



В.Н. Старжинский  
А.В. Зинин  
М.Н. Гамрекели

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

Екатеринбург  
2015

Электронный архив УГЛТУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра охраны труда

В.Н. Старжинский  
А.В. Зинин  
М.Н. Гамрекели

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие  
к выполнению практической работы  
по курсу «Безопасность жизнедеятельности»  
для студентов всех специальностей  
и направлений обучения

Екатеринбург  
2015

Печатается по решению методической комиссии ИЛБиДС.  
Протокол № 2 от 09 октября 2014 г.

Рецензент – Сычугов С.И., канд. техн. наук доцент кафедры охраны  
труда УГЛТУ

Редактор А.Л. Ленская  
Оператор компьютерной верстки Т.В. Упова

---

Подписано в печать 16.07.15		Поз. 35
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,7	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

Содержание задачи

Рассчитать защитное заземление стационарных электроустановок в сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью.

**ВАРИАНТЫ**

№ варианта	Тип заземлителя	Грунт	Удельное сопротивление грунта, Ом·м
1	Трубчатый или стержневой у поверхности земли	Глина	8...70
2	—""—	Вода речная	10...100
3	—""—	Суглинок	40...150
4	—""—	Супесь	150...400
5	—""—	Песок	400...700
6	—""—	Вода прудовая	40...50
7	То же в земле	Супесь	150...400
8	—""—	Вода речная	10...100
9	Протяженный полосовой на поверхности земли	Чернозем	9...54
10	—""—	Песок	400...700
11	Протяженный полосовой в земле	Садовая земля	30...60
12	—""—	Вода грунтовая	40...50
13	Протяженный круглого сечения - стержень, кабель и т.п. - на поверхности земли	Каменистый	500...800
14	—""—	Вода речная	10...100
15	То же в земле	Глина	8...70
16	—""—	Вода речная	0,2...1
17	Кольцевой круглого сечения на поверхности земли	Песок	400...700
18	—""—	Вода грунтовая	40...50
19	Кольцевой круглого сечения в земле	Песок	400...700
20	—""—	Вода прудовая	40...50
21	Круговая пластина на поверхности земли	Супесь	150...400
22	—""—	Вода речная	10...100
23	То же в земле	Чернозем	9...54
24	—""—	Вода морская	0,2...1
25	Пластинчатый в земле (пластина поставлена на ребро)	Садовая земля	30...60
26	То же	Вода прудовая	40...50

## 1. УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

В соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) для сетей с изолированной нейтралью и напряжением до 1000 В сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников. Заземлитель – металлический проводник (электрод), находящийся в соприкосновении с землей. Заземляющий проводник – металлический элемент, соединяющий между собой заземлители.

По месту размещения заземляющие устройства подразделяются на выносные и контурные.

Выносное заземляющее устройство характеризуется тем, что заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено оборудование, или сосредоточен лишь на некоторой части этой площадки.

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что электроды размещаются по периметру площадки, на которой находится заземляемое оборудование.

В задаче рассчитывают только искусственное заземляющее устройство. В качестве искусственных заземлителей применяют обычно вертикальные или горизонтальные электроды.

## 2. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1. По типу заземлителя, приведенному в исходных данных, выбирают расчетную формулу (Приложение, табл. 1) сопротивления одиночного заземлителя растеканию тока ( $R$ ).

2. В принятую формулу подставляют заданное удельное сопротивление грунта ( $\rho$ ). При этом в качестве расчетного берут наибольшее возможное в течение года значение удельного сопротивления грунта, т.е. ориентируются на худший случай. Для производственных расчетов используются значения удельных сопротивлений грунтов, полученные натурными измерениями сопротивлений грунтов на том участке, где будет сооружаться заземление.

3. В расчетную формулу подставляют параметры, характеризующие заземлитель, такие, как:

– длина вертикальных электродов ( $l$ ) – принимается любое значение в диапазоне от 1 до 5 м;

– длина горизонтальных заземлителей ( $l$ ) – принимается из ряда чисел: 10, 15, 25, 50 м;

– диаметр для пруткового материала ( $d$ ) – принимают любое значение в интервале 0,050...0,100 м;

– ширина полосы ( $b$ ) – любое значение не менее 0,012 м при толщине материала не менее 0,004 м.

