Тема доклада:

ПРИМЕР РАСЧЁТА ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО КОНТУРА ДЛЯ УДАЛЁННЫХ УЧАСТКОВ ПЕРИМЕТРА

Александр Проскуряков,
руководитель направления общая промышленность АО «Хакель»

РАСЧЁТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

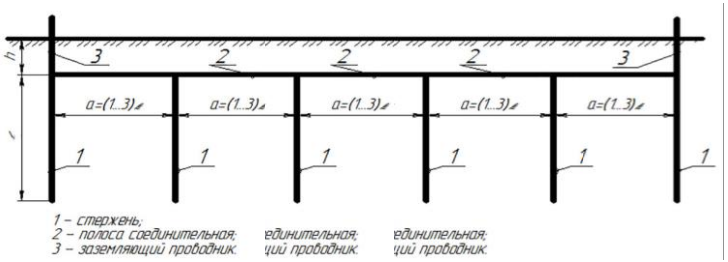
Определение удельного сопротивления грунта	• по результатам ВЭЗ и/или геологических разрезов
Определение нормируемого сопротивления ЗУ	• с учётом типа электроустановки, рабочего напряжения, системы заземления и т.д.
Определение сопротивления дополнительного ЗУ	• при необходимости доведения сопротивления имеющегося ЗУ до нормы
Расчёт сопротивления одиночного вертикального заземлителя	• расчёт сопротивления вертикального заземлителя в двухслойной модели грунта
Определение необходимого количества вертикальных заземлителей	• без учёта горизонтального заземлителя
Расчёт сопротивления горизонтального заземлителя	• с учётом коэффициента использования горизонтальных заземлителей
Расчёт сопротивления вертикальных заземлителей с учётом горизонтального	• корректировка требуемого сопротивления в сторону увеличения
Уточнение количества вертикальных заземлителей	• расчёт количества заземлителей с учётом коэффициента их использования

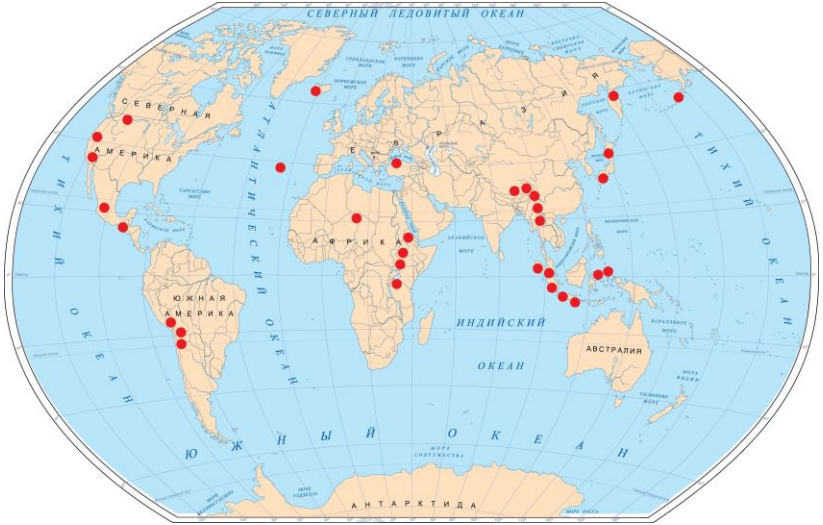
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- тип грунта ?
- удельное сопротивление грунта ?
- мощность грунта ?
- климатический район объекта ?
- нормируемое сопротивление ?
- вид/тип электродов ?

