



**ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

Лекция № 5

Напряжения прикосновения и шага

1. Напряжение прикосновения

Напряжением прикосновения $U_{\text{пр}}$, В, называется разность потенциалов между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек, или, иначе говоря, падение напряжения на сопротивлении тела человека R_h , Ом:

$$U_{\text{пр}} = I_h \cdot R_h,$$

где I_h – ток, проходящий через человека по пути рука – ноги, А.

Напряжение прикосновения (по ПУЭ) – напряжение между двумя проводящими частями или между проводящей частью и землей при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

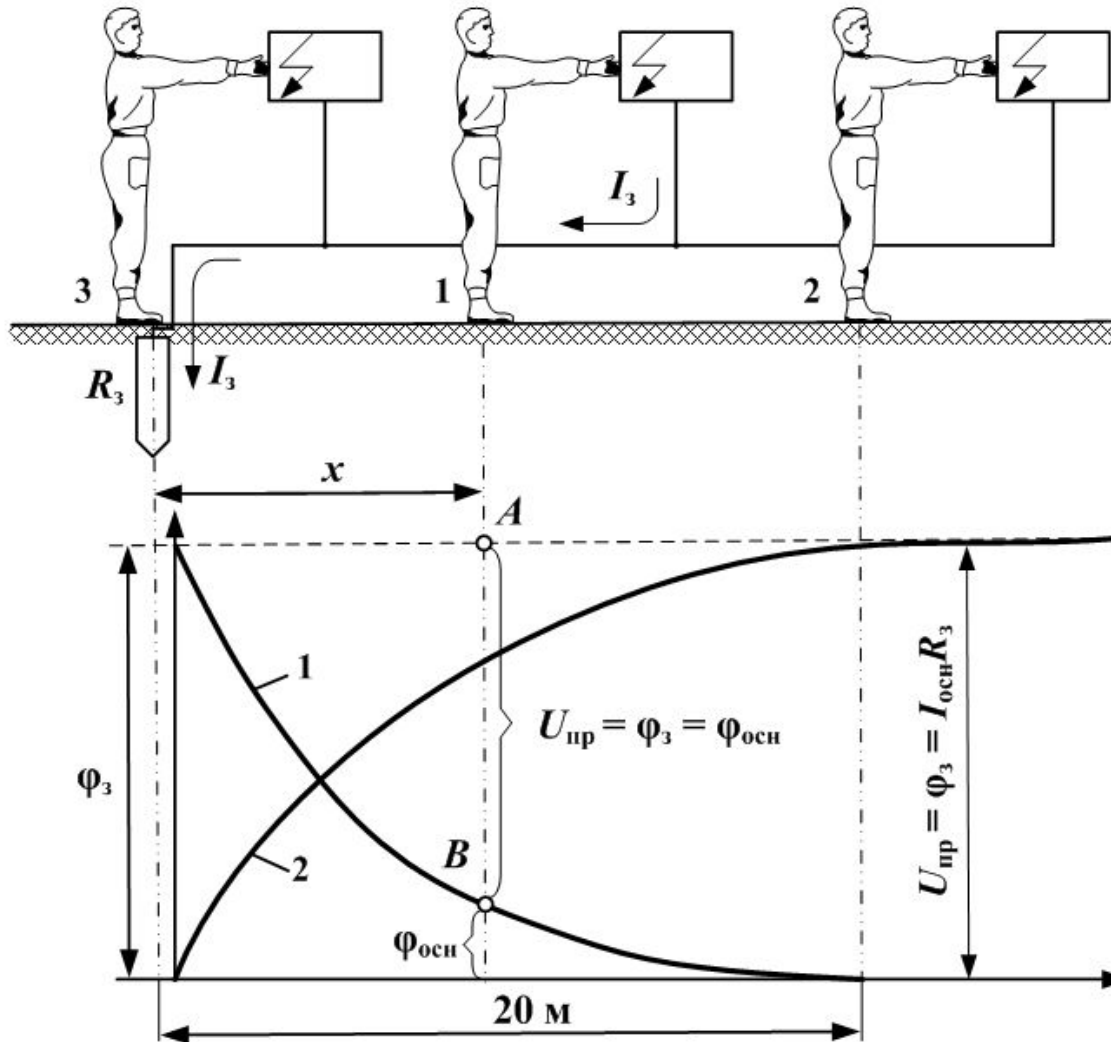
$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{осн}}, \text{ или } U_{\text{пр}} = \varphi_3 \cdot \alpha_1,$$