4. При расчете заземлителей, расположенных в земле, глубина заложения принимается ( $t_0$ ) 0,3...0,8 м.

5. Определяют число заземлителей ( $n$ , шт.), пользуясь эталонной величиной сопротивления заземляющего устройства (4 Ом) по формуле

$$n = \frac{R}{4}.$$

6. Выбирают место размещения: выносное в ряд или контурное.

7. Уточняют сопротивления одиночного электрода ( $R_{e.o.}$  или  $R_{z.o.}$ ) с учетом взаимного влияния электродов по формуле:

а) для вертикальных электродов, включая кольцо, круглую пластину и прямоугольную, поставленную ребром,

$$R_{e.o.} = \frac{R}{n\eta_e},$$

где  $\eta_e$  – коэффициент использования вертикальных электродов, принимается по табл. 2 (Приложение) с учетом отношения расстояний между электродами  $a$  к их длине  $l$ . Отношение  $a/l = 1, 2, 3, \dots, n$ ;

б) для горизонтальных электродов

$$R_{e.o.} = \frac{R}{n\eta_z},$$

где  $\eta_z$  – коэффициент использования параллельно уложенных горизонтальных электродов, принимается по табл. 3 (Приложение) с учетом того, что расстояние между полосами  $a$  задается любое из ряда чисел: 1; 2,5; 5; 10; 15 м.

8. Определяют сопротивление растеканию заземляющего проводника  $R_{z.n.}$ , соединяющего электроды между собой. В качестве заземляющего проводника выбирается горизонтальный проводник полосового сечения или круглого сечения с учетом расположения его в земле. Так, например, при расположении заземляющего проводника у поверхности земли выбирается формула 3 или 5 по табл. 1 (Приложение). При расположении проводника в земле выбирается формула 4 или 6 по табл. 1 (Приложение).

При этом длину горизонтального заземляющего проводника ( $L_p$  или  $L_k$ ) рассчитывают по формулам:

– для расположения соединяемых электродов в ряд

$$L_p = 1,05 a (n - 1),$$

– для расположения соединяемых электродов по контуру (более 20 шт.)

$$L_k = 1,05 a n,$$

где  $a$  – расстояние между электродами, которое задают в соответствии с п. 7.

9. Из табл. 4 (Приложение) выбирают коэффициент использования заземляющего проводника  $\eta_{z.n.}$  и рассчитывают сопротивление проводника с учетом влияния электродов:

$$R_{z.n.} = \frac{R_{z.o.}}{\eta_{z.n.}}.$$

Этот расчет выполняют для всех электродов, кроме горизонтальных.

10. Вычисляют результирующее сопротивление растеканию группового заземлителя ( $R_{z.p.}$ ) по формуле:

– для группового заземлителя, состоящего из вертикальных стержневых электродов и соединяющего их заземляющего проводника

$$R_{z.p} = \frac{R_{z.o.} R_z}{R_{z.o.} + R_z},$$

– для группового заземлителя, состоящего из горизонтальных стержневых электродов и соединяющего их заземляющего проводника

$$R_{z.p} = \frac{R_{z.o.} R_z}{R_{z.o.} + R_z}.$$

11. Сравнивают результирующее значение сопротивления с нормативным значением:

$$R_{z.p} < 4.$$

Если условие не выполняется, то изменяют параметры заземлителя в большую сторону и проводят повторный расчет. Если условие выполняется, то делают рисунок схемы заземляющего устройства и вывод.

### 3. ПРИМЕР

Рассчитать защитное заземление электроустановок в стационарных сетях напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью при следующих условиях:

- тип заземлителя – протяженный полосовой в земле;
- тип грунта – песок;
- удельное сопротивление грунта ( $\rho$ ) 400...700 Ом·м.

### 4. РЕШЕНИЕ

1. Из табл. 1 (Приложение) выбираем формулу 4:

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{2bt_0 + bt}$$

2. Удельное сопротивление грунта  $\rho = 700$  Ом·м.

3. Длину горизонтального электрода принимаем из ряда чисел: 10, 15, 25, 50 м;  $l = 15$  м.

Ширину электрода  $b$  принимаем равной 20 мм при толщине  $t$ , равной 4 мм:  $b = 0,020$  м;  $t_0 = 0,004$  м.