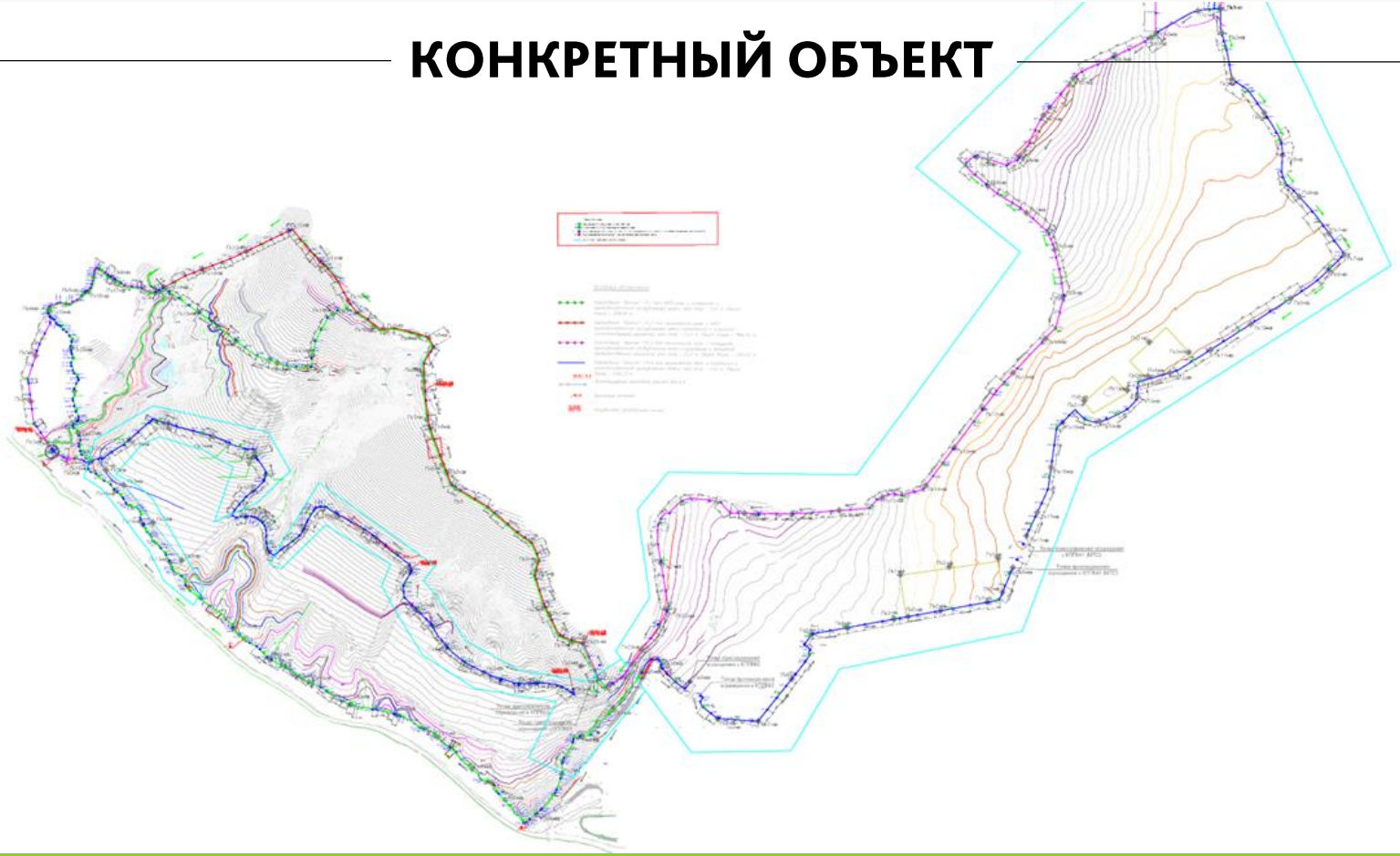
ЧТО ДОЛЖНЫ ПОЛУЧИТЬ В РЕЗУЛЬТАТЕ?

Позиция	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа, опросного листа
1	2	3
	Электротехническое оборудование	
	Кабели и провода	
	Провод самонесущий изолированный (СИП) из одной жилы со стальным сердечником,	СИП-4
	обвитым проволоками из алюминиевого сплава марки AlMgSi, с изоляцией из	ГОСТ Р 55373-2005
	"сшитого полиэтилена" полиэтилена сечением:	
	2х16	
	Оборудование	
	Комплектная трансформаторная подстанция 10 кВА , 10/0,22 кВ с трансформатором	КТП 10/0,22
	масляным герметичным ОМП- 10/10- УХЛ-1	ОМП- 10/10- УХЛ1
	Автоматический однополюсный выключатель дифференцированного тока	АВДТ32 С25 А30
	Счетчик учета акт./реакт. эл. энергии, однотарифный	CE 101 R5.1 145 M6
	Разъединитель линейный качающегося типа, с приводом, Uном=10кВ, Iном=400А	РЛК - 1а - II- 10/400 УХЛ1
	Привод разъединителя РЛК- 1а - 10	ПР- 01- 7 УХЛ1
	Предохранитель 2А	ПКТ 101- 10- 2- 125 У1
	Ограничитель перенапряжений	ОПН-П- 10/10/0.23 кВ УХЛ1

