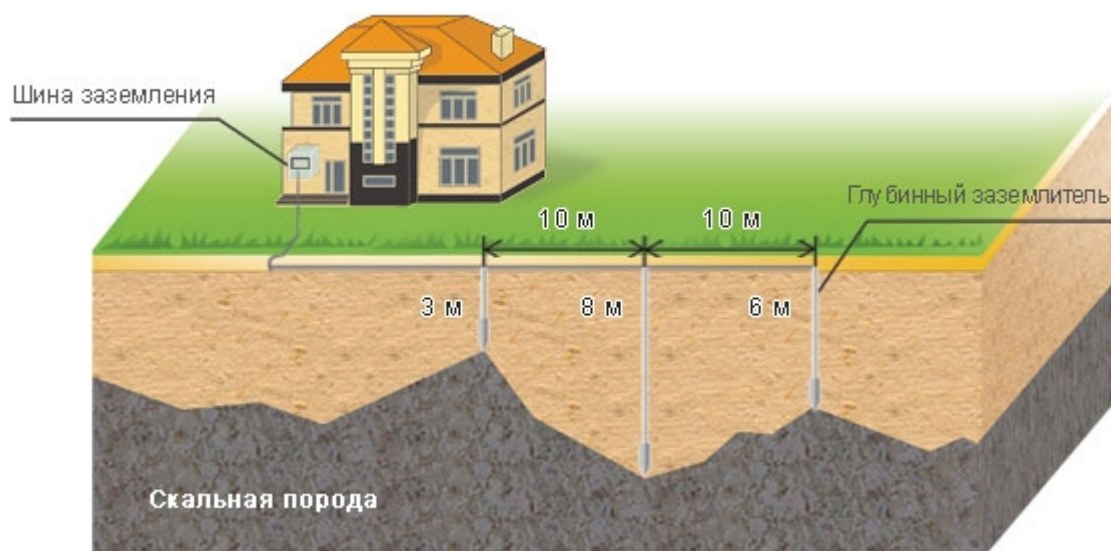




# Расчет защитного заземления

## Практическое пособие



2015

# Расчет защитного заземления

**Цель работы** – приобретение практических навыков в определении основных параметров заземления и самостоятельном решении инженерной задачи расчета защитного заземления электроустановки.

## 1. Защитное заземление в электроустановках, назначение, принцип действия, область применения.

1.1. Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т.п.).

1.2. Защитное заземление предназначено для устранения опасности поражения электрическим током в случае прикосновения к корпусу электроустановки и другим нетоковедущим металлическим частям, оказавшимся под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам.

1.3. Область применения защитного заземления – электроустановки по напряжением до 1000 В в сетях с изолированной центральной и выше 1000В в сетях с любым режимом нейтрали источника тока (как с изолированной, так и с глухозаземленной).

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.030-81 [1] защитное заземление электроустановки следует выполнять:

- при номинальном напряжении 380В и выше переменного тока и 440В и выше постоянного тока во всех случаях;
- при номинальных напряжениях от 42В до 380В переменного и от 110В до 440В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью, особо опасных и наружных установках.

Примечание: Характеристики этих условий приведены в обязательном приложении к ГОСТ 12.1.013-78 [2].

1.4. Принцип действия защитного заземления в электроустановках напряжением до 1000В:

- снижение напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и по другим причинам, до безопасных значений.

Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования за счет малого сопротивления заземляющего устройства, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек и заземленного оборудования за счет увеличения потенциала основания до значений, близких к потенциалу заземленного оборудования.

В электроустановках напряжением выше 1000В:

- обеспечение такого тока замыкания на земле ( $I_z$ ), при котором магистральная защита срабатывает за время ( $\tau$ ), произведение которого на ток через тело человека ( $I_h$ ) не превысит критерия безопасности ( $Q$ ):

$$Q = I_h \tau \leq 50..65 \text{ мАс.}$$

Примечание: предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов через тело человека с учетом длительности воздействия приведены в ГОСТ 12.1.038-82 [3].

1.5. Принципиальная схема защитного заземления приведена на рис. 1.1.

