

Электробезопасность

Действие электрического тока на организм человека

Электробезопасность - система организационных и технических мероприятий, защитных средств и методов, обеспечивающий защиту работающих и иных людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества

Виды воздействия электрического тока на организм человека:

- ❑ **Термическое действие** – ожоги отдельных участков тела, нагрев кровеносных сосудов, нервов и других тканей
- ❑ **Электролитическое действие** – разложение крови и других органических жидкостей и, как следствие, нарушение их физико-химических составов
- ❑ **Биологическое действие** – характерно только для живых организмов – сопровождается непроизвольным судорожным сокращением мышц, вызывает различные нарушения в организме, в том числе и нарушение и полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения (сердце). *Прямое действие* – ток проходит непосредственно по этим тканям (мышцы, сокращение). *Рефлекторное действие* – через центральную нервную систему, путь тока – вне тканей
- ❑ **Электродинамическое (механическое) действие** – разрыв тканей и другие повреждения, в результате электродинамического эффекта и взрывоподобного образования пара от перегретой током жидкости и крови.

Виды электротравм

1) **Местные** - местное повреждение организма – поражение кожи, мягких тканей, связок, костей

Электрические ожоги



Металлизация кожи Электроофтальмия



**Электрические знаки
разных степеней**



Механические повреждения -

разрывы кожи, сухожилий, кровеносных сосудов, вывихи суставов и переломы костей вследствие резких непроизвольных судорожных сокращений мышц под действием электрического тока, проходящего через тело человека

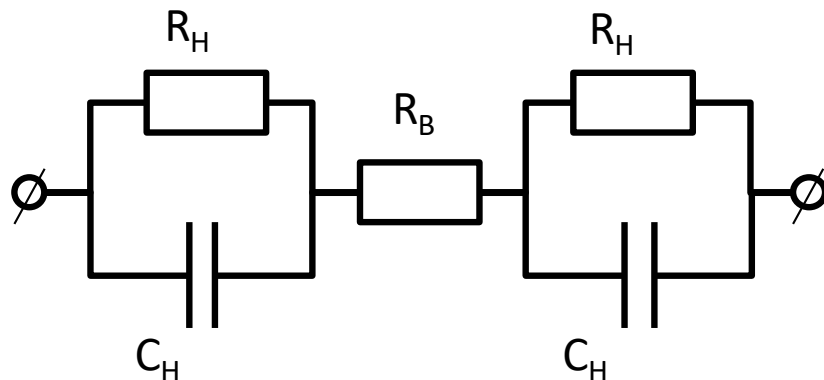
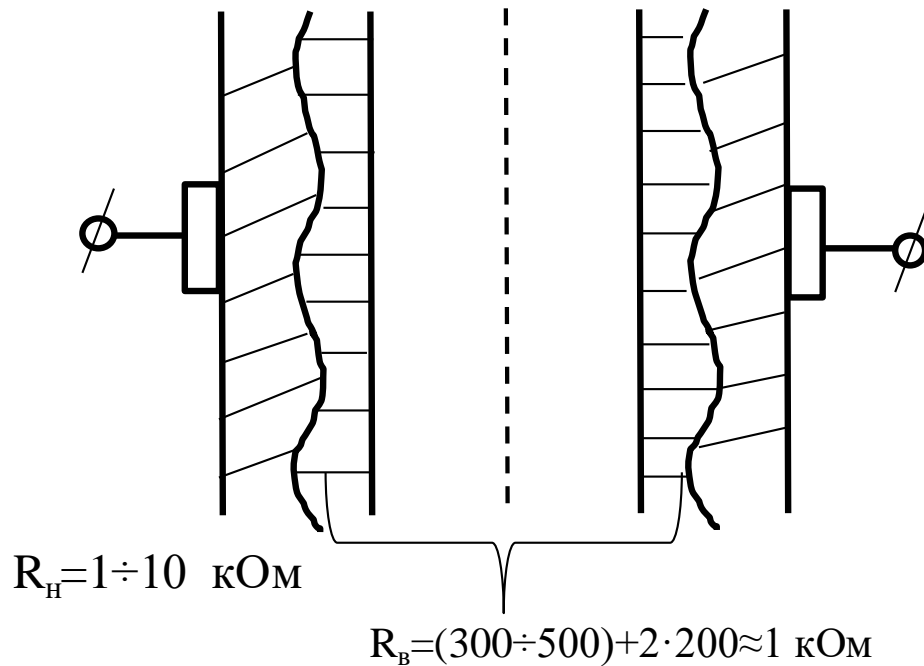
Виды электротравм

2) Общие электротравмы, имеющие общее воздействие на организм человека - электрические удары — это возбуждение живых тканей электрическим током, сопровождающееся непроизвольным судорожным сокращением мышц. (25%).

3) Смешанные электротравмы — удар+ местные травмы — ожоги. (55%).

Примерно 74% случаев поражения людей током сопровождается возникновением электрических травм.