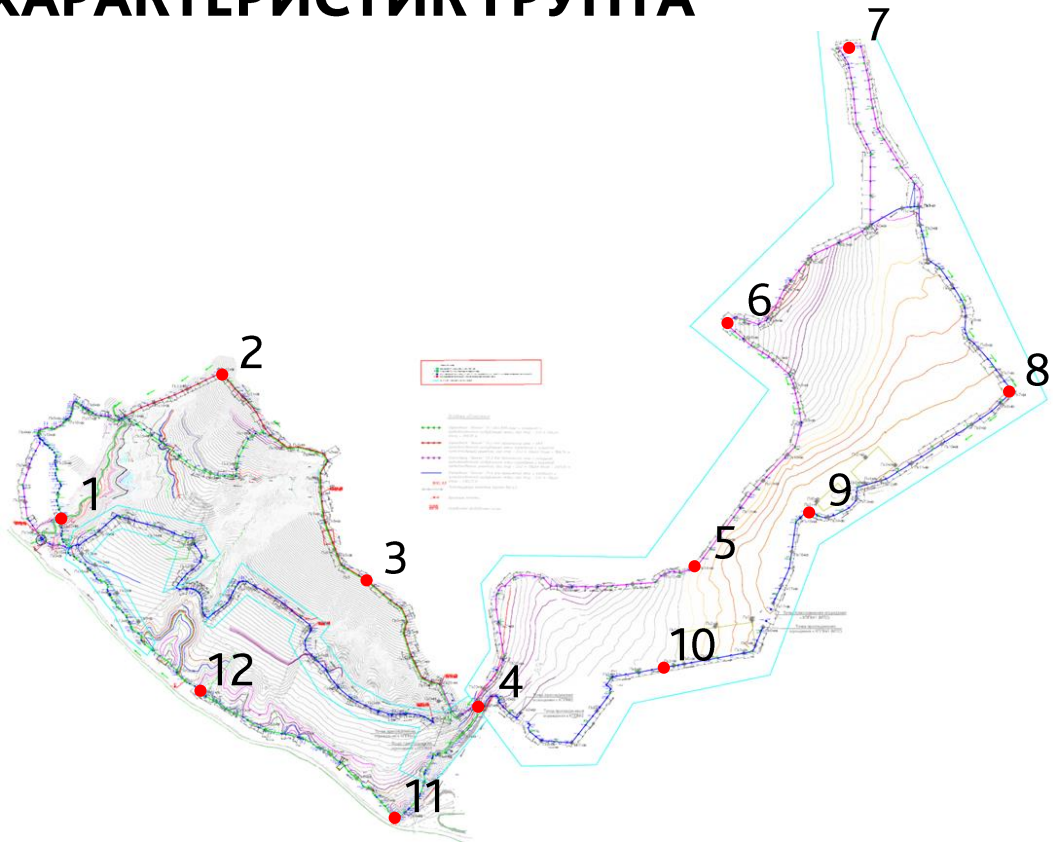




КОНКРЕТНЫЙ ОБЪЕКТ



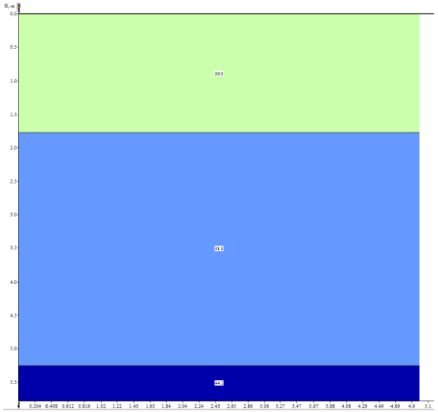
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА



ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ

Точка №1

Геоэлектрический разрез (по результатам интерпретации кривой ВЭЗ программой IPI2win)



Представление в табличном виде:

N	ρ	h	d	Абс
1	96.9	1.77	1.77	-1.775
2	61.8	3.48	5.25	-5.25
3	44.1			

N	ρ	h	d	Абс
1	96.9	1.77	1.77	-1.775
2	61.8	3.48	5.25	-5.25
3	44.1			

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНА

МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

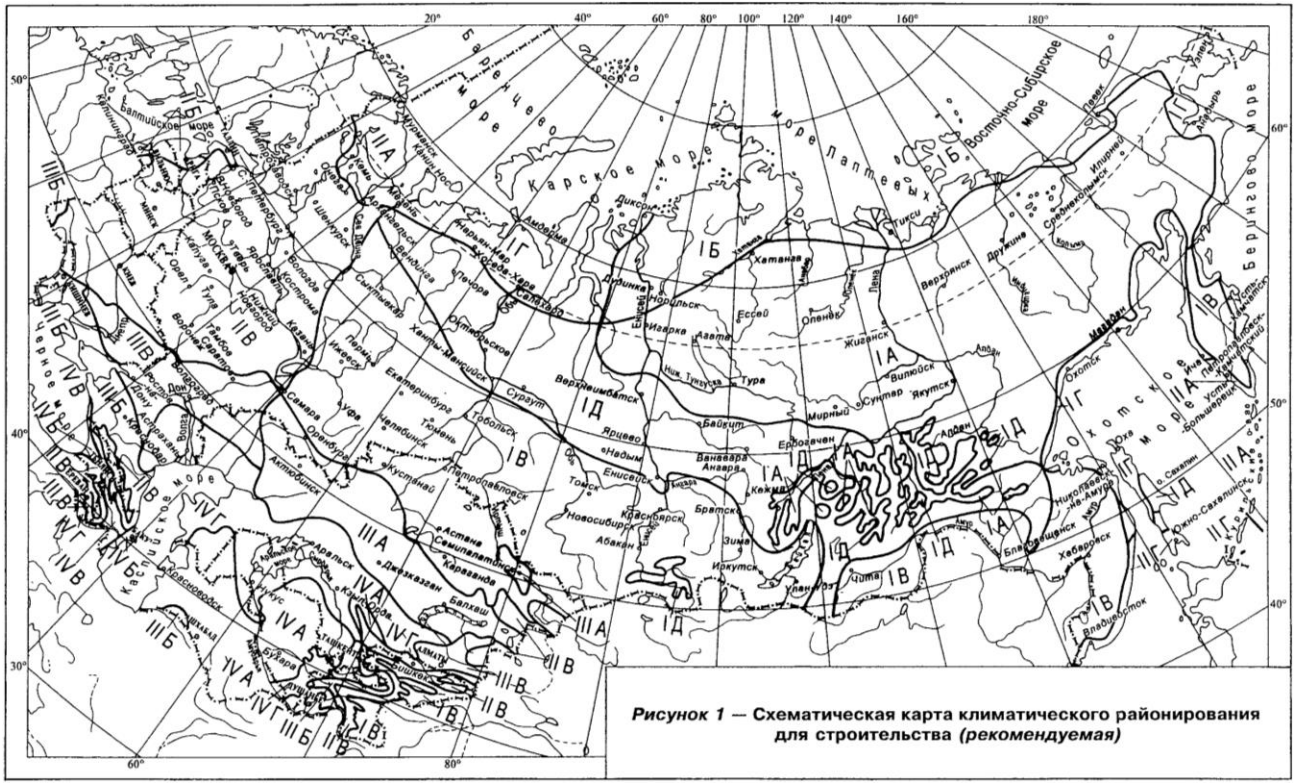
СВОД ПРАВИЛ СП 131.13330.2012

СТРОИТЕЛЬНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Актуализированная версия

СНиП 23-01-99*

Москва 2012



ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМИРУЕМОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

1.7.101. Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Категория (уровень) защиты	РД	СО	МЭК 62305-3	ГОСТ Р 58882-2020
I	нормируется конструкция ЗУ	не нормируется	≤10 Ом	≤10 Ом
II				
III				
IV	-			

ДАНО

- тип грунта: суглинок
- ρ(Ом·м) = 96,9 / 61,8 / 44,1
- h(м) = 1,77 / 3,48
- климатический район (СНиП 2.01.01-82): IV
- нормируемое сопротивление: 4 Ом
- вид электрода: модульный глубинный

НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРО РАСЧЁТ ЗУ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 58882—2020

ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА. СИСТЕМЫ УРАВНИВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ. ЗАЗЕМЛИТЕЛИ. ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ ПРОВОДНИКИ