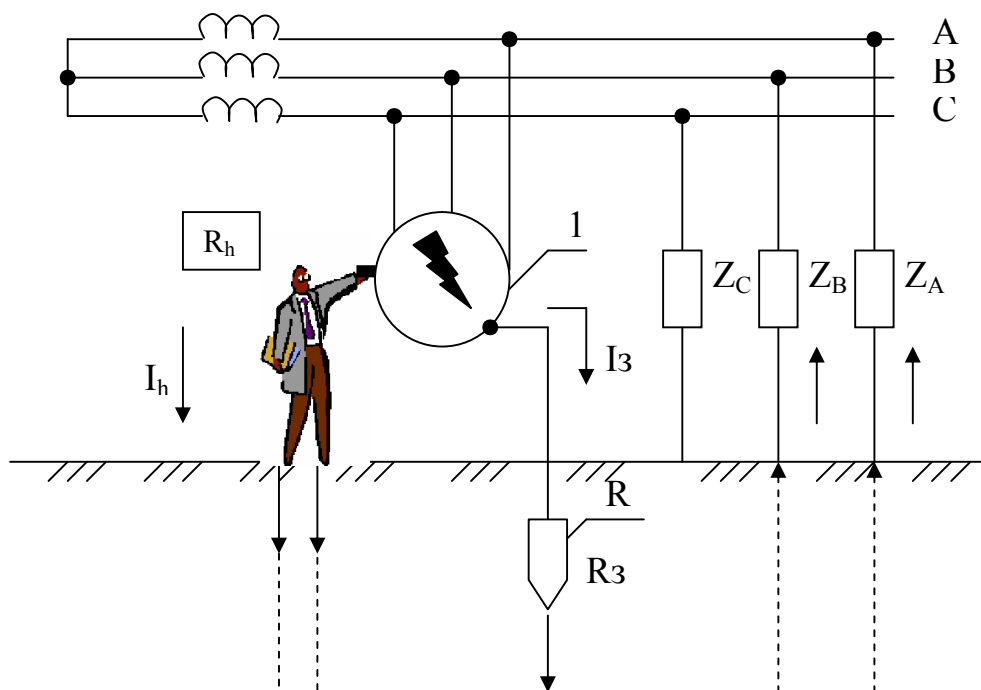


Рис. 1.1. Принципиальная схема защитного заземления,

где:

1 - заземленное электрооборудование; 2 – заземлитель защитного заземления;  
 $R_3$ ,  $R_h$  – сопротивление защитного заземления и тела человека соответственно, Ом;  
 $I_3$  – ток замыкания, А;  $I_h$  – ток через тело человека, мА;  
 $Z_A$ ,  $Z_B$ ,  $Z_C$  – полное сопротивление изоляции фаз.

1.6. Заземление осуществляется с помощью специальных устройств — заземлителей. Заземлители бывают одиночные и групповые. Групповой заземлитель состоит из вертикальных стержней и соединяющей их горизонтальной полосы. Вертикальные электроды закладывают вместе с фундаментом зданий на определенном расстоянии друг от друга. С целью экономии средств ПУЭ [7] рекомендует использовать естественные заземлители.

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать:

- проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубопроводы за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывчатых газов и смесей;
- обсадные трубы скважин;
- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящихся в соприкосновении с землей;
- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле;
- другие металлоконструкции, расположенные в грунте.

Естественные заземлители соединяются с магистралями заземления не менее, чем двумя проводниками в разных местах.

### 1.1. Методика и алгоритм расчета защитного заземления.

Цель расчета – определение основных, конструктивных параметров заземления (числа, размеров, порядка размещения вертикальных стержней и длины соединительной полосы, объединяющей их в групповой заземлитель), при которых сопротивление растеканию тока выбранного группового заземлителя ( $R_{гр}$ ) не превышает нормативного значения ( $R_{зн}$ ).

Расчет производится методом коэффициентов использования в нижеприведенной последовательности:

1.1.1. Уточнить исходные данные. Для расчета защитного заземления необходимы следующие сведения:

- характеристика электроустановки (тип установки, рабочее напряжение, способы заземления нейтралей, размещение оборудования и т.п.)
- форма и размеры стержней, из которых предусмотрено изготовить проектируемый заземлитель, предполагаемая глубина заложения их в земле.

1.1.2. Определить расчетный ток замыкания на землю и соответствующее ему нормативное значение сопротивления растеканию тока защитного заземления.

Расчетный ток замыкания – это наибольший возможный в данной электроустановке ток замыкания на землю. Для электроустановок напряжением до 1000В ток однополюсного замыкания на землю не превышает 10А, т.к. даже при самом плохом состоянии изоляции и значительной емкости сопротивление фазы относительно земли не бывает менее 100 Ом. Нормативное значение сопротивления защитного заземления практически не зависит от этого тока и согласно ПУЭ [7] и ГОСТ 12.1.030-81 [1] не должно превышать значений, приведенных в табл. 1.1.

