



**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.

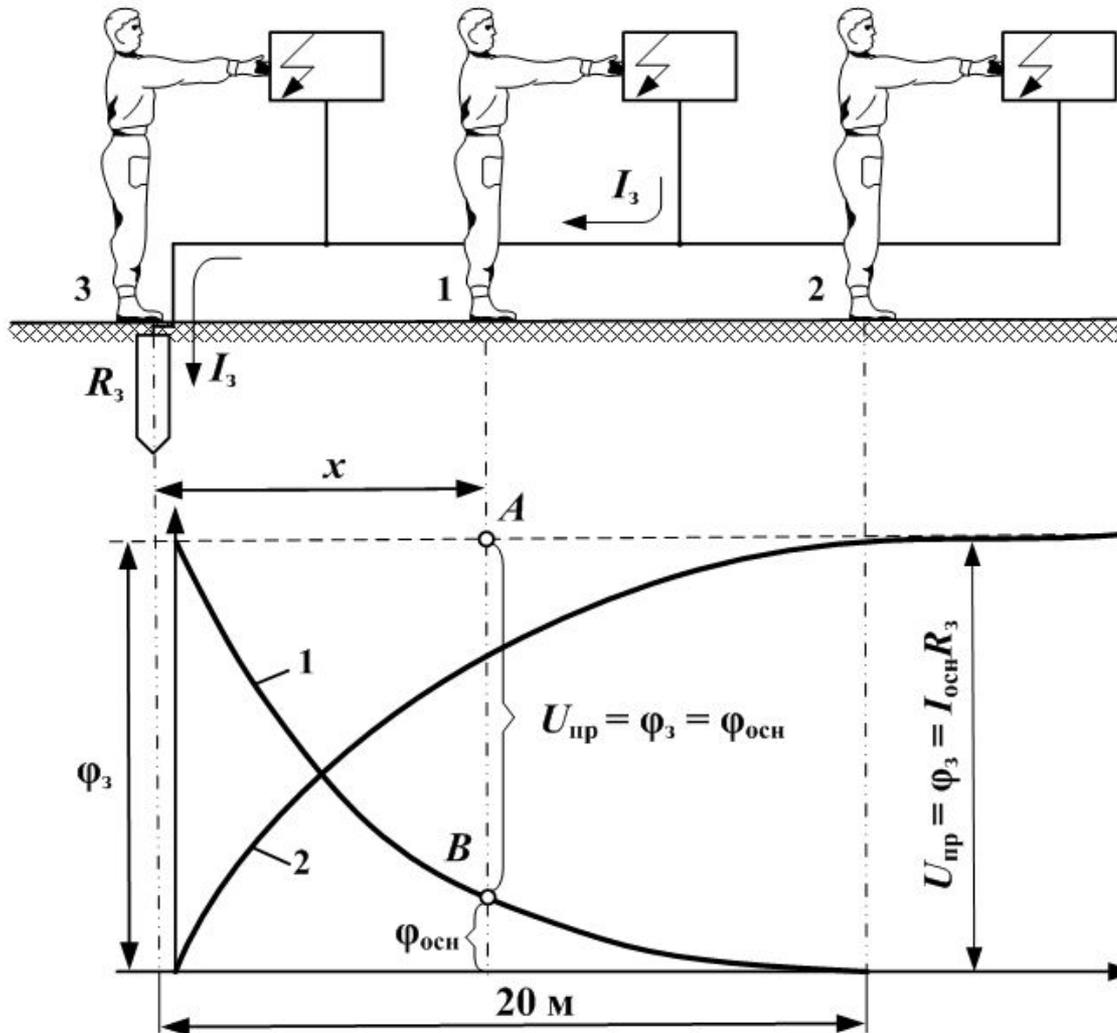
$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 - \varphi_{\text{осн}}, \text{ или } U_{\text{пр}} = \varphi_3 \cdot \alpha_1,$$