4. Глубину заложения  $t_0$  принимаем в интервале 0,3...0,8 м;  $t_0 = 0,5$  м.

5. Подставляем в формулу принятые значения и определяем сопротивление растеканию тока:

$$R = \frac{700}{2\pi 15} \ln \frac{4 \cdot 15^2}{2 \cdot 0,02 \cdot 0,5 + 0,02 \cdot 0,004} = 79,5 \text{ Ом.}$$

6. Определяем число заземлителей:

$$n = \frac{R}{4} = \frac{79,5}{4} = 19,8 \text{ шт.}, \quad n = 20 \text{ шт.}$$

7. Уточняем сопротивление одиночного электрода с учетом взаимного влияния электродов, для чего, задавшись расстоянием между электродами  $a = 10$  м, найдем в табл. 3 (Приложение) коэффициент  $\eta_z = 0,57$ .

$$R_{z.o} = \frac{R}{n\eta_z} = \frac{79,5}{20 \cdot 0,57} = 6,97 \text{ Ом.}$$

8. Определяем сопротивление растеканию заземляющего проводника  $R_z$ , соединяющего электроды между собой. В качестве заземляющего проводника принимаем полосу сечением  $0,02 \times 0,004$  мм (в целях унификации с электродами, что приемлемо только для данного случая).

Вычисляем общую длину заземляющего проводника:

$$L = 1,05 a (n - 1) = 1,05 \cdot 10 \cdot (20 - 1) = 199,5 \text{ м.}$$

Формулу для расчета возьмем из табл. 1 п. 4 (Приложение):

$$R_z = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L^2}{2bt_0 + bt} = \frac{700}{2\pi \cdot 199,5} \ln \frac{4 \cdot 199,5^2}{2 \cdot 0,02 \cdot 0,5 + 0,02 \cdot 0,004}.$$

$$R_z = 8,87 \text{ Ом.}$$

9. Вычисляем результирующее сопротивление:

$$R_{z.p} = \frac{R_{z.o} \cdot R_z}{R_{z.o} + R_z} = \frac{6,97 \cdot 8,87}{6,97 + 8,87} = 3,9 \text{ Ом.}$$

10. Сравниваем результирующее сопротивление с нормативным:

$$R_{z.p} < 4 \text{ Ом,} \quad 3,9 < 4 \text{ Ом.}$$

Условие выполнено.

11. Рисуем схему заземления.

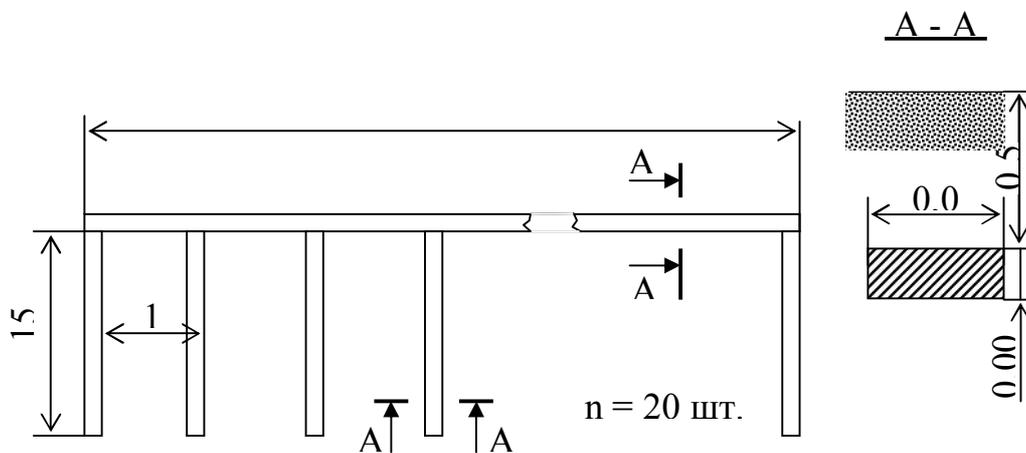


Схема заземления в плане (вид сверху)

## 5. ВЫВОД К ПРИМЕРУ

1. Заземляющее устройство располагаем на глубине  $t_0 = 0,5$  м в песке с удельным сопротивлением  $\rho = 700$  Ом·м.