В электроустановках напряжением свыше 1000В с изолированной нейтралью расчетное значение тока замыкания на землю может быть определено по следующей полуэмпирической формуле:

$$I_z = \frac{U_l}{350} (35l_k + l_v) \quad (1.1)$$

где  $U_l$  – линейное напряжение сети (на высокой стороне трансформаторной подстанции), кВ;

$l_k, l_v$  – длина электрически связанных соответственно кабельных и воздушных линий, км;

Соответствующее полученному расчетному тока замыкания на землю нормативные значения сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) выбираются по табл. 1.1.

Наибольшие допустимые сопротивления защитных заземляющих устройств в соответствии с требованиями ПУЭ [7] и ГОСТ 12.1.030-81 [1] приведены в таблице 1.1.

При совмещении ЗУ различных напряжений или назначений принимается меньшее из требуемых правилами значение сопротивлений.

1.2.3. Определить требуемое сопротивление искусственного заземлителя.

При использовании естественных заземлителей  $R_{и}$  определяется по формуле:

$$R_u = \frac{R_e R_z}{R_e - R_z}, \text{ Ом} \quad (1.2)$$

где:

$R_e$  - сопротивление растеканию тока естественных заземлителей, Ом;

$R_u$  - требуемое сопротивление искусственного заземлителя, Ом;

$R_z$  - расчетное нормированное сопротивление ЗУ, Ом; (табл. 1.1.)

При отсутствии естественных заземлителей требуемое сопротивление искусственного заземлителя равно рассчитанному нормируемому сопротивлению ЗУ:

$$R_u = R_z$$

Таблица 1.1 Допустимые сопротивления защитных заземляющих устройств

№ п/п	Характеристика электроустановки	Наибольшие, до- пустимые сопро- тивления зазем- ляющего устройст- ва, Ом
1	2	3
1	<b><u>Электроустановки напряжением до 1000В</u></b> Защитные заземляющие устройства сети с изолированной нейтралью при мощности генератора или трансформатора до 100 кВ·А более 100 кВ·А	10 4
2	<b><u>Электроустановки напряжением выше 1000В</u></b> Защитные заземляющие устройства электроустановок се- ти с эффективно заземленной нейтралью (с большими то- ками замыкания на землю). Заземляющее устройство вы- полняется с соблюдением требований к его сопротивле- нию  Защитные заземляющие устройства электроустановок се- ти с изолированной нейтралью (с малыми токами замыка- ния на землю).  – если заземляющее устройство используется только для электроустановок выше 1000В  – если заземляющее устройство используется только для электроустановок до 1000В	0.5      250/I, но не более 10 (I – расчетный ток замыкания на зем- лю, А)  125/ I, но не более 10

1.2.4. Определить расчетное удельное сопротивление земли по формуле:

$$\rho = \rho_{изм} \cdot \Psi, \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (1.3)$$

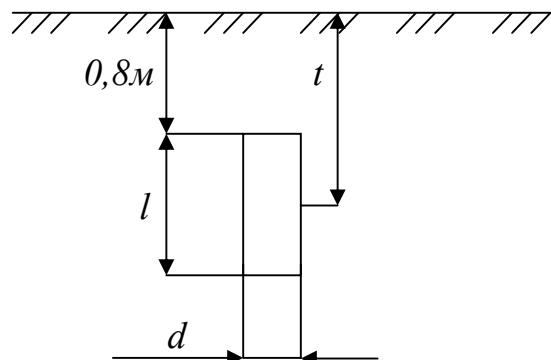
где

$\rho$  – расчетное удельное сопротивление земли, Ом·м;

$\rho_{изм}$  – удельное сопротивление земли, полученное в результате измерений, Ом·м;

$\Psi$  – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание или высыхание грунта (выбирается по приложение Б, таблица Б.1

1.2.5. Вычислить сопротивление растеканию тока одиночного вертикального заземлителя  $R_v$ , Ом. Расчетная формула выбирается по табл. 1.17 [6] в зависимости от типа, геометрических размеров и условий залегания. В случае стержневого круглого сечения (трубчатого) заземлителя, заглубленного в землю (рис. 1.2), расчетная формула имеет вид:



$$R_v = \frac{\rho_g}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом}, \quad (1.4)$$

где

$\rho_g$  – расчетное удельное сопротивление грунта, определенное по формуле 1.3, Ом·м;

$l$  – длина вертикального стержня, м;

$d$  – диаметр сечения, м;

$t$  – расстояние от поверхности грунта до середины длины вертикального стержня, м.

