

121 Расчёт сопротивления заземления

Нормируемое сопротивление рабочего заземлителя для системы питания *TN-C-S* напряжением 380 В равно 4 Ом, повторного – 10 Ом. Если удельное сопротивление грунта $\rho > 100$ Ом·м, нормируемое сопротивление увеличивается в $\rho / 100$ раз, но не более чем в 10 раз.

Для расчёта заземления нужно знать удельное электрическое сопротивление грунта ρ , определяемое по таблице 1 или экспериментально.

Таблица 1. Удельное электрическое сопротивление грунтов ρ , Ом·м.

Вид грунта	Удельное электрическое сопротивление, Ом·м	
	Пределы колебаний	При влажности 10-20 %
Глина	8 – 70	40
Суглинок	40 – 150	100
Песок	400 – 700	700
Супесок	150 – 400	300
Торф	10 – 30	20
Чернозём	9 – 53	20
Лёсс (желтозём)	-	250
Мергель	-	150
Мергель глинистый	-	50
Садовая земля	-	40
Каменистый	500-800	-

Заземлитель состоит из стержней и соединительных полос. При расчёте сопротивлений растеканию тока стержней и полос нужно учитывать коэффициенты сезонности ψ_C и ψ_{II} (таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты сезонности ψ_C и ψ_{II}

Климатическая зона	Значения коэффициентов сезонности при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
Вертикальный электрод (стержень) длиной до 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(стержень) длиной 4 – 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 (полоса) длиной до 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	1,2

Длина вертикальных электродов для ручной забивки до 3 м, для виброзабивки – до 5 м.

Сопротивление растеканию тока одиночного стержня R_C , Ом

$$R_C = \frac{\psi_C \cdot \rho}{2\pi L_C} \left(\ln \frac{2L_C}{d} + 0,5 \ln \frac{4T + L_C}{4T - L_C} \right),$$

где ψ_C – коэффициент сезонности для стержня, ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; L_C – длина стержня, м; d – диаметр стержня из труб или приведенный диаметр стержня из уголка (0,95 полки), м; T – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м.

$$T = 0,5 L_C + t, \text{ где } t \text{ – заглубление, м.}$$

Если заземлитель располагается в двуслойной земле, то необходимо учитывать толщину верхнего слоя H . В этом случае вместо ρ применяется эквивалентное удельное сопротивление грунта $\rho_{\text{э}}$, которое определяется с учётом удельного сопротивления верхнего слоя ρ_1 и нижнего слоя ρ_2 , длины стержня L_C , а также заглубления заземлителя t .

$$\rho_{\text{э}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L_C}{\rho_1 (L_C + t - H) + \rho_2 (H - t)}, \text{ Ом·м.}$$

Если заглубление заземлителя t больше, чем толщина верхнего слоя земли H , считаем что заземлитель весь лежит в нижнем слое, $\rho_{\text{э}} = \rho_2$.

Предварительное количество n заземляющих стержней определяется исходя из нормированного «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) значения сопротивления R_H , Ом, заземляющего устройства

$$n = R_C / R_H$$

Длина соединительной полосы $L_{\text{П}}$ при расположении стержней в ряд

$$L_{\text{П}} = (n - 1) a; \text{ по контуру } L_{\text{П}} = n a,$$

где a – расстояние между стержнями, м.

Сопротивление растеканию тока соединительной полосы $R_{\text{П}}$, Ом

$$R_{\text{П}} = \frac{\psi_{\text{П}} \cdot \rho}{2\pi L_{\text{П}}} \ln \frac{2L_{\text{П}}^2}{b \cdot t},$$

где $\psi_{\text{П}}$ – коэффициент сезонности для полосы; ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м; $L_{\text{П}}$ – длина полосы, м; b – ширина полосы, м; t – заглубление (расстояние от поверхности земли до полосы), м.

Результирующее расчетное сопротивление заземлителя R_p , Ом

$$R_p = \frac{R_C R_{\text{П}}}{R_C \eta_{\text{П}} + R_{\text{П}} \eta_C} \leq R_H,$$

где η_C – коэффициент использования вертикальных стержней (таблица 3), $\eta_{\text{П}}$ – коэффициент использования горизонтальных полос (таблица 4).

Таблица 3. Коэффициенты использования вертикальных стержней η_c

Число стержней	Отношение расстояния между стержнями к их длине a/L_c					
	1	2	3	1	2	3
	при размещении в ряд			при размещении по контуру		
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	0,55	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 4. Коэффициенты использования горизонтальных полос $\eta_{п.}$

Отношение a / L_c	Число стержневых заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Стержни размещены 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			
Стержни размещены по контуру								
1	-	0,45	0,4	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
2	-	0,55	0,48	0,4	0,32	0,29	0,26	0,23
3	-	0,7	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Если результирующее расчётное сопротивление R_p больше или значительно меньше требуемого ПУЭ, можно уточнить количество стержней n , расстояния между ними, коэффициенты использования стержней η_c и полосы $\eta_{п.}$ и окончательно определить результирующее расчётное сопротивление заземляющего устройства R_p .

Расстояние от системы заземления до здания принимают $0,6 R_p$, м.

Таблица 5. Наименьшие размеры стальных заземляющих проводников

Наименование и форма	В зданиях	В наружных установках	В земле
Круглые диаметром, мм	5	6	10
Прямоугольные: сечение, мм ² толщина, мм	24	48	48
	3	4	4
Угловая сталь, толщина полок, мм	2	2,5	4
Водогазопроводные трубы, толщина стенки, мм	2,5	2,5	3,5