2. Электроды в количестве 20 шт., выполненные из полосы сечением  $0,02 \times 0,004$  м длиной 15 м, располагаем плашмя горизонтально на расстоянии 10 м друг от друга.

3. Заземляющий проводник укладываем плашмя на электроды и привариваем к ним. Сечение проводника равно 0,02 x 0,004 м. Общая длина проводника 200 м, набирается сваркой встык из отдельных отрезков проводника.

## 6. ФОРМА ОТЧЕТНОСТИ

Студент представляет отчет по работе, в котором излагается решение каждой задачи:

1) последовательность расчета в соответствии с порядком выполнения работы.

2) вывод по результату расчета.

Работа выполняется в бумажном варианте на листах формата А4.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204 Изд. 6. Главгосэнергонадзор России, 1998. Введены с 01.11.2003 г. URL: <http://www.stroyplan.ru/>.

2. ССБТ. ГОСТ 12.1.019-79. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. ОКП 00 1200. Утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 июля 1979 г. № 2582. Дата введения 1980-01-07. URL: <http://www.rosteplo.ru/>.

3. ССБТ. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Государственный стандарт Союза ССР. Дата введения 1982-07-01. URL: <http://www.rosteplo.ru/>.

4. ССБТ. ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Дата введения 01.07.1983. URL: <https://standartgost.ru/b/>.

5. СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства. Внесены Минмонтажспецстроем СССР. Утверждены постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 11 декабря 1985 г. № 215. Срок введения в действие 1 июля 1986 г. URL: <http://www.infosait.ru/>.

6. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. Изд. 5, переработанное и дополненное с изменениями. Главгосэнергонадзор России, М., 1997. Министерство топлива и энергетики Российской Федерации. Главное управление государственного энергетического надзора России. Утверждены 31 марта 1992 г. URL: <http://www.stroyplan.ru/>.

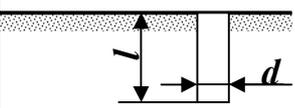
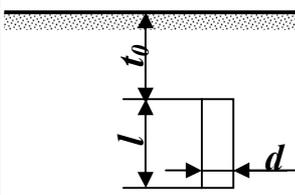
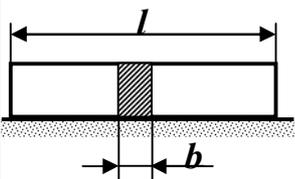
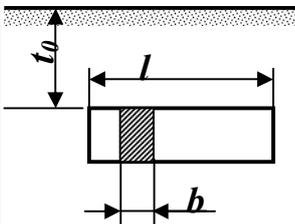
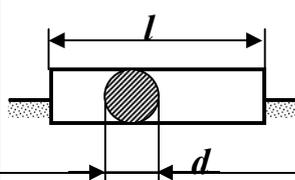
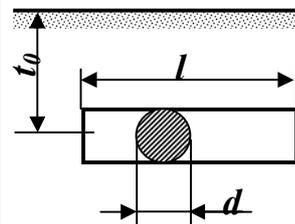
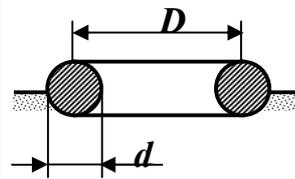
7. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Приказ Минэнерго России от 13.01.2003 г. № 6. URL: <http://www.penoglas.ru/>.

8. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок ПОТ РМ 016-2001 (РД 153-34.0-03.150-00). Утверждены постановлением Минтруда РФ от 5 января 2001 г. N 3 и приказом Минэнерго РФ от 27 декабря 2000 г. N 163. URL: <http://ohranatruda.ru/>.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Формулы для вычисления сопротивления одиночных заземлителей растеканию тока в однородном грунте

