

## Уважаемые студенты !

Задание:

1. Повторить теоретический материал по ранее изученной теме.
2. Ознакомиться с порядком проведения практической работы.
3. Выполнить практическое задание в письменном виде.
4. Письменный отчет по практической работе в виде фото предоставьте до 22.04.2023 преподавателю на e-mail ([elena.berezovskaya.2020@gmail.com](mailto:elena.berezovskaya.2020@gmail.com))

**Обратите внимание!!!** В случае возникновения вопросов по выполнению практической работы обращайтесь для консультации к преподавателю по тел. 0721012105.

С уважением, Березовская Елена Валерьевна.

## Практическая работа № 5

**Тема: Расчет защитного заземления**

**Цель работы:** ознакомиться с алгоритмом расчета защитного заземления методом коэффициентов использования заземлителей (электродов) по допустимому сопротивлению системы заземления растеканию тока. Определение основных параметров заземления (количества, размеров и размещения одиночных вертикальных заземлителей и горизонтальных заземляющих проводников).

## Краткие теоретические сведения

**Защитное заземление** – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

**Назначение защитного заземления** – устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т.е. при замыкании на корпус.

**Принцип действия защитного заземления** – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус. Это достигается уменьшением потенциала заземленного оборудования, а также выравниванием потенциалов за счет подъема потенциала основания, на котором стоит человек, до потенциала, близкого по назначению к потенциалу заземленного оборудования.

**Заземляющим устройством** называется совокупность вертикальных заземлителей – металлических проводников, находящихся в непосредственном

соприкосновении с землей, и горизонтальных заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Внутри помещений выравнивание потенциала происходит естественным путем через металлические конструкции, трубопроводы, кабели и подобные им проводящие предметы, связанные с разветвленной сетью заземления.

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части оборудования, которые из-за неисправности изоляции могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей. При этом в помещении с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражений током, а также в наружных установках заземление является обязательным при номинальном напряжении электроустановки выше 42В переменного и выше 110В постоянного тока, а в помещениях без повышенной опасности – при напряжении 380В и выше переменного 440В и выше постоянного тока. Лишь во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от назначения установки.

Различают заземлители **искусственные**, предназначенные исключительно для целей заземления, и **естественные** – находящиеся в земле металлические предметы для иных целей (проложенные в земле металлически водопроводные трубы; трубы артезианских скважин; металлические каркасы зданий и сооружений и т.п.). **Запрещается использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих и взрывоопасных газов, а также трубопроводы, покрытые изоляцией для защиты от коррозии.** Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока, и поэтому использование их для целей заземления дает большую экономию. Недостатками естественных заземлителей является их доступность и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей.

По форме расположения заземлителей заземление бывает контурное и выносное.

В **контурном** заземлении все электроды располагают по периметру защищаемой территории. В **выносных** (сосредоточенное или очаговое) – заземлители располагают на расстоянии друг от друга не менее длины электрода.

В соответствии с требованиями механической прочности и допустимого нагрева токами замыкания на землю в установках напряжением свыше 1000 В заземляющие стальные магистральные проводники должны иметь сечение не менее 120 мм<sup>2</sup>, а в установках до 1000 В – не менее 100 мм<sup>2</sup>.

## Порядок расчета

1. Определяют расчетный ток короткого замыкания по формуле:

$$I_3 = U_{л} \cdot (35 \times l_{к} + l_{\phi}) / 350, \text{ А}, \quad (1)$$

2. Рассчитывают необходимое сопротивление заземляющего устройства  $R_3$  в соответствии с табл. 1<sup>1</sup>. В случае, если  $R_3$  больше допустимого значения, то в дальнейших расчетах  $R_3$  принимают равным допустимому значению.

3. Определяют расчетное удельное сопротивление грунта  $\rho_p$ :

$$\rho_p = \rho_{изм} \cdot \Psi, \text{ Ом} \cdot \text{ м} \quad (2)$$

где  $\rho_{изм}$  – удельное электрическое сопротивление грунта, полученное измерением или из справочной литературы (табл.2);

$\Psi$  – коэффициента сезонности, значение которого зависит от климатической зоны; (для четвертой климатической зоны со средними низшими температурами в январе от 0 до  $-5$  °С и высшими в июле от  $+23$  до  $+26$  °С  $\Psi = 1,3$ ).

При высоком удельном сопротивлении земли применяют способы искусственного снижения  $\rho_{изм}$  в целях уменьшения размеров и количества используемых электродов и площади территории, занимаемой заземлителем. Существенного результата достигают химической обработкой области вокруг заземлителей с помощью электролитов, либо путем укладки заземлителей в котлованы с насыпным углем, коксом, глиной.