где  $\alpha_1$  – 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



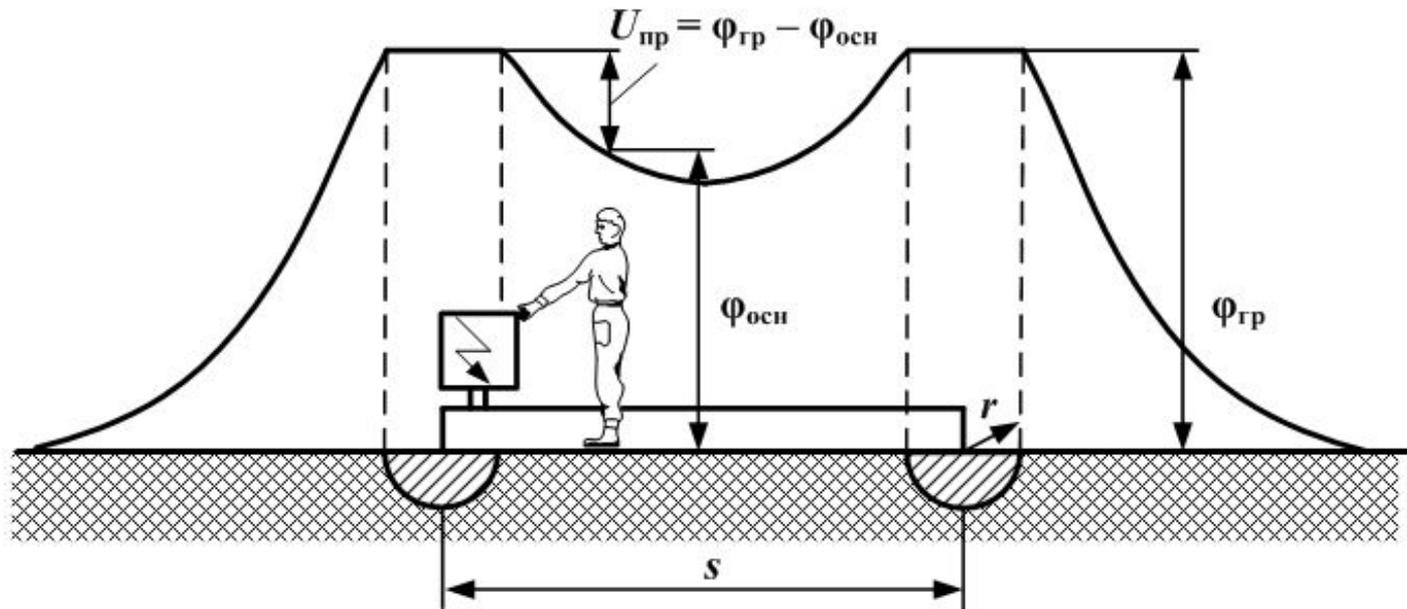
Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса двигателя и стоящего на земле (случай 1), определяется отрезком АВ и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния  $x$  между человеком и заземлителем (чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше  $U_{пр}$  и наоборот). 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  $\phi_3$ , а  $\alpha_1$  – от 0 до 1.

# 1. Напряжение прикосновения

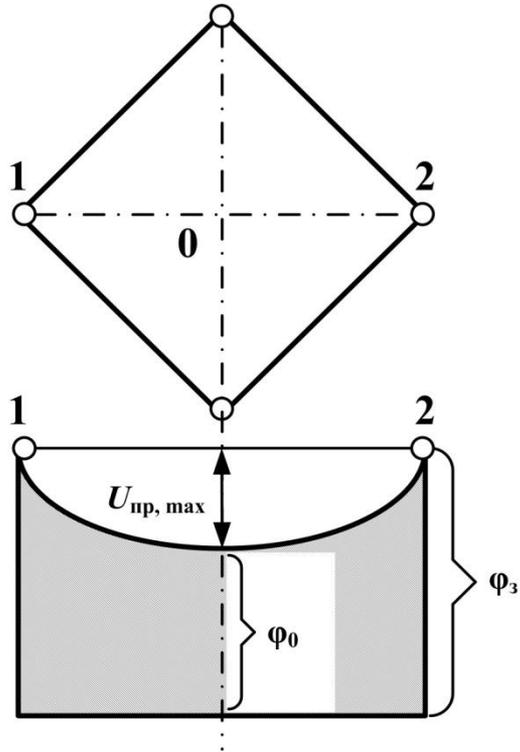
## 1.2. Напряжение прикосновения при групповом заземлителе



