

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И.РАЗЗАКОВА**

Кафедра «*Техносферная безопасность*»

РАСЧЕТ КОНТУРНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Методическое указание к выполнению практической работы №13
по дисциплине «**Безопасность жизнедеятельности**» для студентов
энергетических специальностей и всех форм обучения

Бишкек 2019

Составитель: ***Жапакова Б.С.***

УДК 621.313-83(075)

Расчет контурного заземления: Методическое указание к выполнению практической работы №13 по дисциплине «**Безопасность жизнедеятельности**» для студентов энергетических специальностей и всех форм обучения.

В методическом указании даны основные понятия о защитном заземлении, приведены методы расчета контурного заземления.

Рецензент: ***Сариев Б. И.***

Цель работы

Определение конструктивных параметров группового заземлителя, числа вертикальных стержней, длины соединительной полосы, при которых выполняется условие: групповое сопротивление заземлителя меньше или равно нормированному сопротивлению заземлителя.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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.).

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.

Область применения защитного заземления – электроустановки под напряжением до 1000 В в сетях с изолированной нейтралью 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 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока во всех случаях;
- при номинальных напряжениях от 42 В до 380 В переменного и от 110 В до 440 В постоянного тока при работах в условиях с повышенной опасностью, особо опасных и наружных установках.

Принцип действия защитного заземления в электроустановках напряжением до 1000 В:

- 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 1000 В:

- обеспечение такого тока замыкания на земле (I_3), при котором магистральная защита срабатывает за время (τ), 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].

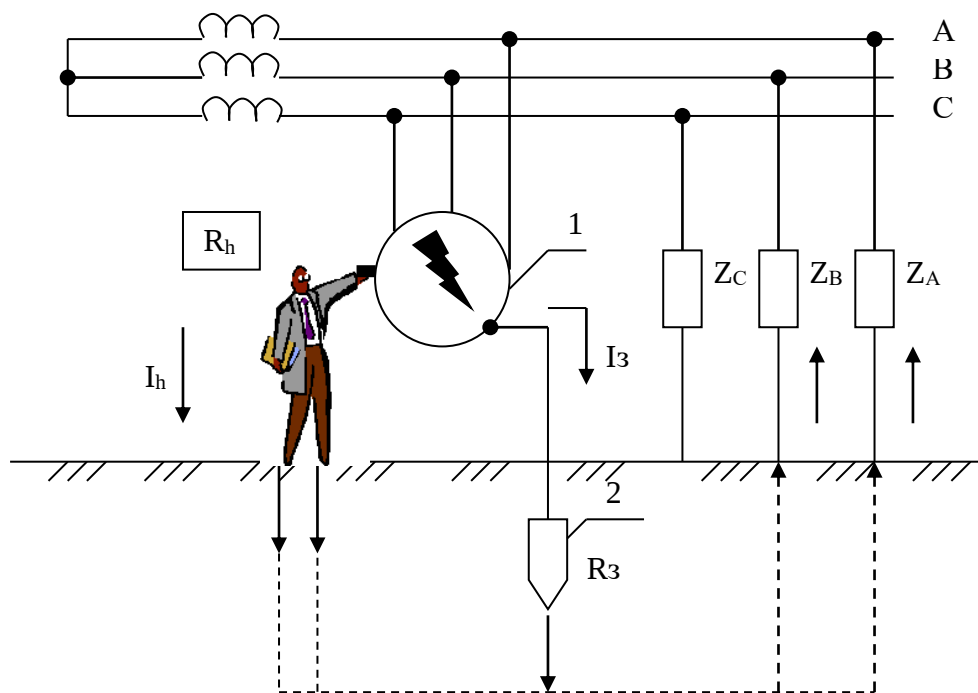


Рис. 1. Принципиальная схема защитного заземления

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, mA; Z_A , Z_B , Z_C – полное сопротивление изоляции фаз.

Заземление осуществляется с помощью специальных устройств — заземлителей (электродов). 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.

Методика расчета защитного заземления

Расчет производится методом коэффициентов использования в нижеприведенной последовательности:

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.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Трансформаторная подстанция напряжением U, кВ	Размеры здания		Расчетное сопротивление естественного заземлителя, R_c , Ом	Протяженность линии электропередач		Параметры вертикального электрода		Параметры горизонтального электрода	Удельное сопротивление земли ρ измеренное, Ом · м	Климатическая зона
		Длина L, м	Ширина В, м		$L_{к.л.}$, км	$L_{в.л.}$, км	Длина l_b , м	Диаметр d , мм	Сечение полосы, мм ²		
1	6/ 0,4	24	12	15	70	65	5	12	4 x 40	120	I
2	10/ 6	24	12	18	45	70	3	14	4 x 40	110	II
3	10/ 0,4	18	6	17	50	60	3	12	6 x 56	130	III
4	6/ 0,4	12	12	19	85	75	5	14	8 x 60	70	IV
5	10/ 6	24	18	13	92	63	5	12	4 x 32	80	I
6	10/ 6	18	12	16	75	54	5	14	6 x 60	110	II
7	6/ 0,4	12	18	18	84	65	3	12	6 x 50	90	III
8	10/ 0,4	30	12	16	73	68	5	14	4 x 48	114	IV
9	10/ 0,6	30	18	14	82	74	5	16	4 x 32	70	I
10	6/ 0,4	18	12	12	91	69	3	12	6 x 48	160	II
11	10/ 0,4	18	12	-	49	38	5	16	4 x 50	162	III
12	10/ 6	24	12	14	94	65	5	17	6 x 56	90	IV

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 1000 В 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.2.

