

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

Кафедра "Производственная безопасность, экология и химия"

ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Методические указания по выполнению практической работы
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для подготовки
бакалавров всех направлений и форм обучения



Нижегород 2018

Составители: О.В. Маслеева, Т.И.Курагина,
УДК 628.93:658.2 (075.5)

Защитное заземление: Метод. указания к практической работе по дисциплине "БЖД" /НГТУ;
Сост.: Маслеева О.В. и др. Н.Новгород, 2018. 14 с.

Изложены краткие сведения из теории, задание к работе и порядок ее выполнения,
указания к составлению отчета.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ. 29.06.2018. Формат 60x841/16. Бумага газетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,25. Уч.-изд. л.1,5. Тираж 150 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева.
Типография НГТУ. 603950. Н. Новгород, ул. Минина, 24.

© Нижегородский
государственный
технический
университет
им. Р. Е. Алексеева, 2018г.
© Маслеева О.В.,
2018г.

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью практической работы является:

- изучить принцип действия защитного заземления,
- научиться определять допустимые значения сопротивления заземляющих устройств для электроустановок до 1000 В,
- выполнить расчет защитного заземления.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должно быть применено для защиты при косвенном прикосновении защитное заземление.

Защиту при косвенном прикосновении следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока. В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях 25 В переменного и 60 В постоянного тока.

Защитному заземлению подлежат:

- корпуса электрических машин, трансформаторов, и т.п.;
- каркасы распределительных щитов, если на них установлено электрооборудование напряжением выше 50 В переменного или 120 В постоянного тока;
- металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников.

Назначение защитного заземления - это устранение опасности поражения электрическим током при прикосновении человека к корпусу электрической установки, находящемуся под напряжением в случае пробоя изоляции фаз.

Область применения защитного заземления:

-электрические сети напряжением до 1000В с изолированной нейтралью

- электрические сети напряжением выше 1000В с любым режимом нейтрали.

Принцип действия защитного заземления заключается в снижении напряжения на корпусе электроустановки до безопасного значения.

Величиной, характеризующей степень опасности прикосновения человека к корпусу электрической установки, находящейся под напряжением, является напряжение прикосновения, которое представляет собой разность потенциалов заземлителя $\varphi_з$ и основания $\varphi_{ос}$:

$$U_{пр} = \varphi_з - \varphi_{ос} = \varphi_з - \varphi_з * \left(1 - \frac{r}{x}\right) = \varphi_з * \alpha$$

где $\varphi_з$ – потенциал на заземлителе

$\varphi_{ос}$ - потенциал основания в помещении;.

r - радиус заземлителя;

x - расстояние от электрооборудования до заземлителя.

α - коэффициент прикосновения;

Коэффициент прикосновения α зависит от расстояния x между местом основания, на котором стоит человек и заземлителем и изменяется от 0 до 1.

Потенциал заземлителя определяется величиной тока замыкания на землю и величиной сопротивления заземляющего устройства:

$$\varphi_з = I_з * R_з$$

где $I_з$ – ток замыкания,

$R_з$ - сопротивления заземляющего устройства.

Величина тока замыкания на землю зависит от режима нейтрали сети. В случае трехфазной сети с изолированной нейтралью (рис.1) ток замыкания на землю рассчитывается по формуле:

$$I_з = \frac{U_\phi}{R_з + \frac{z}{3}}$$

где U_ϕ - фазное напряжение сети, В;

z - полное сопротивление фазных проводов относительно земли:

$$z = \frac{r}{1 + j * \omega * c * r}$$

r - активное сопротивление изоляции провода.
 c - емкость провода относительно земли;
 j - оператор комплексной величины;
 ω - угловая частота тока, c^{-1} .

Минимальное сопротивление изоляции согласно ПУЭ составляет 0,50М.

На рис. 1 показана схема защитного заземления электроустановки и графики зависимости напряжения прикосновения, потенциала заземлителя и потенциала основания.