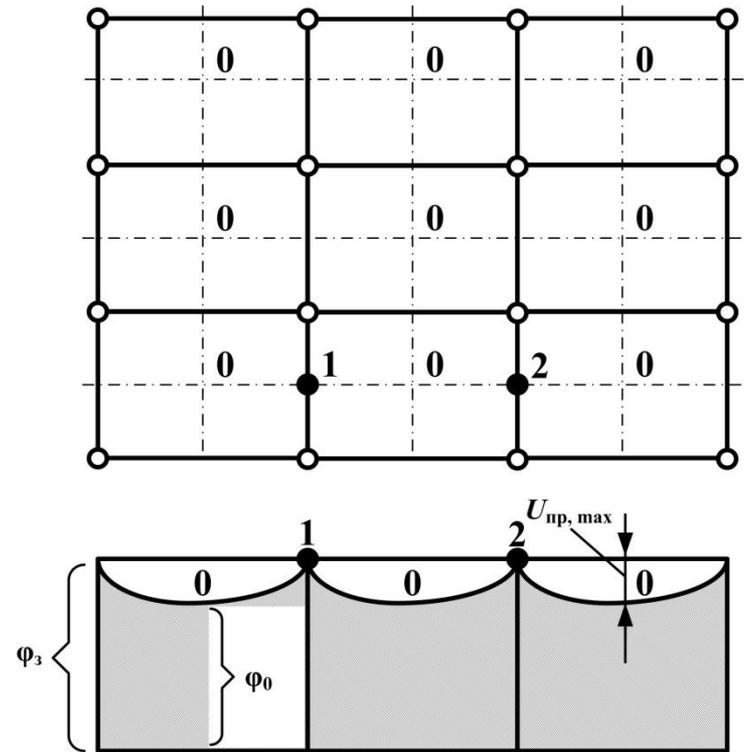
# 1. Напряжение прикосновения

## 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  $\alpha_1$  будут точно в центре ее. При этом в угловых клетках  $U_{\text{пр, max}}$  и  $\alpha_{1 \text{ max}}$  будут больше, чем, в других.

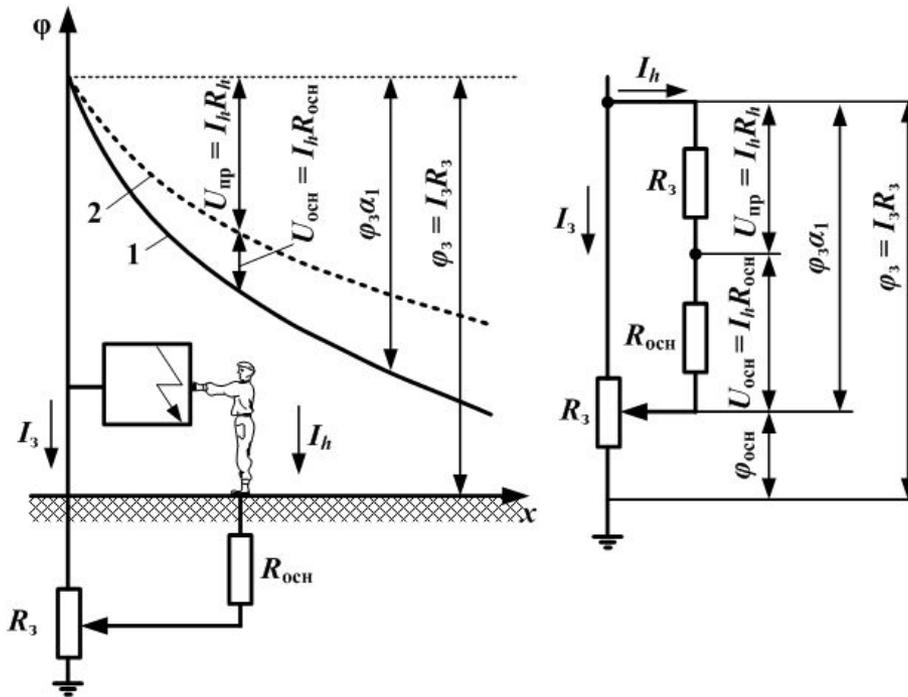
Для заземлителя в однородной земле, выполненного в виде горизонтальной квадратной сетки с квадратными ячейками одинакового размера и равномерным размещением вертикальных электродов по контуру (периметру) заземлителя коэффициент напряжения прикосновения:

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

где  $l_{\text{в}}$  – длина вертикального электрода, м;  $L_{\Gamma}$  – общая длина всех горизонтальных электродов, м;  $a$  – расстояние между вертикальными электродами, м;  $S$  – площадь, занимаемая заземлителем, м<sup>2</sup>.