Технические требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

7.4 Требования к заземляющим устройствам, заземлителям и заземляющим проводникам электроустановок электрических станций и подстанций напряжением выше 1 кВ

7.4.1 Характеристики заземляющих устройств

7.4.1.1 ЗУ электроустановок напряжением выше 1 кВ (электрических станций и подстанций) должно обеспечивать нормируемые параметры по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС для нормальных и наиболее опасных аварийных режимов:

- однофазное (двухфазное) КЗ на землю на РУ;
- КЗ на землю на линиях, отходящих от РУ;
- двойное замыкание на землю (замыкание на землю двух фаз в различных точках) в сети с изолированной нейтралью;
- стекание токов молнии с молниеотводов, установленных на зданиях и в РУ электрических станций и подстанций, и токов через ограничители перенапряжений;
- стекание токов несимметрии и токов шунтирующих реакторов.

7.4.1.2 Нормируемые параметры должны быть обеспечены при наиболее неблагоприятных условиях в любое время года.

7.4.1.3 Расчет параметров ЗУ рекомендуется проводить с помощью специализированного программного обеспечения по методике (см. приложение Б).

РАСЧЁТ ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Стандартное заземляющее устройство.

М 1 : 200

Справка.

Стандартное заземляющее устройство из вертикальных электродов, размещенных в ряду, по контуру или в нескольких рядах, и соединяющего их горизонтального проводника.

Изображение | Условия

Грунт вертикального электрода | Грунт горизонтального проводника

Тип грунта (воды): глина

ρ - удельное сопротивление грунта (воды), Ом м (при температуре 20 град. Цельсия): 30 (8 - 70)

Коэффициент поправки: 1

ρ - расчетное удельное сопротивление грунта (воды), Ом м: 30

Конструкция вертикального электрода | Конструкция горизонтального проводника

Конструкция: сталь круглая оцинкованная D - диаметр, м: 0,016

Размеры, м: 0,016

Lв - длина вертикального электрода, м: 3 (0,5 .. 6)

To - глубина заложения, м: 0,7 (To >= 0,5)

Размещение электродов: ряд Размеры рядов (b x a):

S - расстояние между электродами, м: 3 (1,5 .. 18)

Nв - количество электродов, шт.: 3 (2 .. 100)

Сопротивление, Ом: 3,52

T, м: 2,2
Lг, м: 6
rв, Ом: 10
Kив: 0,79
Rв, Ом: 4,22
rг, Ом: 16,66

Порядок расчета:
Ro = 4,22*21,09 / (4,22+21,09) = 3,52 Ом.
Так как Ro <= Rтреб., то сложный заземлитель можно использовать в качестве заземляющего устройства.

Характеристика электроустановки

Тип: напряжением до 1 кВ с заземленной нейтралью Rсущ., Ом: Включить в отчет

Iзо, А: Uлин., В: 380/220 S, кВА: ρ, Ом м: 100 Rтреб., Ом: 4 (4) Изменить...

О программе.

Beroes ZU 3.1

2006 - 2019 Beroes Group

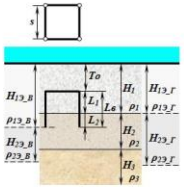
Программа расчета сопротивления заземляющих устройств

НА ЧТО «ОПИРАЕТСЯ» ПО ПРИ РАСЧЁТАХ?

- Справочник по электрическим установкам высокого напряжения (под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова). 1989
- В.В. Бургедорф. А.И. Якобс. Заземляющие устройства электроустановок. 1987
- Г.А. Дулицкий, А.П. Комаревцев. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В. 1988
- П.А. Долин. Справочник по технике безопасности. 1982
- Р.Н. Карякин, В.И. Солнцев. Заземляющие устройства пром. электроустановок. Справочник электромонтажника. 1989
- Р.Н. Карякин. Справочник по молниезащите. 2005
- Е.С. Колечицкий. Основы расчета заземляющих устройств: Учебное пособие. 2001
- В.Д. Маньков, С.Ф. Заграничный. Защитное заземление и зануление электроустановок. Справочник. 2005
- М.Р. Найфельд. Заземление, защитные меры электробезопасности. 1971
- Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. Электроборудование станций и подстанций. 1987
- Справочник по проектированию подстанций 35 - 500 кВ. (под общей редакцией С.С. Рокотяна и Я.С. Самойлова). 1982
- В578. 2. Заземление и зануление электроустановок промышленных предприятий. 1991
- Нормы проектирования электрохим. защиты магистральных трубопроводов и площадок МН. РД 153-39.4-039-99. 1999
- Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений РД 153-34.3-35.125-99. Разработан АО НИИПТ и АО ВНИИЭ. 1999
- Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов. 1971
- **Номенклатурная база производителя**.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА

Стандартное заземляющее устройство точка №1.