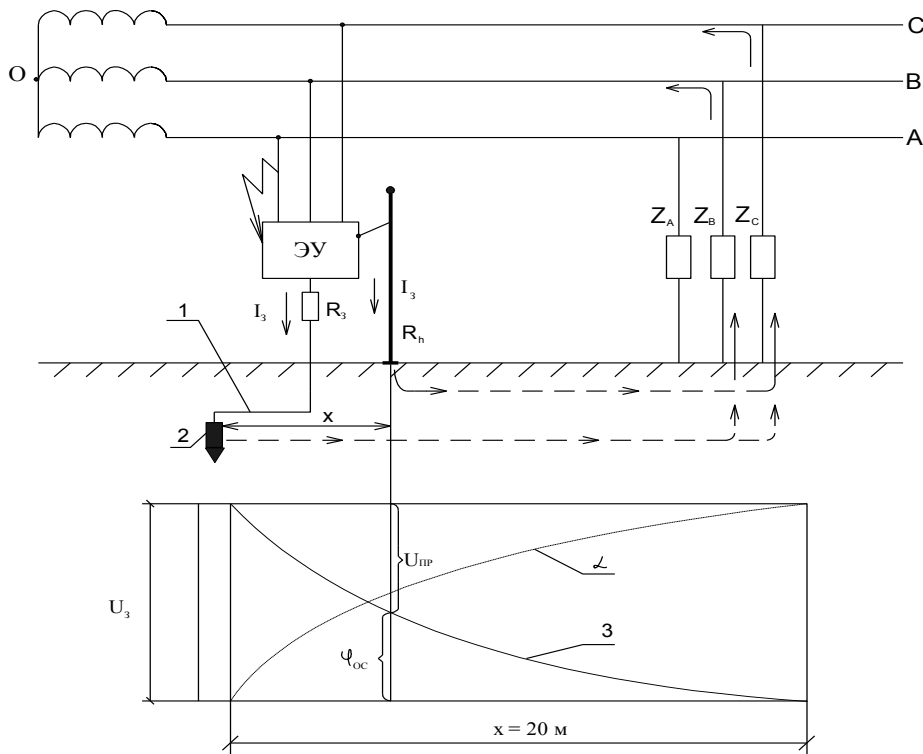


Рис. 1 - Схема защитного заземления электроустановки (ЭУ)

1 - заземляющий проводник; 2 - заземлитель стержневой; 3 - кривая растекания тока в земле;

I_3 - ток замыкания на заземлитель, А; R_3 - сопротивление заземляющего устройства, Ом;
 I_h - ток, проходящий через человека, А; R_h - сопротивление человека (активное), Ом;

Величина потенциала основания, т.е. места, на котором установлено электрооборудование, зависит от расстояния его до заземлителя. В случае, когда заземлитель расположен непосредственно под защищаемым электрооборудованием, ($x=r$), потенциал основания равен потенциалу заземлителя и напряжение прикосновения равно нулю. Если же заземлитель

удален от электроустановки на расстояние более 20 м ($x \geq 20$), то потенциал основания можно считать равным нулю, а напряжение прикосновения будет максимальным и равным напряжению на корпусе электроустановки, которое соответствует потенциалу заземлителя φ_3 .

Согласно “Правилам устройства электроустановок” допустимые значения сопротивления заземляющих устройств для электроустановок до 1000 В следующие:

- $R_3 = 4$ Ом,
- $R_3 = 10$ Ом, если мощность трансформаторов не превышает 100 кВА.

Для заземления электроустановок могут быть использованы искусственные и естественные заземлители.

Естественный заземлитель — заземлитель, в качестве которого используют электропроводящие части строительных и производственных конструкций и коммуникаций. Могут быть использованы:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящихся в соприкосновении с землей;
- металлические трубы водопровода, проложенные в земле.

Искусственный заземлитель - заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Искусственный заземлитель изготавливается из таких материалов:

- Омедненная сталь. Соединение меди и стали имеет хорошее сцепление. Стержни прочные, отлично контактируют с любыми материалами. Сплав обладает отличной электропроводимостью. Нормальная эксплуатация заземлителей из такого металла может достигать больше ста лет.

- Оцинкованная сталь. Преимущества — коррозионная стойкость материала, низкое сопротивление, электроды устойчивы к кислотной среде.

- Черные металлы. Недостаток — быстрое разрушение в агрессивном грунте. Высокая прочность материала повышает сопротивление растеканию тока, что крайне опасно для человека.

Применяют вертикальные и горизонтальные электроды. При монтаже как вертикального, так и горизонтального элемента важна лишь глубина их погружения.