1.2.6. Рассчитать приближенное (минимальное) количество вертикальных стержней:

$$n' = \frac{R_v}{R_u} \quad (1.5)$$

где

$R_v$  – сопротивление растеканию тока одиночного вертикального заземлителя, Ом;

$R_u$  – требуемое сопротивление искусственного заземлителя, Ом;

Полученное число стержней округляют до справочного значения [5].

1.2.7. Определить конфигурацию группового заземлителя – ряд или контур — с учетом возможности его размещения на отведенной территории и соответствующую длину горизонтальной полосы:

$$\text{по контуру} \quad l_{\Gamma} = 1,05an, \text{ м} \quad (1.6)$$

$$\text{ряд} \quad l_{\Gamma} = 1,05a(n-1), \text{ м} \quad (1.7)$$

где:

$a$  – расстояние между вертикальными стержнями, м, определяемое из соотношения:

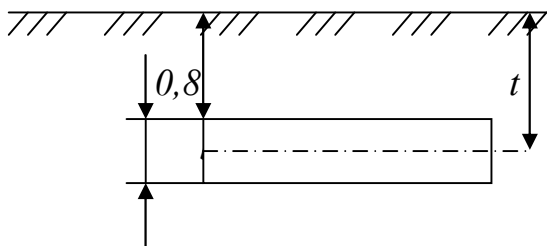
$$a = k \cdot l_g, \quad (1.8)$$

где  $k$  – коэффициент кратности, равный 1, 2, 3;

$l_g$  – длина вертикального стержня.

$n$  – количество вертикальных стержней.

1.2.8. Вычислить сопротивление растеканию тока горизонтального стержня  $R_r$ , Ом. Расчетные формулы приведены в табл. 1.17 [6]. В случае горизонтального полосового заземлителя (рис. 1.3) расчет выполняется по формуле:



$$R_z = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}, \text{ Ом} \quad (1.9)$$

где

$\rho$  – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$l$  – длина горизонтальной полосы, м;

$b$  – ширина полосы, м;

$t$  – расстояние от поверхности грунта до середины ширины горизонтальной полосы.

1.2.9. Выбирать коэффициенты использования вертикальных стержней ( $\eta_v$ ) и горизонтальной полосы ( $\eta_g$ ) с учетом числа вертикальных стержней ( $n$ ) и отношения расстояния между стержнями ( $a$ ) к их длине ( $l_v$ ) (Приложение Б, таблицы Б.2, Б.3).

1.2.10. Рассчитать эквивалентное сопротивление растеканию тока группового заземлителя:

$$R_{zp} = \frac{R_v R_g}{R_v \eta_g + R_g \eta_v \cdot n}, \quad (1.10)$$

где

$R_v, R_g$  – соответственно сопротивления вертикального стержня и горизонтальной полосы, Ом;

$\eta_v, \eta_g$  – соответственно коэффициенты использования вертикальных стержней и горизонтальной полосы, Ом;

$n$  – количество вертикальных стержней.

1.2.11 Полученное сопротивление растеканию тока группового заземлителя не должно превышать требуемое сопротивление, определенное в пункте 5.2.3:

$$R_{zp} \leq R_u \quad (1.11)$$

Если полученное сопротивление группового заземлителя  $R_{zp}$  удовлетворяет условию 1.9, расчет считается выполненным. Если  $R_{zp}$  больше или значительно меньше требуемого ( $\geq 20\%$ ), необходимо внести поправки в предварительную схему ЗУ:

- изменить количество вертикальных стержней;
- конфигурацию ЗУ;
- произвести повторный расчет, начиная с пункта 1.2.6.

Таким образом, защитное заземление рассчитывается путем последовательных приближений.

1.2.12. Рассчитанные параметры ЗУ привести в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Рассчитанные параметры ЗУ.