где α_1 – коэффициент напряжения прикосновения или просто коэффициент прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\alpha_1 = \left(1 - \frac{\varphi_{\text{осн}}}{\varphi_3} \right) \leq 1.$$

1. Напряжение прикосновения

1.1. Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе



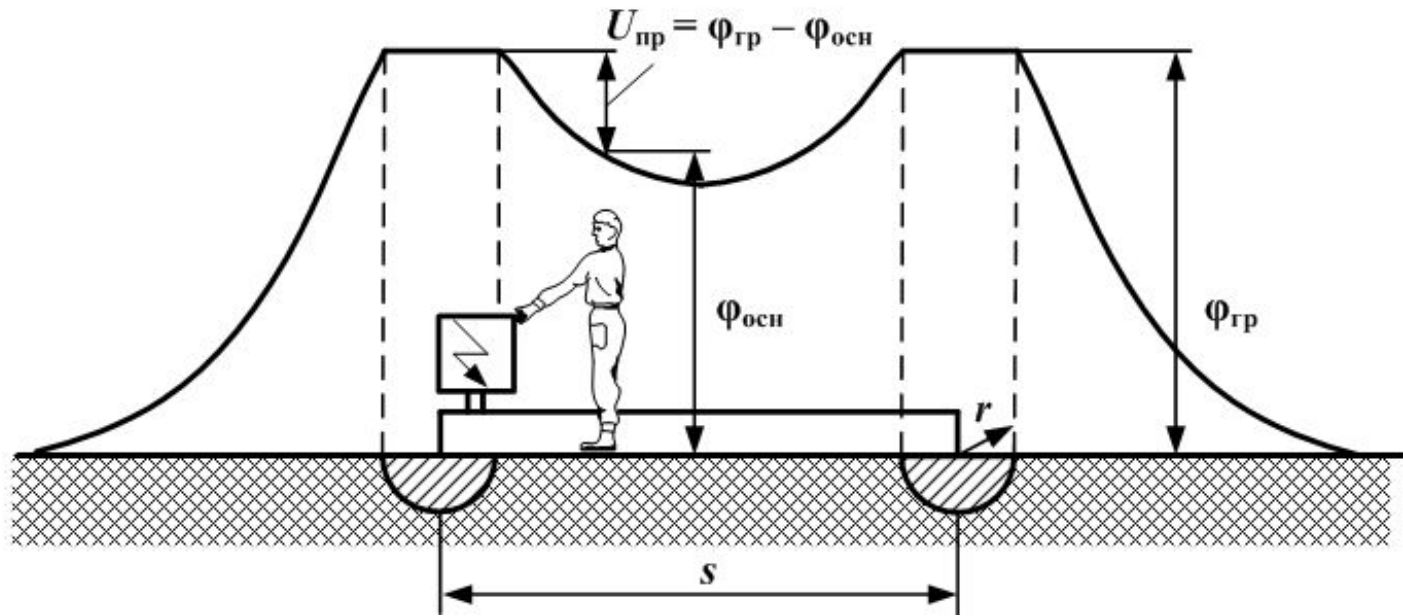
Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса двигателя и стоящего на земле (случай 1), определяется отрезком АВ и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния x между человеком и заземлителем (чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше $U_{пр}$ и наоборот). При наибольшем расстоянии, т.е. при $x \rightarrow \infty$, а практически при $x \geq 20$ м (случай 2): $U_{пр} = \phi_3$; при этом $\alpha_1 = 1$. Это наиболее опасный случай прикосновения.

