

Общие сведения о заземляющих устройствах

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей металлических нетоковедущих частей электроустановок, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под ним (прежде всего вследствие нарушения изоляции).

При замыкании фазы на металлический корпус электроустановки он приобретает электрический потенциал относительно земли. Если к корпусу такой электроустановки прикоснется человек, стоящий на земле или токопроводящем полу (например, бетонном), он немедленно будет поражен электрическим током.

Посредством защитного заземления ток замыкания перераспределяется между заземляющим устройством и человеком обратно пропорционально их сопротивлениям. Поскольку сопротивление тела человека в сотни раз превышает величину сопротивления растеканию тока заземляющего устройства, через тело человека, прикоснувшегося к поврежденному заземленному оборудованию, пройдет ток, не превышающий предельно допустимого значения (10 мА), а основная часть тока уйдет в землю через контур заземления. При этом напряжение прикосновения на корпусе оборудования не превысит 42 В.

Контур заземления выполняют из стальных стержней, уголков, некондиционных труб и др. В траншее глубиной до 0,7 м вертикально забиваются стержни (трубы, уголки и др.), а выступающие из земли верхние концы соединяются сваркой внахлест стальной полосой или прутком.

При этом необходимо соблюдать следующие условия.

1. Сечение соединительной полосы должно быть не менее 48 мм^2 , толщина – не менее 4 мм (рис 1, а); минимальный диаметр прутка – 10 мм (рис 1, б), минимальная толщина стенки уголка – 4 мм (рис. 1, в); минимальная толщина стенки трубы – 3,5 мм (рис. 1, г).

2. Длина стержня должна быть не менее 1,5...2 м, чтобы достичь незамерзающего слоя почвы (рис. 2).

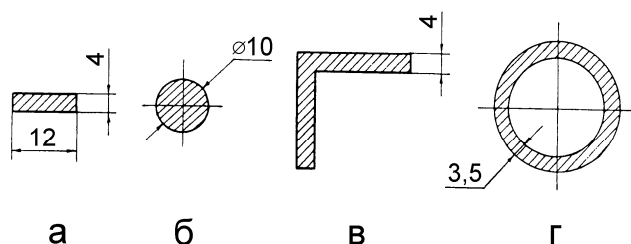


Рис. 1. Минимально-допустимые геометрические размеры сечений заземляющих элементов

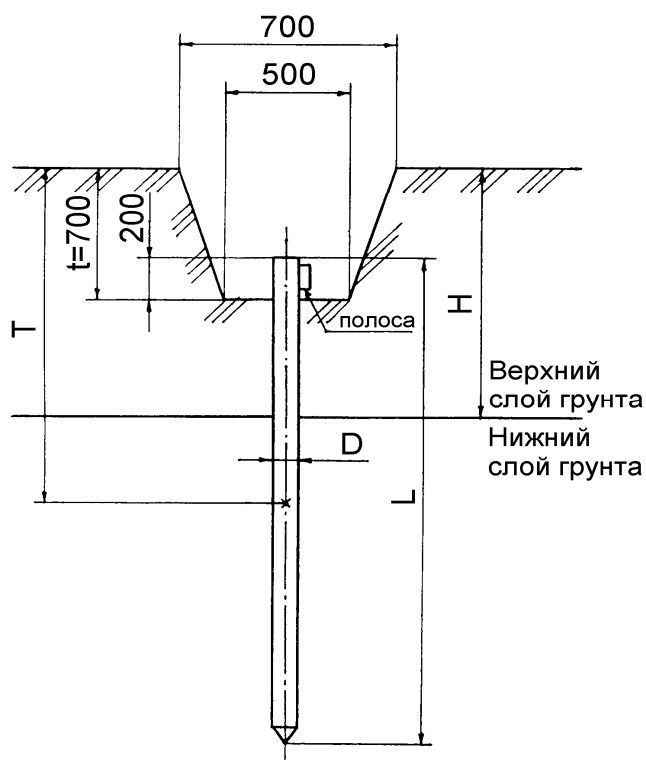


Рис. 2. Установка одиночного заземлителя в двухслойном грунте:

L – длина одиночного заземлителя; D – диаметр одиночного заземлителя;
 H – толщина верхнего слоя грунта; T – заглубление заземлителя (расстояние от поверхности земли до середины электрода); t – глубина траншеи (заглубление соединительной полосы)

3. Расстояние между соседними стержнями рекомендуется выбирать равным длине стержня (если иное не предусмотрено условиями эксплуатации) (рис. 3).