# 1. Напряжение прикосновения

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



$$\varphi_3 \alpha_1 = I_h (R_h + R_{осн}) = \frac{U_{пр}}{R_h} (R_h + R_{осн})$$

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

$$U_{пр} = \varphi_3 \alpha_1 = \frac{R_h}{R_h + R_{осн}}, \text{ или } U_{пр} = \varphi_3 \alpha_1 \alpha_2$$

где  $\alpha_2$  – коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек:

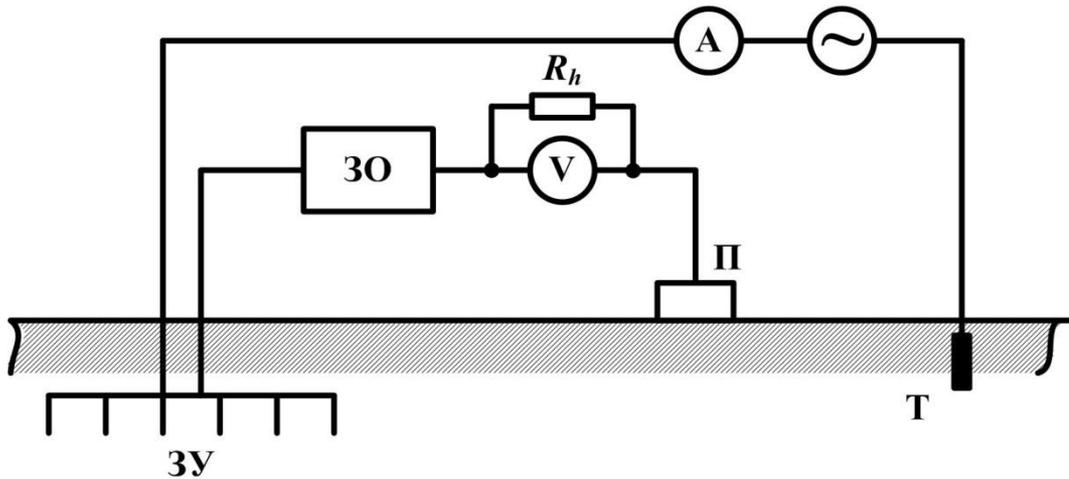
$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + R_{осн}}$$

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

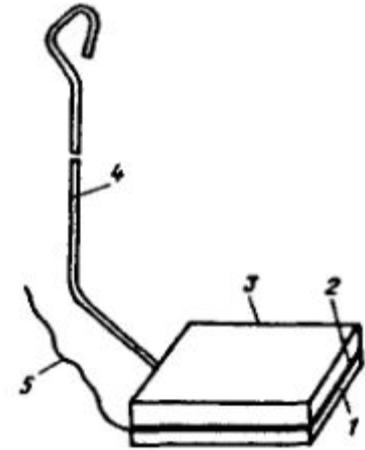
1 – потенциальная кривая; 2 – кривая, характеризующая изменение  $U_{пр}$  с изменением расстояния от заземлителя

# 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:

$$U_{\text{ш}} = I_h R_h,$$

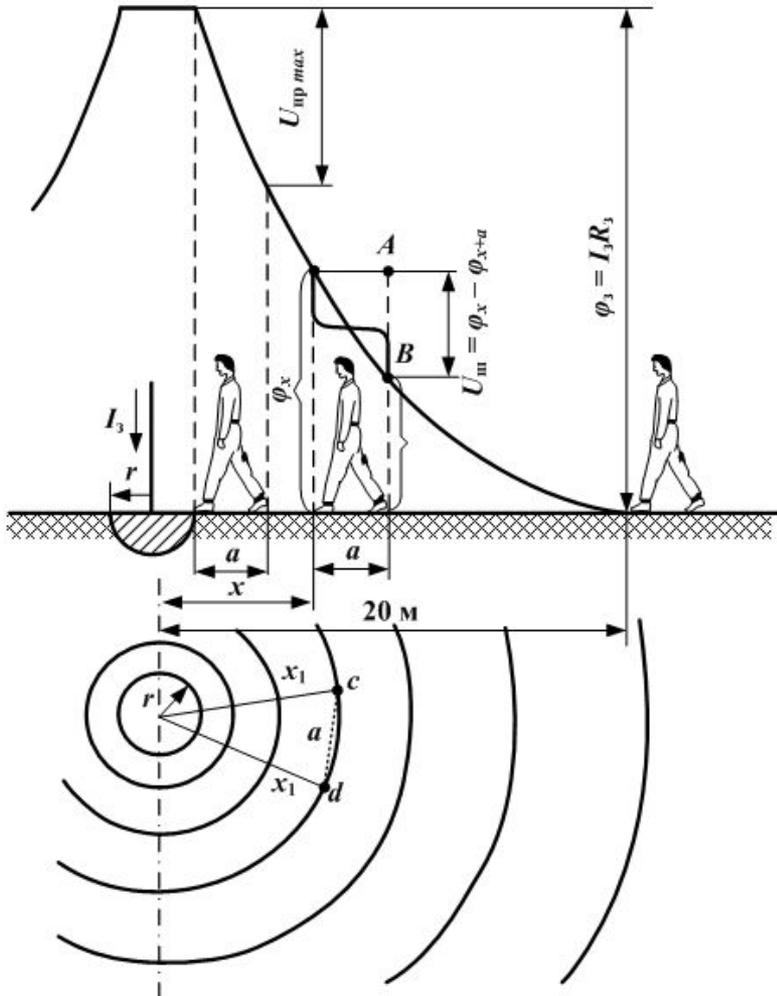
где  $I_h$  – ток, проходящий через человека по пути нога – нога, А;  
 $R_h$  – сопротивление тела человека, Ом.