4. При использовании искусственных заземлителей вначале выбирают материал, тип и размеры заземлителей.

В качестве заземлителей применяют стальные трубы с толщиной стенок 35 – 50 мм, длиной 2 – 3 м; угловую сталь толщиной не менее 4 мм; прутковую сталь диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м. Заземлители размещают в земле вертикально на глубине 0,5 – 0,8 м и соединяют при помощи сварки горизонтальной металлической полосой шириной 20-40 мм.

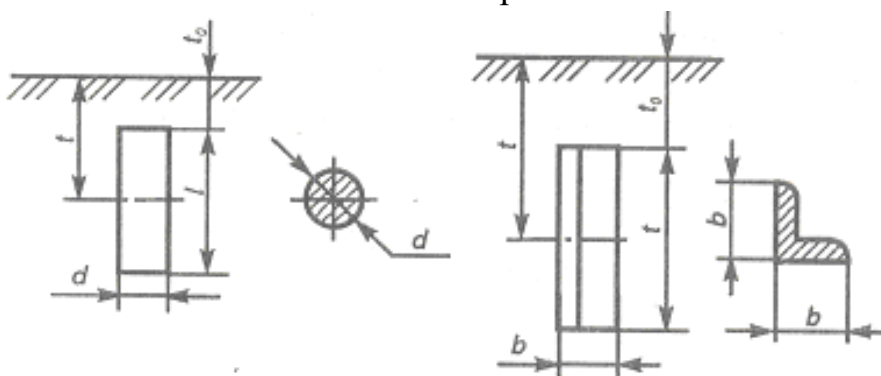


Рис.1 Схематическое изображение заземлителей:

а – стержневой (трубчатый); б – уголкового.

Сопротивления одиночного вертикального стержневого заземлителя, заглубленного ниже уровня земли на  $t_0$ , м определяется по формуле:

$$R_{овс} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом} \quad (3)$$

где:  $\rho_p$  – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом × м;

$l$  – длина стержня, м;

$d$  – диаметр стержня, м;

$t$  – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м;

$t_0$  – глубина забивки заземлителя, м.

5. Определяют приближенное число заземлителей:

$$n \approx \frac{R_{овс}}{R_3}, \text{ шт} \quad (4)$$

где  $R_3$  – допустимое сопротивление защитного заземления (по табл. 2.), Ом

6. По приближенному числу заземлителей –  $n$  и по отношению расстояния между заземлителями  $a$  к длине вертикального заземлителя  $l$ , определяют коэффициент использования заземлителей  $\eta_{уз}$  (табл. 3):  $a/l$  принимают равным 1; 2; 3.

7. Предварительное определение количества заземлителей:

$$n_3 = \frac{R_{овс}}{\eta_{уз} R_3}, \text{ шт.} \quad (5)$$

8. Сопротивление полосы (без учета коэффициента использования полосы), соединяющей одиночные вертикальные стержни заземлителя определяется по формуле:

$$R_{пол} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l_1} \cdot \ln \frac{2l_1^2}{bh_0}, \text{ Ом} \quad (6)$$

где:  $b$  – ширина полосы, равная 20– 40 мм;  $l_1$  – длина полосы, соединяющей заземлители по контуру равна периметру  $P = a \cdot n_3$ , м.

Если предварительное количество заземлителей  $n_3 \leq 20$ , то заземлители располагаются в ряд. В этом случае длина соединительной полосы определяется по формуле :

$$l_1 = a(n_3 - 1), \quad (7)$$

где  $a$  – расстояние между заземлителями ;

$a = (1 \div 3) \times l$ ;  $l$  – длина вертикального заземлителя.

9. Сопротивление соединительной полосы с учетом коэффициента использования (табл. 4):

$$R'_{пол} = \frac{R_{пол}}{\eta_{ин}}, \text{ Ом} \quad (8)$$

10. Уточняется необходимое сопротивление вертикальных стержневых заземлителей с учетом сопротивления полосы:

$$R'_{овс} = \frac{R'_{пол} \cdot R_з}{R'_{пол} - R_з}, \text{ Ом} \quad (9)$$

11. Уточненное количество заземлителей с учетом коэффициента использования заземлителей, определяется по формуле:

$$n'_з = \frac{R'_{овс}}{R'_{пол} \cdot \eta_{из}}, \text{ шт} \quad (10)$$

12. Определяем суммарное (общее) сопротивление группового заземлителя по формуле:

$$R_{общ} = \frac{R_{см} R_л}{R_{см} \eta_k + R_л \eta_l n} \approx \frac{47.2 * 5.57}{47.2 * 0.27 + 5.57 * 0.55 * 22} = 3,2 \text{ Ом} \quad (11)$$

Расхождение между значениями общего сопротивления ( $R_{общ}$ ) и допустимого сопротивления ( $R_{доп}$ ) не должно превышать 20%. Для уменьшения разницы корректируют количество заземляющих электродов.