Электрическое сопротивление тела человека

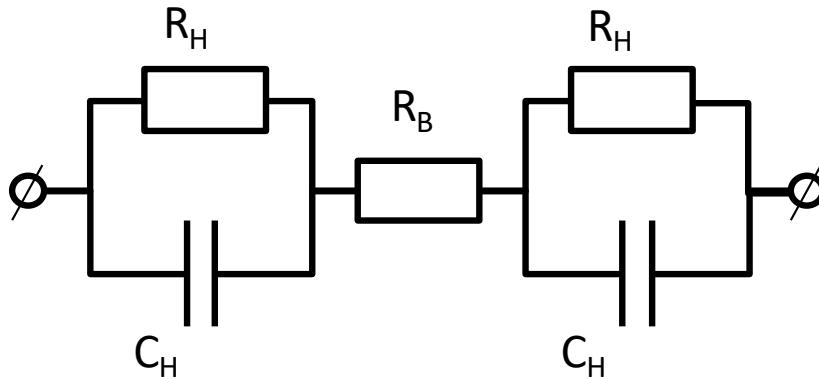


R_h зависит от:

- состояния кожи
- параметров электрической цепи
- физиологических факторов
- состояния окружающей среды

Ткань тела человека	Удельное объемное сопротивление, Ом·м
Сухая кожа	$3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4$
Кости	$10^4 - 2 \cdot 10^6$
Мышечная ткань	1 - 3
Кровь	1 - 2
Спинальная жидкость	0,5 - 0,6

Электрическое сопротивление тела человека



$$\underline{Z}_h = 2 \cdot \underline{Z}_\varepsilon + R_B = \frac{2}{\frac{1}{R_\varepsilon} + j\omega C_\varepsilon} + R_B$$

$$C_\varepsilon = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{d_\varepsilon}$$

$$R_\varepsilon = \frac{\rho_\varepsilon \cdot d_\varepsilon}{S}$$

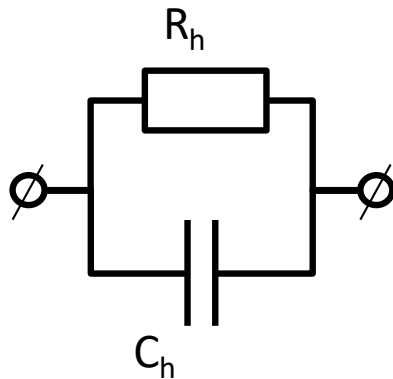
ε – диэлектрическая проницаемость эпидермиса;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – электрическая постоянная, Ф/м;

S – площадь электрода, м² ;

d_ε – толщина эпидермиса, м;

ρ_ε – удельное сопротивление эпидермиса ($10^4 - 10^5$ Ом·м)



$$R_h = 2 \cdot R_\varepsilon + R_B$$

$$C_h \approx 0,5 C_\varepsilon$$

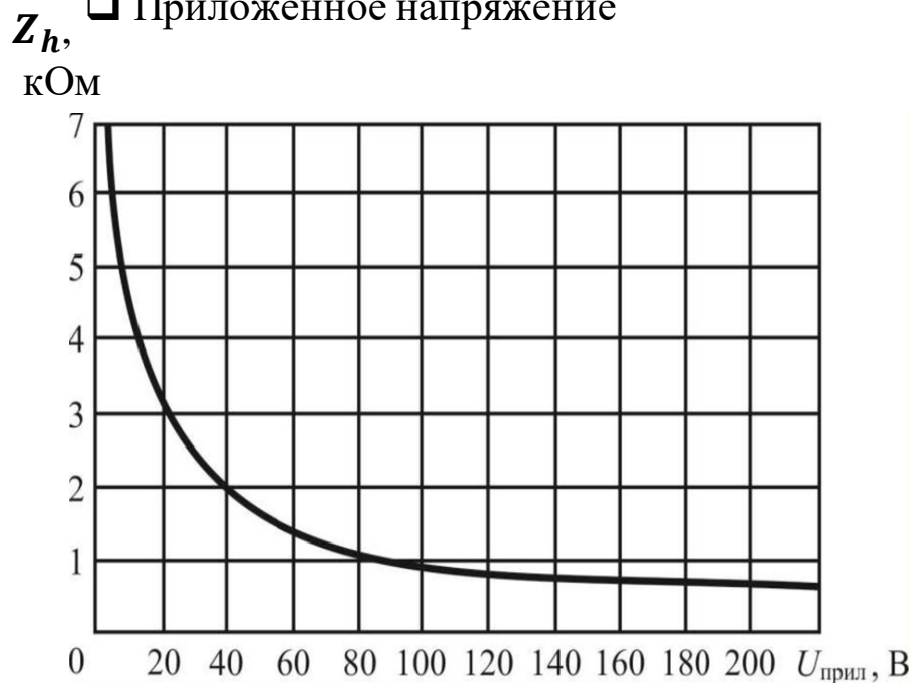
Зависимость R_h от параметров электрической цепи

