

Колледж НТИ

**Цикловая методическая комиссия общетехнических дисциплин энергетики и
электроники**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ОП.13 ОХРАНА ТРУДА**

для студентов колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,
обучающихся по программе среднего профессионального образования

специальность 11.02.16

«Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»

очная форма обучения

на базе основного общего образования

квалификация

специалист по электронным приборам и устройствам

Новоуральск 2021

РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: приобрести практические навыки по выбору и определению заземляющих устройств .

1. Определить расчетный ток I_3 и найти R_3

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3}; \quad R_3 \leq \frac{250}{I_3};$$

$$I_3 = \frac{125}{R_3}; \quad I_3 = \frac{250}{R_3};$$

Для сетей с изолированной нейтральной емкостной ток I_3 может быть ориентировочно определен $I_3 = \frac{U_{л}}{350} (35 \cdot l_{каб} + l_{л})$

$U_{л}$ – линейное напряжение трехфазной сети (кВ); $l_{каб}$ – длина кабельных линий (электрически связанных) (км); $l_{л}$ – длина воздушных линий (км)

1. Определяют сопротивления естественных заземлителей r_e (чаще всего путем замера для конкретной установки). Расчет заземляющих устройств для проектируемых электроустановок производится без учета сопротивлений растеканию искусственных заземлителей. В случае замера, если $r_e < R_3$ заземляющее устройство состоит только из естественных заземлителей, а при

$r_e > R_3$ следует добавить искусственные заземлители (электроды). Значение их сопротивления растеканию определяют по выражению: $r_{исх} = r_e \cdot R_3 / (r_e - R_3)$

R_3 – сопротивление заземляющего устройства по нормам .

- По таблице 1.1 определяют среднее значение удельного сопротивления принятого грунта.

Вид грунта	Удельное сопротивление $\rho \cdot 10^4$ Ом·см
Песок	8,0
Суглинок	1,0
Глина	0,4
Чернозем	0,5

- Определить конфигурацию заземляющего устройства, расстояние между заземлителями (электродами). Предварительно задаются количеством вертикальных электродов с учетом, что расстояние между ними должны быть не менее их длины.
- Определить сопротивления расстоянию (Ом) одиночного вертикального электрода из круглой арматурой стали или трубы

$$r_B = \frac{0,366 \cdot \rho \cdot K_c}{e} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \cdot \frac{4t+1}{4t-1} \right)$$

W – удельное сопротивление грунта (Ом·см); l - длина электрода (см); t - глубина заложения равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода (см); K_c – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта с зависимости от климатических районов. Для средних климатических (II и III) K_c можно принять для вертикальных электродов: $1 = 3-5$ м $1,45 \div 1,15$, для горизонтальных заземлителей (металлических полос) $3,5-2$. Для ориентировочных расчетов с достаточной точностью можно пользоваться выражением:

$$r_B = 0,003 \cdot \rho \cdot K_c$$

4. Определить суммарное сопротивление части заземления, состоящих из вертикальных электродов, электрически связанных между собой, без учета сопротивления соединяющей полосы:

$$R_{зв} = \frac{r_B}{n \cdot \eta_B}$$

n – число вертикальных электродов

η_B – коэффициент использования вертикальных электродов

Для вертикальных электродов, размещенных по контуру, η_B определяют по таблице 1.2:

Количество вертикальных электродов	Отношение $\frac{a}{l}$; (а- расстояние между электродами, l – длина электрода)		
	1	2	3
4	0,69	0,78	0,85
6	0,62	0,73	0,8
10	0,55	0,69	0,76
20	0,47	0,64	0,71
30	0,43	0,6	0,65

Определяют сопротивление растеканию горизонтально проложенной полосы, связывающей вертикальные электроды между собой (Ом):

$$R_r = \frac{0,366 \cdot K_c \cdot \rho}{ln} \cdot \lg \frac{2l^2}{\delta t}$$

протяженность соединений

ln – длина, полоса (см), δ – ширина полосы(см); t - глубина заложения (см)

