиты, ее зону и параметры.

По типу молниезащита (м/з) может быть следующей:

- одностержневой;
- двухстержневой одинаковой или разной высоты;
- многократной стержневой;
- одиночной тросовой;
- многократной тросовой.

Параметрами молниезащиты являются:

h - полная высота стержневого молниеотвода, м;

h_0 - высота вершины конуса стержневого молниеотвода, м;

h_x - высота защищаемого сооружения, м;

h_m - высота стержневого молниеприемника, м;

h_a - активная высота молниеотвода, м;

r_o, r_x - радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения, м;

h_c - высота средней части двойного стержневого молниеотвода, м;

$2r_c, 2r_x$ - ширина средней части зоны двойного стержневого молниеотвода на уровне земли и на высоте защищаемого объекта, м;

α - угол защиты (между вертикалью и образующей), град;

L - расстояние между двумя стержневыми молниеотводами, м;

a - длина пролета между опорами троса, м;

h_{on} - высота опоры троса, м;

$r_x + r'_x$ - ширина зоны тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_{cx}$ - длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения, м;

$a + 2r_c$ - длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне земли, м.

В зависимости от особенностей конструкции защищаемого объекта и условий его размещения стержневые и тросовые молниеотводы разделяют на одиночные, двойные и многократные. В последнем случае число электродов составляет не менее трех и располагаются они не на одной прямой.

Если одиночный стержневой молниеотвод не обеспечивает охвата всей защищаемой зоны либо требуется слишком высокий молниеотвод, число молниеотводов следует увеличить.

Порядок расчета стержневых молниеотводов:

- 1) намечают количество и места установки молниеотводов;
- 2) разбивают их на группы по 3-4 соседних молниеотвода;
- 3) определяют для каждой группы активную и полную высоту молниеотводов.

$$h_a \geq \frac{D}{8 \cdot p}, \quad (2)$$

$$h = h_A + h_X, \quad (3)$$

где h_A - активная высота молниеотвода,

h - полная высота,

h_X - высота защищаемого объекта,

$p = 1$ при $h < 30$ м,

D - диаметр окружности, проведенной через точки установки трёх молниеотводов, или большая диагональ четырехугольника с молниеотводами в его вершинах;

4) строят наружную границу зоны защиты в плане, выполняя построение последовательно для каждых двух соседних молниеотводов, и проверяют, вписываются ли контуры защищаемого объекта на данной высоте h_X в границу зоны защиты (рисунок 3). Если не вписываются, то производят соответствующие изменения в высоте молниеотводов или в их расположении и повторяют расчет.

Методика расчета зоны защиты молниеотводов согласно инструкции РД 34.21.122-87

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой менее 150 м представляет собой конус, вершина которого находится на высоте h_0 (рисунок 4). Горизонтальные сечения зон защиты на высоте защищаемого объекта h_X и на уровне земли представляют собой окружности радиусами r_0 и r_X соответственно.

Торцевые области зон защиты определяются как зоны одиночных стержневых молниеотводов. Параметры h_0 , r_0 , r_X определяют по формулам 4 – 6.

Радиус зон защиты одиночных стержневых молниеотводов и высоту расположения h_0 минимальной зоны определяют по следующим формулам:

$$\text{для зоны } A$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002h)h; \quad (4)$$

$$r_X = (1,1 - 0,002h)(h - h_X/0,85); \quad (5)$$

$$h_0 = 0,85h. \quad (6)$$

Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода высотой менее 150 м приведены на рисунке 5. Торцевые области зон защиты определяются как зоны

одиночных стержневых молниеотводов. Параметры h_0 , r_0 , r_{X1} , r_{X2} определяют на основании расчетов, приведенных ниже.

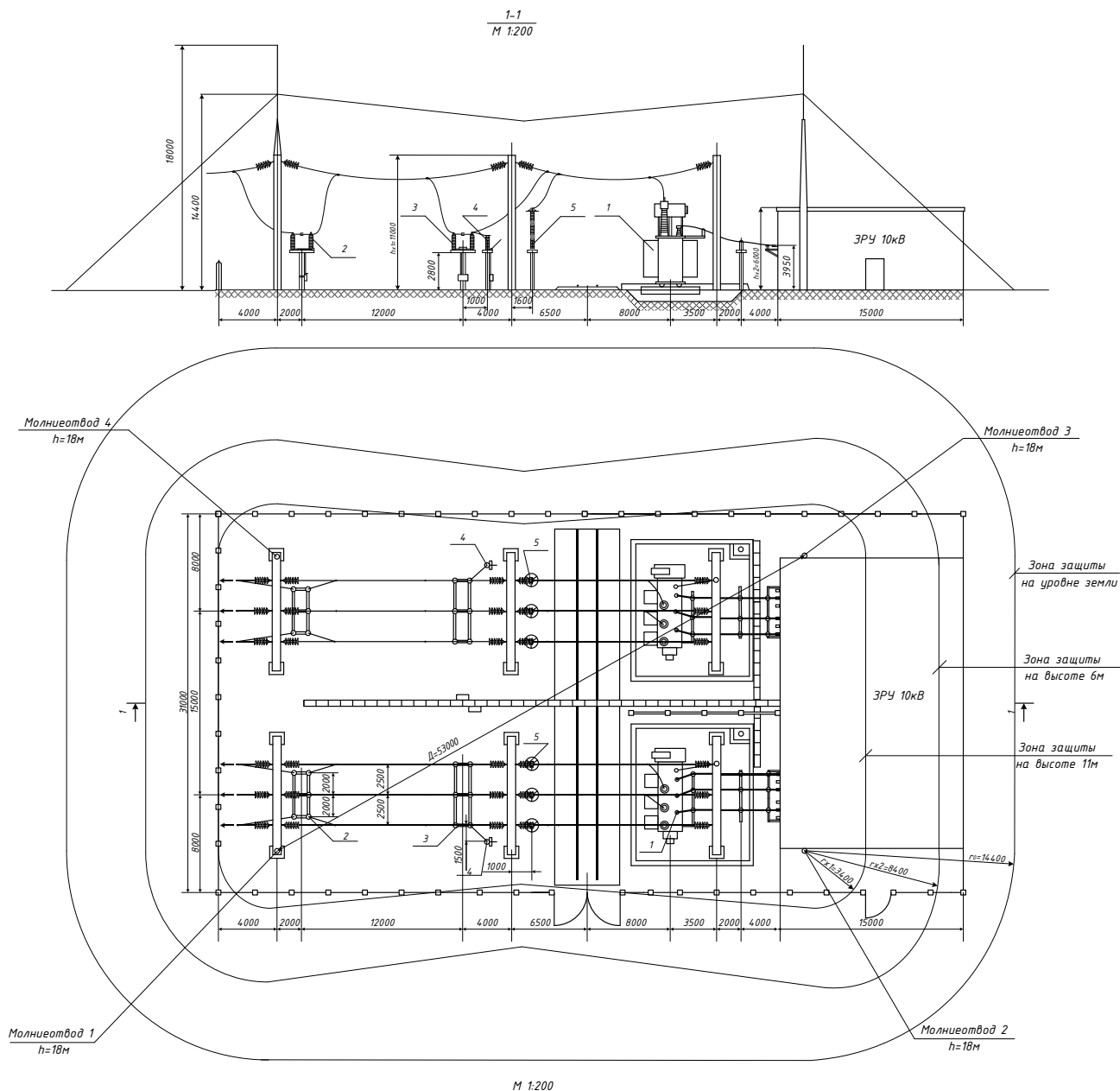


Рисунок 3 – План и разрез молниезащиты подстанции

При $L \leq 3h$:

$$\text{при } L \leq h - h_C = h_0; r_{CX} = r_X; r_C = r_0; \quad (7)$$

при $L \geq h$

$$h_C = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4}h)(L - h); \quad (8)$$

$$r_{CX} = r_0(h_C - h_X)/h_C; \quad (9)$$

$$r_C = r_0. \quad (10)$$

Если применяют молниеотводы разной высоты h_1 и h_2 , но менее 150 м, то зона защиты имеет вид, показанный на рисунке 6. Торцевые области зоны защиты определяют, как и в предыдущем случае. Параметры h_{C1} и h_{C2} определяют по формулам (7) и (8), а параметры r_C , h_C и r_{CX} из следующих выражений:

$$r_C = (r_{C1} + r_{C2})/2; \quad (11)$$

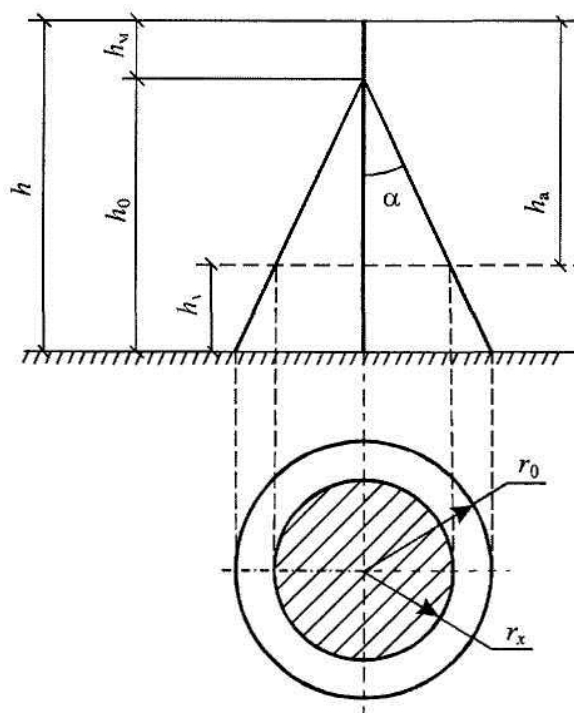


Рисунок 4 - Зона одиночного стержневого молниеотвода

$$h_C = (h_{C1} + h_{C2})/2; \quad (12)$$

$$r_{CX} = r_C(h_C - h_X)/h_C. \quad (13)$$

В случае выполнения молниезащиты многократным молниеотводом стержневого типа зону защиты определяют как зону защиты попарно взятых соседних молниеотводов.

Условием защищенности объектов высотой h_X с надежностью, соответствующей зонам защиты А и Б, является выполнение неравенства $r_{CX} > 0$ для всех попарно взятых молниеотводов; r_{CX} определяют по (9) и (12).

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой $h \leq 150$ м показана на рисунке 7, где h определяют в точке наибольшего провеса троса.

При известной высоте опор h_{OP} и длине пролета $a < 120$ м высоту стального троса сечением $35 - 50$ мм² определяют как $h = h_{OP} - 2$ м, а при $a = 120 - 150$ м как $h = h_{OP} - 3$ м.