При наименьшем значении x , т.е. когда человек стоит непосредственно на заземлителе (случай 3) **$U_{пр} = 0$ и $\alpha_1 = 0$.**

При других значениях x в пределах 0–20 м (кривая 2) $U_{пр}$ плавно возрастает от 0 до ϕ_3 , а α_1 – от 0 до 1.

1. Напряжение прикосновения

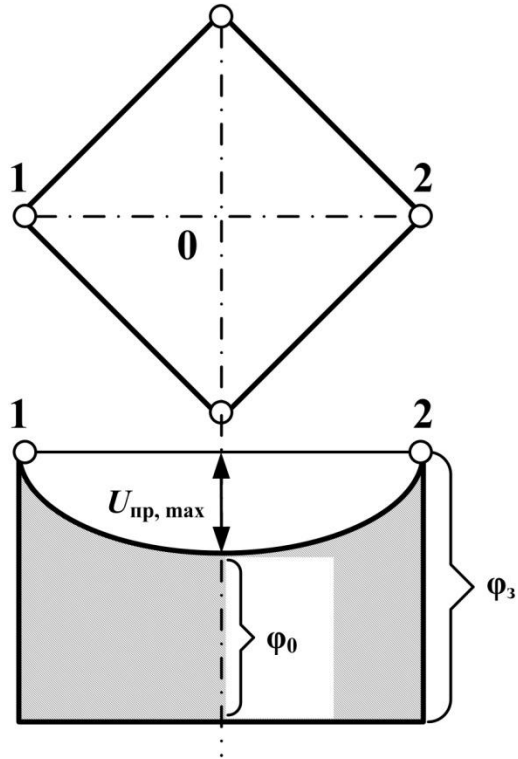
1.2. Напряжение прикосновения при групповом заземлителе



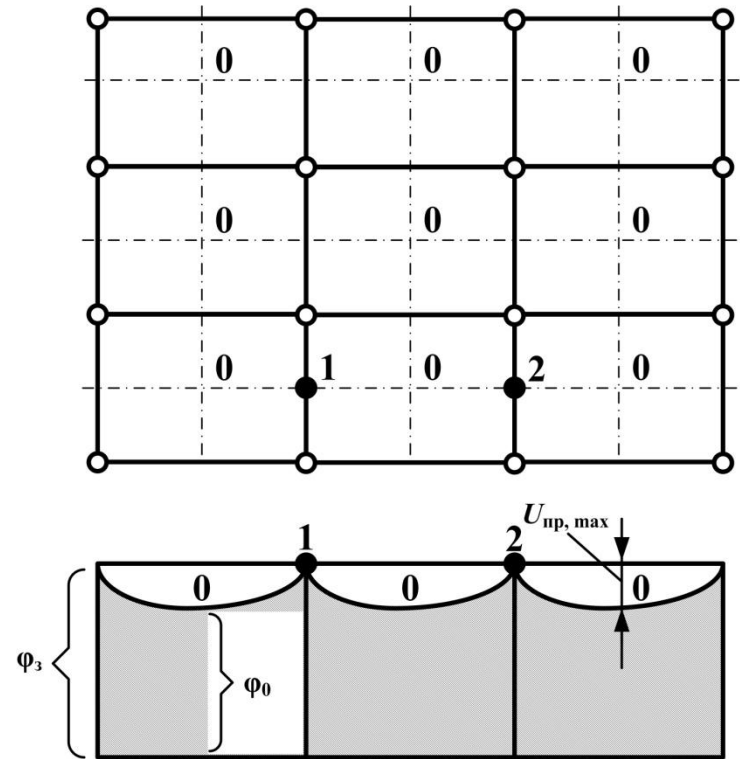
1. Напряжение прикосновения

1.2. Напряжение прикосновения при групповом заземлителе

Потенциальная кривая внутри контура группового заземлителя



с вертикальными электродами, размещенными по вершинам правильного многоугольника и соединенные горизонтальными электродами



в виде горизонтальной сетки с ячейками одинакового размера

1. Напряжение прикосновения

1.2. Напряжение прикосновения при групповом заземлителе

При размещении электродов по вершинам или сторонам многоугольника $U_{\text{пр, max}}$ и $\alpha_{1 \text{ max}}$ наблюдаются в центре фигуры.