Требуемое сопротивление растеканию рассчитываемого заземляющего устройства: Rтреб. = 4 Ом.

Заземляющее устройство располагается в многослойной земле и представляет собой совокупность вертикальных электродов, соединенных между собой горизонтальным проводником.

Глубина заложения заземляющего устройства: $T_O = 0,7$ м.

Параметры вертикальных электродов:

- конструкция электрода: сталь круглая омедненная диаметром $D_B = 0,0172$ м;

- длина электрода: $L_B = 1,5$ м;

- расстояние от поверхности земли до середины электрода: $T = L_B/2+T_O = 1,5/2+0,7 = 1,45$ м;

- количество электродов: $N_B = 20$ шт.;

- расстояние между электродами: $s = 1,5$ м;

- порядок размещения электродов: ряд.

Параметры горизонтального проводника:

- конструкция проводника: сталь полосовая 0,04x0,004 м с шириной полосы $B = 0,04$ м, что соответствует диаметру $D_Г = 0,5*B = 0,02$ м;

- длина проводника: $L_Г = (N_B - 1) * s = (20 - 1) * 1,5 = 28,5$ м.

Многослойный грунт в месте расположения заземляющего устройства.

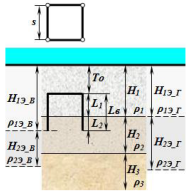
1-й слой:

- тип грунта: суглинок;

1

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА

Стандартное заземляющее устройство точка №1.



Требуемое сопротивление растеканию рассчитываемого заземляющего устройства: Rтреб. = 4 Ом.

Заземляющее устройство располагается в многослойной земле и представляет собой совокупность вертикальных электродов, соединенных между собой горизонтальным проводником.

Глубина заложения заземляющего устройства: $T_0 = 0,7$ м.

Параметры вертикальных электродов:

- конструкция электрода: сталь круглая омедненная диаметром $D_в = 0,0172$ м;
- длина электрода: $L_в = 1,5$ м;
- расстояние от поверхности земли до середины электрода: $T = L_в/2+T_0 = 1,5/2+0,7 = 1,45$ м;
- количество электродов: $N_в = 20$ шт.;
- расстояние между электродами: $s = 1,5$ м;
- порядок размещения электродов: ряд.

Параметры горизонтального проводника:

- конструкция проводника: сталь полосовая 0,04x0,004 м с шириной полосы $B = 0,04$ м, что соответствует диаметру $D_г = 0,5*B = 0,02$ м;
- длина проводника: $L_г = (N_в - 1) * s = (20 - 1) * 1,5 = 28,5$ м.

Многослойный грунт в месте расположения заземляющего устройства.

1-й слой:

- тип грунта: суглинок;

1

- удельное сопротивление слоя: $\rho_1 = 96,9$ Ом м;
- поправочный коэффициент для вертикального электрода: 1,1;
- удельное сопротивление слоя для вертикального электрода с учетом поправочного коэффициента: $\rho_{1э} = 96,9*1,1 = 106,59$ Ом м;
- поправочный коэффициент для горизонтального проводника: 1,4;
- удельное сопротивление слоя для горизонтального проводника с учетом поправочного коэффициента: $\rho_{1г} = 96,9*1,4 = 135,66$ Ом м;
- толщина слоя: $H_1 = 1,77$ м;
- длина рабочей части вертикального электрода в слое: $L_{1э} = 1,07$ м.

2-й слой:

- тип грунта: суглинок;
- удельное сопротивление слоя: $\rho_2 = 61,8$ Ом м;
- поправочный коэффициент для вертикального электрода: 1,1;
- удельное сопротивление слоя для вертикального электрода с учетом поправочного коэффициента: $\rho_{2э} = 61,8*1,1 = 67,98$ Ом м;
- поправочный коэффициент для горизонтального проводника: 1,4;
- удельное сопротивление слоя для горизонтального проводника с учетом поправочного коэффициента: $\rho_{2г} = 61,8*1,4 = 86,52$ Ом м;
- толщина слоя: $H_2 = 3,48$ м;
- длина рабочей части вертикального электрода в слое: $L_{2э} = 0,43$ м.