$K_c = 3,5 - 2$

Сопротивление растеканию полосы с учетом коэффициента использования сопротивления полосы

$$R_{зг} = \frac{r_c}{\eta_r}$$

η_r - коэффициент использования горизонтальной полосы, находят по таблице 1.2

Количество вертикальных электродов	Отношение a/l		
	1	2	3
4	0,45	0,55	0,7

6	0,4	0,48	0,64
10	0,34	0,4	0,56
20	0,27	0,32	0,45
30	0,24	0,3	0,4

8. Определить полное сопротивление растеканию заземлителя (Ом) с учетом использования соединительной полосы

$$R_3 = \frac{r_{3В} \cdot r_{3Г}}{r_{3В} + r_{3Г}}$$

Если расчетное сопротивление R_3 отличается от нормированного значения, то следует уменьшить или увеличить количество вертикальных электродов и повторить расчет. Сопротивление заземляющего устройства R_3 (Ом) складывается из сопротивлений заземлителя и заземляющих проводников, так как сопротивление заземляющих проводников мало, то:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}$$

Где: U_3 – напряжение относительно земли (нулевого потенциала)

I_3 – ток замыкания на землю.

Заземлители могут быть искусственные и естественные. В качестве искусственных заземлителей могут быть металлические части, находящиеся в земле; металлические трубопроводы (за исключением горючих жидкостей или взрывчатых газов и примесей), металлические железобетонные конструкции зданий и сооружений, свинцовые оболочки кабелей и др. В первую очередь используют естественные заземлители, при недостаточном их сопротивлении следует применять искусственные заземлители.

Искусственные заземлители служат отрезки угловой стали ($50 \times 50 \times 4$ мм) $l = 2,5 - 3$ м, некондиционные стальные трубы $\varnothing 50$ мм; $l = 2,5 - 3$ м, с толщиной сечения не менее 3,5 мм; отрезки круглой стали $\varnothing 12-14$ мм, $l =$ до 5 мм и более. Заземлители (электроды) соединяются между собой стальной полосой размером 40×4 мм. В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников могут быть использованы проводники, крановые пути каркасы распределительных устройств, стальные трубы электропроводок алюминиевые оболочки кабелей.

В электроустановках U до 1000 В с глухозаземленной нейтралью, изолированной от земли, сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 2; 4 и 8 Ом. При линейных напряжениях 660; 380; 220В. В сетях с изолированными от земли нейтралью $U = 6-35$ кВ ; R_3 (сопротивление заземляющего устройства) при прохождении расчетного тока , замыкание на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть не более:

- 1) При испытании заземляющего устройства для электроустановки до 1000 В и выше:

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3}$$

- 2) При использовании заземляющего устройства для заземления в установке выше 1000 В, его сопротивление не более 10 Ом

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3(A)}$$

В расчетах для сетей U=6-35 кВ емкостный ток I_3

$$I_3 = \frac{U_L}{350} (35 \cdot I_{\text{каб}} + I_L)$$

U_L – линейное напряжение трехфазной сети (кВ);

$I_{\text{каб}}$ – длина кабельных линий (км);

I_L – длина воздушных линий (км).

$$U_L = \sqrt{3} \cdot U_D;$$

$$I_r = \frac{U_L}{R_r}$$

Где: I_r – ток проходящий через тело человека;

U_L – линейное напряжение;

R_r – сопротивление тела

Двухполосное прикосновение – когда человек прикасается чаще всего руками к 2 фазам сети.

Однополосное прикосновение (направление прикосновения) - когда человек прикасается к одной фазе сети стоя на земле и заземленной конструкции. Принимается лишь к одной фазе сети.

Частым являются однополюсные прикосновения

$$I_r = \frac{U_{\phi}}{R_r}$$

Сопротивление человека $R_r=1000$ Ом

Чем опасен электрический ток?