Стандартные показатели заглубления:

- верхний конец вертикально заложенных в грунт заземлителей углубляется на 0,7 м. Диаметр электродов — 10-16 мм, длина — до 5 м.
- горизонтальные элементы заземляющего устройства углубляются в грунт на 0,5 м. Рациональность их применения обоснована лишь при хорошей

электропроводности верхнего слоя почвы. Такой вид электродов может использоваться для связи вертикальных заземляющих элементов. Соединения выполняются при помощи сварки. Применяется или сталь округлой формы диаметром более 10 мм, или стальные полосы толщиной больше 4 мм.

Как подбираются размеры искусственных электродов. Наименьший диаметр круглых (прутковых) заземлителей:

- неоцинкованных — 10 мм,
- оцинкованных — 6 мм,
- толщина полок угловой стали, — 4мм,
- стальной прут в диаметре должен быть свыше 10 мм.
- стальная полоса 30*4 мм.

На рис. 2 показана конструкция устройства защитного заземления, состоящая из вертикальных и горизонтальных заземлителей.

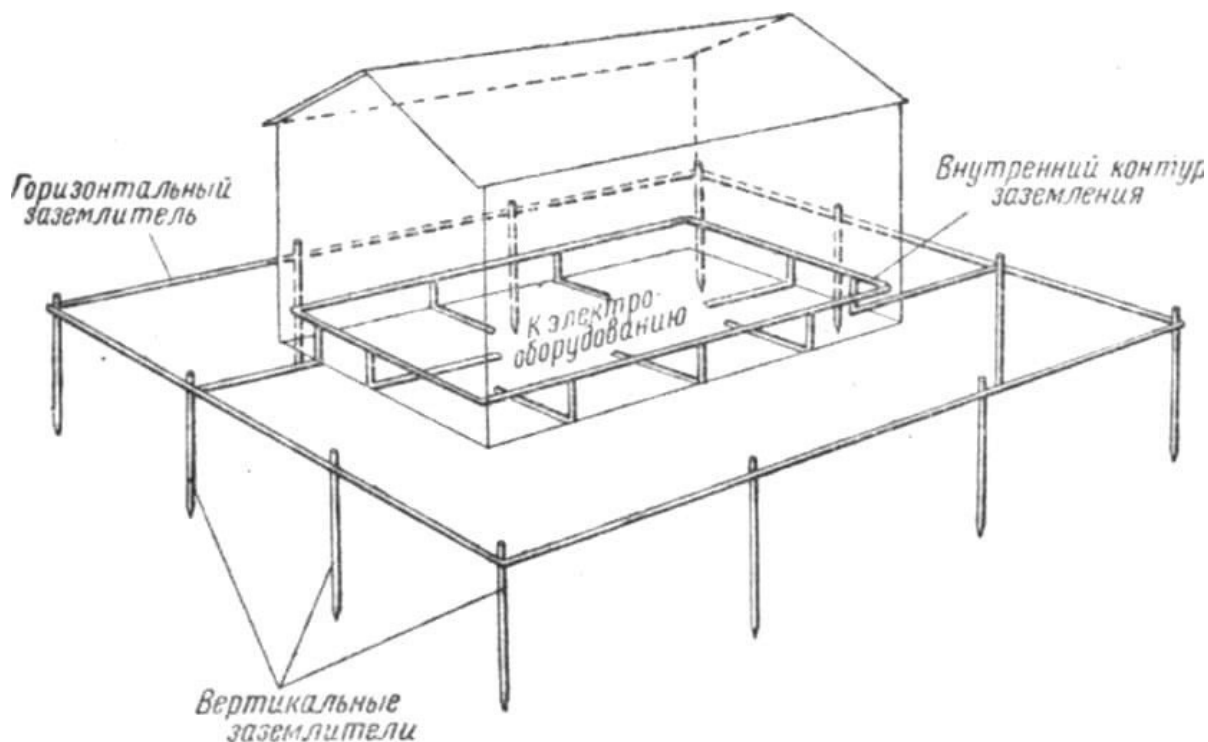


Рисунок 2 Конструкция устройства защитного заземления

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА

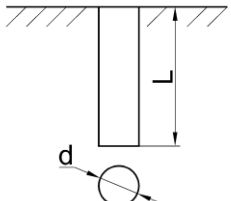
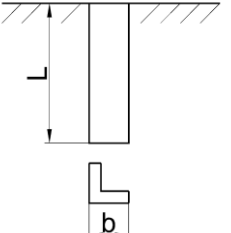
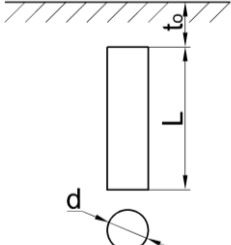
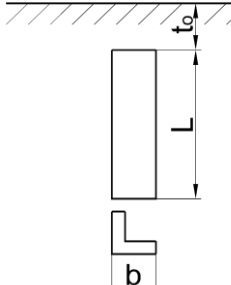
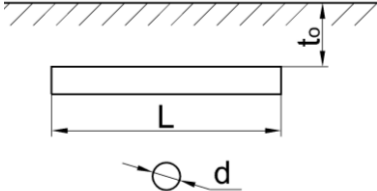
3.1 Определить допустимое сопротивление заземляющего устройства – R_3 в зависимости от мощности трансформаторов.