Стержни можно располагать в ряд (рис. 3) или в виде какой-либо геометрической фигуры (квадрата, прямоугольника) в зависимости от удобства монтажа и используемой площади. Совокупность стержней, соединенных между собой полосой, образует контур заземления. В помещении контур заземления приваривается к корпусу силового щита и к заземляющей магистрали (шине заземления), которая проходит вдоль стен здания. На практике часто используются естественные заземлители (части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения), находящиеся в соприкосновении с землей. Это канализационные трубы, железобетонные конструкции фундаментов, свинцовые оболочки кабелей и др.

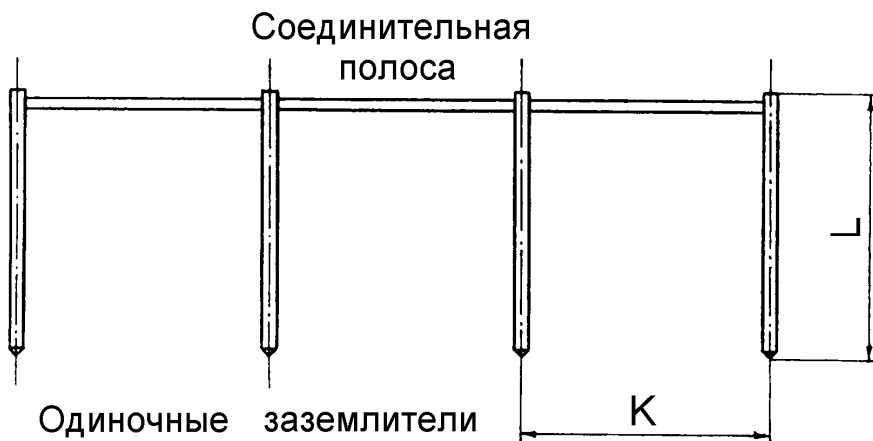


Рис. 3. Конструкция заземляющего устройства:
 L – длина одиночного заземлителя; K – расстояние между соседними (смежными) заземлителями

Измерение сопротивления растеканию тока заземляющих устройств должно производиться в сроки, установленные Правилами эксплуатации электроустановок потребителей (ПЭЭП) не реже одного раза в шесть лет, а также после каждого капитального ремонта и длительного бездействия установки.

Сопротивление заземляющих устройств рекомендуется измерять в наиболее жаркие и сухие или в наиболее холодные дни года, когда грунт имеет наименьшую влажность. Чем меньше влажность, тем выше удельное сопротивление грунта. В первом случае влага из грунта испаряется, во втором – замерзает (лед практически не проводит электрический ток). При замерах в другие дни нужно полученные значения корректировать с помощью поправочных коэффициентов, которые приводятся в ПЭЭП [3].

Расчет заземляющего устройства сводится к определению числа вертикальных заземлителей и длины соединительной полосы. Для упрощения расчета примем, что одиночный вертикальный заземлитель представляет собой стержень, либо трубу малого диаметра.

1. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя:

$$R_0 = [\rho_{\text{эКВ}} / 2\pi L \{ \ln(2L/D) + 0,5 \ln((4T + L)/(4T - L)) \}] \quad (2)$$

где L и D – длина и диаметр стержня соответственно, м; $\rho_{\text{эКВ}}$ эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м; T – заглубление электрода (расстояние от поверхности земли до середины электрода), м.