Если электроды образуют сетку, состоящую из квадратных или прямоугольных клеток, то внутри каждой клетки наибольшие значения $U_{\text{пр}}$ и α_1 будут точно в центре ее. При этом в угловых клетках $U_{\text{пр, max}}$ и $\alpha_{1 \text{ max}}$ будут больше, чем, в других.

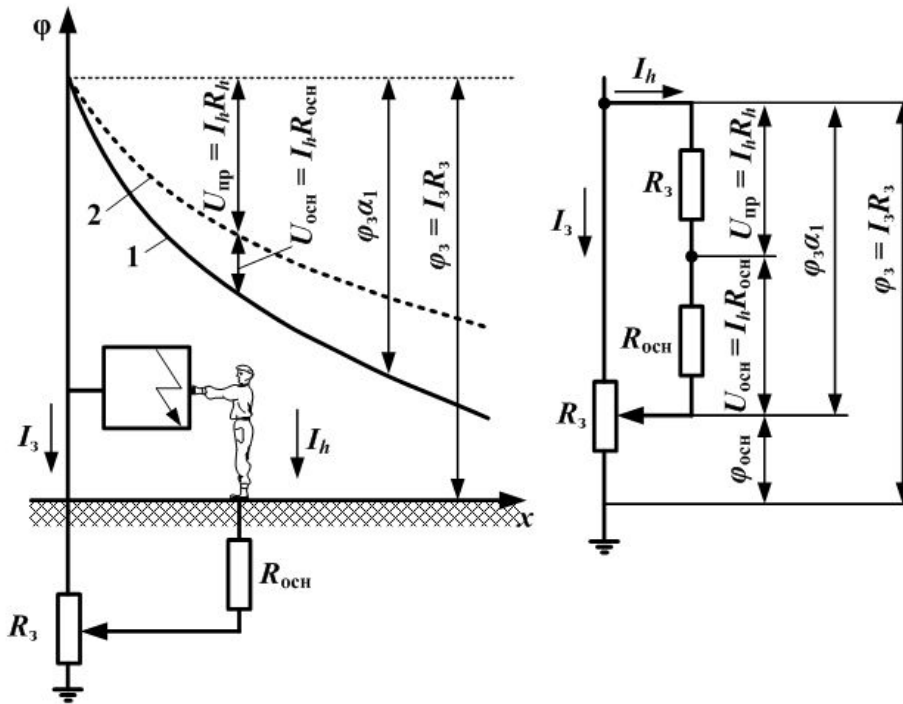
Для заземлителя в однородной земле, выполненного в виде горизонтальной квадратной сетки с квадратными ячейками одинакового размера и равномерным размещением вертикальных электродов по контуру (периметру) заземлителя коэффициент напряжения прикосновения:

$$\alpha_1 = \frac{0,5}{\left(\frac{l_{\text{в}} \cdot L_{\Gamma}}{a \sqrt{S}} \right)^{0,45}}$$

где $l_{\text{в}}$ – длина вертикального электрода, м; L_{Γ} – общая длина всех горизонтальных электродов, м; a – расстояние между вертикальными электродами, м; S – площадь, занимаемая заземлителем, м².