Параметры зоны защиты одиночных тросовых молниеотводов определяют по формулам:

для зоны А

$$r_O = (1,35 - 0,0025h)h; \quad (14)$$

$$r_X = (1,35 - 0,0025h)(h - h_X/0,85); \quad (15)$$

$$h_O = 0,85 \cdot h; \quad (16)$$

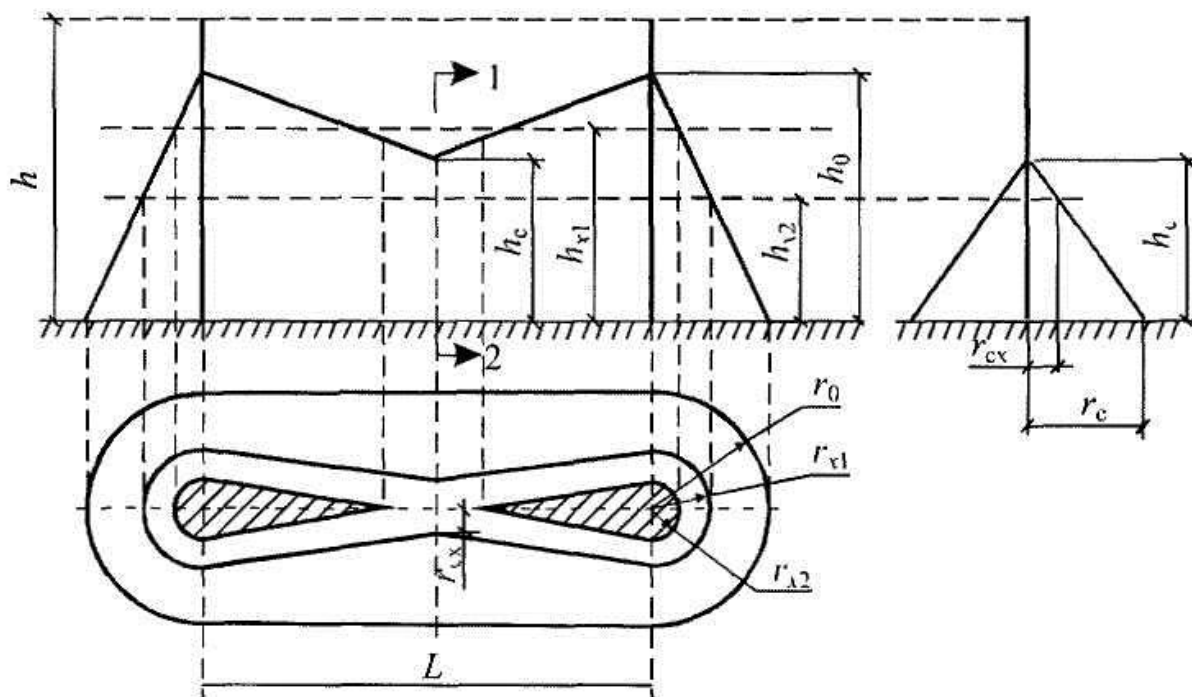


Рисунок 5 - Зона защиты двойного стержневого молниеотвода равной высоты

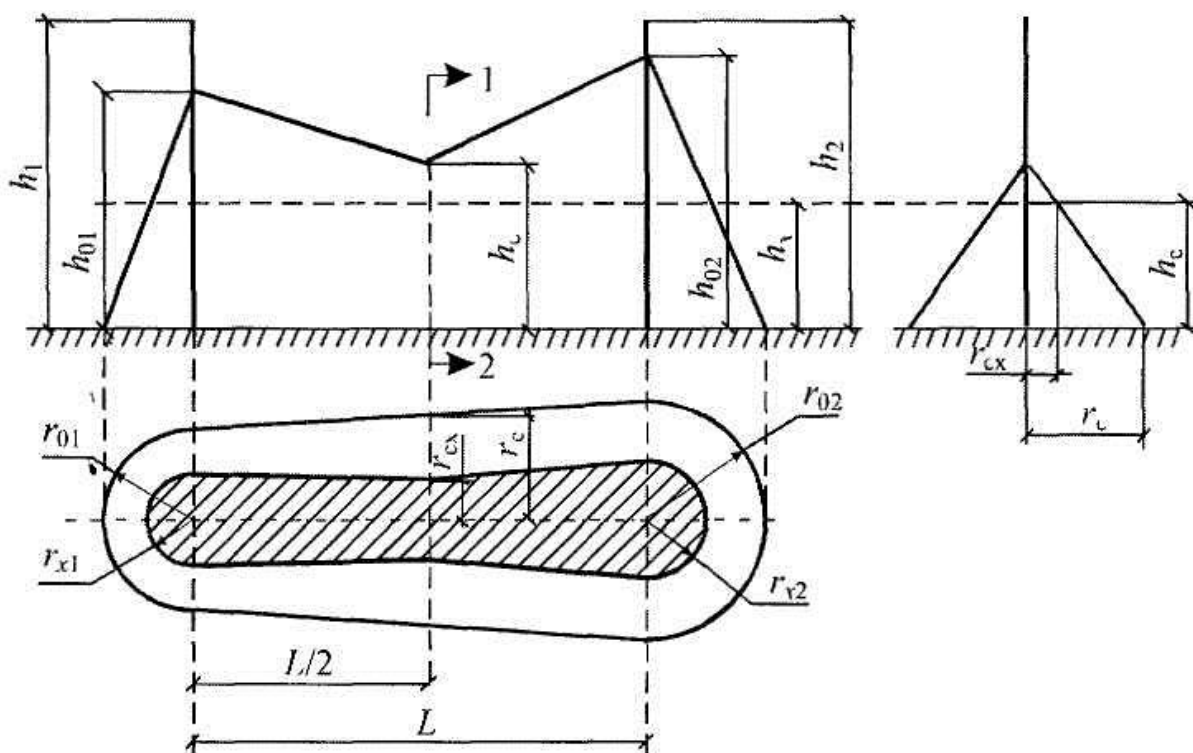


Рисунок 6 - Зона защиты двухстержневых молниеотводов разной высоты

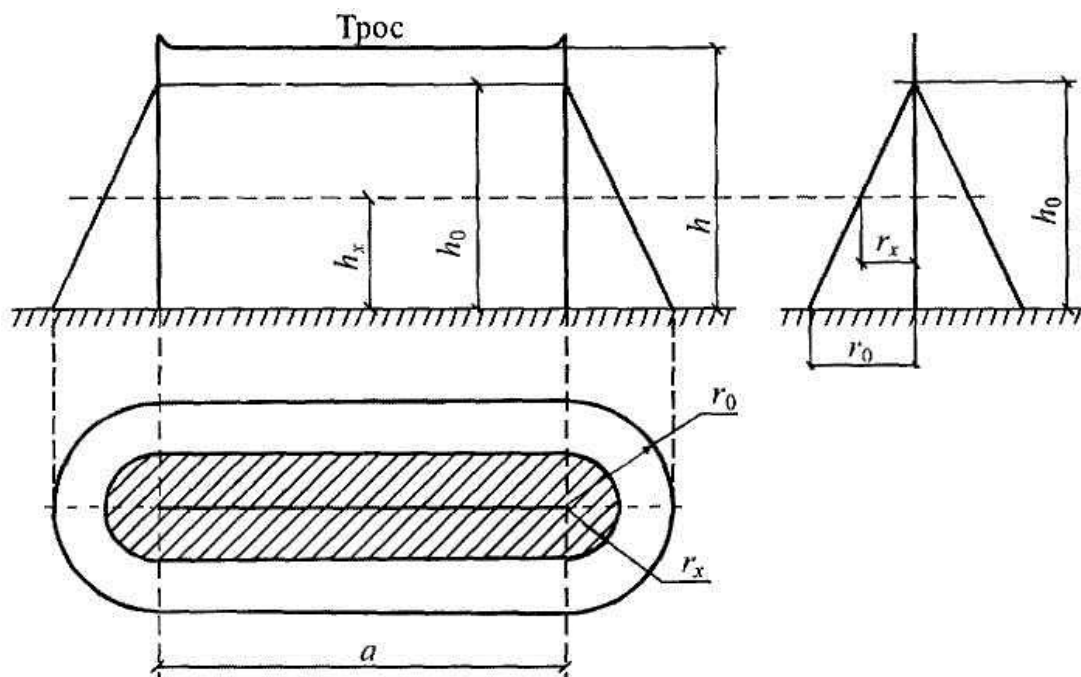


Рисунок 7 - Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

для зоны Б

$$r_0 = 1,7 \cdot h; \quad (17)$$

$$r_x = 1,7(h - h_x/0,92); \quad (18)$$

$$h_0 = 0,92 \cdot h. \quad (19)$$

Параметры зон защиты двойного тросового молниеотвода (рисунок 8) определяются аналогично как для одиночного.

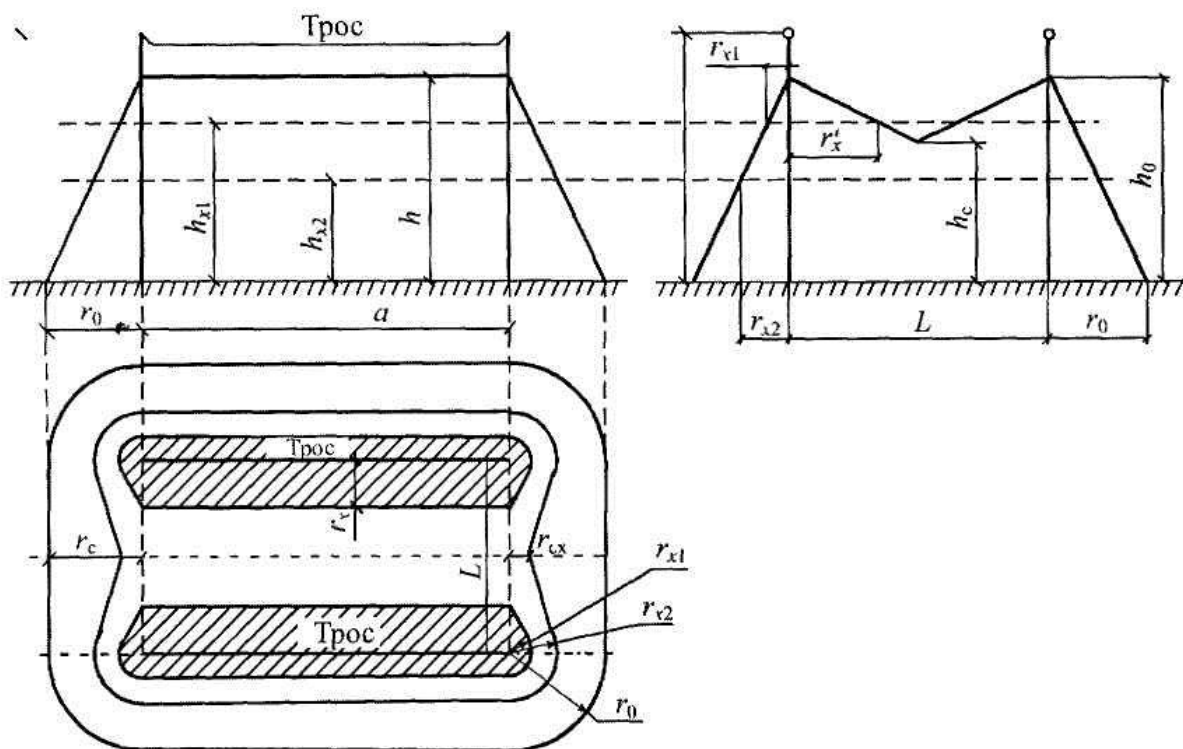


Рисунок 8 - Зона защиты двойного тросового молниеотвода

Методика расчета зоны защиты молниеотводов согласно инструкции СО-153-34.21.122-2003

Под зоной защиты молниеотвода понимают часть пространства, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Все здания и сооружения по опасности ударов молнии подразделяются на обычные и специальные (таблица 1).

При строительстве и реконструкции для каждого класса объектов требуется определить необходимые уровни надежности защиты от прямых ударов молнии (ПУМ). Для объектов используется четыре уровня надежности защиты (для I уровня надежность защиты принимается $P_3 = 0,99$; для II – $P_3 = 0,95$; для III – $P_3 = 0,9$; для IV – $P_3 = 0,8$).

Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9—0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от прямого удара молнии. По желанию заказчика в проект может быть заложен уровень надежности, превышающий предельно допустимый.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h представляет собой круговой конус (рисунок 9), вершина которого находится на высоте $h_0 < h$. На уровне земли зона защиты образует круг радиусом r_0 . Горизонтальное сечение зоны защиты на высоте защищаемого сооружения h_x представляет собой круг радиусом r_x .

Зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов высотой $h \leq 100$ м имеют следующие габаритные размеры при следующей степени надежности (P_3).