## Примеры расчета

### Пример 1.

1. Допустимое сопротивление заземляющего устройства  $R_{доп} = 4 \text{ Ом}$
2. Тип заземления – контурное, выполнено из стальных стержней диаметром  $d=0,013 \text{ м}$ , длиной  $l=3 \text{ м}$ .
3. Горизонтальный проводник выполнен из стальной полосы  $b=0,04 \text{ м}$ ,  $l=3 \text{ м}$ .
4. Расстояние между одиночными вертикальными заземлителями  $a=3 \text{ м}$ , глубина заземления  $H_0 = 0,5 \text{ м}$ .
5. Определяем величину расчетного удельного сопротивления грунта:

$$\rho_{расч} = \rho_{изм} \varphi = 1,4 * 100 = 140 \text{ Ом*м},$$

где  $\rho_{изм} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  (значение берем из таблицы)

$\varphi = 1,4$  - климатический коэффициент.

6. Рассчитаем сопротивление растекания тока одиночного стержневого заземлителя:

$$R_{cm} = \ln \frac{4(H_{cm} + \frac{1}{2}l_{cm}) + l_{cm}}{4(H_{cm} + \frac{1}{2}l_{cm}) - l_{cm}} = 47,2 \text{ Ом},$$

где  $l_{cm}$  - длина стержня = 2м

7. Определяем ориентировочное число заземлителей:

$$n \approx \frac{R_{cm}}{R_{доп}} \approx \frac{48,46}{4} \approx 7,6,$$

где  $R_{доп}$  - допустимое сопротивление защитного заземления.

8. Определяем коэффициент использования вертикальных заземлителей.

$$\eta_B = 0,55$$

9. Уточняем количество заземлителей.

$$n = \frac{R_{cm}}{R_{доп} \eta} = \frac{48,46}{4 * 0,55} = 22$$

10. Определяем сопротивление соединительной полосы.

$$R_n = \frac{\rho_{расч}}{2\pi * l_n} \ln \frac{2l_n^2}{b_n H_n} = \frac{140}{2\pi * 69,3} \ln \frac{2 * 69,3^2}{0,04 * 0,5} = 5,57 \text{ Ом},$$

где  $b_n$  - ширина полосы,

$H_n$  - глубина заложения,

$a$  - количество заземлителей,

$l_n$  - длина соединительной полосы.

11. Определяем общее сопротивление защитного заземления

$$R_{общ} = \frac{R_{cm} R_n}{R_{cm} \eta_k + R_n \eta_l n} \approx \frac{47,2 * 5,57}{47,2 * 0,27 + 5,57 * 0,55 * 22} = 3,2 \text{ Ом},$$

где  $\eta_l = 0,55$  - коэффициент использования полосы.

$$R_{общ} < R_{доп} \text{ но } 20\%.$$

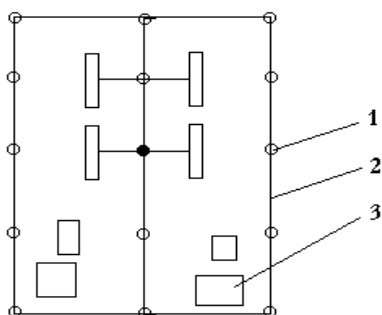
Следовательно, расчет выполнен верно.

## Пример 2.

Допустимое сопротивление заземляющих устройств  $R_{доп} = 4 \text{ Ом}$ .

Выберем в качестве искусственных заземлителей стальные стержни диаметром 12 мм и длиной  $l_a = 3 \text{ м}$ ; в качестве соединительного контура - стальную полосу шириной 40 мм.

Расстояние между одиночными вертикальными заземлителями принимаем равным 2м, то есть  $a=2\text{м}$ ; глубина заложения  $H_0=0.8\text{ м}$ ; расстояние между параллельными полосами  $L=2.5\text{м}$ .



Реальное заземляющее устройство представляет собой систему вертикальных электродов, соединенных горизонтальным проводником. Расположим электроды в ряд по контуру .

Рисунок 2 – Заземляющий контур: 1 – заземлитель; 2 – заземляющие проводники; 3 – заземленное оборудование.