☐ Место приложения электродов

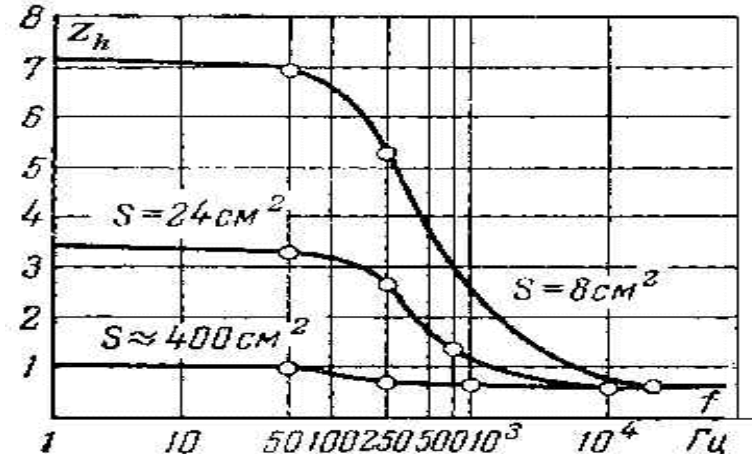
☐ Значение проходящего тока

☐ Длительность протекания тока

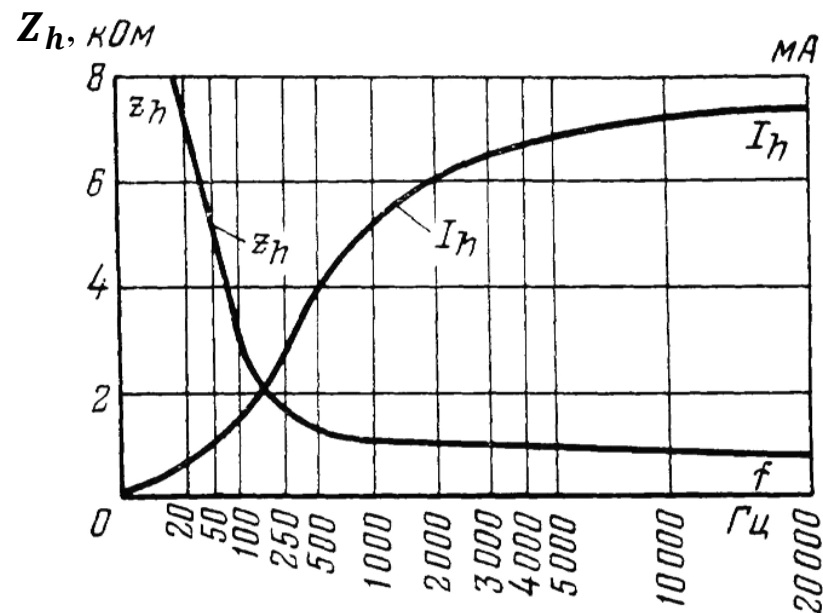
☐ Приложенное напряжение



Z_h , кОм ☐ Площадь электродов



☐ Род и частота тока



Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

1. Величина тока

Первичные критерии электробезопасности:

Наименование тока	I_h для переменного тока (50 Гц), мА	I_h для постоянного тока, мА	Режим работы
Пороговый осязаемый	0,6 – 1,5	5 - 8	Нормальный
Пороговый неотпускающий	Ж.: 11 М.: 16	Ж.: 50 М.: 80	Аварийный длительный
Пороговый фибрилляционный	100	300	Аварийный кратковременный

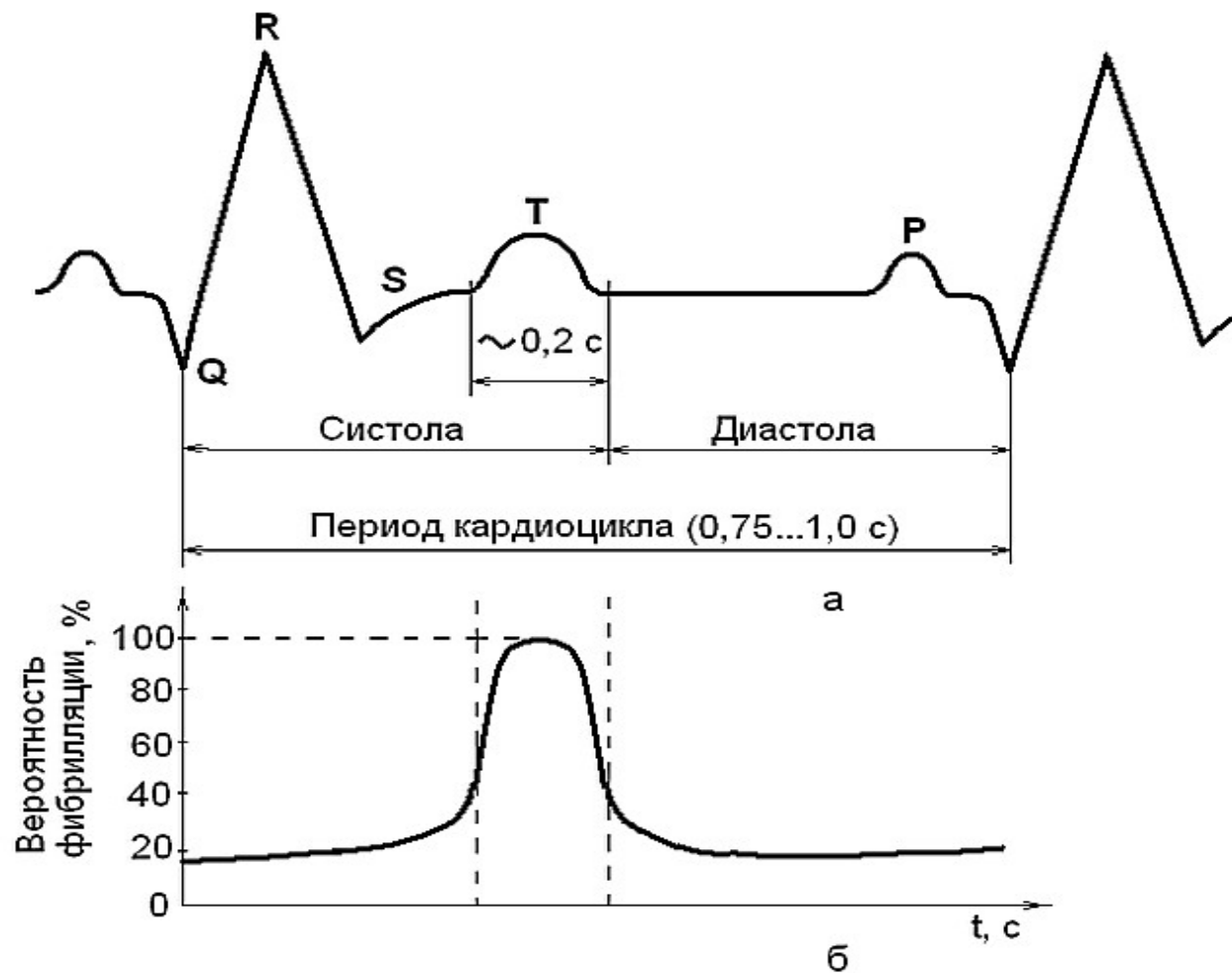
ГОСТ 12.1.038-82 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов»