Допустимые сопротивления защитных заземляющих устройств

Таблица 2

№ п/п	Характеристика электроустановки	Наибольшие, допустимые сопротивления заземляющего устройства, Ом
1	2	3
1.	<u>Электроустановки напряжением до 1000 В</u> Защитные заземляющие устройства сети с изолированной нейтралью при мощности генератора или трансформатора до 100 кВ·А более 100 кВ·А	10 4
2.	<u>Электроустановки напряжением выше 1000 В</u> Защитные заземляющие устройства электроустановок сети с эффективно заземленной нейтралью (с большими токами замыкания на землю). Заземляющее устройство выполняется с соблюдением требований к его сопротивлению Защитные заземляющие устройства электроустановок сети с изолированной нейтралью (с малыми токами замыкания на землю). – если заземляющее устройство используется только для электроустановок выше 1000В	0.5 250/I, но не более 10 (I – расчетный ток замыкания на землю, А)

	– если заземляющее устройство используется только для электроустановок до 1000В	125/ I, но не более 10
--	---	------------------------

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

$$I_z = \frac{U_{\text{л}}}{350} (35L_{\text{к.л.}} + L_{\text{в.л.}}) \quad (1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети (на высокой стороне трансформаторной подстанции), кВ; $L_{\text{к.л.}}, L_{\text{в.л.}}$ – длина электрически связанных соответственно кабельных и воздушных линий, км.

Соответствующее полученному расчетному току замыкания на землю нормативные значения сопротивления заземляющего устройства (ЗУ) выбираются по табл. 2.

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

3. Определить требуемое сопротивление искусственного заземлителя.

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

$$R_{\text{и}} = \frac{R_{\text{е}} R_{\text{з}}}{R_{\text{е}} - R_{\text{з}}}, \text{ Ом} \quad (2)$$

где:

$R_{\text{е}}$ – сопротивление растеканию тока естественных заземлителей, Ом; (табл.1)

$R_{\text{и}}$ – требуемое сопротивление искусственного заземлителя, Ом; $R_{\text{з}}$ – расчетное нормированное сопротивление ЗУ, Ом; (табл.2 .)

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

$$R_{\text{и}} = R_{\text{з}}$$

4. Определить расчетное удельное сопротивление земли по формуле:

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \cdot \Psi, \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad (3)$$

где ρ – расчетное удельное сопротивление земли, Ом·м; $\rho_{изм}$ – удельное сопротивление земли, полученное в результате измерений, Ом·м; (выбирается из таблицы 6); ψ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание или высыхание грунта (выбирается из таблицы 3,4,5).

Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности ψ .

Таблица 3

Характеристика климатической зоны	Климатические зоны			
	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

Коэффициенты сезонности ψ для слоя сезонных изменений в многослойной земле

Таблица4

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

Коэффициенты сезонности ψ для однородной земли

Таблица5

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

Приближенные значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов и воды, Ом · м.

Таблица 6

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	-

5. Вычислить сопротивление растеканию тока одиночного вертикального заземлителя R_v , Ом:

(4)

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

Рис. 2.

где ρ_v – расчетное удельное сопротивление грунта, определенное по формуле 3 Ом·м; l_v – длина вертикального стержня, м; d – диаметр сечения, м; t – расстояние от поверхности грунта до середины длины вертикального стержня, м.

6. Рассчитать приближенное (минимальное) количество вертикальных стержней:

$$n' = \frac{R_v}{R_u} \quad (5)$$

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].

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

$$\text{ряд} \quad l_r = 1,05an, \text{ м} \quad (6)$$

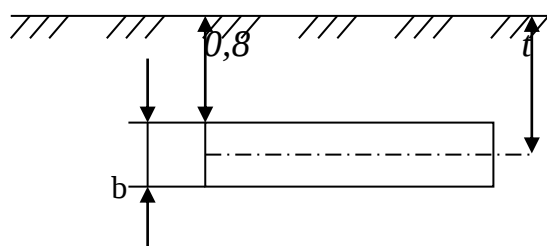
$$\text{по контуру} \quad l_r = 1,05a(n-1), \text{ м}, \quad (7)$$

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

$$a = k \cdot l_{\text{с}}, \quad (8)$$

где k – коэффициент кратности, равный 1, 2, 3; $l_{\text{с}}$ – длина вертикального стержня; n – количество вертикальных стержней.