Тип заземлителя	Схема	Формула	Условия применения
1	2	3	4
1. Трубчатый или стержневой у поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$	$d \geq 0,06 \text{ м}$ $l \gg d$
2. То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + - \ln \frac{4t_0 + 3l}{4t_0 - l} \right)$	$d \geq 0,06 \text{ м}$ $t_0 = 0,3 \dots 0,8 \text{ м}$ $l \gg d$
3. Протяженный полосовой на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{4l}{b}$	$b \geq 0,012 \text{ м}$ $l \gg b$
4. То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l^2}{2bt_0 + bt}$	$t \geq 0,04 \text{ м}$ $b \geq 0,012 \text{ м}$ $t_0 = 0,3 \dots 0,8 \text{ м}$ $l \gg b$
5. Протяженный круглого сечения (труба, кабель и т.п.) на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$	$d \geq 0,06 \text{ м}$ $l \gg d$
6. То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{d^2 + 2dt_0}$	$d \geq 0,06 \text{ м}$ $t_0 = 0,3 \dots 0,8 \text{ м}$ $l \gg d$
7. Кольцевой на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{\pi^2 D} \ln \frac{\rho D}{d}$	$d \geq 0,06 \text{ м}$ $D = 0,2 \dots 2 \text{ м}$

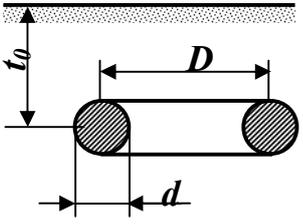
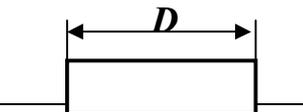
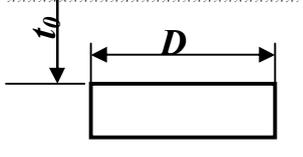
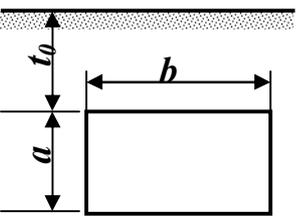
1	2	3	4
8. То же в земле		$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \ln \frac{8\pi D^2}{2dt_0 + d}$	$d \geq 0,06 \text{ м}$ $D = 0,6..2 \text{ м}$ $t_0 = 0,3...0,8 \text{ м}$
9. Круглая пластина на поверхности земли		$R = \frac{\rho}{2D}$	$D = 1,5...2 \text{ м}$
10. То же в земле		$R = \frac{\rho}{4D} \left( 1 + \frac{2}{\pi} \times \arcsin \frac{D}{\sqrt{16t_0^2 + D^2}} \right)$	$t_0 = 0,3...0,8 \text{ м}$ $D = 0,06 \text{ м}$
11. Пластинчатый в земле (пластина поставлена на ребро)		$R = \frac{\rho}{2\pi a} \left( \ln \frac{4a}{b} + \frac{a}{4t_0} \right)$	$a \leq 0,6 \text{ м}$ $b = 2a$

Таблица 2

Коэффициенты использования ( $\eta_e$ ) вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков, пластин) без учета влияния полосы связи

Число заземлителей	Отношение расстояния между электродами ( $a$ ) к их длине $l$					
	$a/l = 1$	$a/l = 2$	$a/l = 3$	$a/l = 1$	$a/l = 2$	$a/l = 3$
	электроды размещены в ряд			электроды размещены по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	—	—	—
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,87	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	—	—	—	0,41	0,58	0,66
60	—	—	—	0,39	0,55	0,64
100	—	—	—	0,36	0,52	0,62

Таблица 3

Коэффициенты использования ( $\eta_z$ ) параллельно уложенных горизонтальных полосовых электродов группового заземлителя

Длина каждой полосы, м	Число параллельных полос	Расстояние между параллельными полосами, м				
		1	2,5	5	10	15
15	2	0,63	0,75	0,83	0,92	0,96
	5	0,37	0,49	0,60	0,73	0,79
	10	0,25	0,37	0,49	0,64	0,72
	20	0,16	0,27	0,39	0,57	0,64
25	5	0,35	0,45	0,55	0,66	0,73
	10	0,23	0,31	0,43	0,57	0,66
	20	0,14	0,23	0,33	0,47	0,57
50	2	0,60	0,69	0,78	0,83	0,93
	5	0,33	0,40	0,48	0,58	0,65
	10	0,20	0,27	0,35	0,46	0,53
	20	0,12	0,19	0,25	0,36	0,44

Таблица 4

Коэффициенты использования ( $\eta_{z.n}$ ) горизонтального заземляющего проводника, соединяющего вертикальные электроды (круг, трубы, пластины)

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине, $a/l$	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
	Вертикальные электроды в ряд							
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42			
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56			
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68			
	Вертикальные электроды по контуру							
1		0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2		0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3		0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33