3-й слой:

- тип грунта: суглинок;
- удельное сопротивление слоя: $\rho_3 = 44,1$ Ом м;
- поправочный коэффициент для вертикального электрода: 1,1;
- удельное сопротивление слоя для вертикального электрода с учетом поправочного коэффициента: $\rho_{3э} = 44,1*1,1 = 48,51$ Ом м;
- поправочный коэффициент для горизонтального проводника: 1,4;
- удельное сопротивление слоя для горизонтального проводника с учетом поправочного коэффициента: $\rho_{3г} = 44,1*1,4 = 61,74$ Ом м;
- толщина слоя: $H_3 = 4$ м;
- длина рабочей части вертикального электрода в слое: $L_{3э} = 0$ м.

Приведение многослойного грунта к двухслойной модели для вертикального электрода.

Расчетная глубина двухслойной модели земли:

2

$\eta_г = F(20; 1) = 0,42$.

Сопротивление горизонтального проводника с учетом влияния вертикальных электродов:

$R_г = r_г / \eta_г$, Ом;

$R_г = 7,13 / 0,42 = 16,98$ Ом.

Общее сопротивление заземляющего устройства:

$R = R_в*R_г / (R_в+R_г)$, Ом;

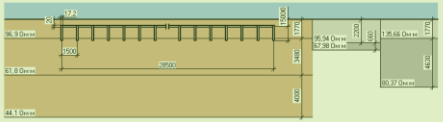
$R = 5,12*16,98 / (5,12+16,98) = 3,93$ Ом.

Так как R <= Rтреб., то сложный заземлитель можно использовать в качестве заземляющего устройства.

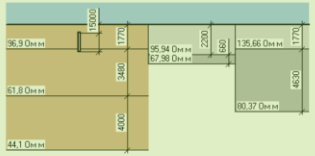
Графические схемы.

Масштаб 1 : 200.

Главный вид.



Вид слева.



Вид сверху.

5

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ТОЧКИ №1

наименование	кол-во
Стержень стальной с электрохимическим медным покрытием d=17,2 мм l=1500 мм 250 мк	20
Муфта соединительная латунная для стержней d=17,2 мм	4
Наконечник стальной для стержней d=17,2 мм	20
Головка ударопрёмная стальная для стержней d=17,2 мм	4
Зажим универсальный латунный для стержней d=17,2 мм	20
Лента гидроизоляционная 10 м	3
Проводник прямоугольного сечения 4x40 мм, сталь оцинкованная	30
Насадка для перфоратора SDSmax	2
Паста электропроводящая антикоррозионная 100 г	6

ЧТО ЛУЧШЕ: ОБЩИЙ КОНТУР ИЛИ «ТОЧЕЧНОЕ» ЗУ?

наименование	кол-во	кол-во
Стержень стальной с электрохимическим медным покрытием d=17,2 мм l=1500 мм 250 мк	146	2 645
Муфта соединительная латунная для стержней d=17,2 мм	28	518
Наконечник стальной для стержней d=17,2 мм	146	2 645
Головка ударoприёмная стальная для стержней d=17,2 мм	28	518
Зажим универсальный латунный для стержней d=17,2 мм	146	2 645
Лента гидроизоляционная 10 м	28	496
Проводник прямоугольного сечения 4х40 мм, сталь оцинкованная	208	13 807
Насадка для перфоратора SDSmax	15	264
Паста электропроводящая антикоррозионная 100 г	51	891
Зажим универсальный стальной горячеоцинкованный	2	34

В ЗАПИСНУЮ КНИЖКУ ПРОЕКТИРОВЩИКА

1. Заземление – это процесс, а не предмет!
2. Во избежание взаимного экранирования электродов, рекомендованное минимальное расстояние между ними:

   для модульных глубинных – 1L;
   для электролитических – 2,2L (где L – длина электрода).
3. При удельном сопротивлении земли ρ>100 Ом·м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01ρ раз, но не более десятикратного.
4. Укладку полосы горизонтального заземлителя рекомендуется монтировать вертикально (на «ребро»).