Сопротивление человека определяется многими факторами

1. Общее состояние здоровья
2. Состояние кожного покрова и его **влажность**
3. Условие окружающей среды
4. Длительность прохождения тока

Виды действия электрического тока на организм человека:

1. Нарушения нервной системы-биологические;
2. Ожоги;
3. Разложение крови (на постоянные тела);
4. Свернувшаяся кровь-электрическое (электролиз крови);
5. Электрический удар (могут быть переломы)-механическое, т.е. разрыв тканей
0,05А-опасен для человека, может вызвать паралич дыхательных путей
0,1А-смертелен для человека, что ведет к нарушению работы мышц сердца, т.е. к смерти.

Задача. Произвести расчет защитного заземления (заземлителя) для отдельной стоящей заводской подстанции, питающейся от РП – 10 кВ. Трансформаторы подстанции работают с изолированной нейтралью на стороне 10 кВ и заземленной на стороне 0,4 кВ. Протяженность электрически связанных кабельных линий напряжением 10⁵ кВ составляет 12 км. Грунт – суглинок. Климатический район II. Естественных заземлителей нет.

Решение. Ёмкостный ток в линии напряжением 10 кВ находим по (25.6)=

$$I_3 = U_{\text{каб}} / 10 = 10,5 \cdot 12 / 10 = 12,6 \text{ А}$$

Значение сопротивления заземлителя при использовании для установок до 1000 В и выше определяем по (25.4): $R_3 = 12 / I_3 = 125 / 12,6 = 10 \text{ Ом}$

Значение заземляющего устройства сопротивления нейтрали трансформаторов на стороне 0,4 кВ должно быть не более 4 Ом. Принимаем для расчета наименьшее сопротивление :

$R_3 < 4 \text{ Ом}$. По таблице 25.1 определяем удельное сопротивление грунта – суглинки :

$$\rho = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см.}$$

Предварительно принимаем к установке 16 одиночных вертикальных электродов из круглой стали длиной 5 метров и диаметром 12мм, расположенных по контуру здания подстанции с расстоянием между ними 5 м. Вертикальные электроды соединены с помощью сварки со стальной полосой 40×4 мм, расположенной на глубине 0,5 м.

$$\delta = 40 \times 4 = 160 \text{ мм} = 16 \text{ см}$$

Сопротивление растеканию вертикального одиночного электрода :

$$r_{\text{в}} = 0,003 \cdot \rho_{\text{Кс}} = 0,003 \cdot 10^4 \cdot 1,3 = 49 \text{ Ом}$$

Суммарное сопротивление растеканию части заземлителя, состоящей из вертикальных электродов, электрически связанных между собой, без учета сопротивления растеканию соединяющей их полосы :

$$R_{зв} = r_B / (n \cdot \eta_B) = 39 / (16 \cdot 0,52) = 4,7 \text{ Ом.}$$

Коэффициент η_B по таблице 25.2 принимаем 0,55. Сопротивление растеканию соединительной полосы контура по (25.11):

$$r_r = \frac{0,366 \rho \cdot K_c}{l_n} \lg \frac{2l^2}{\delta t} = \frac{0,366 \cdot 1,0 \cdot 10^4 \cdot 2,3}{7500} \lg \frac{2 \cdot 7500}{1,6 \cdot 500} = 7,43 \text{ Ом}$$

$t=50$ см, $a=6$, Протяженность соединительной полосы $l_n = (n-1) \cdot a = 15 \cdot 5 \text{ м} = 7500 \text{ см}$. Сопротивление растеканию полосы с учетом коэффициента использования по (25.12): $R_{зг} = r_r / \eta_r = 7,43 / 0,3 = 22,3 \text{ Ом}$, где η_r коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы в контуре электродов, равный 0,3 (см. табл.25.3)

Определяем полное сопротивление растеканию заземлителя с учетом использования горизонтальной соединительной полосы (Ом) по (25.13):

$$R_3 = \frac{r_{зв} \cdot r_{зг}}{(r_{зв} + r_{зг})} = \frac{4,7 \cdot 22,3}{4,7 + 22,3} = 3,9 \text{ Ом,}$$

Что меньше 4 Ом.

РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Вариант 1

Произвести расчет заземления для ТП, питающей от РП – 6 кВ.

ТП работают с изолированной нейтралью на стороне 6 кВ и заземленной на 0,4 кВ.

Протяженность КЛ напряжением 6кВ = 10 КМ. Грунт-чернозем. Климатический район I. Естественных заземлений нет. 20 одиночных вертикальных электродов.

$l=5$ м; $a=10$ м; \varnothing 15мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,3 м.

Вариант 2

От РП до ТП – 12 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{каб} = 18$ км; грунт – глина ; климатический район – II. 20 одиночных вертикальных электродов.

$l=10$ м; $a=10$ м; \varnothing 10мм; стальная полоса 40×3 мм; глубина 0,6 м.

Вариант 3

От РП до ТП – 3 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{каб} = 15$ км; грунт – чернозем ; климатический район – III. 10 одиночных вертикальных электродов.

$l=4$ м; $a=8$ м; \varnothing 8мм; стальная полоса 40×5 мм; глубина 0,5м.

Вариант 4

От РП до ТП – 6 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{каб} = 6$ км; грунт – глина ; климатический район – II. 8 одиночных вертикальных электродов.

$l=3$ м; $a=9$ м; \varnothing 20 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,5м.

Вариант 5

От РП до ТП – 12,5кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{каб} = 14$ км; грунт – суглинок ; климатический район – II. 8 одиночных вертикальных электродов.

$l=3$ м; $a=6$ м; \varnothing 16 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,5м.

Вариант 6

От РП до ТП – 15кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =20 км; грунт – глина ; климатический район – II; 22 одиночных вертикальных электродов.

l=8 м; a=8 м; \varnothing 13 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,5м.

Вариант 7

От РП до ТП – 5,5кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =4 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 6 одиночных вертикальных электродов.

l=4м; a=4 м; \varnothing 13 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,4м.

Вариант 8

От РП до ТП – 8 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} = 10 км; грунт – глина ; климатический район – II; 9 одиночных вертикальных электродов.

l=3 м; a=6 м; \varnothing 15 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,4м.

Вариант 9

От РП до ТП – 6,5кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =14 км; грунт – глина ; климатический район – II; 18 одиночных вертикальных электродов.

l=4 м; a= 8 м; \varnothing 14 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,3м.

Вариант 10

От РП до ТП – 3,5кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =9 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 7 одиночных вертикальных электродов.

l=3 м; a= 3 м; \varnothing 18 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,6м.

Вариант 11

От РП до ТП – 15кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =13 км; грунт – суглинок ; климатический район – II; 20 одиночных вертикальных электродов.

l=3,5 м; a= 3,5 м; \varnothing 10 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,3м.

Вариант 12

От РП до ТП – 12 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =14 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 24 одиночных вертикальных электродов.

l=5 м; a= 10 м; ø 18 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 13

От РП до ТП – 10 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =12 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 17 одиночных вертикальных электродов.

l=2 м; a= 6 м; ø 12 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,4 м.

Вариант 14

От РП до ТП – 16 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =15 км; грунт – глина; климатический район – II; 14 одиночных вертикальных электродов.

l=3 м; a= 6 м; ø 12 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 15

От РП до ТП – 15 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =20 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 28 одиночных вертикальных электродов.

l=4 м; a= 8 м; ø 19 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,6 м.

Вариант 16

От РП до ТП – 10,5 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =16 км; грунт – суглинок ; климатический район – II; 12 одиночных вертикальных электродов.

l=4 м; a= 8 м; ø 10 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,4 м.

Вариант 17

От РП до ТП – 12,5 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =18 км; грунт – суглинок; климатический район – II; 23 одиночных вертикальных электродов.

l=3,5 м; a= 3,5 м; ø 10 мм; стальная полоса 40×4 мм; глубина 0,6 м.

Вариант 18

От РП до ТП – 14 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =11 км; грунт – суглинок ; климатический район – II; 9 одиночных вертикальных электродов.

l=3 м; a= 9 м; ø 10 мм; стольная полоса 40×4 мм; глубина 0,3 м.