1. Напряжение прикосновения

1.3. Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек



$$\phi_3 \alpha_1 = I_h (R_h + R_{осн}) = \frac{U_{пр}}{R_h} (R_h + R_{осн})$$

Откуда найдем напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания. В:

$$U_{пр} = \phi_3 \alpha_1 = \frac{R_h}{R_h + R_{осн}}, \text{ или } U_{пр} = \phi_3 \alpha_1 \alpha_2$$

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

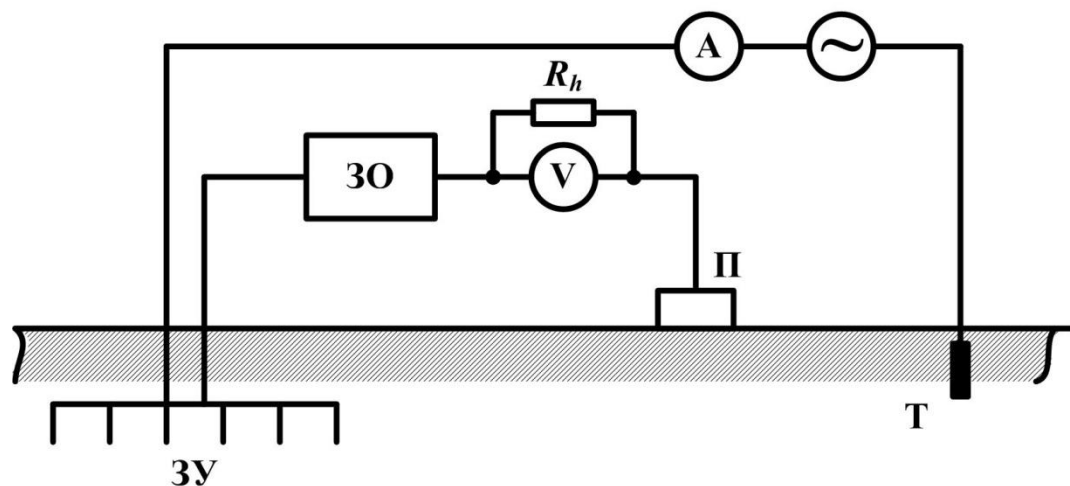
$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + R_{осн}}$$

К определению напряжения прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек:

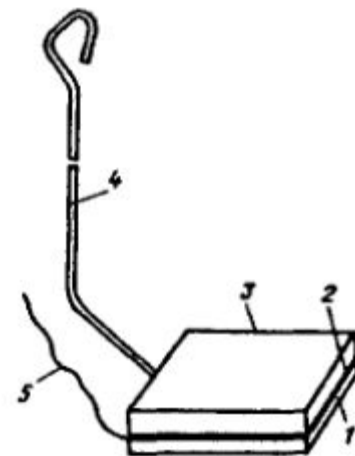
1 – потенциальная кривая; 2 – кривая, характеризующая изменение $U_{пр}$ с изменением расстояния от заземлителя

1. Напряжение прикосновения

1.4. Измерение напряжения прикосновения методом амперметра-вольтметра



ЗУ – заземляющее устройство, ЗО – заземленное оборудование;
П – потенциальный электрод; Т – токовый электрод; R – резистор,
имитирующий сопротивление тела человека



Потенциальный электрод, имитирующий ступни человека

1 – влажная прокладка; 2 – медная пластина;
3 – изоляционная пластина; 4 – рукоятка
переноса электрода; 5 – проводник для
подключения потенциального электрода

1. Напряжение прикосновения

1.4. Измерение напряжения прикосновения методом амперметра-вольтметра

Сущность метода заключается в одновременном измерении тока (измерительного), стекающего с заземлителя, и напряжения прикосновения, обусловленного этим током.

Расчетное значение напряжения прикосновения:

$$U_{\text{пр}} = U_{\text{изм}} \frac{I_{\text{к.расч.}}}{I_{\text{изм}}} \frac{1000 + R_{\text{изм.ср}}}{1000 + R_{\text{изм.мин}}},$$

где $U_{\text{изм}}$ – измеренное напряжение прикосновения при токе в измерительной цепи; $I_{\text{к.расч.}}$ – расчетный для ЗУ ток КЗ; $R_{\text{изм.ср}}$ – среднее значение сопротивлений потенциального электрода в момент измерения напряжений прикосновения (измеряется в 4-6 точках мегаометром в грунте); $R_{\text{изм.мин}}$ – минимальное значение сопротивления потенциального электрода.

2. Напряжение шага

Напряжением шага называется разность потенциалов между двумя точками цепи тока (в зоне растекания тока), находящимися одна от другой на расстоянии шага, на которых одновременно стоит человек, или, иначе говоря, падение напряжения в сопротивлении тела человека, В:

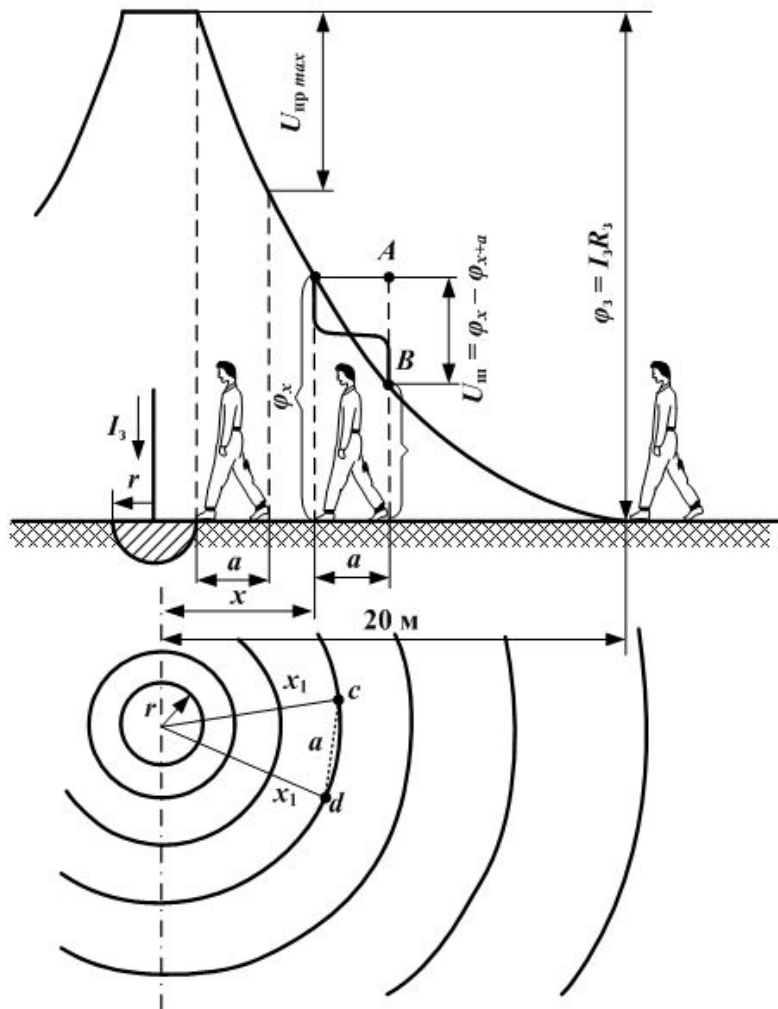
$$U_{\text{ш}} = I_h R_h,$$

где I_h – ток, проходящий через человека по пути нога – нога, А;
 R_h – сопротивление тела человека, Ом.

Напряжение шага (по ПУЭ) – напряжение между двумя точками на поверхности земли, на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.

2. Напряжение шага

2.1. Напряжение шага при одиночном заземлителе



Поскольку φ_x и φ_{x+a} , являются частями потенциала заземлителя φ_3 , то их разность также есть часть этого потенциала. Поэтому мы вправе записать

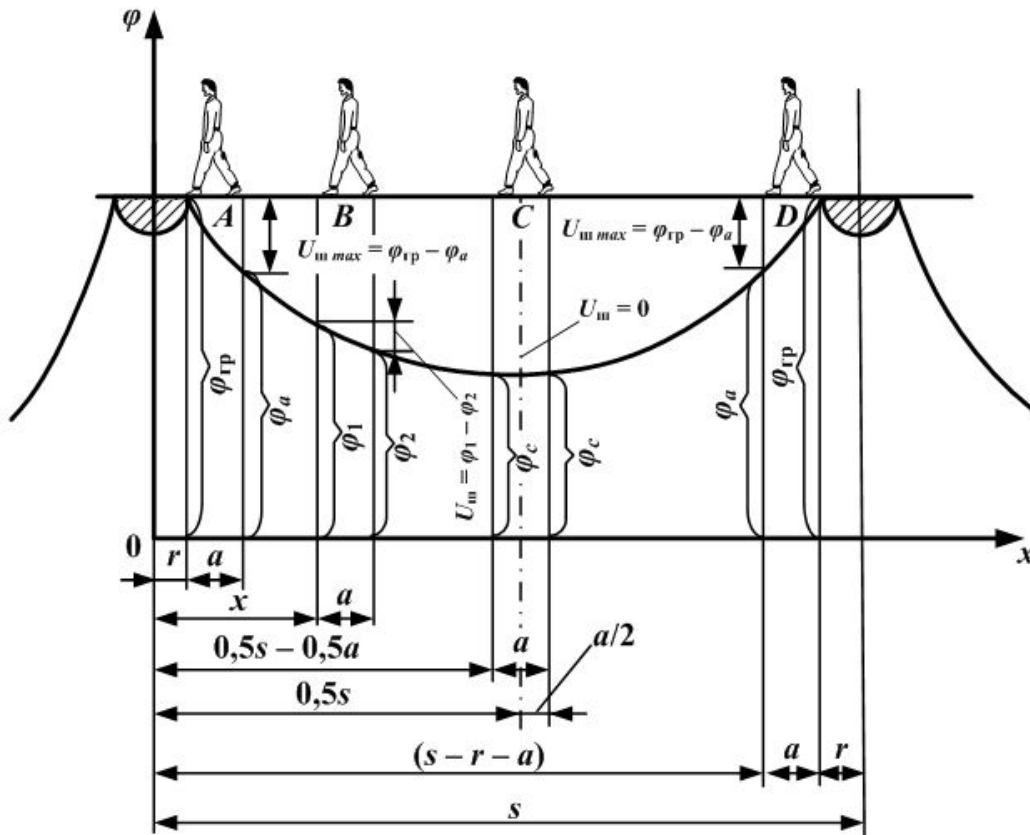
$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \beta_1$$

где β_1 – коэффициент напряжения шага, или просто коэффициент шага, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\beta_1 = \frac{\varphi_x - \varphi_{x+a}}{\varphi_3} < 1.$$

2. Напряжение шага

2.2. Напряжение шага при групповом заземлителе



В пределах площади, на которой размещены электроды группового заземлителя, напряжение шага меньше, чем при одиночном заземлителе, но изменяется от некоторого максимального значения до нуля при удалении от электродов.

Наибольшее напряжение наблюдается, как при одиночном заземлителе, в начале потенциальной кривой, т.е. когда человек одной ногой стоит непосредственно на электроде (или на участке земли, под которым зарыт электрод), а другой – на расстоянии шага от электрода (положения A и D).

Наименьшее напряжение шага соответствует случаю, когда человек стоит на «точках» с одинаковыми потенциалами (положение C). В этом случае $U_{ш} = 0$.