Определим сопротивление грунта ( $\rho_{\text{изм.}}$ ) и значение климатического коэффициента  $\phi$ :

грунт – чернозем,  $\rho_{\text{изм.}} = 30\text{ Ом}\cdot\text{м}$ ;

средняя влажность,  $\phi = 1,32$ .

Величина расчетного удельного сопротивления грунта:

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{изм.}} \cdot \phi = 30 \cdot 1,32 = 39,6\text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Сопротивление растекания тока одиночного стержня заземлителя:

$$R_{\text{ст}} = \frac{\rho_{\text{расч.}}}{2\pi \cdot l_{\text{ст}}} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_{\text{ст}}}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4H_{\text{ст}} + l_{\text{ст}}}{4H_{\text{ст}} - l_{\text{ст}}} \right).$$

где  $L_{\text{ст}}$  - длина стержня, см;

$H$  – глубина заложения стержня, см;

$\rho_{\text{расч.}}$  – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом·см.

$$R_{\text{ст}} = \frac{39,6}{2 \cdot 3,14 \cdot 300} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 300}{0,12} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot (80 + 150 - 300)}{4 \cdot (80 + 150 - 300)} \right) = 220\text{ Ом}$$

Ориентировочное число заземлителей:

$$n = R_{\text{СТ}} / R_{\text{доп}} = 220 / 4 = 55\text{ штук.}$$

По ориентировочному числу заземлителей определяем коэффициент использования вертикальных заземлителей  $\eta_{\text{в}}$ , и уточняем их количество.

Сопротивление соединительной полосы :

$$R_n = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot \ln} \cdot \ln \frac{2 \cdot \ln^2}{\epsilon_n \cdot H_p} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot 1,05 \cdot d \cdot n} \cdot \ln \frac{2 \cdot (1,05 \cdot d \cdot n)^2}{\epsilon_n \cdot H_p} =$$

$$= \frac{39600}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,05 \cdot 200 \cdot 138} \cdot \ln \frac{2 \cdot (1,05 \cdot 200 \cdot 138)^2}{4 \cdot 80} = 3,37 \text{ Ом}$$

где  $\rho_{расч}$  – расчетное сопротивление, Ом\*см;

$L_n$  – длина контура, см;

$d$  – расстояние между заземлителями, см;

$n$  – количество заземлителей, штук;

$b_n$  – ширина полосы.

$$R_{общ.} = \frac{R_{см} \cdot R_n}{R_{см} \cdot \eta_n + R_n \cdot \rho_{см} \cdot n} = \frac{220 \cdot 3,37}{220 \cdot 0,21 + 3,37 \cdot 0,4 \cdot 138} = 3,19 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление защитного заземления:

где  $\eta_n$  – коэффициент использования горизонтального заземления.

$\eta_{ст}$  - коэффициент использования вертикального заземления

Так как  $R_{общ.} = 3,19 \text{ Ом} < R_{доп.} = 4 \text{ Ом}$ , произведенный расчет выполнен верно.

### Задание:

Исходные данные:

1. Напряжение в трехфазной сети с изолированной нейтралью – 220/380 В.
2. Искусственные заземлители могут быть выполнены из:
  - стальных стержней диаметром  $d = 12-14$  мм и длиной  $l = 5-10$  м.;
  - уголка стороной  $b = 40 \times 40$  мм или  $b = 60 \times 60$  мм,  $l = 2,5-3$  м;
  - стальных труб с диаметром  $d = 35 - 40$  мм,  $l = 2,5-3$  м;
  - стальной полосы  $b = 20-40$ мм,  $l = 15; 25; 50$ м
3. Расстояние между одиночными вертикальными заземлителями -  $a$ , м; при этом  $a/l = 1, 2$  или  $3$
4. Глубина заложения (расстояние от поверхности грунта до середины вертикальных стержней)  $H = 0,5-0,8$  м.
5. Расстояние между параллельными полосами  $l = 1; 2,7; 5; 10; 15$  м.
6. Заземляющее устройство представляет систему вертикальных электродов, соединенных горизонтальным проводником.
7. Стержни размещают по периметру  $P$ , м (контурное заземление);



Варианты заданий приведены в таблице.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_{в}, \text{ км}$	10	20	15	10	10	15	15	20	15	10
$L_{к}, \text{ км}$	50	60	60	60	50	60	55	60	50	60
$\rho_{\text{изм}},$ $\text{ Ом}^* \text{ м}$	500	300	150	700	160	400	200	150	200	400
$P, \text{ м}$	350	230	85	150	100	350	160	130	380	250

Выполнить расчет, сформулировать выводы.