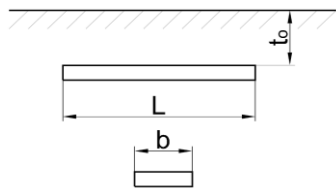
3.2 Определить величину удельного сопротивления грунта $\rho_{гр}$ по таблице 11.

3.3 Определить сопротивления одиночного заземлителя по табл. 1

Таблица 1

Расчетные формулы и схема расположения заземлителя в грунте

	Вид заземлителя и расчетные формулы	Схема расположения заземлителя в грунте
1	Стержневой круглого сечения у поверхности земли $R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \ln \frac{4 * L}{d}$	
2	Уголковый у поверхности земли $R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \ln \frac{4 * L}{0.95 * b}$	
3	Стержневой круглого сечения в земле $R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right)$	
4	уголковый в земле $R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \left(\ln \frac{2L}{0.95 * b} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right)$	
5	Протяженный в земле (стержень) $R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \ln \frac{L^2}{d * t_0}$	

6	Протяженный в земле (полоса)	
---	------------------------------	---

$$R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \ln \frac{L^2}{0.95 * b * t_0}$$

ρ - удельные сопротивления грунтов, Ом·м;
 L - длина заземлителя, м;
 d - диаметр заземлителя, м;
 H - глубина заложения заземлителя, м;
 b - ширина полосы или ширина полки уголка, м;

3.4 Определить количество заземлителей

Если сопротивление R меньше или равно допустимому сопротивлению R_3 , то принимаем один заземлитель.

Если общее сопротивление R больше допустимого сопротивления R_3 , то необходимо применять несколько заземлителей.

Количество заземлителей определяется по формуле:

$$n = \frac{R}{R_3}$$

3.5 Выбрать способ расположения электродов – в ряд или по контуру

3.6 определить сопротивление соединительной полосы

Сопротивление соединительной полосы ($R_{пол}$) заземлителей в грунте определяется по формуле:

$$R_{пол} = \frac{\rho}{2\pi L_{пол}} \ln \frac{2L_{пол}^2}{b * t_0}$$

где $L_{пол}$ - длина соединительной полосы, м,

b - ширина соединительной полосы, м,

t_0 - глубина заложения, м.

Длина соединительной полосы рассчитывается:

- при расположении заземлителей в ряд $L_{пол} = 1,05 \cdot a \cdot (n - 1)$;
 - при расположении заземлителей по контуру $L_{пол} = 1,05 \cdot a \cdot n$.
- где a – расстояние между заземлителями,
 n – количество заземлителей.

3.7 Определить коэффициент использования $\eta_{\text{в}}$ вертикальных заземлителей по табл. 12,

Определить коэффициент использования $\eta_{\text{пол}}$ горизонтальных заземлителей и соединительной полосы по табл. 13,

3.8 Определить полное сопротивление заземляющего устройства

Полное сопротивление заземляющего устройства (заземлителей и соединительных полос) определяется по формуле

$$R_0 = \frac{R * R_{\text{пол}}}{R * \eta_{\text{пол}} + R_{\text{пол}} * \eta_{\text{в}} * n}$$

где $\eta_{\text{пол}}$ - коэффициент использования соединительной полосы,

$\eta_{\text{в}}$ - коэффициент использования заземлителей.

3.9 Сделать вывод.

Полученное значение полного сопротивления защитного заземления должно быть меньше допустимого сопротивления $R_{\text{з}}$.

4. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Выполнить расчет защитного заземления.

Исходные данные для расчета (таблица):

- вид заземлителя
- размеры заземлителя
- вид грунта.
- расстояние между заземлителями, a , м.

Принять:

- ширина соединительной полосы $b=30$ мм

- глубина заложения $t_0=0,5$ м

Привести поясняющую схему.