8. Вычислить сопротивление растеканию тока горизонтального стержня $R_{\text{г}}$, Ом.



$$R_{\text{г}} = \frac{\rho}{2\pi l_{\text{г}}} \ln \frac{2l_{\text{г}}^2}{bt}, \text{ Ом} \quad (9)$$

Рис. 3.

где

ρ – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$l_{\text{г}}$ – длина горизонтальной полосы, м;

b – ширина полосы, м;

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

9. Выбирать коэффициенты использования вертикальных стержней ($\eta_{\text{с}}$) и горизонтальной полосы ($\eta_{\text{г}}$) с учетом числа вертикальных стержней (n) и отношения расстояния между стержнями (a) к их длине ($l_{\text{с}}$), из таблицы 7,8.

Коэффициенты использования $\eta_{\text{в}}$ вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков, и т.д.) без учета влияния полосы связи

Таблица 7

Число заземлителей	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	Электроды размещены в ряд (рис. 1.6, а)			Электроды размещены по контуре (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

Коэффициенты использования η_r горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды (трубы, уголки и т. п.) группового заземлителя

Таблица 8

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

10. Рассчитать эквивалентное сопротивление растеканию тока группового заземлителя:

$$R_{zp} = \frac{R_{\theta} R_r}{R_{\theta} \eta_r + R_r \eta_{\theta} \cdot n}, \quad (10)$$

где R_{θ}, R_r – соответственно сопротивления вертикального стержня и горизонтальной полосы, Ом; η_{θ}, η_r – соответственно коэффициенты использования вертикальных стержней и горизонтальной полосы, Ом; n – количество вертикальных стержней.

11. Полученное сопротивление растеканию тока группового заземлителя не должно превышать требуемое сопротивление, определенное в пункте 3:

$$R_{zp} \leq R_u \quad (11)$$

Если полученное сопротивление группового заземлителя $R_{гр}$ удовлетворяет условию, расчет считается выполненным. Если $R_{гр}$ 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 6.

Конструкция заземлителя трансформаторной подстанции приведена на рис. 4.

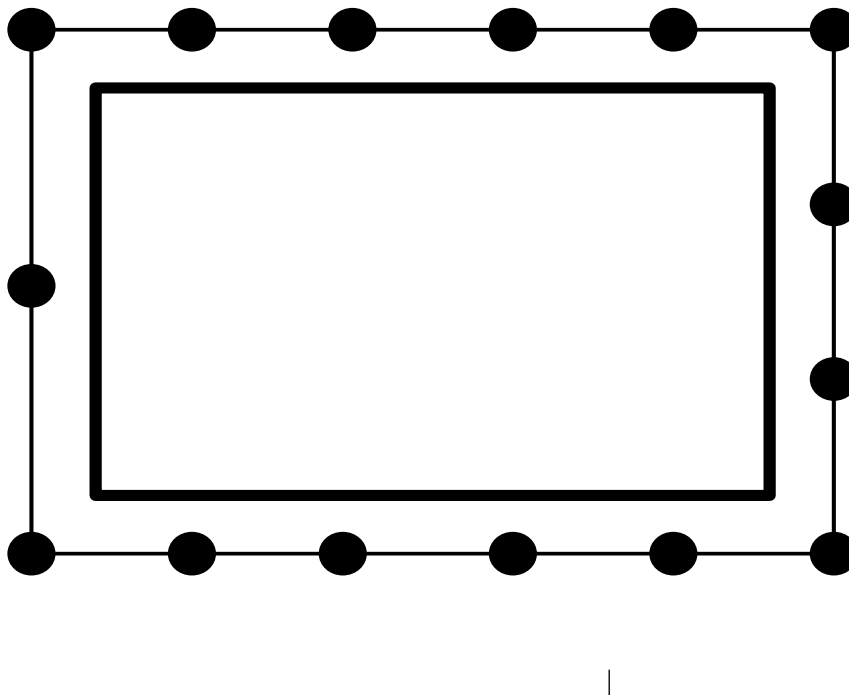


Рис. 4.

Конструкция заземлителя для здания со сторонами 25х18.

Контрольные вопросы

1. Назначение защитного заземления;
2. Принцип действия защитного заземления;
3. Область применения защитного заземления;
4. Цель расчета защитного заземления;
5. Нормирование значений сопротивления заземляющего устройства;

Литература

1. ГОСТ 12.1.030.-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление.

2. ГОСТ 12.1.038.-82. ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. Введ. 01.07.83г.
3. П.А. Долин. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергия.- 1984.-448 с.
4. П.А. Долин. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат 1984.-824 с.
5. Правила устройства электроустановок. -М.: КНОРУС,2010.-488 с.