Вариант 19

От РП до ТП – 9 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =15,5 км; грунт – глина ; климатический район – II; 16 одиночных вертикальных электродов.

l=4,5 м; a= 4,5 м; ø 12 мм; стольная полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 20

От РП до ТП – 12,5 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =18 км; грунт – суглинок ; климатический район – III; 24 одиночных вертикальных электродов.

l=5 м; a= 15 м; ø 20 мм; стольная полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 21

От РП до ТП – 10,5 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =16 км; грунт – суглинок ; климатический район – II; 21 одиночных вертикальных электродов.

l=4 м; a= 12 м; ø 13 мм; стольная полоса 40×4 мм; глубина 0,6 м.

Вариант 22

От РП до ТП – 3 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =13 км; грунт – глина ; климатический район – II; 10 одиночных вертикальных электродов.

l=2 м; a= 4 м; ø 8 мм; стольная полоса 40×4 мм; глубина 0,6 м.

Вариант 23

От РП до ТП – 12 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =20 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 14 одиночных вертикальных электродов.

l=5 м; a= 10 м; ø 16 мм; стольная полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 24

От РП до ТП – 8 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{\text{каб}} = 9$ км; грунт – глина; климатический район – II; 10 одиночных вертикальных электродов.

$l = 4$ м; $a = 4$ м; $\varnothing 20$ мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 25

От РП до ТП – 15 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{\text{каб}} = 20$ км; грунт – глина ; климатический район – II; 22 одиночных вертикальных электродов.

$l = 4$ м; $a = 8$ м; $\varnothing 13$ мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,4 м.

Вариант 26

От РП до ТП – 16 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{\text{каб}} = 22$ км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 10 одиночных вертикальных электродов.

$l = 4$ м; $a = 8$ м; $\varnothing 8$ мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 27

От РП до ТП – 9 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{\text{каб}} = 5$ км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 12 одиночных вертикальных электродов.

$l = 3$ м; $a = 3$ м; $\varnothing 15$ мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,6 м.

Вариант 28

От РП до ТП – 12 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{\text{каб}} = 10$ км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 18 одиночных вертикальных электродов.

$l = 2$ м; $a = 4$ м; $\varnothing 10$ мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,3 м.

Вариант 29

От РП до ТП – 6 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ

$l_{\text{каб}} = 6$ км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 8 одиночных вертикальных электродов.

$l = 3$ м; $a = 9$ м; $\varnothing 20$ мм; стальной полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 30

От РП до ТП – 12,5 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =14 км; грунт – суглинок ; климатический район – II; 18 одиночных вертикальных электродов.

l=4 м; a= 4 м; ø 16 мм; ствольная полоса 40×4 мм; глубина 0,5 м.

Вариант 31

От РП до ТП – 6,5/0,4кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =15 км; грунт – глина ; климатический район – II; 21 одиночных вертикальных электродов.

l=10 м; a= 10 м; ø 4 мм; ствольная полоса 30×4 мм; t = 0,4 м.

Вариант 32

От РП до ТП – 4/0,4 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =18 км; грунт – чернозем ; климатический район – II; 22 одиночных вертикальных электродов.

l=4 м; a= 8 м; ø 3 мм; ствольная полоса 30×3 мм; t = 0,55 м.

Вариант 33

От РП до ТП – 6/0,4 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =11 км; грунт – песок ; климатический район – III; 16 одиночных вертикальных электродов.

l=9 м; a= 9 м; ø 8 мм; ствольная полоса 30×3 мм; t = 0,7м.

Вариант 34

От РП до ТП – 3,5/0,4 кВ; ТП с изолированной нейтралью заземленной на 0,4 кВ
l_{каб} =17 км; грунт – суглинок ; климатический район – III; 17 одиночных вертикальных электродов.

l=6 м; a= 12 м; ø 5 мм; ствольная полоса 40×4 мм; t = 0,5 м.