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением до 1000 В (переменный ток 50 Гц):

	Время воздействия, с											
	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	свыше 1
U, В	550	340	180	135	120	105	95	85	75	65	60	20
I, мА	550	400	190	150	140	125	105	90	75	65	50	6

Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

2. Продолжительность воздействия тока



Факторы, влияющие на исход поражения электрическим током

3. Путь прохождения тока

Путь протекания тока	Доля тока через сердце, %	Частота возникновения, %
Правая рука - ноги	6,7	20
Левая рука – ноги	3,7	17
Рука – рука	3,3	40
Нога - нога	0,4	6

4. Влияние частоты и рода тока

5. Влияние индивидуальных свойств человека.

- здоровье
- психологическая подготовленность
- квалификация
- возраст

6. Параметры внешней среды.

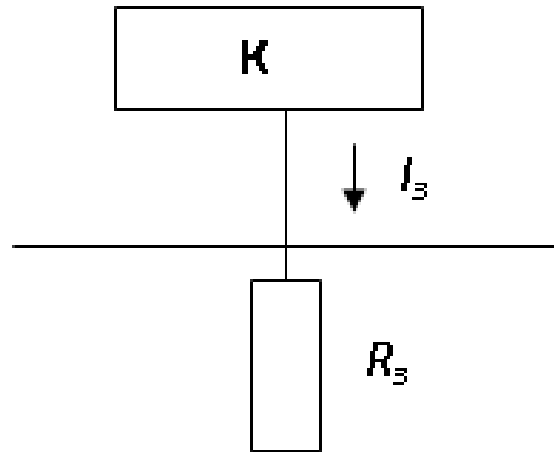
Классификация помещений по степени опасности поражения электрическим током

- ☐ **Без повышенной опасности** – это сухие, беспыльные помещения с нормальной температурой воздуха и с изолирующими (например, деревянными) полами

- ☐ **С повышенной опасностью** – помещение, в котором выполняется одно из 5 условий:
 - сырость (относительная влажность $>75\%$);
 - высокая температура ($>35^{\circ}\text{C}$ периодически в течении суток);
 - токопроводящая пыль (угольная, металлическая);
 - токопроводящие полы (металл, земляные, железобетонные, кирпичные);
 - возможность одновременного прикосновения к заземленным металлоконструкциям, с одной стороны, и металлическим корпусам электрооборудования – с другой

- ☐ **Особо опасные помещения** – это помещения, которые удовлетворяют одному из трех приведенных ниже условий:
 - особая сырость (около 100%);
 - химически активная или органическая среда, разрушающая изоляцию;
 - одновременно любые два условия для помещения с повышенной опасностью.

Явления, возникающие при стекании тока в землю



$$\varphi_z = I_z \cdot R_z$$

Значение φ_z зависит от:

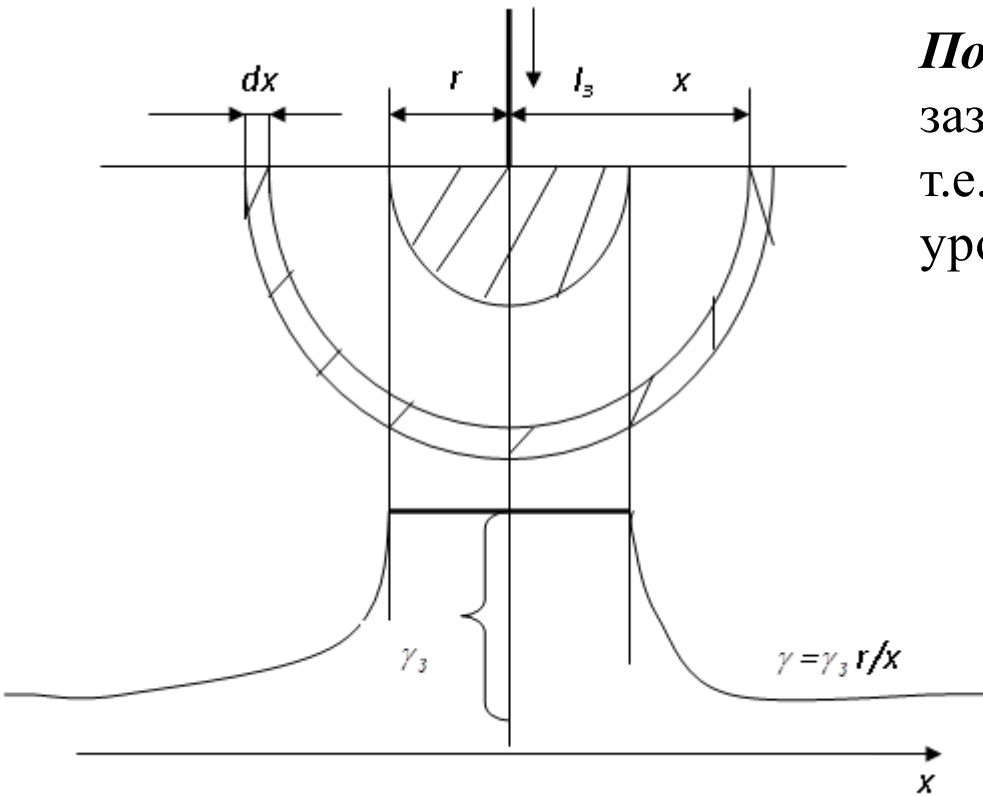
- ☐ значения тока I_z
- ☐ конфигурации заземлителей
- ☐ числа заземлителей
- ☐ взаимного расположения заземлителей
- ☐ удельного сопротивления грунта