Таблица 1 – Классификация объектов по опасностям ударов молнии

Объект	Тип объекта	Последствия удара молнии
Обычные объекты	Жилой дом	Отказ электроустановок, пожар и повреждение имущества. Обычно небольшое повреждение предметов, расположенных в месте удара молнии или задетых ее каналом
	Ферма	Первоначально — пожар и занос опасного напряжения, затем — потеря электропитания с риском гибели животных из-за отказа электронной системы управления вентиляцией, подачи корма и т.д.
	Театр; школа; универмаг; спортивное сооружение	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий
	Банк; страховая компания; коммерческий офис	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбой компьютеров с потерей данных
	Больница; детский сад; дом престарелых	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбой компьютеров с потерей данных. Наличие тяжелобольных и необходимость помощи неподвижным людям
	Промышленные предприятия	Дополнительные последствия, зависящие от условий производства — от незначительных повреждений до больших ущербов из-за потерь продукции
	Музеи и археологические памятники	Невосполнимая потеря культурных ценностей
	Средства связи; электростанции; пожароопасные производства	Недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций). Косвенная опасность пожара для соседних объектов

Объект	Тип объекта	Последствия удара молнии
Специальные объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения	Нефтеперерабатывающие предприятия; заправокочные станции; производства пентард и фейерверков	Пожары и взрывы внутри объекта и в непосредственной близости
Специальные объекты, опасные для экологии	Химический завод; атомная электростанция; биохимические фабрики и лаборатории	Пожар и нарушение работы оборудования с вредными последствиями для окружающей среды

$$\text{При } P_3 = 0,9: \quad h_0 = 0,85h; \quad r_0 = 1,2h. \quad (20)$$

$$\text{При } P_3 = 0,99 \text{ и } h \leq 30\text{м} \quad h_0 = 0,8h; \quad r_0 = 0,8h. \quad (21)$$

$$\text{При } P_3 = 0,99 \text{ и } 30 < h \leq 100\text{м} \quad h_0 = 0,8h; \quad r_0 = (0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3} (h - 30))h. \quad (22)$$

Радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x определится:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}. \quad (23)$$

Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой $h \leq 100\text{м}$ представлена на рисунке 10. Торцевые области зоны защиты определяются как зоны одиночных стержневых молниеотводов, габаритные размеры которых h_0 , r_0 , r_{x1} , r_{x2} вычисляются по формулам (20 – 23) для обоих типов зон защиты.

При расстоянии между молниеотводами $L \leq L_C$ граница зоны не имеет провеса ($h_0 = h_c$).

Внутренние области защиты двойного стержневого молниеотвода имеют следующие габаритные размеры. Для расстояний $L_C < L \leq L_{max}$ и вероятности защиты $P_3 = 0,9$:

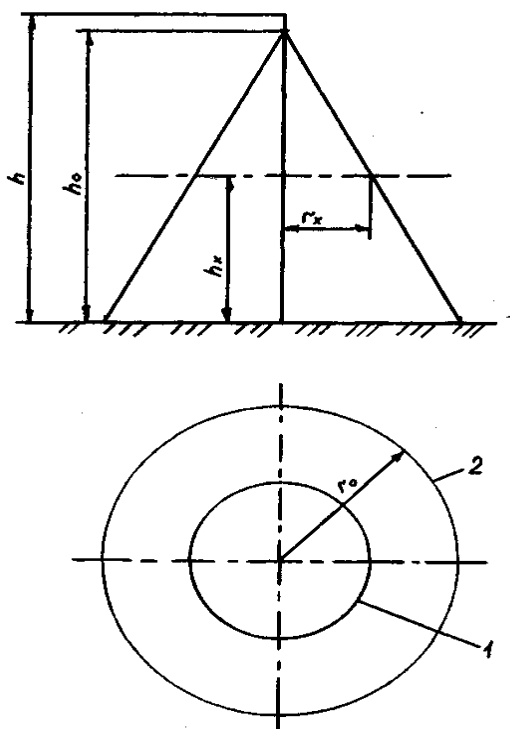


Рисунок 9 - Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода:

1 – граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 – граница зоны защиты на уровне земли

$$h \leq 30\text{м} \quad L_{max}=5,75h; \quad L_C=2,5h. \quad (24)$$

$$30 < h \leq 100\text{м} \quad L_{max}=(5,75-3,75 \cdot 10^{-3} (h-30))h; \quad L_C=2,5h \quad (25)$$

Для расстояний $L_C < L \leq L_{max}$ и вероятности защиты $P_3 = 0,99$:

$$h \leq 30\text{м} \quad L_{max}=4,75h; \quad L_C=2,25h. \quad (26)$$

$$30 < h \leq 100\text{м} \quad L_{max}=(4,75-3,75 \cdot 10^{-3} (h-30))h; \quad (27)$$

$$L_C=(2,25-0,0107 (h-30))h. \quad (28)$$

Значение величин h_c и r_{cx} определяются по формулам:

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_C} h_0; \quad r_{cx} = \frac{r_0 (h_c - h_x)}{h_c}. \quad (29)$$

При расстоянии между стержневыми молниеотводами $L \geq L_{max}$ молниеотводы следует рассматривать как одиночные.

Зона защиты двух стержневых молниеотводов разной высоты h_1 и $h_2 \leq 100\text{м}$ приведена на рисунке 11. Габаритные размеры торцевых областей зон защиты h_{01} , h_{02} , r_{01} , r_{02} , r_{x1} , r_{x2} определяются по формулам (20 – 23), как для зон защиты обоих типов одиночного стержневого молниеотвода. Габаритные размеры внутренней области зоны защиты определяются:

$$r_c=(r_{01}+r_{02})/2; \quad h_c=(h_{c1}+h_{c2})/2; \quad r_{cx}=r_c(h_c-h_x)/h_c, \quad (30)$$

где значения h_{c1} и h_{c2} вычисляются по формуле (29).

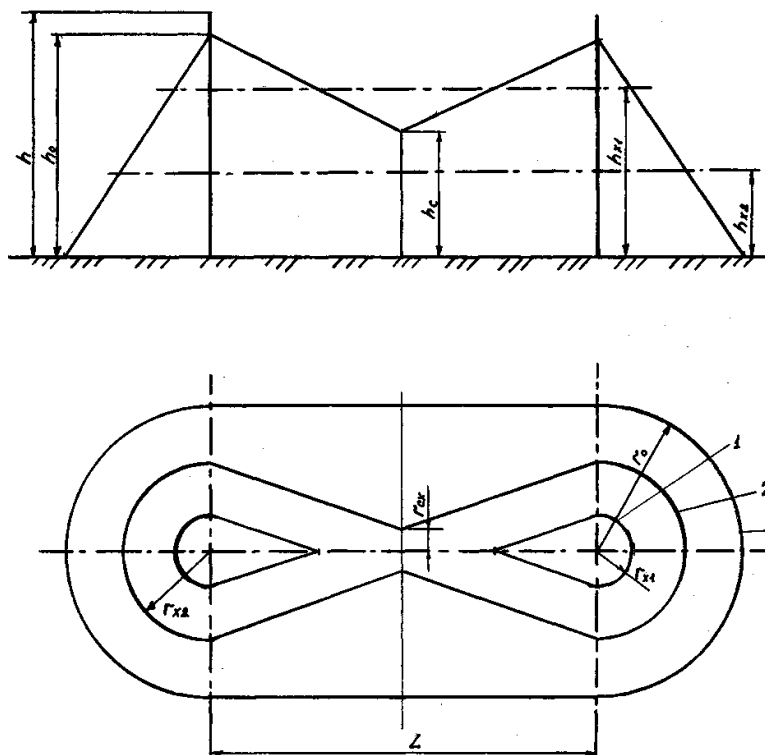


Рисунок 10 - Зона защиты стержневого молниеотвода:

1 – граница зоны защиты на уровне h_{x1} ; 2 – граница зоны защиты на уровне h_{x2} ;
3 – граница зоны защиты на уровне земли

Для двух молниеотводов разной высоты построение зоны двойного стержневого молниеотвода выполняется при $L_C < L \leq L_{max}$. При соответствующих больших расстояниях между молниеотводами они рассматриваются как одиночные.

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой $h \leq 100$ м приведена на рисунке 12, где h – высота троса в середине пролета. С учетом стрелы провеса троса сечением $35-50 \text{ мм}^2$ при известной высоте опор h_{on} и длине пролета a – высота троса (в метрах) определяется:

$$h = h_{on} - 2 \quad \text{при } a < 100 \text{ м.} \quad (31)$$

Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода имеют следующие габаритные размеры.

$$\text{При } P_3 = 0,9: \quad h_0 = 0,87h; \quad r_0 = 1,5h. \quad (32)$$

$$\text{При } P_3 = 0,99 \text{ и } h \leq 30 \text{ м} \quad h_0 = 0,8h; \quad r_0 = 0,95h. \quad (33)$$

$$\text{При } P_3 = 0,99 \text{ и } 30 < h \leq 100 \text{ м} \quad h_0 = 0,8h; \quad r_0 = (0,95 - 7,14 \cdot 10^{-4} (h - 30))h. \quad (34)$$

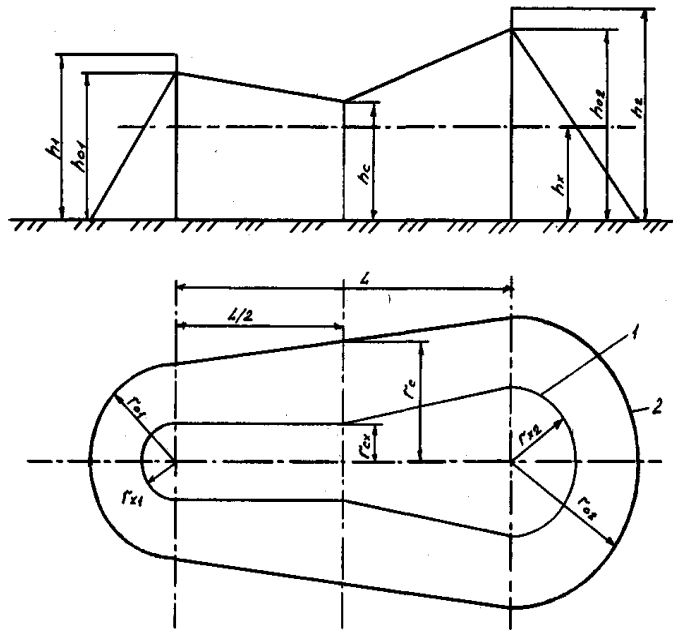


Рисунок 11 - Зона защиты двух стержневых молниеотводов разной высоты: 1 – граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 – граница зоны защиты на уровне земли

Радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x находят:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}. \quad (35)$$

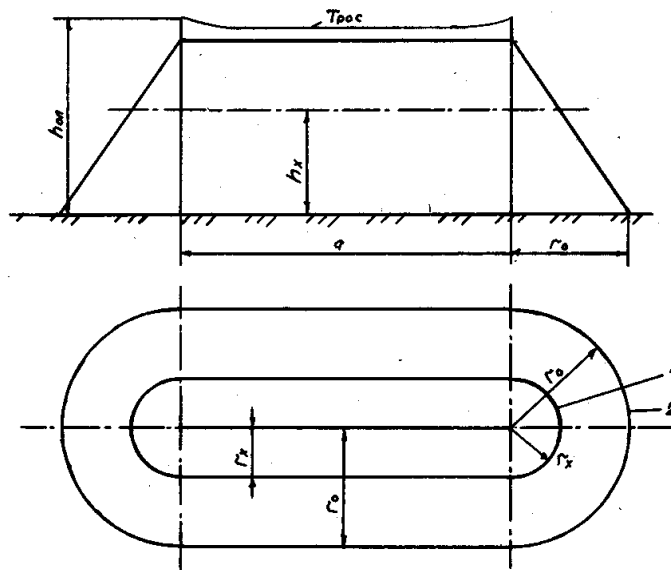


Рисунок 12 - Зона защиты одиночного тросового молниеотвода: 1 – граница зоны защиты на уровне h_x ; 2 – граница зоны защиты на уровне земли

РАСЧЕТ ЗАЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ПОДСТАНЦИИ

Содержание задания:

С учетом сопротивления заземления естественных заземлителей определить допустимую величину стационарного сопротивления контура заземления. Исходные данные по вариантам приведены в таблице 2.

Определить параметры контура заземления (длину и число вертикальных электродов, шаг сетки), обеспечивающие допустимую величину его стационарного сопротивления заземления.

Таблица 2 - Дополнительные исходные данные

Вариант	Напряжение подстанции, кВ	ЛЭП		Климатическая зона	Грунт	Горизонтальный заземлитель, размером, мм	Вертикальный заземлитель, размером, мм
		длина ВЛ, км	длина КЛ, км				
		1 цифра		2 цифра		3 цифра	4 цифра
1	110/35	30	6	I	глина	полоса 50x4	сталь круглая Ø 20, L=5 м
2	110/10	35	10	II	суглина	полоса 40x4	сталь круглая Ø 18, L=5 м
3	110/6	25	10	III	супесок	сталь круглая Ø10	сталь круглая Ø 16, L=4,5 м
4	35/10	15	-	IV	чернозем	сталь круглая Ø12	сталь круглая Ø 14, L=5 м
5	35/0,4	-	10	I	садовая земля	сталь круглая Ø14	сталь круглая Ø 12, L=4 м
6	10/0,4	10	-	II	каменистая почва	полоса 50x5	стальной уголок 40x40x4, L=3м
7	10/0,23	7	3	III	торф	полоса 40x5	стальной уголок 45x45x4, L=2,5м
8	10/0,66	12	-	IV	глина	полоса 40x4	стальной уголок 50x50x5, L=3м
9	6/0,66	-	6	II	суглина	сталь круглая Ø10	стальной уголок 60x60x6, L=2,5м

Методические указания к выполнению задания п.4, 5.

Расчет заземляющего устройства понизительной подстанции

Общие сведения

Для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении: защитное заземление, автоматическое отключение питания, защитное электрическое разделение цепей, двойная или усиленная изоляция, малое напряжение, уравнивание и выравнивание потенциалов; изолирующие (непроводящие) помещения.

Заземлением называется преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Заземление осуществляется с помощью заземляющего устройства (ЗУ), которое состоит из заземлителей и заземляющих проводников. *Заземлителем* называется металлический проводник или группа проводников, находящихся в соприкосновении с землей. Заземляющий проводник - проводник, соединяющий заземляемую часть ЭУ с заземлителем.

Защитным занулением в электроустановках напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение открытых проводящих частей электроустановки с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Различают естественные и искусственные заземлители.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей;
- металлические трубы водопровода, проложенные в земле;
- обсадные трубы буровых скважин;
- свинцовая оболочка бронированных кабелей, проложенных в земле.

Алюминиевые оболочки кабелей использовать в качестве заземлителей не допускается.

При выполнении ЗУ необходимо использовать все имеющиеся естественные заземлители. Сопротивление естественных заземлителей определяется их измерением с учетом коэффициента сезонности.

Допустимое сопротивление ЗУ по нормам при наличии искусственного и естественного заземлителей

$$R_3 = \frac{R_H \cdot R_E}{R_H + R_E} \quad (36)$$

Искусственные заземлители могут быть из черной или оцинкованной стали или медными и не должны иметь окраски. Материал и наименьшие размеры заземлителей должны соответствовать приведенным в таблице 3.

Рекомендуется принимать длину вертикальных стержневых электродов 2 – 5 м, а электродов из угловой стали 2,5 – 3 м. В целях улучшения растекания тока заземлители закладываются в грунт на глубину 0,5 - 0,7 м и более (для вертикальных заземлителей это глубина закладки верхней кромки труб или стержней). Такая прокладка служит достаточной гарантией от механических повреждений; на глубине 0,5 - 0,7 м грунт в меньшей степени подвержен высыханию в жаркие летние месяцы. Горизонтальные заземлители принимают для связи между собой вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители.

Таблица 3 – Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	16	-	-
	для горизонтальных заземлителей;	10	-	-
	прямоугольный;	-	100	4
	угловой;	-	100	4
трубный	32	-	3,5	
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	12	-	-
	для горизонтальных заземлителей;	10	-	-
	прямоугольный;	-	75	3
трубный	25	-	2	
Медь	Круглый	12	-	-
	Прямоугольный	-	50	2
	Трубный	20	-	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	-

*- Диаметр каждой проволоки

Сопротивление растеканию каждого отдельного электрода зависит от удельного сопротивления грунта с учетом его сезонных изменений: формы, размеров и материала электрода; расположения электродов и глубины погру-

жения его в землю, а также наличия вблизи него других электродов, электрически соединенных с ним.

Вследствие эффекта экранирования проводимость заземлителя понижается, что оценивается коэффициентом использования $\eta_{ИС}$.

Сопротивление заземляющего устройства R_3 , состоящее из вертикальных электродов (уголков, стержней, труб) и горизонтальных полос, определяется:

$$R_3 = \frac{R_B}{n \cdot \eta_{ИС.В}} \parallel \frac{R_Г}{\eta_{ИС.Г}} = \frac{R_B \cdot R_Г}{R_B \cdot \eta_{ИС.Г} + R_Г \cdot n \cdot \eta_{ИС.В}} \quad (\text{рис. 13}). \quad (37)$$

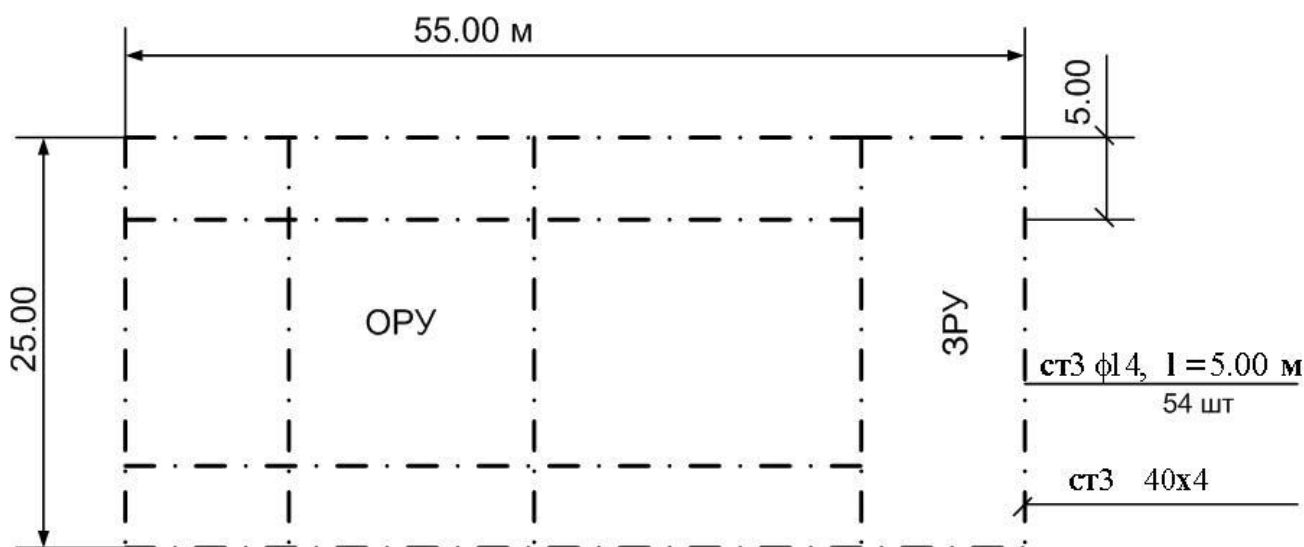


Рисунок 13 – План заземляющего устройства подстанции

Заземляющее устройство ЭУ представляет контур, состоящий из вертикальных заземлителей и горизонтальных полос. Для выравнивания потенциала напряжения на территории ОРУ и для присоединения оборудования по площади контура прокладываются соединительные полосы.

Расчет защитного заземляющего устройства

Расчет ЗУ сводится к расчету количества вертикальных заземлителей, так как заземляющие проводники в большинстве случаев принимаются по условиям механической прочности и стойкости к коррозии по ПУЭ.

Расчет сопротивления заземлителя проводится *методом коэффициентов использования* в следующем порядке.

1. В соответствии с ПУЭ устанавливается допустимое сопротивление ЗУ (R_3). Если ЗУ является общим для установок на различное напряжение, то за расчетное сопротивление ЗУ принимается наименьшее из допустимых:

а) для ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью ЗУ должно иметь в любое время года сопротивление не более 0,5 Ом с учетом сопротивления естественных и искусственных заземлителей.

б) для ЭУ напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью сопротивление ЗУ при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественного заземлителя должно быть:

$$R_3 = \frac{250}{I_3} \leq 10 \text{ Ом}, \quad (38)$$

где 250 В – расчетное напряжение.

Расчетный ток замыкания на землю I_3 можно определить, зная длину электрически связанных кабельных линий l_K , км, воздушных линий l_B , км, и напряжение сети U_H , кВ, по формуле:

$$I_3 = \frac{U_H(35 \cdot l_K + l_B)}{350}. \quad (39)$$

в) При использовании ЗУ одновременно для ЭУ напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью R_3 должно быть не более указанного в пункте 2.

г) Для ЭУ напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью должно быть выполнено зануление. Сопротивление ЗУ, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть при линейном напряжении:

$$660 \text{ В} - R_3 \leq 2 \text{ Ом};$$

$$380 \text{ В} - R_3 \leq 4 \text{ Ом};$$

$$220 \text{ В} - R_3 \leq 8 \text{ Ом}.$$

2. При наличии естественных заземлителей и если $R_E < R_3$, то искусственные заземлители не требуются.

Если $R_E > R_3$, то необходимо соорудить искусственных заземлителей, сопротивление которого определяется:

$$R_H = \frac{R_E \cdot R_3}{R_E - R_3}. \quad (40)$$

Далее расчет ведется по R_H .

3. По таблицам 4 и 5 определяются удельное сопротивление грунта и коэффициенты сезонности k_C , зависящие от климатической зоны, вида заземлителя и учитывающие высыхание грунта летом и промерзание его зимой.

Расчетное удельное сопротивление грунта для вертикальных стержневых заземлителей определяют по формуле:

$$\rho_{\text{расч.в}} = \rho \cdot k_C; \quad (41)$$

для протяженного горизонтального заземлителя

$$\rho_{\text{расч.г}} = \rho \cdot k'_C. \quad (42)$$

4. Сопротивление растеканию (сопротивление, которое оказывает электрическому току грунт) одного вертикального заземлителя круглого сечения рассчитывается по формуле:

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{РАСЧ,В}}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t' + l}{4 \cdot t' - l} \right), \text{ при } l \gg d, \quad t' > 0,5 \text{ м}, \quad (43)$$

где $\rho_{РАСЧ,В}$ – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l – длина стержня, м;

t' – глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины заземлителя, м;

d – диаметр стержня, м.

Если в качестве вертикальных электродов используется уголок, то диаметр уголка с шириной полки b принимают равным $d = 0,95 \cdot b$.

5. По плану ЭУ определяется конфигурация ЗУ (в ряд или по контуру).

Ориентировочное число вертикальных заземлителей, при предварительно принятом по таблице 6 или по таблице 7 коэффициенте использования вертикальных электродов $\eta_{И.В}$ (причем расстояние между вертикальными электродами должно быть принято не менее их длины), определяется по формуле:

$$n_B = \frac{R_B}{R_{И} \cdot \eta_{И.В}}. \quad (44)$$

6. Сопротивление растеканию горизонтальных электродов $R_{Г}$ рассчитывается по формуле:

$$R_{Г} = \frac{0,366 \cdot \rho_{РАСЧ,Г}}{l} \cdot \lg \frac{2 \cdot l^2}{d \cdot t'}, \quad \text{при } l \gg d, \quad l > 4 \cdot t'; \quad (45)$$

для полосы шириной b получаем $d = 0,95 \cdot b$;

$l = 1,05 \cdot n_B \cdot a$ – длина горизонтального электрода, м,

a – расстояние между вертикальными электродами, м.

Расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов равно:

Таблица 4 – Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды

Наименование грунта	Удельное сопротивление, Ом·м
Песок	500 – 700
Супесок	300
Суглинок	100
Глина	40
Садовая земля	40
Глина (слой 7-10м) и гравий	70
Мергель, известняк, крупный песок с валу-	1000 – 2000
Скала, валуны	2000 – 4000
Чернозем	20 – 30
Торф	20
Речная вода (на равнинах)	10 – 100
Морская вода	0,2 – 1

Таблица 5 - Признаки климатических зон и коэффициенты сезонности k_C

Данные климатических зон и типы применяемых заземляющих электродов	Климатические зоны России			
	I	II	III	IV
Климатические признаки зон: средняя многолетняя низшая температура января; средняя многолетняя высшая температура июля;	от -20 до -15 ⁰ C	от -14 до -10 ⁰ C	от -10 до - 0 ⁰ C	от -0 до +5 ⁰ C
	от + 16 до + 18 ⁰ C	от + 18 до + 22 ⁰ C	от + 22 до + 24 ⁰ C	от + 24 до + 26 ⁰ C
Среднегодовое количество осадков, мм	400	500	500	300-500
Продолжительность замерзания вод, дн	190-170	150	100	0
Значение коэффициента k_C при применении стержневых электродов длиной 2-3 м и на глубине 0,5 – 0,8 м	1,8 – 2,0	1,5 – 1,8	1,4 – 1,6	1,2 – 1,4
Значение коэффициента k'_C при применении протяженных электродов и гилубине заложения =0,8 м	4,5 – 7,0	3,5 – 4,5	2,0 – 2,5	1,5 – 2,0
Значение коэффициента k_C при длине стержней длиной 5м и гилубине заложения их вершины 0,7 – 0,8 м	1,35	1,25	1,15	1,1

Таблица 6 – Коэффициенты использования η_ϵ вертикальных электродов из труб, уголков или стержней, размещенных в ряд без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между электродами к их длине a/l	Число электродов n_ϵ	η_ϵ
1	3	0,76 – 0,80
	5	0,67 – 0,72
	10	0,56 - 0,62
	15	0,51 – 0,56
	20	0,47 – 0,50
2	2	0,90– 0,92
	3	0,85 – 0,88
	5	0,79 – 0,83
	10	0,72 - 0,77
	15	0,66 – 0,73
	20	0,65 – 0,70
3	2	0,93 – 0,95
	3	0,90 – 0,92
	5	0,85 – 0,88
	10	0,79 - 0,83
	15	0,76 - 0,80
	20	0,74 – 0,79

Таблица 7 - Коэффициенты использования η_e вертикальных электродов из труб, уголков или стержней, размещенных по контуру без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между электродами к их длине a/l	Число электродов n_e	η_e
1	2	3
1	4	0,66 – 0,72
	6	0,58 – 0,65
	10	0,52 – 0,58
	20	0,44 - 0,50
	40	0,38 – 0,44
	60	0,36 – 0,42
	100	0,33 - 0,39
2	4	0,76– 0,80
	6	0,71 – 0,75
	10	0,66 – 0,71
	20	0,61 - 0,66
	40	0,55 – 0,61
	60	0,52 – 0,58
	100	0,49 – 0,55
3	4	0,84 – 0,86
	6	0,78 – 0,82
	10	0,74 – 0,78
	20	0,68 - 0,73
	40	0,64 - 0,69
	60	0,62 – 0,67
	100	0,59 – 0,65

Таблица 8 - Коэффициенты использования η_e горизонтального полосового электрода из трубы, уголка или полосы, при размещении вертикальных электродов в ряд

Отношение расстояния между электродами к длине a/l	η_e при числе электродов в ряд							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,42	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,56	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,68	0,49	0,47

Таблица 9 - Коэффициенты использования η_e горизонтального полосового электрода из трубы, уголка или полосы, при размещении вертикальных электродов по контуру

Отношение расстояния между электродами к длине a/l	η_e при числе электродов в контуре заземления								
	4	5	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,65	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35	0,33

$$R_{РАСЧ.Г} = \frac{R_{Г}}{\eta_{И.Г}}, \quad (46)$$

где $\eta_{И.Г}$ – коэффициент использования горизонтальной полосы определяется по таблице 8 или 9.

7. Необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом проводимости горизонтальных соединительных электродов уточняется по формуле:

$$R'_{В} = \frac{R_{РАСЧ.Г} \cdot R_{И}}{R_{РАСЧ.Г} - R_{И}}. \quad (47)$$

8. Уточненное количество вертикальных заземлителей определяется:

$$n'_{В} = \frac{R_{В}}{R'_{В} \cdot \eta_{И.В}}. \quad (48)$$

Согласно ПУЭ (седьмое издание) в целях выравнивания электрического потенциала и обеспечения присоединения электрооборудования ЭУ напряжением выше 1000 В в сетях с эффективно заземленной нейтралью к заземлителю на территории, занятой оборудованием, следует прокладывать продольные и поперечные горизонтальные заземлители и объединять их между собой в заземляющую сетку.

Продольные заземлители должны быть проложены вдоль осей электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5 – 0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8 – 1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены друг к другу, а расстояние между основаниями или фундаментами двух рядов не превышает 3,0 м.

Поперечные заземлители следует прокладывать в удобных местах между оборудованием на глубине 0,5 – 0,7 м от поверхности земли. Расстояние между ними рекомендуется принимать увеличивающимся от периферии к центру заземляющей сетки. При этом первое и последующие расстояния, начиная от периферии, не должны превышать соответственно 4,0; 5,0; 6,0; 7,5; 9,0; 11,0; 13,5; 16,0; 20,0 м.

ВОПРОСЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Что такое электрическая изоляция? Дайте пояснение.
2. Основные виды изоляции. Поясните каждый из видов.
3. Что понимается под внешней изоляцией?
4. Что понимается под внутренней изоляцией?
5. Какие требования предъявляются к изоляции?
6. Какие виды напряжений воздействуют на изоляцию?
7. Что понимается под рабочим напряжением?
8. Что понимается под перенапряжением?
9. Какие виды перенапряжений действуют в электроустановках? Дать им характеристику.
10. Какими параметрами характеризуются перенапряжения?
11. Каковы причины возникновения внешних перенапряжений?
12. Каковы причины возникновения внутренних перенапряжений?
13. Какие существуют конфигурации электрических полей? Приведите примеры.
14. Объясните понятие степень неоднородности электрического поля. Что характеризует коэффициент неоднородности?
15. Ионизационные процессы в газе. Степень ионизации газа.
16. Виды ионизации.
17. Что представляет собой ударная ионизация?
18. Как возникает ступенчатая ионизация?
19. Как возникает фотоионизация?
20. Чем обусловлена термоионизация?
21. Как возникает поверхностная ионизация?
22. Лавина электронов. Поясните процесс образования лавины.
23. Какой разряд называется самостоятельным?
24. Приведите условие самостоятельности разряда.
25. Что такое стример?
26. Поясните механизм образования стримера.
27. Закон Пашена. Какую закономерность он описывает?
28. Поясните механизм возникновения электрического разряда в неоднородном поле.
29. Чем характеризуется эффект полярности в сильно-неоднородном поле?
30. Чем характеризуется барьерный эффект?
31. Перечислите область применения жидких диэлектриков. Приведите их классификацию.
32. Какие факторы влияют на пробой жидких диэлектриков?
33. Поясните влияние влаги и микропримесей на пробой жидких диэлектриков.
34. От каких факторов зависит электрическая прочность твердой изоляции?
35. Какие виды пробы различают в твердом диэлектрике?
36. Как происходит тепловой пробой в твердом диэлектрике?
37. Какие существуют причины старения твердого диэлектрика?
38. Как по назначению подразделяются высоковольтные изоляторы?
39. Где нашли применение линейные изоляторы?
40. Где нашли применение подвесные изоляторы?
41. Что такое опорный изолятор? На какие виды он подразделяется?
42. Для каких целей используется проходной изолятор?

43. Что представляет собой изоляционный ввод? Каких типов он бывает?
44. Как выполняется изоляция высоковольтных конденсаторов?
45. Что используется в качестве главной изоляции силовых трансформаторов? Её назначение.
46. Что используется в качестве продольной изоляции силовых трансформаторов? Её назначение.
47. Какие типы изоляции силовых кабелей высокого напряжения нашли применение?
48. Как конструктивно выполняются кабели с бумажно-масляной изоляцией?
49. Как конструктивно выполняются кабели с полимерной изоляцией?
50. Как выполняется изоляция электрических машин?
51. Для каких целей выполняется профилактика изоляции?
52. Для каких целей выполняется измерение сопротивления изоляции?
53. Для каких целей выполняется измерение $\tan\delta$ в изоляции?
54. Как формируются атмосферные перенапряжения?
55. Поясните понятие «зона 100%-го поражения» стержневого молниеотвода.
56. Поясните понятие «зона 100%-й защиты» стержневого молниеотвода.
57. Перечислите этапы расчета зоны защиты четырех стержневых молниеотводов.
58. Чем выполняется защита объектов от прямых ударов молнии?
59. Перечислите, из каких элементов состоит стержневой молниеотвод.
60. Какое значение сопротивления должно иметь молниезащитное заземляющее устройство?
61. Каким параметром характеризуется зона защиты тросового молниеотвода?
62. Перечислите типы защитных аппаратов от перенапряжения.
63. На чем основана работа защитного разрядника?
64. Какие виды разрядников применяются для защиты от перенапряжений?
65. На чем основана работа трубчатого разрядника?
66. На чем основана работа вентильного разрядника?
67. На чем основана работа ограничителя перенапряжения?
68. Приведите ВАХ ограничителя перенапряжения и поясните принцип его работы.
69. Каким основным параметром характеризуются защитные аппараты от перенапряжений?
70. Каковы причины возникновения перенапряжений в сети с изолированной нейтралью?
71. Как возникают перенапряжения при несимметричном отключении фаз в электрической сети?
72. Чем выполняется защита от резонансных и коммутационных перенапряжений?
73. Какова величина перенапряжений в сети с изолированной нейтралью?
74. Для каких целей в сеть с изолированной нейтралью включается дугогасительный реактор?
75. Что по конструкции представляет собой дугогасительный реактор?

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Какие существуют основные виды электрической изоляции? Дать им характеристику.
2. Какие требования предъявляются к изоляции электрооборудования? Поясните каждое из требований.
3. Какие напряжения воздействуют на изоляцию? Причины возникновения перенапряжений.
4. Какие конфигурации имеют электрические поля? Что такое коэффициент неоднородности электрического поля?
5. Ионизационные процессы в газах.
6. Перечислите виды ионизации. Дайте характеристику объемной ионизации.
7. Перечислите виды ионизации. Дайте характеристику поверхностной ионизации.
8. Как происходит образование лавины электронов? Опишите протекание процесса.
9. Условие самостоятельности разряда. Закон Пашена.
10. Что представляет собой стример? Поясните, как осуществляется образование стримера.
11. Электрический разряд в неоднородных полях. Принцип его возникновения и протекания.
12. Что понимается под эффектом поляриности? Как он возникает?
13. Что понимается под барьерным эффектом? Как он возникает?
14. Как происходит пробой в жидких диэлектриках? Объясните, как влияют основные факторы на пробой.
15. Как происходит пробой в твердых диэлектриках? Объясните, какие существуют виды пробоя твердого диэлектрика.
16. Объясните механизм пробоя твердой изоляции.
17. Высоковольтная изоляция. Какие виды существуют высоковольтной изоляции? Поясните причины старения изоляции.
18. Высоковольтные изоляторы. Дайте характеристику линейным изоляторам.
19. Высоковольтные изоляторы. Дайте характеристику станционно-аппаратным изоляторам.
20. Изоляция высоковольтных конденсаторов.
21. Изоляция силовых трансформаторов.
22. Изоляция высоковольтных кабелей. Кабели с бумажной изоляцией.
23. Изоляция высоковольтных кабелей. Кабели с монолитной полимерной изоляцией.
24. Изоляция электрических машин.
25. Профилактика изоляции. Какие цели и задачи преследуются при проведении профилактики?
26. Какие методы используются при измерении сопротивления изоляции и $\tan \delta$? Охарактеризовать методы измерения.
27. Какие установки используются для получения высокого напряжения? Поясните способы получения переменного напряжения.
28. Какие установки используются для получения высокого напряжения? Поясните способы получения постоянного напряжения.

29. Приведите классификацию перенапряжений. Что такое кратность перенапряжения?
30. Грозовые перенапряжения. Чем они характеризуются? Способы защиты от них.
31. Зона защиты и зона поражения стержневого молниеотвода. Чем она характеризуется?
32. Конструкция молниеотвода. Пояснить назначение каждого элемента конструкции.
33. Зона защиты тросового молниеотвода. Принцип обеспечения защиты от прямых ударов молнии.
34. Что представляет собой зона защиты двухстержневых молниеотводов?
35. Алгоритм расчета зоны защиты стержневыми молниеотводами трансформаторных подстанций.
36. Какие типы устройств применяются для защиты от перенапряжений? Охарактеризуйте их.
37. Какие виды искровых аппаратов защиты от перенапряжений нашли применение? Охарактеризуйте их.
38. Что представляет собой ограничитель перенапряжения? Поясните принцип его действия.
39. Внутренние перенапряжения. Каков механизм их возникновения? Способы защиты от них.
40. Коммутационные перенапряжения. Каков механизм их возникновения? Способы защиты от них.
41. Каковы причины возникновения перенапряжений при несимметричном отключении фаз и способы защиты от них?
42. Каковы причины возникновения перенапряжений в сетях с изолированной нейтралью? Объясните механизм их формирования и протекания.
43. Каковы причины возникновения перенапряжений в сетях с изолированной нейтралью? Способы защиты от них.
44. Какова необходимость применения дугогасительных реакторов?
45. Каковы причины перенапряжений при отключении ненагруженных линий и способы защиты от них?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: Учебник для вузов [Текст] / А.Ф. Дьяков, И.П. Кужекин, Б.К. Максимов, А.Г. Темников; под ред. чл.-корр. РАН, докт. техн. наук, проф. А.Ф. Дьякова. - М.: Издательский дом МАИ, 2009.-455 с.
2. Основы электромагнитной совместимости: [Текст] Учебник для вузов / под ред. докт. техн. наук, проф. Р.Н. Карякина; Алт. гос. тех. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: ОАО «Алтайский полиграфический комбинат, 2007 – 480с.
3. Правила устройства электроустановок: [Текст]: Все действующие разделы, 2007.-853с., ил.
4. Нормативные основы устройства и эксплуатации электроустановок: [Текст]: – Нормативно-технический сборник. – Барнаул, 2002. – 976с.
5. Балашов О.П. Техника высоких напряжений: Учебное пособие для студентов специальности 140400 всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2012. 70с.
6. Балашов О.П. Техника высоких напряжений. Часть 2: Учебное пособие для студентов специальности 140400 всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013. 58с.
7. Парфенова Н.А., Балашов О.П. Электроэнергетика. Часть II: Задания и методические указания к выполнению контрольных работ для студентов специальности 140211 всех форм обучения /Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2010. - 105 с.
8. Базуткин В. В., Ларионов В. П., Пинталь Ю. С. Техника высоких напряжений. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 464 с.
9. Техника высоких напряжений/ И. М. Богатенков, Ю. Н. Бочаров, Н. И. Гумерова, Г. М. Иманов и др. Под ред. Г. С. Кучинского. — СПб.: Энергоатомиздат, 2003. — 608 с.
10. Юриков П.А. Защита электростанций и подстанций 3-500 кВ от прямых ударов молнии. - М.: Энергоатомиздат, 1982
11. РД 34.21.122-87. Минэнерго СССР. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. М.: Энергоатомиздат, 1989.
12. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО 153-34.21.122-2003). М.: Издательство МЭИ, 2004.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Вариант 1

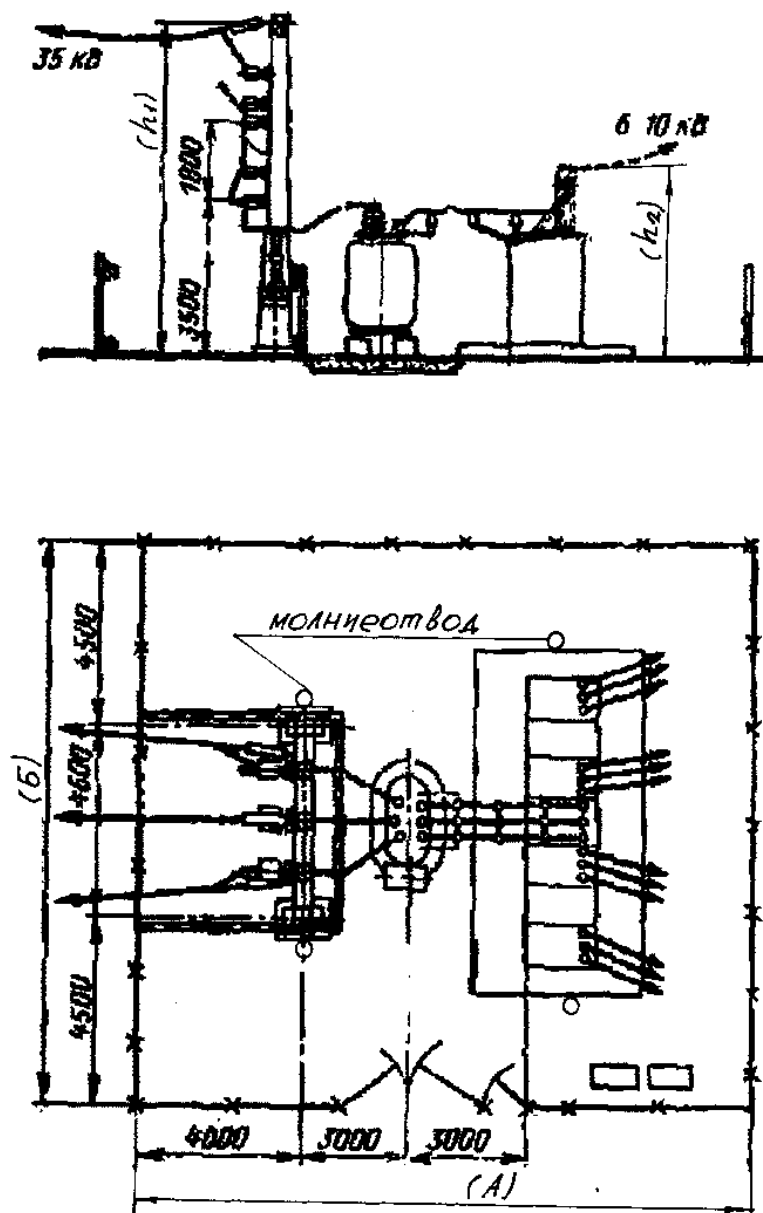


Рисунок А1 - ОРУ 35 кВ понизительной подстанции с одним трансформатором

а) Размер (АхБ) 15,5 x 13,6 (м);	$h_1 = 7,5$ м;	$h_2 = 6,0$ м;
б) Размер (АхБ) 17,0 x 15,0 (м);	$h_1 = 8,0$ м;	$h_2 = 5,5$ м;
в) Размер (АхБ) 19,0 x 17,0 (м);	$h_1 = 10,5$ м;	$h_2 = 6,5$ м;
г) Размер (АхБ) 21,0 x 19,0 (м);	$h_1 = 11,0$ м;	$h_2 = 6,5$ м;
д) Размер (АхБ) 23,0 x 21,0 (м);	$h_1 = 8,5$ м;	$h_2 = 5,5$ м.

Вариант 2

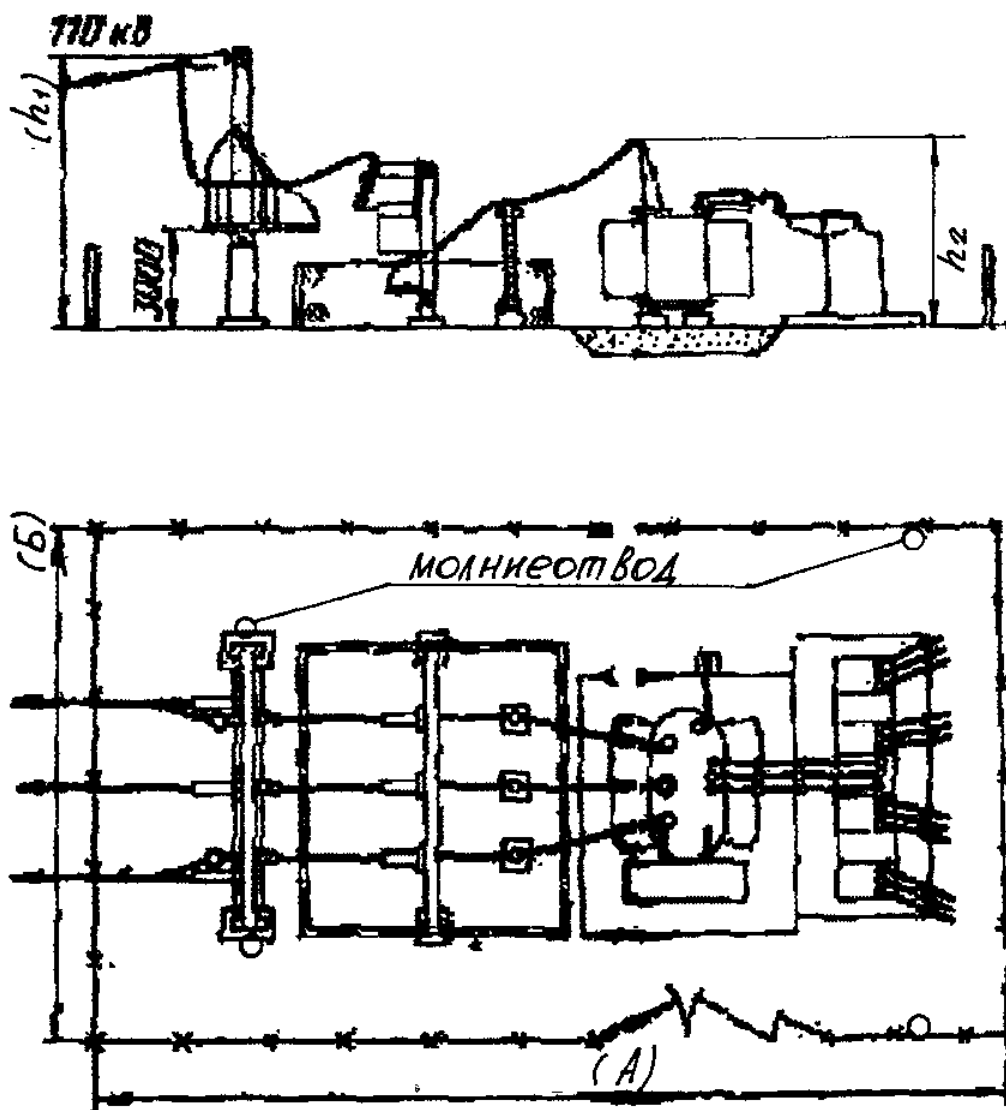


Рисунок А2 - ОРУ 110 кВ с установкой разъединителя, отделителя и короткозамыкателя в цепи питания трансформатора

а) Размер (АхБ) 27,0 x 16,0 (м);	$h_1 = 8,0$ м;	$h_2 = 6,0$ м;
б) Размер (АхБ) 29,0 x 18,0 (м);	$h_1 = 10,7$ м;	$h_2 = 5,5$ м;
в) Размер (АхБ) 31,0 x 19,0 (м);	$h_1 = 11,0$ м;	$h_2 = 5,0$ м;
г) Размер (АхБ) 33,0 x 20,0 (м);	$h_1 = 8,5$ м;	$h_2 = 4,5$ м;
д) Размер (АхБ) 34,0 x 22,0 (м);	$h_1 = 7,5$ м;	$h_2 = 4,0$ м.

Вариант 3

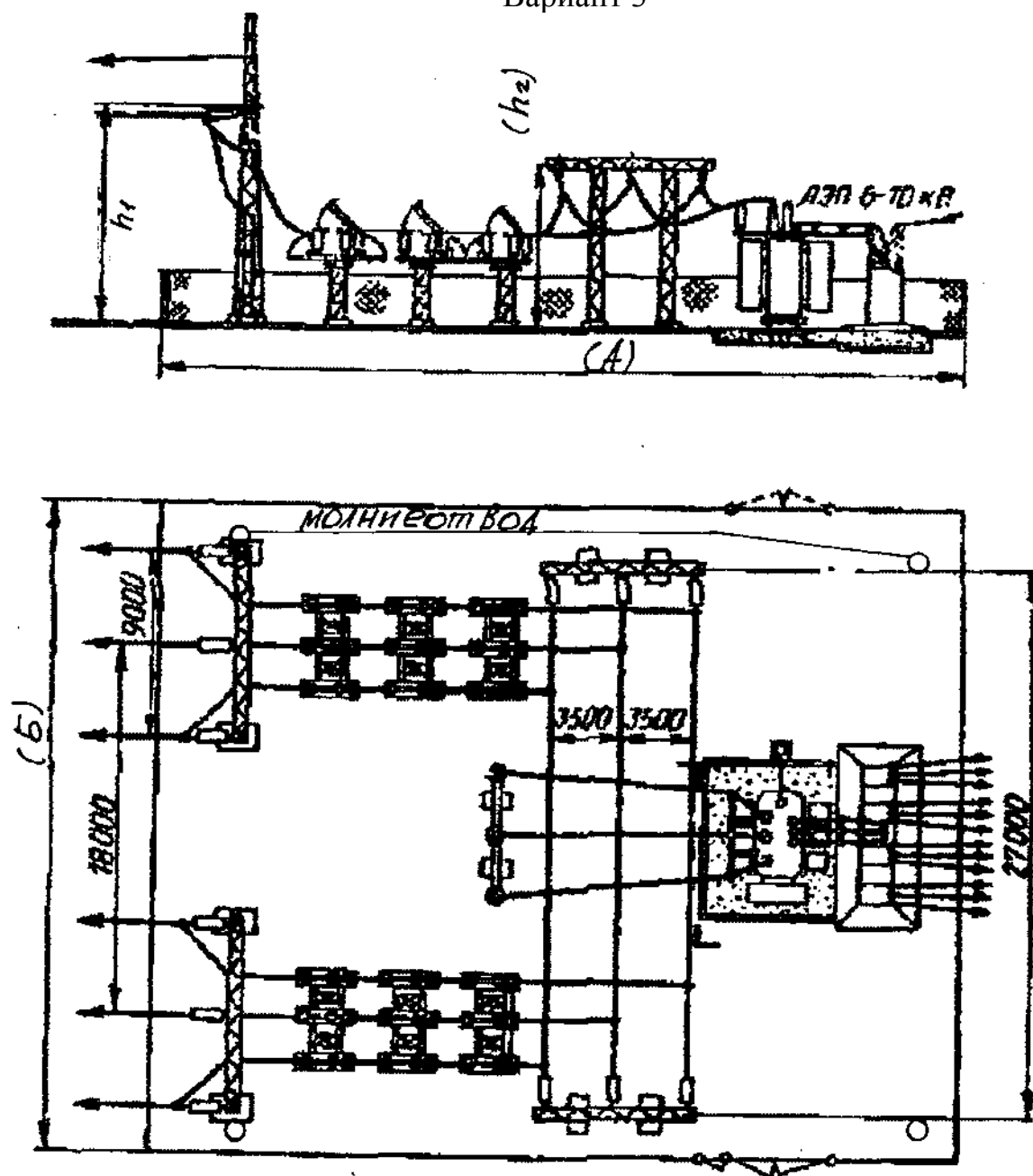
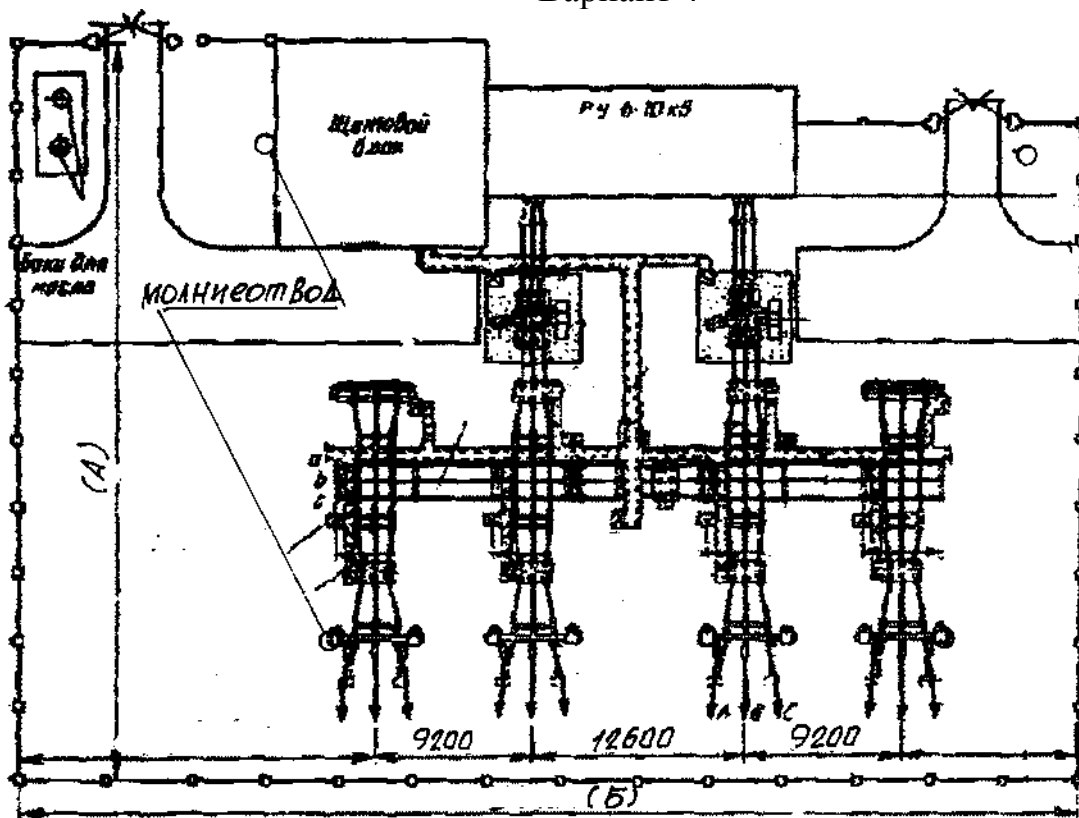


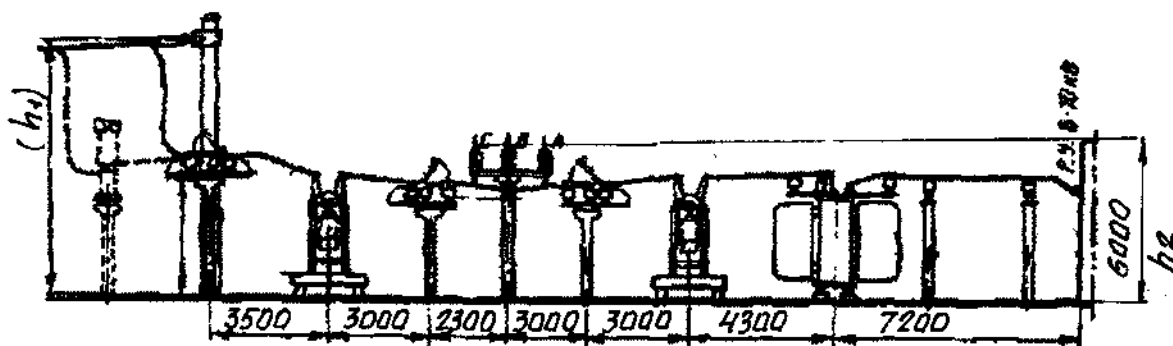
Рисунок А3 - ОРУ 35 кВ для схемы с питанием двух трансформаторов от двух линий

а) Размер (АхБ) 37,0 x 32,0 (м):	$h_1 = 10,7$ м:	$h_2 = 8,0$ м:
б) Размер (АхБ) 39,0 x 33,0 (м):	$h_1 = 11,5$ м:	$h_2 = 8,0$ м:
в) Размер (АхБ) 41,0 x 35,0 (м):	$h_1 = 11,5$ м:	$h_2 = 7,5$ м:
г) Размер (АхБ) 42,0 x 36,0 (м):	$h_1 = 11,5$ м:	$h_2 = 7,0$ м:
д) Размер (АхБ) 45,0 x 38,0 (м):	$h_1 = 10,0$ м;	$h_2 = 8,0$ м.

Вариант 4



а)



б)

Рисунок А4 - ОРУ 35 кВ для схемы с одной секционной системой шин с баковыми выключателями и жесткой ошиновкой

а) Размер (АхБ) 44,0 х 64,0 (м);	$h_1 = 8,0$ м;	$h_2 = 6,0$ м;
б) Размер (АхБ) 46,0 х 66,0 (м);	$h_1 = 10,7$ м;	$h_2 = 5,5$ м;
в) Размер (АхБ) 48,0 х 68,0 (м);	$h_1 = 11,0$ м;	$h_2 = 5,0$ м;
г) Размер (АхБ) 40,0 х 60,0 (м);	$h_1 = 8,5$ м;	$h_2 = 4,5$ м;
д) Размер (АхБ) 38,0 х 58,0 (м);	$h_1 = 7,5$ м;	$h_2 = 4,0$ м.

Вариант 5

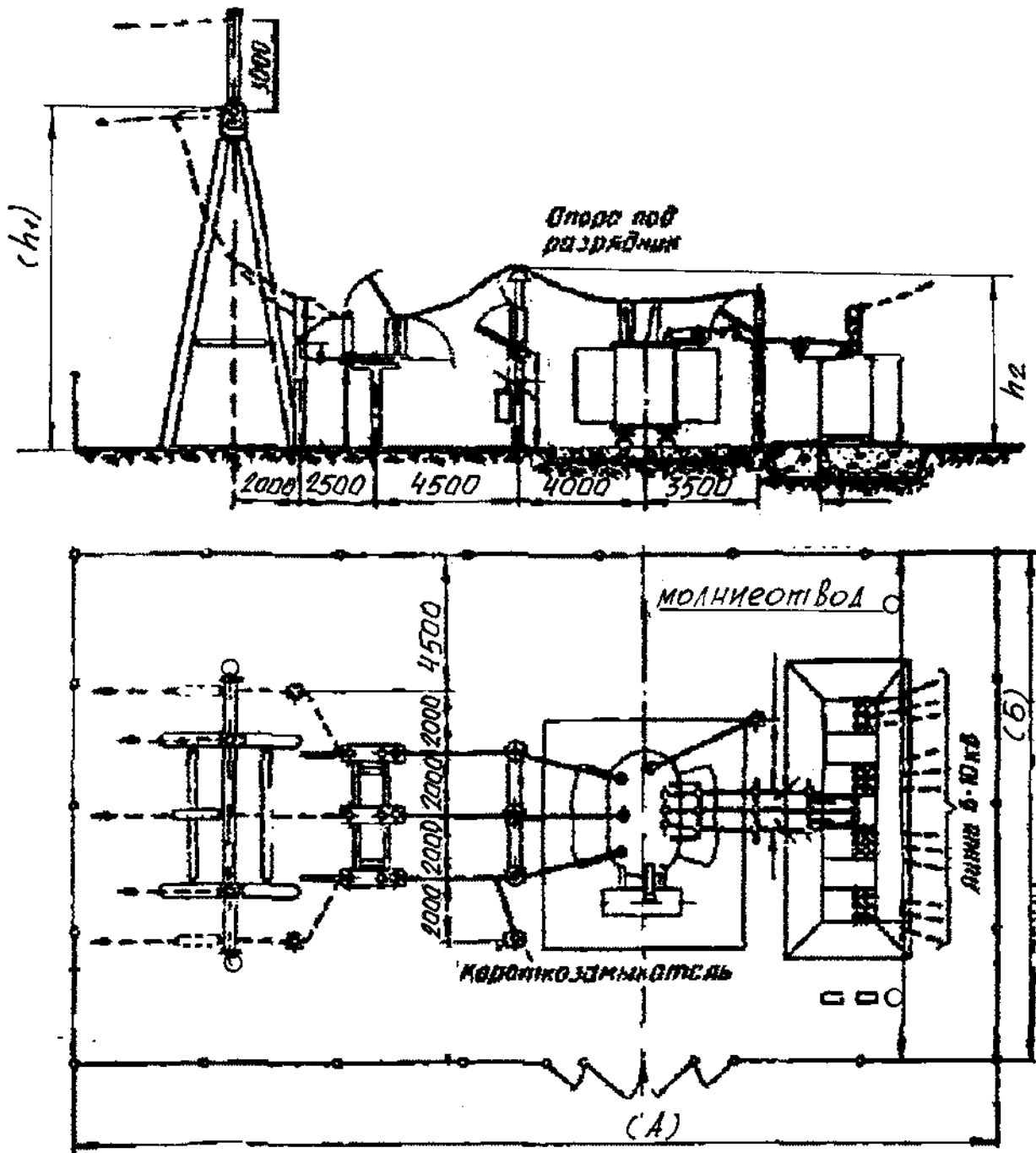


Рисунок А5 - ОРУ 110 кВ понизительной подстанции с одним трансформатором, питаемым по тупиковой линии

а) Размер (АхБ) 29,0 х 16,5 (м):	$h_1 = 10,5$ м:	$h_2 = 5,0$ м:
б) Размер (АхБ) 31,0 х 18,0 (м):	$h_1 = 11,5$ м:	$h_2 = 5,5$ м:
в) Размер (АхБ) 33,0 х 19,0 (м):	$h_1 = 11,0$ м:	$h_2 = 6,0$ м:
г) Размер (АхБ) 35,0 х 20,0 (м):	$h_1 = 11,5$ м:	$h_2 = 5,5$ м:
д) Размер (АхБ) 36,0 х 21,0 (м):	$h_1 = 10,0$ м:	$h_2 = 6,0$ м:

Вариант 6

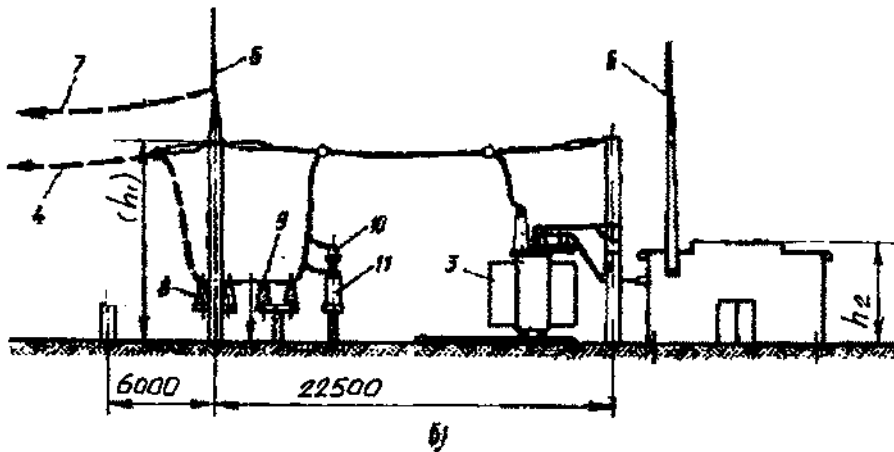
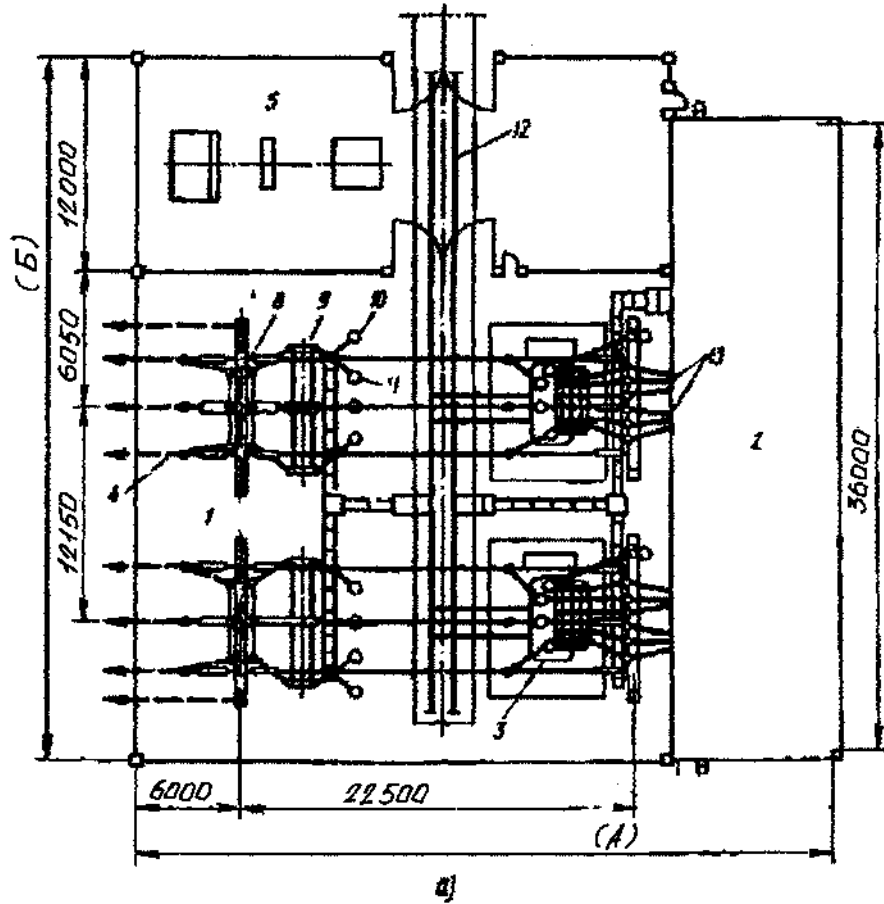


Рисунок А6 - ОРУ 110 кВ понизительной подстанции с одним трансформатором, питаемым по тупиковой линии:

- 1 - ОРУ-110 кВ; 2- ЗРУ 6-10 кВ; 3 - трансформатор; 4- ВЛ 110 кВ;
 5- ремонтная площадка; 6- молниеотвод; 7- защитный трос;
 8- разъединитель; 9- отделитель; 10- короткозамыкатель;
 11- разрядник; 12- железнодорожный путь, 13- выводы

а) Размер (АхБ) 39,7 x 40,0 (м);	$h_1 = 10,0$ м;	$h_2 = 5,0$ м;
б) Размер (АхБ) 41,0 x 41,0 (м);	$h_1 = 10,7$ м;	$h_2 = 6,0$ м;
в) Размер (АхБ) 43,0 x 43,0 (м);	$h_1 = 11,5$ м;	$h_2 = 5,5$ м;
г) Размер (АхБ) 45,0 x 45,0 (м);	$h_1 = 11,0$ м;	$h_2 = 6,0$ м;
д) Размер (АхБ) 47,0 x 47,0 (м);	$h_1 = 9,5$ м;	$h_2 = 5,0$ м.

Вариант 7

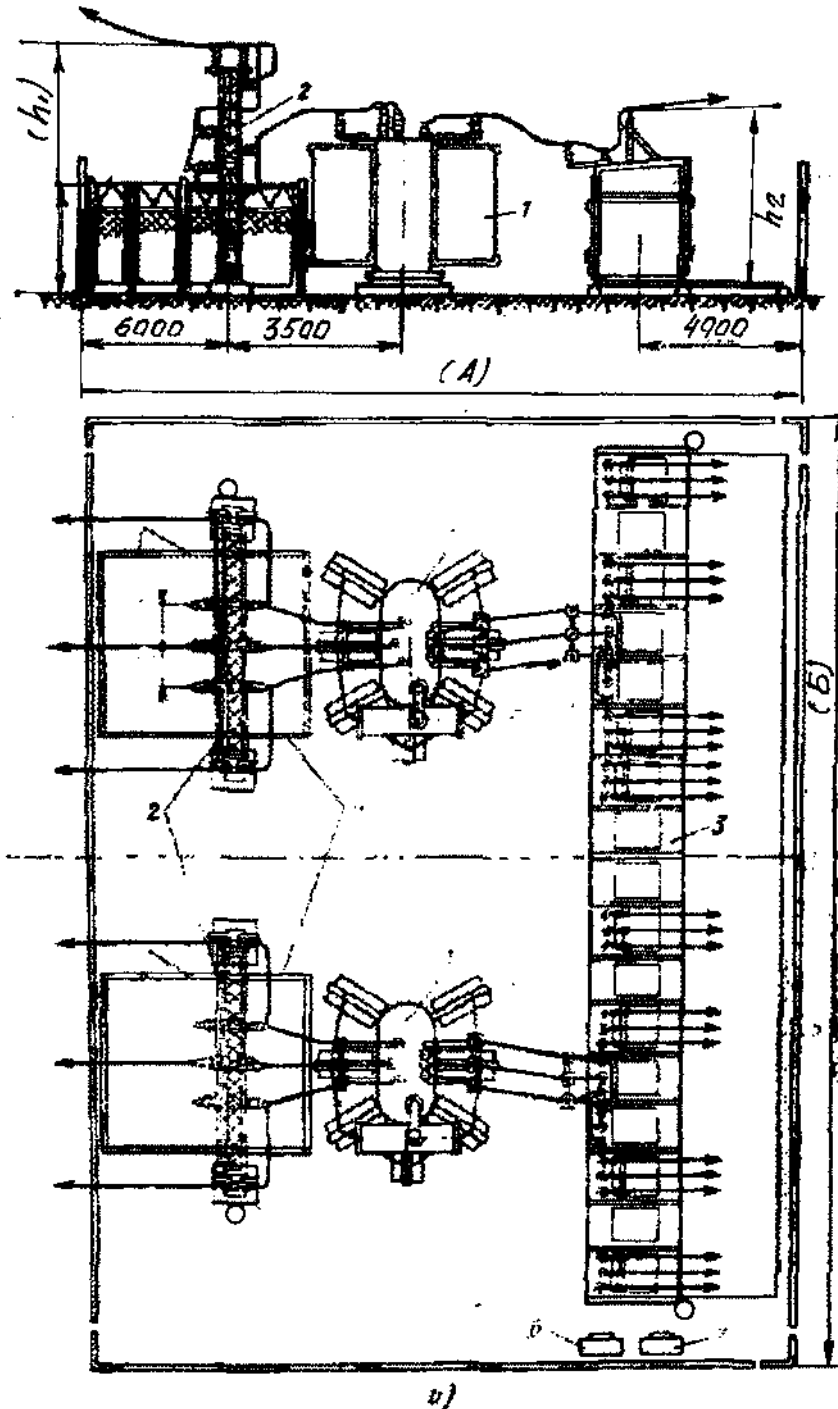


Рисунок А7 - Комплектная двухтрансформаторная подстанция 35 кВ:
 1-трансформатор; 2-РУ 35 кВ; 3 - КРУН 6-10 кВ; 4 - внутреннее ограждение предохранителей; 5- внешнее ограждение; 6,7 - шкафы инвентарные.

а) Размер (АхБ) 19,0 x 38,0 (м);	$h_1 = 6,5$ м;	$h_2 = 4,0$ м;
б) Размер (АхБ) 21,0 x 40,0 (м);	$h_1 = 6,5$ м;	$h_2 = 4,5$ м;
в) Размер (АхБ) 23,0 x 45,0 (м);	$h_1 = 6,5$ м;	$h_2 = 4,5$ м;
г) Размер (АхБ) 24,0 x 46,0 (м);	$h_1 = 6,0$ м;	$h_2 = 4,0$ м;
д) Размер (АхБ) 25,0 x 48,0 (м);	$h_1 = 7,0$ м;	$h_2 = 5,0$ м.

Балашов Олег Петрович

ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Методическое пособие к выполнению расчетного задания для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника», заочной формы обучения

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 28.05.15. Формат 60x84 /16.

Усл. печ. л. 2,69. Тираж 70 экз. Заказ 151430. Рег. № 61.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.