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  $\varphi_x$  и  $\varphi_{x+a}$ , являются частями потенциала заземлителя  $\varphi_з$ , то их разность также есть часть этого потенциала. Поэтому мы вправе записать

$$U_{\text{ш}} = \varphi_з \beta_1$$

где  $\beta_1$  – коэффициент напряжения шага, или просто коэффициент шага, учитывающий форму потенциальной кривой:

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



## 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

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

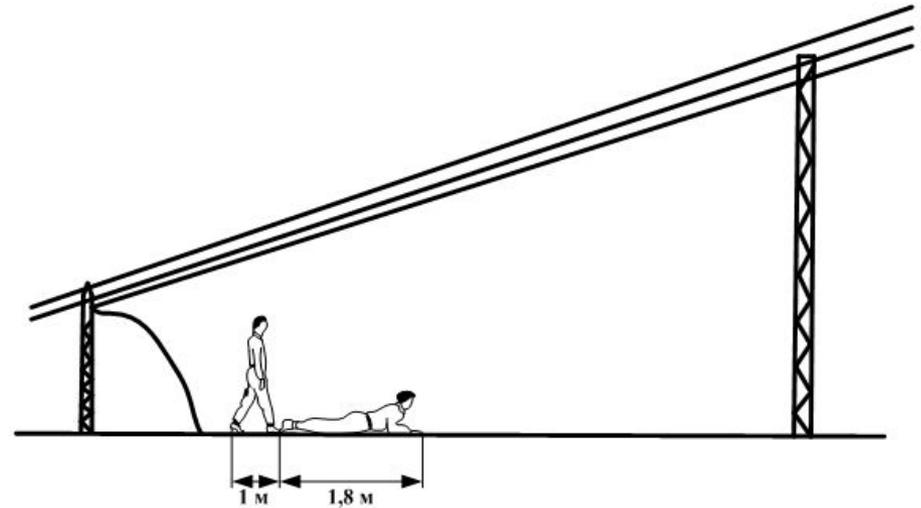
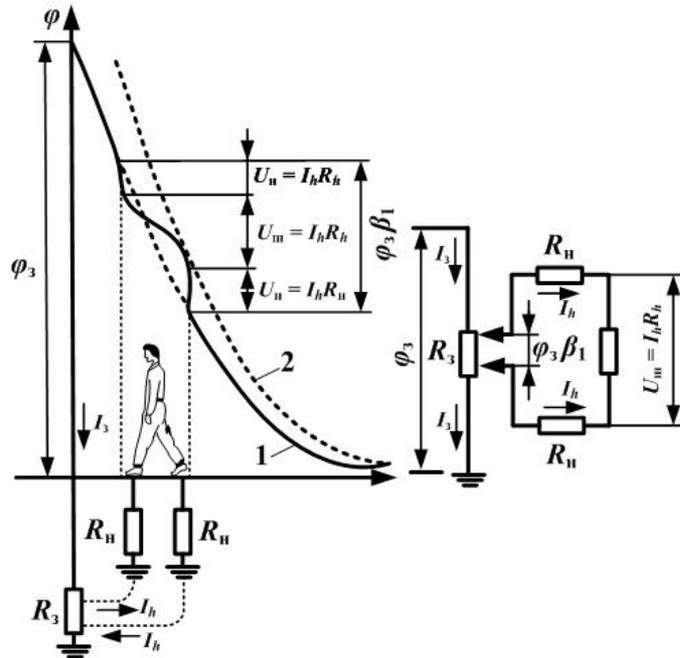
или

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

где  $\beta_2$  – 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