Заземлитель — это проводник или группа проводников, соединенных между собой, находящихся в контакте с землей

Одиночный

Групповой

Стекание тока в землю через одиночный заземлитель

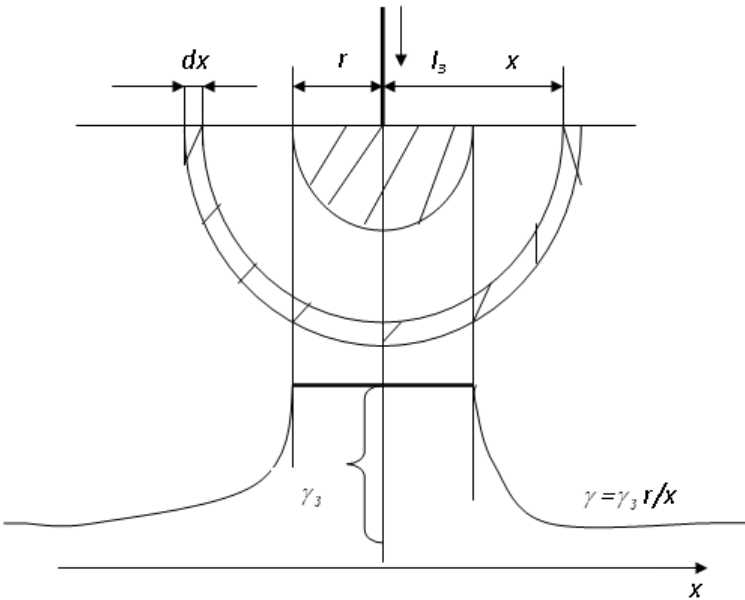


Полушаровой заземлитель - шаровой заземлитель, заглубленный на половину, т.е. так, что его центр находится на уровне земли

Допущения:

1. Земля во всем объеме однородна и обладает одинаковым удельным сопротивлением.
2. Ток по земле растекается равномерно, его плотность будет убывать с увеличением x — расстояния от центра заземлителя.
3. Удельное электрическое сопротивление грунта \gg удельного электрического сопротивления материала заземлителя.

Стекание тока в землю через одиночный заземлитель



Уравнение потенциальной кривой полушарового заземлителя:

$$\frac{\varphi_3(x)}{\varphi_3} = \frac{r}{x} \rightarrow \varphi_3(x) = \frac{r}{x} \cdot \varphi_3 = \frac{k}{x}$$

$$\text{Плотность тока: } j = \frac{I_3}{2 \cdot \pi \cdot x^2}$$

$$dU = E \cdot dx$$

$$E = j \cdot \rho$$

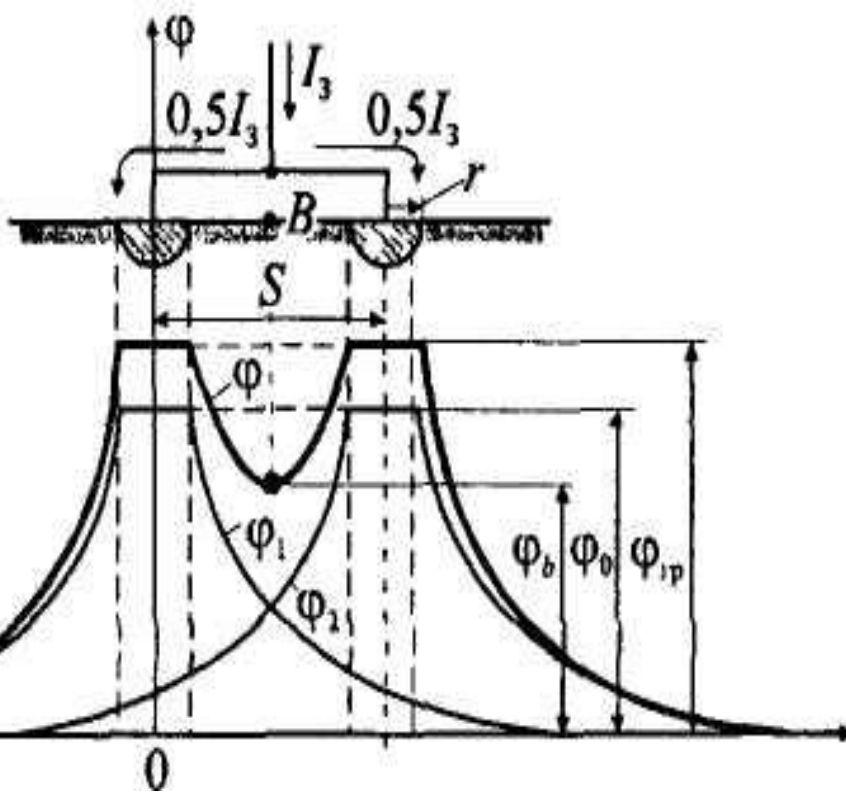
Потенциал точки А относительно бесконечно удаленной точки с $\varphi = 0$.