5 ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исходные данные:

Грунт – глина

Мощность трансформатора 400 кВА

Размеры заземлителя

- длина $L=5$ м

- диаметр $d= 0,028\text{м}$
 Глубина заложения $t_0= 0,5\text{ м}$
 Расстояние между заземлителями, $a = 11\text{ м}$
 Ширина соединительной полосы $b= 0,03\text{м}$

Определение допустимого сопротивления заземляющего устройства

$$R_3 = 4\text{ Ом}$$

Определение величины удельного сопротивления грунта – глины

$$\rho_{\text{гр}} = 50\text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Схема расположения заземлителя в грунте

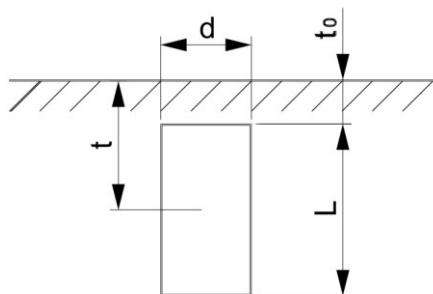


Рис.3 Схема расположения электрода в грунте

Определение сопротивления одиночного заземлителя (вертикального заглублённого в грунте) по формуле:

$$R = \frac{\rho}{2 * \pi * L} * \left(\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4t_0 + 3L}{5t_0 + 1,5L} \right)$$

$$R = \frac{50}{2 * \pi * 5} * \left(\ln \frac{2 * 5}{0.028} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4 * 0.5 + 3 * 5}{5 * 0.5 + 1,5 * 5} \right) = 9.28$$

Общее сопротивление R больше допустимого сопротивления R_3 , то принимаем несколько заземлителей.

Определить количество заземлителей по формуле

$$n = \frac{R}{R_3} = \frac{9,28}{4} = 2,72\text{ шт}$$

Принимаем количество заземлителей $n=3$ и располагаем их в ряд.

Длина соединительной полосы рассчитывается при расположении заземлителей в ряд

$$L_{\text{пол}} = 1,05 * a * (n - 1) = 1,05 * 11 * (3 - 1) = 23,1\text{ м}$$

Сопротивление соединительной полосы заземлителей:

$$R_{\text{пол}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{пол}}} \ln \frac{2L_{\text{пол}}}{b * t_0}$$

$$R_{\text{пол}} = \frac{50}{2\pi * 23,1} \ln \frac{2 * 23,1^2}{0,03 * 0,5} = 3,91 \text{ Ом}$$

Определение коэффициентов использования – электроды расположены в ряд и $a/L = 11 / 5 = 2,2$

$\eta_{\text{в}} = 0,87$ для вертикальных заземлителей по табл. 12,

$\eta_{\text{пол}} = 0,89$ коэффициент использования горизонтальных заземлителей по табл. 13.

Определение полного сопротивления заземляющего устройства

$$R_0 = \frac{R * R_{\text{пол}}}{R * \eta_{\text{пол}} + R_{\text{пол}} * \eta_{\text{в}} * n}$$

$$R_0 = \frac{9,28 * 3,91}{9,28 * 0,89 + 3,91 * 0,87 * 3} = 1,98 \text{ Ом}$$

Вывод: полученное значение полного сопротивления защитного заземления меньше допустимого сопротивления $R_3 = 4 \text{ Ом}$. Таким образом, заземляющее устройство состоит из 3 вертикальных заземлителей длиной 5м.

Схема расположения электродов в грунте показана на рис. 4.