$\rho_{cp}$ Ом·м	$l_b$ , м	$K$	$n$ , шт	$l_c$ , м	$\eta_6$	$\eta_c$	$R_6$ , Ом	$R_c$ , Ом	$R_{cp}$ , Ом	$R_{из}$ , Ом

## Литература

1. ГОСТ 12.1.030.-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. Введ. 01.07.82г.
2. ГОСТ 12.1.013.-78. ССБТ. Строительство. Электробезопасность. Общие требования. Введ. 01.01.80г.
3. ГОСТ 12.1.038.-82. ССБТ. Предельнодопустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Введ. 01.07.83г.
4. П.А. Долин. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергия.- 1984.-448 с.
5. М.О. Найфельд. Заземление, защитные меры электробезопасности. –М.: Энергия.- 1971.
6. П.А. Долин. Справочник по технике безопасности. –М.: Энергоатомиздат 1984.-824 с.
7. Правила устройства электроустановок. -М.: Энергоатомиздат.- 1987.-648 с.



## Приложение Б

### К расчету защитного заземления

Таблица Б.1 - Приближенные значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов и воды, Ом · м

Грунт, вода	Возможные пределы колебаний	При влажности 10 – 20% к массе грунта
Глина	8 – 70	40
Суглинок	40 – 150	100
Песок	400 – 700	700
Супесок	150 – 400	300
Торф	10 – 30	20
Чернозем	9 – 53	20
Садовая земля	30 – 60	40
Каменистый	500 – 800	-
Скалистый	$10^4 - 10^7$	-
Вода:		
<i>Морская</i>	0,2 – 1	-
Речная	10 – 100	-
Прудовая	40 – 50	-
Грунтовая	20 – 70	-
в ручьях	10 – 60	-

Примечания: 1. Удельное электрическое сопротивление грунта есть сопротивление куба грунта с ребром 1 м.

2. При малом процентном содержании влаги в грунте возможны большие значения сопротивлений.

3. Удельные сопротивления грунтов колеблются в течение года, что учитывается при расчетах введением так называемых сезонных коэффициентов сопротивления грунта (см. табл. 4- 6).

4. В таблице приведены приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды. Пользоваться этими значениями, как и значениями, взятыми из других литературных источников, для расчетов заземлений нельзя, так как они могут отличаться от истинных в десятки и сотни раз. Для расчетов должны использоваться значения удельных сопротивлений грунтов, полученные натурными измерениями сопротивления грунта на том участке, где будет сооружаться заземлитель.

Таблица Б.2 - Коэффициенты использования  $\eta_v$  вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков, и т. п.) без учета влияния полосы связи

Число заземлителей	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	Электроды размещены в ряд (рис. 1.6, а)			Электроды размещены по контуру (рис. 1.6, б)		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,8
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 Б.3 - Коэффициенты использования  $\eta_g$  горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды (трубы, уголки и т. п.) группового заземлителя

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальные электроды размещены в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Вертикальные электроды размещены 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

Таблица Б.4 - Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности  $\psi$

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны СССР			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	От – 20 до – 15	От – 14 до – 10	От – 10 до 0	От 0 до + 5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	От + 16 до + 18	От + 18 до + 22	От + 22 до + 24	От + 24 до + 26
Среднегодовое количество осадков, см	~ 40	~ 50	~ 50	30 – 40
Продолжительность замерзания вод, дни	190 – 170	~ 150	~ 100	0

Таблица Б.5 - Коэффициенты сезонности  $\psi$  для слоя сезонных изменений в многослойной земле

Климатическая зона по табл.4	Условная толщина слоя сезонных изменений, м	Влажность земли во время измерений ее сопротивления		
		Повышенная	Нормальная	Малая
I	2,2	7,0	4,0	2,7
II	2,0	5,0	2,7	1,9
III	1,8	4,0	2,0	1,5
IV	1,6	2,5	1,4	1,1

Таблица Б.6 - Коэффициенты сезонности  $\psi$  для однородной земли

Климатическая зона по табл. 4	Состояние земли во время измерений ее сопротивления при влажности		
	Повышенной	Нормальной	Малой
Вертикальный электрод длиной 3 м			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0

Вертикальный электрод длиной 5 м			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
IV	1,2	1,1	1,0
Горизонтальный электрод длиной 10 м			
I	9,3	5,5	4,1
II	5,9	3,5	2,6
III	4,2	2,5	2,0
IV	2,5	1,5	1,1
Горизонтальный электрод длиной 50 м			
I	7,2	4,5	3,6
II	4,8	3,0	2,4
III	3,2	2,0	1,6
IV	2,2	1,4	1,12