$$\begin{aligned} \varphi_A = U_A &= \int_x^\infty dU \\ \varphi_A &= \int_x^\infty E dx = \int_x^\infty \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x^2} dx \\ &= \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot x} \end{aligned}$$

Потенциал полушарового заземлителя:

$$\varphi_3 = \varphi_{max} = \frac{I_3 \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Стекание тока в землю через групповой заземлитель



$$\varphi_{\text{rp}} = \varphi_{01} + \sum_2^n \varphi_{\text{Hi}}$$

где φ_{01} - собственный потенциал первого электрода, В:

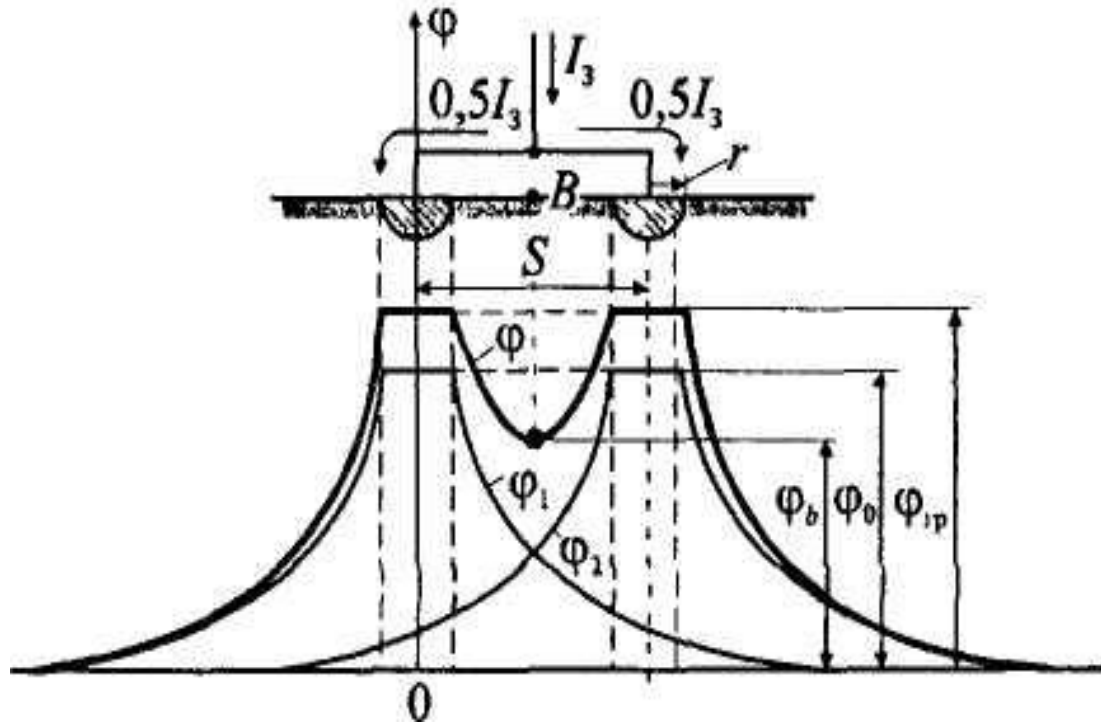
$$\varphi_{01} = I_1 \cdot R_1$$

n - количество электродов в групповом заземлителе

φ_{ni} - потенциал, наведенный на первом электроде одним из соседних, В:

$$\varphi_{\text{H}} = \frac{\varphi_0 \cdot r}{x}$$

Стекание тока в землю через групповой заземлитель



Если групповой заземлитель состоит из одинаковых электродов, размещенных по вершинам правильного многоугольника:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_0 + \sum_{n=1} \varphi_n$$

Если одинаковые электроды группового заземлителя расположены на одинаковых расстояниях один от другого:

$$\varphi_{\text{гр}} = \varphi_0 + (n - 1) \cdot \varphi_n$$

Сопротивление группового заземлителя

Сопротивление группового заземлителя:

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_{\infty}}{\eta}; \quad \frac{1}{R_{\text{гр}}} = \eta \cdot \frac{1}{R_{\infty}}$$

где η - коэффициент, характеризующий уменьшение проводимости заземлителей и называемый коэффициентом использования (коэффициентом экранирования)