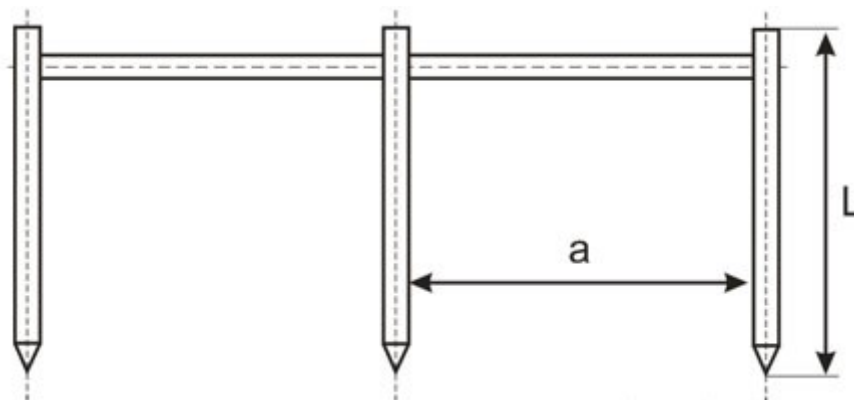


Рис.4 Схема расположения электродов в грунте

Таблица 10

Варианты заданий

Вариант	Грунт	Мощность трансформаторов, кВА	Вид заземлителя	Размеры заземлителя			Расстояние между заземлителями $a, м$
				Длина $l, м$	Диаметр $d, мм$	Ширина $b, мм$	
1	Глина	1250	1	2	6		2
2	Суглинок	1000	2	2,5		4	5
3	Песок	630	3	3	8		9
4	Супесок	400	4	3,5		5	7
5	Чернозём	250	5	4	10		4
6	Глина	160	6	4,5		4	9
7	Суглинок	63	1	5	10		15
8	Песок	40	2	2		6	6
9	Супесок	25	3	2,5	12		5
10	Чернозём	16	4	3		7	3
11	Глина	63	5	3,5	12		7
12	Суглинок	160	6	4		5	12
13	Песок	250	1	4,5	14		9
14	Супесок	400	2	5		8	5
15	Чернозём	630	3	2	16		2
16	Глина	1000	4	2,5		9	5
17	Суглинок	1250	5	3	14		9
18	Песок	1000	6	3,5		6	7
19	Супесок	6300	1	4	10		8
20	Чернозём	400	2	4,5		5	9
21	Глина	250	3	5	12		5
22	Суглинок	160	4	4,5		6	9
23	Песок	63	5	4	16		12
24	Супесок	400	6	3,5		4	7
25	Чернозём	25	1	3	14		9

Вид заземлителя – смотреть в табл. 1

Таблица 11

Удельные электрические сопротивления различных грунтов

Грунт, вода	Удельные электрические сопротивления грунтов, Ом·м
Глина	8 – 70
Суглинок	40 - 150
Песок	400 – 700
Супесок	150 – 400
Чернозём	9 – 63

Таблица 12

Коэффициенты использования вертикальных заземлителей

Число электродов	При размещении в ряд			Число электродов	При размещении по контуру		
	Отношение расстояния между трубами к их длине a/L				Отношение расстояния между трубами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
2	0,86	0,91	0,94	4	0,69	0,78	0,85
3	0,78	0,87	0,91	6	0,62	0,73	0,8
5	0,7	0,81	0,87	10	0,55	0,69	0,76
10	0,59	0,75	0,81	20	0,47	0,64	0,71
15	0,54	0,71	0,78	40	0,41	0,58	0,67
20	0,49	0,68	0,77	60	0,39	0,55	0,65

Таблица 13

Коэффициент использования горизонтальных заземлителей

Число электродов	При размещении в ряд			Число электродов	При размещении по контуру		
	Отношение расстояния между трубами к их длине a/L				Отношение расстояния между трубами к их длине a/L		
	1	2	3		1	2	3
4	0,77	0,89	0,92	4	0,45	0,55	0,65
5	0,74	0,86	0,9	5	0,4	0,48	0,64
8	0,67	0,79	0,85	8	0,36	0,43	0,6
10	0,62	0,75	0,82	10	0,34	0,4	0,56
20	0,42	0,56	0,68	20	0,27	0,32	0,45
30	0,31	0,46	0,58	30	0,24	0,3	0,41
50	0,21	0,36	0,49	50	0,21	0,28	0,37

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов / П.А. Долин, В.Т. Медведев, В.В. Корочков, А.Ф. Монахов, под ред. В.Т. Медведева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280с.
2. Безопасность жизнедеятельности : Учебник / С. В. Белов [и др.] ; Под общ.ред.С.В.Белова. - 7-е изд.,стер. - М. : Высш.шк., 2007. - 616 с.

3. ,Безопасность жизнедеятельности : Учебник / Э. А. Арустамов [и др.] ; Под ред.Э.А.Арустамова. - 15-е изд.,перераб.и доп. - М. : Дашков и К°, 2009. - 452 с.
4. Конюхова Н.С.Безопасность жизнедеятельности : Комплекс учебно-метод.материалов / Н. С. Конюхова, Т. И. Курагина, О. В. Маслеева ; НГТУ. - Н.Новгород : Изд-во НГТУ, 2006. - 87 с.