2. Напряжение прикосновения

2.3. Напряжение шага с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек

Напряжение шага определяется как разность потенциалов между двумя точками, на которых стоит человек, т.е.

$$U_{\text{ш}} = \varphi_x - \varphi_{x+\alpha} = \varphi_3 \beta_1,$$

и делится между сопротивлением тела человека и последовательно соединенным с ним сопротивлением растеканию основания, на котором он стоит, $R'_{\text{осн}}$, Ом. Сопротивление основания складывается из двух последовательно соединенных сопротивлений растеканию ног человека: $R'_{\text{осн}} = 2R_{\text{н}}$.

$$\text{Следовательно, } \varphi_3 \beta_1 = I_{\text{н}} (R_{\text{н}} + R'_{\text{осн}}) = \frac{U_{\text{ш}}}{R_{\text{н}}} (R_{\text{н}} + 2R_{\text{н}})$$

откуда

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \beta_1 \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + 2R_{\text{н}}},$$

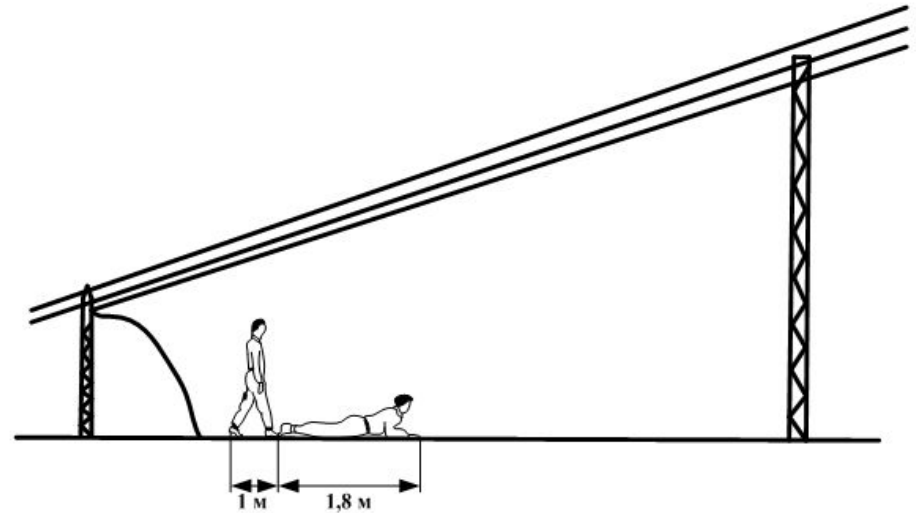
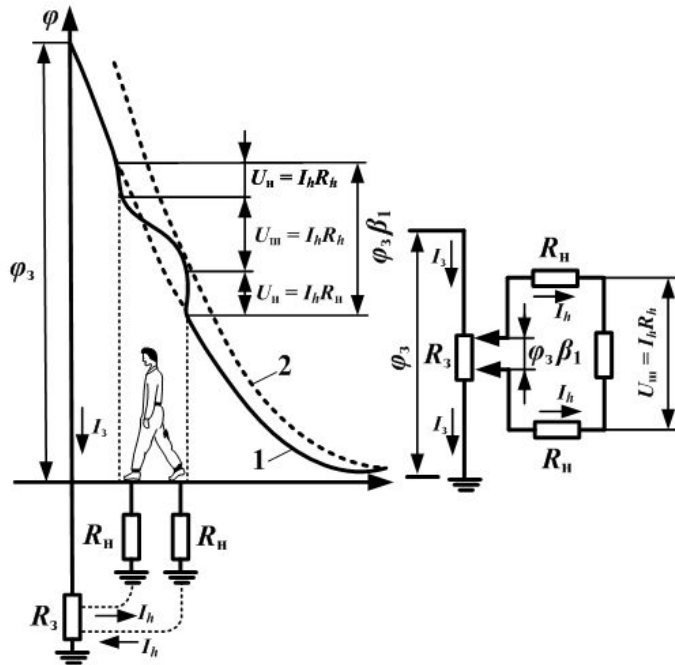
или

$$U_{\text{ш}} = \varphi_3 \beta_1 \beta_2,$$

где β_2 – коэффициент напряжения шага, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек

2. Напряжение прикосновения

2.3. Напряжение шага с учетом падения напряжения в сопротивлении основания, на котором стоит человек



К определению напряжения шага с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию тока ног человека:

1 – потенциальная кривая; 2 – кривая, характеризующая изменение $U_{ш}$ с изменением расстояния от заземлителя