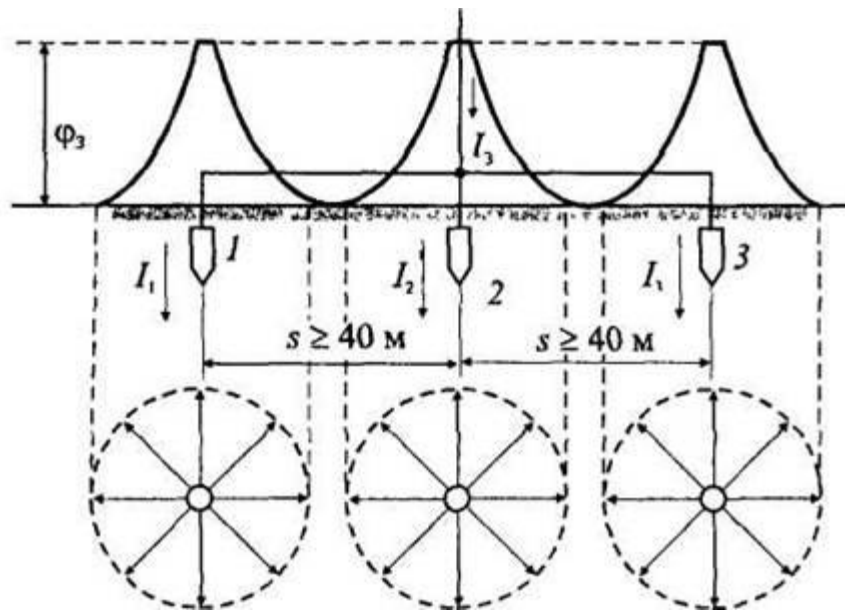
Сопротивление группового заземлителя, Ом, в общем случае:

$$R_{\text{гр}} = \frac{1}{\eta \cdot \sum_1^n \frac{1}{R_{0i}}}$$

При равенстве сопротивлений растеканию всех электродов $R_{0i} = R_0$

$$R_{\text{гр}} = \frac{R_0}{\eta \cdot n}$$

Стекание тока в землю через групповой заземлитель



При бесконечно больших расстояниях между электродами $S \geq 40$ м:

$$\varphi_{\infty} = \varphi_{01} = \varphi_{02} = \dots = \varphi_{0n}$$

или

$$\varphi_{\infty} = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = \dots = I_n \cdot R_n$$

где I_1, I_2, \dots, I_3 - токи, стекающие через электроды, А;

R_1, R_2, \dots, R_3 - сопротивления растеканию токов, Ом

Если все электроды одинаковы, то:

Потенциал группового заземлителя:

$$\varphi_{\infty} = \frac{I_3 \cdot R_0}{n}$$

где R_0 - сопротивление растеканию тока единичного электрода, Ом;

I_3 - ток, стекающий через групповой заземлитель, А

Сопротивление группового заземлителя:

$$R_{\infty} = \frac{R_0}{n}$$

Сопротивление группового заземлителя (при расстояниях между электродами $S \geq 40$ м):

$$R_{\infty} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_0}}$$

Напряжение прикосновения

Напряжение прикосновения U_h - напряжение (или разность потенциалов) между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, или, с другой стороны, падение напряжения в сопротивлении тела человека

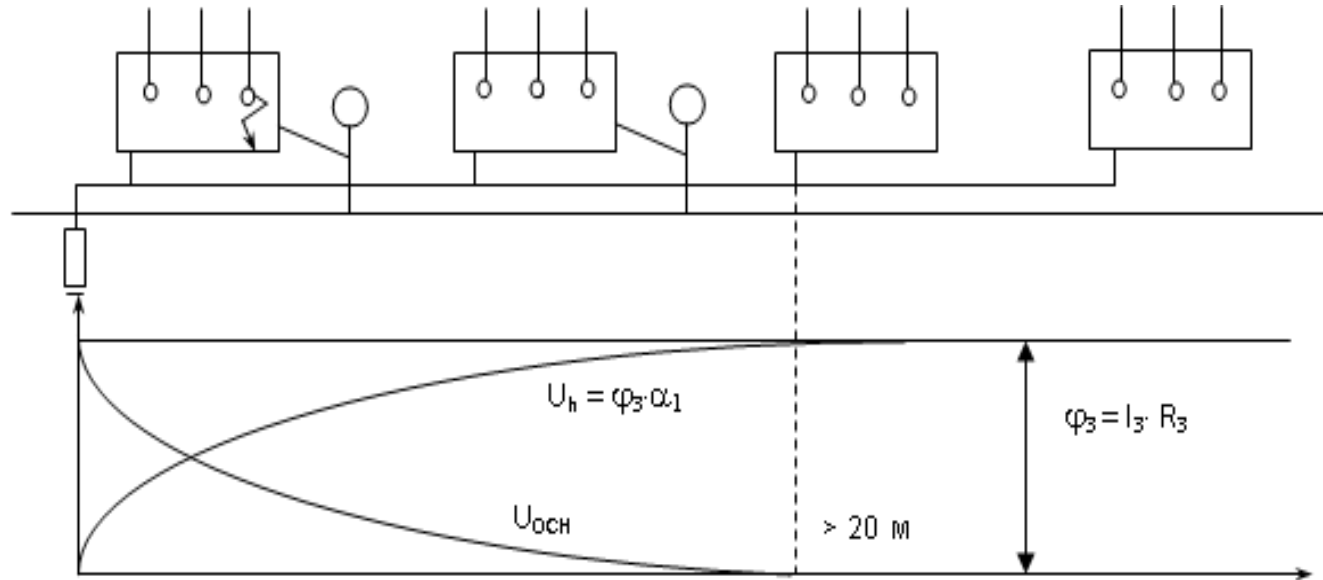
$$U_h = I_h \cdot R_h$$

Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса и стоящего на земле:

$$U_h = \varphi_{\text{руки}} - \varphi_{\text{ноги}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{осн}} = \varphi_3 \cdot \alpha_1$$