Студенты неэлектротехнических специальностей могут определить сопротивление одиночного вертикального заземлителя по формуле:

$$R_0 = 0,366 \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{L} \lg\left(\frac{4L}{D}\right)^* \quad (3)$$

или по упрощенной формуле:

$$R_0 = 0,9 \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{L} \rho_{\text{ЭКВ}}^* \quad (4)$$

Примечание: здесь и далее знаком () обозначаются формулы для расчетов, которые проводят студенты неэлектротехнических специальностей. Формулы, не отмеченные данным знаком, общие для студентов всех специальностей.*

Величина эквивалентного удельного сопротивления грунта $\rho_{\text{ЭКВ}}$ для студентов неэлектротехнических специальностей задается преподавателем из табл. 2.

Эквивалентным удельным сопротивлением грунта $\rho_{\text{ЭКВ}}$ неоднородной структурой называется такое удельное сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой. Если грунт двухслойный, эквивалентное удельное сопротивление определяется из выражения:

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \Psi \rho_1 \rho_2 L / [\rho_1(L - H + t) + \rho_2(H - t)], \quad (5)$$

где Ψ – коэффициент сезонности (по табл. 2 – для стержневых заземлителей); ρ_1 – удельное сопротивление верхнего слоя грунта, Ом·м; ρ_2 – удельное сопротивление нижнего слоя грунта Ом·м; H – толщина верхнего слоя грунта, м; t – заглубление полосы, м.

Одиночный заземлитель должен полностью пронизывать верхний слой грунта и частично нижний.

Таблица 1

Эквивалентное удельное сопротивление грунтов

Грунт	Удельное сопротивление $R_{\text{ЭКВ}}$, Ом·м	
	пределы колебаний	при влажности грунта 10...12%
Чернозем	9...53	20
Торф	9...53	20
Глина	8...70	40
Суглинок	40...150	100
Супесь	150...400	300
Песок	400...700	700

Заглубление полосы t принимается равным 0,7 м – это глубина траншеи (рис. 2). Величина удельного сопротивления грунта непостоянна

и зависит от его влажности. Степень влажности грунта определяется в основном количеством выпавших осадков и процессами их высушивания. Поверхностные слои грунта подвержены значительным изменениям влажности. Вследствие этого сопротивление заземлителя будет тем стабильнее, чем глубже он расположен в грунте. Для уменьшения влияния климатических условий на сопротивление заземления верхнюю часть заземлителя размещают в грунте на глубину не менее 0,7 м. Следовательно, заглубление стержня можно определить по формуле:

$$T = (L/2) + t. \quad (6)$$

Таблица 2

Значения расчетных климатических коэффициентов сезонности сопротивления грунта

Заземлитель	Климатическая зона			
	I	II	III	IV
Стержневой	1,8...2,0	1,6...1,8	1,4...1,5	1,2...1,4
Полосовой	4,5...7,0	3,5...4,5	2,0...2,5	1,5...2,0

2. Определяем ориентировочное количество вертикальных заземлителей без учета сопротивления соединительной полосы:

$$n_0 = R_0/R_{н,*} \quad (7)$$

где $R_{н}$ – нормируемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства согласно ПУЭ, Ом;

Для студентов электротехнических специальностей:

$$n_0 = R_0\Psi/R_{н}. \quad (8)$$

Коэффициент сезонности Ψ второй климатической зоны (средняя температура января от -15 до -10°C , июля – от $+18$ до $+22^{\circ}\text{C}$) принимается равным 1,6...1,8.

Таблица 3

Нормируемые значения величины сопротивления растеканию тока заземляющих устройств (для электроустановок напряжением до 1000 В)

Вид заземления	Напряжение сети, В		
	220/127	380/220	660/380
	нормируемое сопротивление $R_{н}$, Ом		
Рабочее заземление нулевой точки трансформатора (генератора)	8	4	2
Повторное заземление нулевого провода на вводе в объект	20	10	5
Повторное заземление нулевого провода	60	30	15

на воздушной линии			
--------------------	--	--	--

Величины, приведенные в табл. 3, справедливы при эквивалентном удельном сопротивлении грунта 100 Ом·м и менее. Если эквивалентное удельное сопротивление грунта более 100 Ом·м, необходимо эти величины умножить на коэффициент $k_3 = \rho_{\text{экв}}/100$. Коэффициент k_3 не может быть меньше 1 и больше 10 (даже при больших удельных сопротивлениях грунта).

3. Определяем сопротивление растеканию тока соединительной полосы:

$$R_{\text{п}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{экв}} \Psi}{L_{\text{п}} \eta_{\text{п}}} \lg \frac{2L_{\text{п}}^2}{bt}, \quad (9)$$

где $L_{\text{п}}$, b – длина и ширина соединительной полосы, м; t – заглубление соединительной полосы; $\Psi_{\text{п}}$ – коэффициент сезонности для полосы (по табл. 2 – для полосовых заземлителей); $\eta_{\text{п}}$ – коэффициент использования полосы (табл. 4).

Формула для приближенного расчета:

$$R_{\text{п}} = 2 \frac{\rho_{\text{экв}} \Psi_{\text{п}}}{L_{\text{п}} \eta_{\text{п}}} \cdot * \quad (10)$$

Длину полосы можно определить по предварительному количеству вертикальных заземлителей. Если принять что они размещены в ряд, то длина полосы составит:

$$L_{\text{п}} = K(n_0 - 1), \quad (11)$$

где K – расстояние между соседними вертикальными заземлителями, м,

4. Определяем сопротивление растеканию тока соединительной полосы (для студентов электротехнических специальностей):

$$R_{\text{в}} = R_{\text{п}} R_{\text{н}} (R_{\text{п}} + R_{\text{н}}). \quad (12)$$

5. Определяем окончательное количество заземлителей (для студентов электротехнических специальностей):

$$n = R_0 / R_{\text{в}} \eta_{\text{с}}, \quad (13)$$

где $\eta_{\text{с}}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей.

Так как токи, растекающиеся с параллельно соединенных одиночных заземлителей, оказывают взаимное влияние, возрастает общее сопротивление заземляющего контура, которое тем больше, чем ближе расположены вертикальные заземлители друг к другу. Это яв-

ление учитывается коэффициентом использования вертикальных заземлителей, величина которого зависит от типа и количества одиночных заземлителей, их геометрических размеров и взаимного расположения в грунте.

Таблица 4

Коэффициент использования вертикальных заземлителей η_c
и соединительной полосы $\eta_{п}$

Число заземлителей	Заземлители размещены в ряд		Заземлители размещены по замкнутому контуру	
	η_c	$\eta_{п}$	η_c	$\eta_{п}$
2	0,91	–	–	–
4	0,83	0,89	0,78	0,55
6	0,77	0,82	0,73	0,48
10	0,74	0,75	0,68	0,40
15	0,70	0,65	0,65	0,36
20	0,67	0,56	0,63	0,32
40	–	0,40	0,58	0,29

Примечание. Значения коэффициентов даны с учетом того, что отношение длины заземлителей к расстоянию между ними равно двум.

Найденное количество заземлителей округляем до ближайшего большего целого числа.

4*. Определяем сопротивление одиночного заземлителя с учетом коэффициента использования:

$$R_{сп} = R_0 / \eta_c \quad (14)$$

5*. Определяем общее сопротивление вертикальных заземлителей с учетом сопротивления соединительной полосы:

$$R_B = R_{п} R_H / R_{п} - R_H \quad (15)$$

6*. Определяем окончательное количество заземлителей:

$$n = R_{сп} / R_B \quad (16)$$

Вычисленное количество заземлителей округляем до ближайшего большего целого числа.

По данным расчета составляем эскиз контура заземления (план размещения заземлителей в грунте – вид сверху, с нанесением размеров) и эскиз одиночного вертикального заземлителя (рис. 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности: Безопасность труда: Учебное пособие / М. А. Пережогин, Ю. Г. Горшков, С.В.Чернышев и др.; Под общ. ред. М.А. Пережогина. Челябинск, 1996.
2. Правила устройства электроустановок / Минтопэнерго РФ. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1999.
3. Правила эксплуатации электроустановок потребителей / Госэнергонадзор Минтопэнерго РФ. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1992.
4. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. М.: Госэнергонадзор Минэнерго России, РАО "ЕЭС России", 2000.