где α_1 - коэффициент напряжения прикосновения, или коэффициент прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой ($0 \leq \alpha_1 \leq 1$)

Напряжение прикосновения



Напряжение прикосновения оказывается приложенным не только к сопротивлению тела человека, но и к последовательно соединенному с ним сопротивлению $R_{об}$:

$$\varphi_3 \cdot \alpha_1 = I_h \cdot (R_h + R_{об}) \quad \text{и} \quad I_h = \frac{U_h}{R_h}$$

$$\text{то:} \quad U_h = \frac{\varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot R_h}{R_h + R_{об}} = \varphi_3 \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2$$

где α_2 - коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек

Напряжение шага

Напряжение шага $U_{\text{ш}}$ - напряжение между двумя точками цепи тока, находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек, или, иначе говоря, падение напряжения в сопротивлении тела человека

$$U_{\text{ш}} = I_h \cdot R_h$$

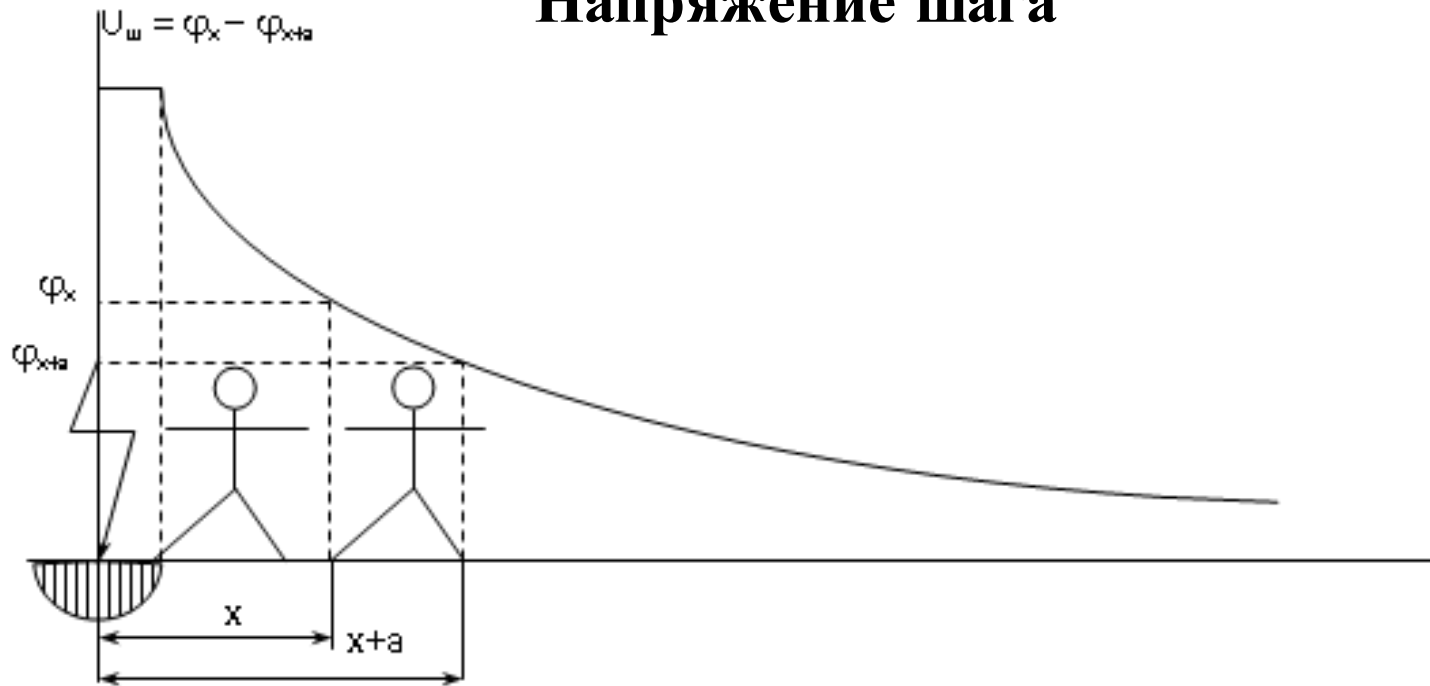
$$U_{\text{ш}} = \varphi_{\text{н1}} - \varphi_{\text{н2}} = \varphi_x - \varphi_{x+a} = \varphi_z \cdot \beta_1$$

где a –размер шага, β_1 - коэффициент напряжения шага или просто, коэффициент шага, учитывающий форму потенциальной кривой ($0 \leq \beta_1 \leq 1$)

Для одиночного полушарового заземлителя:

$$\beta_1 = \frac{r \cdot a}{x \cdot (x + a)}$$

Напряжение шага



Разность потенциалов между двумя точками, на которых стоит человек делится между сопротивлением тела человека и последовательно соединенного с ним сопротивлением растеканию основания, на котором стоит человек:

$$U_{\text{ш}} = \frac{\varphi_3 \cdot \beta_1 \cdot R_h}{R_h + 2 \cdot R_{\text{н}}} = \varphi_3 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2$$

β_2 - коэффициент напряжения шага, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания