

Электроэнергетический факультет

Кафедра электроснабжения и
эксплуатации

электрооборудования

Учебная дисциплина

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

ТЕМА № 2 Защита от поражения электрическим током

ЛЕКЦИЯ № 4

Одиночные заземлители

Учебные цели

1. Знать характер распределения потенциалов вокруг одиночных заземлителей.

2. Знать порядок расчета одиночных заземлителей.

Учебные вопросы

Введение

- 1. Шаровой заземлитель.**
- 2. Полушаровой заземлитель.**
- 3. Стержневой и дисковый заземлители.**

Заключение

Литература

- 1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ).
– М.: Омега – Л, 2011. – 268с.**
- 2. Правила безопасности при эксплуатации ЭУ. –
М.: ИНФА – М, 2011. – 154с.**
- 3. Межотраслевая инструкция по оказанию
первой помощи при несчастных случаях на
производстве. – М: НЦ ЭНАС, 2011. - 80с.**
- 4. Инструкция по применению и испытанию
средств защиты, используемых в ЭУ. –
Новосибирск: Сибирский унив., 2010. - 80с.**

- 5.Хорольский В.Я, Таранов В.Н, Привалов Е.Е.
Электробезопасность в сельском хозяйстве.
Ставрополь: СтГАУ «АГРУС», 2006. – 131с.**
- 6.Привалов Е.Е, Башкатов А.В., Попов А.Н..
Электробезопасность. – Ставрополь: Изд-во
СтГАУ «АГРУС», 2006. – 81с.**
- 7.Привалов Е. Е. Электробезопасность. Часть1.
Защитное заземление. Ставрополь: СтГАУ
Изд-во «АГРУС», 2008. – 30с.**
- 8.Раздорожный А. А. Охрана труда и
производственная безопасность: учебно -
методическое пособие. – М: Экз., 2007. - 510с.**

Введение

Одиночный заземлитель - проводящая часть находящаяся в контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Искусственный заземлитель - заземлитель, выполняемый для целей заземления.

Естественный заземлитель - сторонняя проводящая часть, находящаяся в контакте с землей непосредственно и используемая заземления.

Заземляющий проводник - проводник, соединяющий заземляемую часть с заземлителем.

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Зона нулевого потенциала - часть земли (вне зоны влияния заземлителя), потенциал которой равен нулю.

Зона растекания - зона земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

Замыкание на землю - случайный контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей.

1. Шаровой заземлитель

Стекание тока в землю происходит через проводник контактирующий с землей (случайно или преднамеренно).

Причины стекания тока в землю:

- 1.Замыкание токоведущей части ЭУ на заземленный корпус.**
- 2.Падение провода на землю.**
- 3.Использование земли в качестве провода.**

Происходит резкое снижение потенциала случайно (преднамеренно) заземленной токоведущей части:

$$\varphi_3 = I_3 R_3 \quad (1)$$

где I_3 - ток, стекающий в землю, А;

R_3 - сопротивление заземлителя, Ом.

Явление стекания тока в землю благоприятно по условиям безопасности (защита от поражения током), но и неблагоприятно – на поверхности земли (вблизи заземлителя) возникают опасные потенциалы.

Шаровой заземлитель на большой глубине.

Погрузим заземлитель радиусом r (м) в землю (нет влияния поверхности земли).

Через шар в землю стекает ток I_3 (подаётся к заземлителю с помощью изолированного проводника). Уравнение для потенциала φ в точке C объема земли dx , отстоящей от центра заземлителя на расстоянии x (рисунок 1):

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{4\pi x}. \quad (2)$$

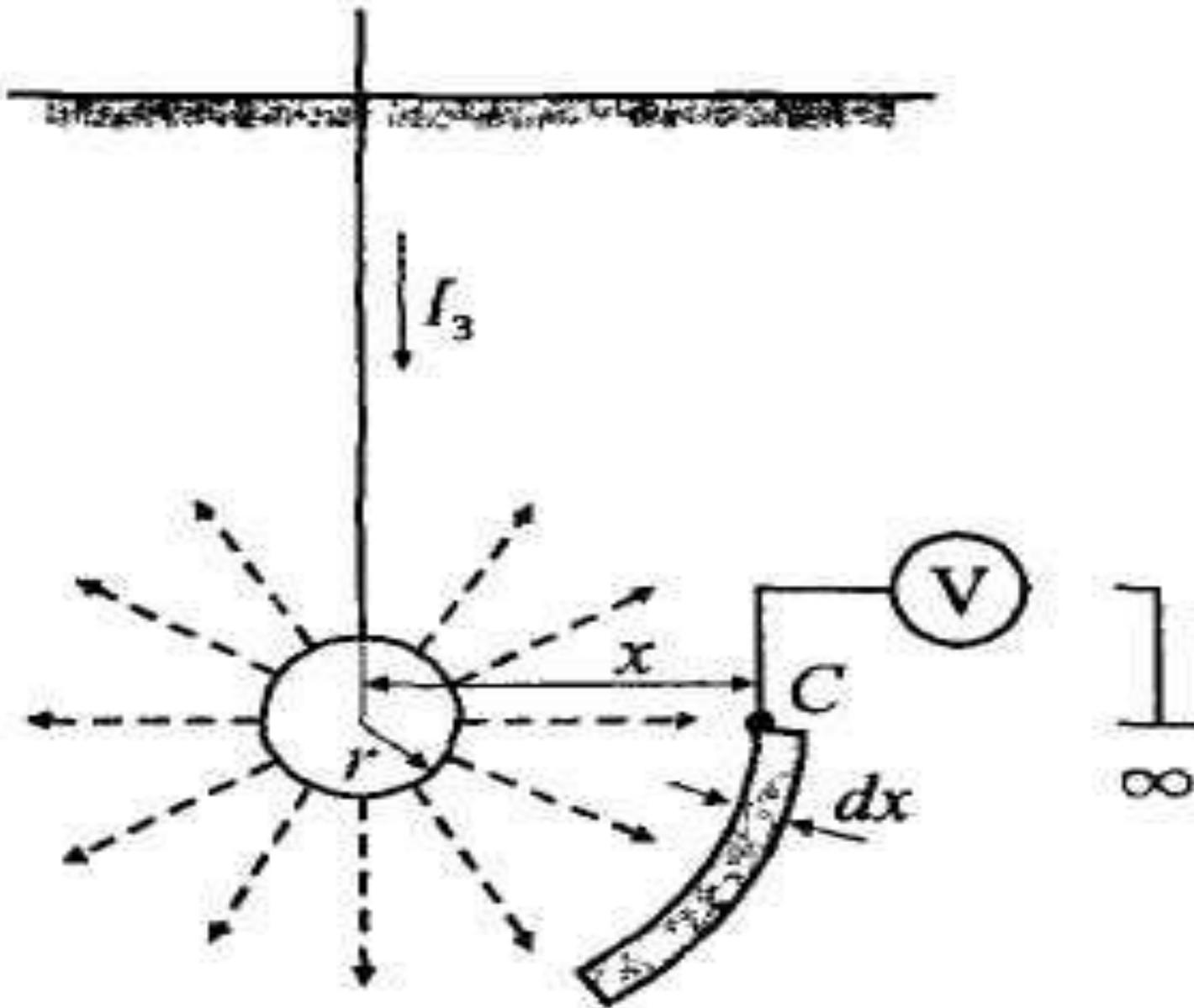


рисунок 1 – шаровой заземлитель погруженный в землю на большую глубину

Потенциал $\varphi = 0$ - точка, отстоящая от заземлителя на расстояние $x = \infty$ (область нулевого потенциала на расстоянии **20м**). Максимальный потенциал на заземлителе (потенциал шарового заземлителя):

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{4\pi r} \quad (3)$$

Заземлитель вблизи поверхности земли (на практике). Применим **метод зеркального изображения заземлителя**, чтобы избежать влияния поверхности земли на линии растекания тока (**рисунок 2**).

Для потенциалов точек на поверхности земли (точка D):

$$m = n = \sqrt{x^2 + t^2},$$

Уравнение потенциальной кривой для точек на поверхности земли:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \frac{1}{m}, \text{ или } \varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{x^2 + t^2}}.$$

Максимальный потенциал заземлителя φ_3 будет при расстояниях $y = 0$ и $x = r$:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{\sqrt{r^2 + 4t^2}} \right).$$

Если $4r^2 \gg r$ (**практика**), то $\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{4\pi r} \left(1 + \frac{r}{2t} \right).$

Выводы. 1. Нулевой потенциал имеет в земле точка на расстоянии 20м, а потенциалы всех точек на поверхности земли за радиусом 20м равны нулю.

2. **Максимальные потенциалы** будут на поверхностях: заземлителя (заглублен в землю) и точки земли (место стекания тока с провода в землю) - опасное местонахождение для человека.

2. Полушаровой заземлитель

Полушаровой - шаровой заземлитель на поверхности (центр на уровне земли).

Уравнение потенциальной кривой из (4) на поверхности земли ($t = 0$):

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi x}.$$

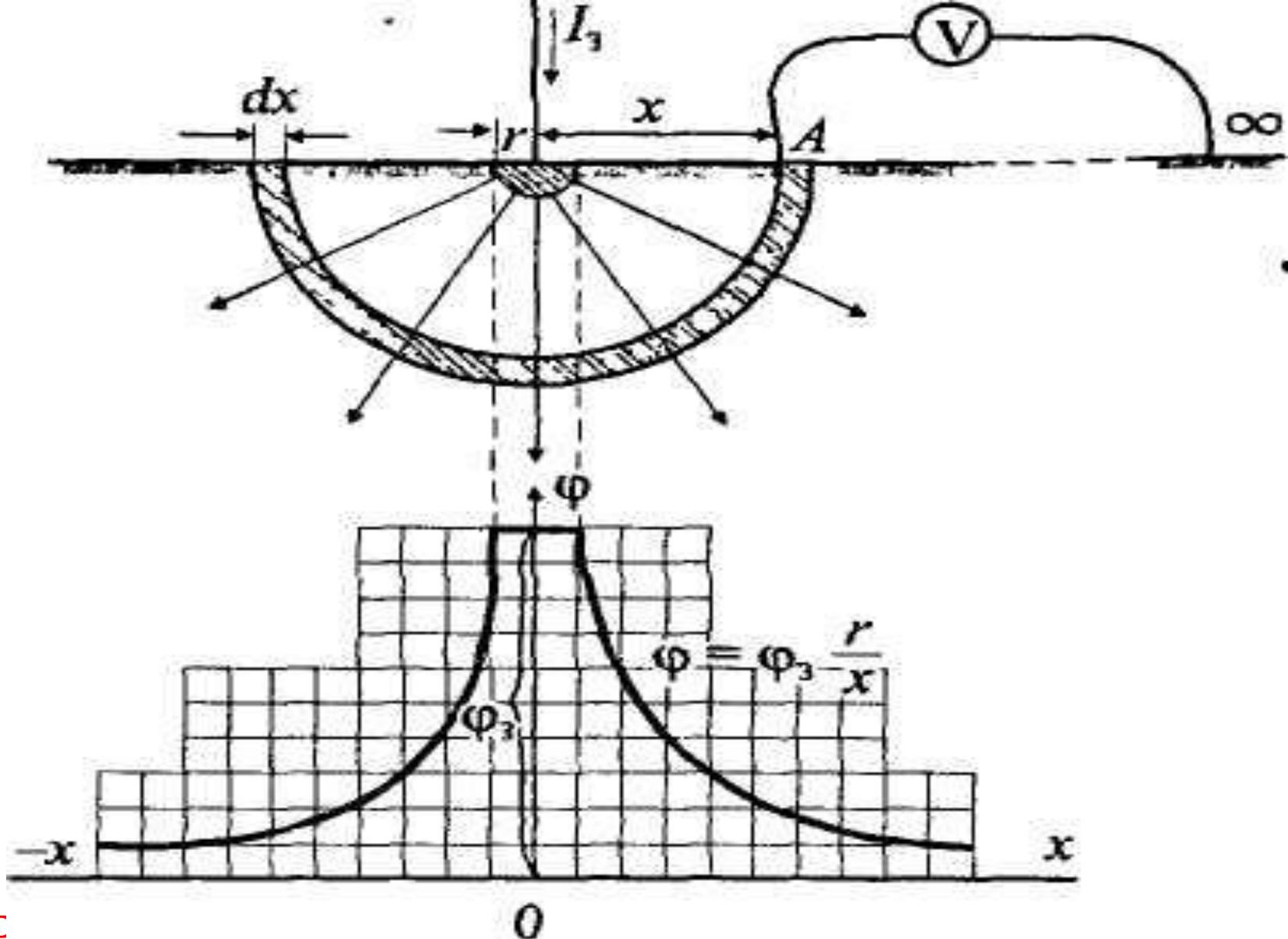
Потенциал заземлителя при радиусе заземлителя $r = x$:

$$\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2\pi r}.$$

Разделив (6) на (7) получим уравнение равносторонней гиперболы

$$(\varphi_3 r = k) :$$

$$(8) \varphi = \varphi_3 r \frac{1}{x}.$$



**Рисунок 5 - распределение потенциала вокруг
полушарового заземлителя**

Вывод. Потенциал на поверхности вокруг заземлителя изменяется по закону гиперболы (уменьшается от максимального φ до нуля по мере удаления от заземлителя).

Пример. На воздушной ЛЭП (выше 1кВ) повреждена изоляция фазного провода и произошло к. з. фазы на металлическую опору. Ток замыкания $I_z = 15\text{А}$ стекает в землю. Металлическая стойка забора на расстоянии $x = 4\text{м}$. Удельное сопротивление однородной земли $\rho = 100\text{ Ом м}$.

Определить: потенциалы опоры ЛЭП и металлического забора, ограждающего ЭУ.

Решение. Металлический фундамент опоры примем за **полушар** радиусом $x = 0,25\text{м}$.

Находим **потенциал металлического забора**:

$$\varphi = (I \cdot \rho) / (2\pi x) = (15 \cdot 100) / (2 \cdot 3,14 \cdot 4) = \mathbf{60\text{В}}.$$

Определяем **потенциал опоры**

$$\varphi = (I \cdot \rho) / (2\pi r) = (15 \cdot 100) / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,25) = \mathbf{960\text{В}}.$$

Таким образом, величины потенциалов металлического забора и опоры воздушной ЛЭП смертельно опасны для человека (животного).

3. Стержневой и дисковый заземлители

Стержневой заземлитель. Вертикальный заземлитель круглого сечения длиной l и диаметром d погружен в землю (рисунок 4).

По заземлителю в землю стекает ток замыкания I_3 . Определим потенциалы заземлителя и точек на поверхности земли. Интегрирование по всей длине заземлителя дает (9) - уравнение потенциальной кривой:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{2\pi l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + l^2} + l}{x}$$

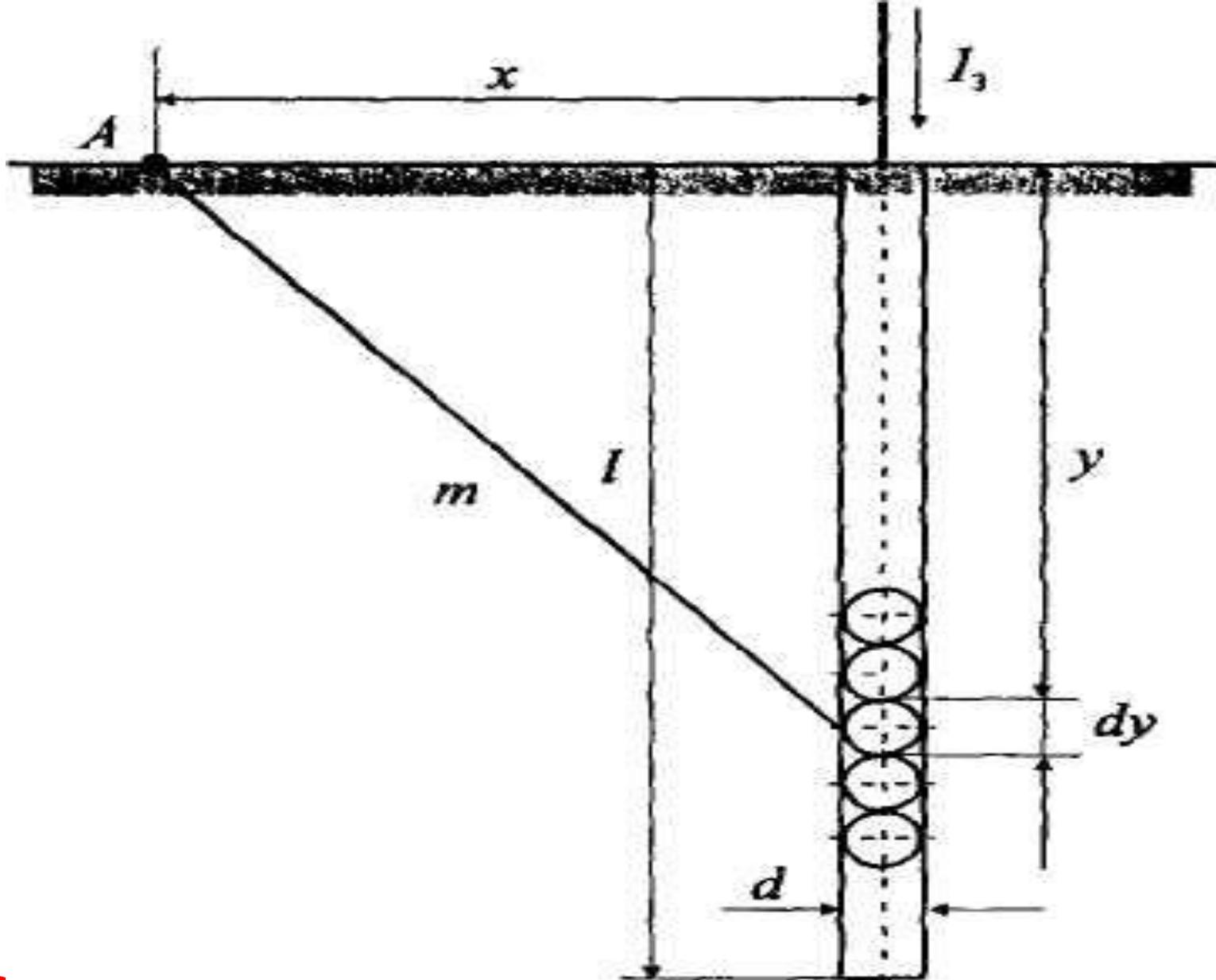


Рисунок 4 – Стержневой заземлитель

Если потенциал заземлителя определяется при $x = 0,5d$ ($0,5d \ll l$), то в (9) первым слагаемым под корнем можно пренебречь.

Уравнение потенциальной кривой

$$\varphi_3 = (I_3 \rho / 2\pi l) l n (4l / d) \quad (10)$$

Дисковый заземлитель - круглая пластина диаметром D лежащая на земле (рисунок 5).

Распределение потенциала на поверхности земли вдоль радиуса диска:

$$\varphi = \frac{I_3 \rho}{\pi D} \arcsin \frac{D}{2x} . \quad (11)$$

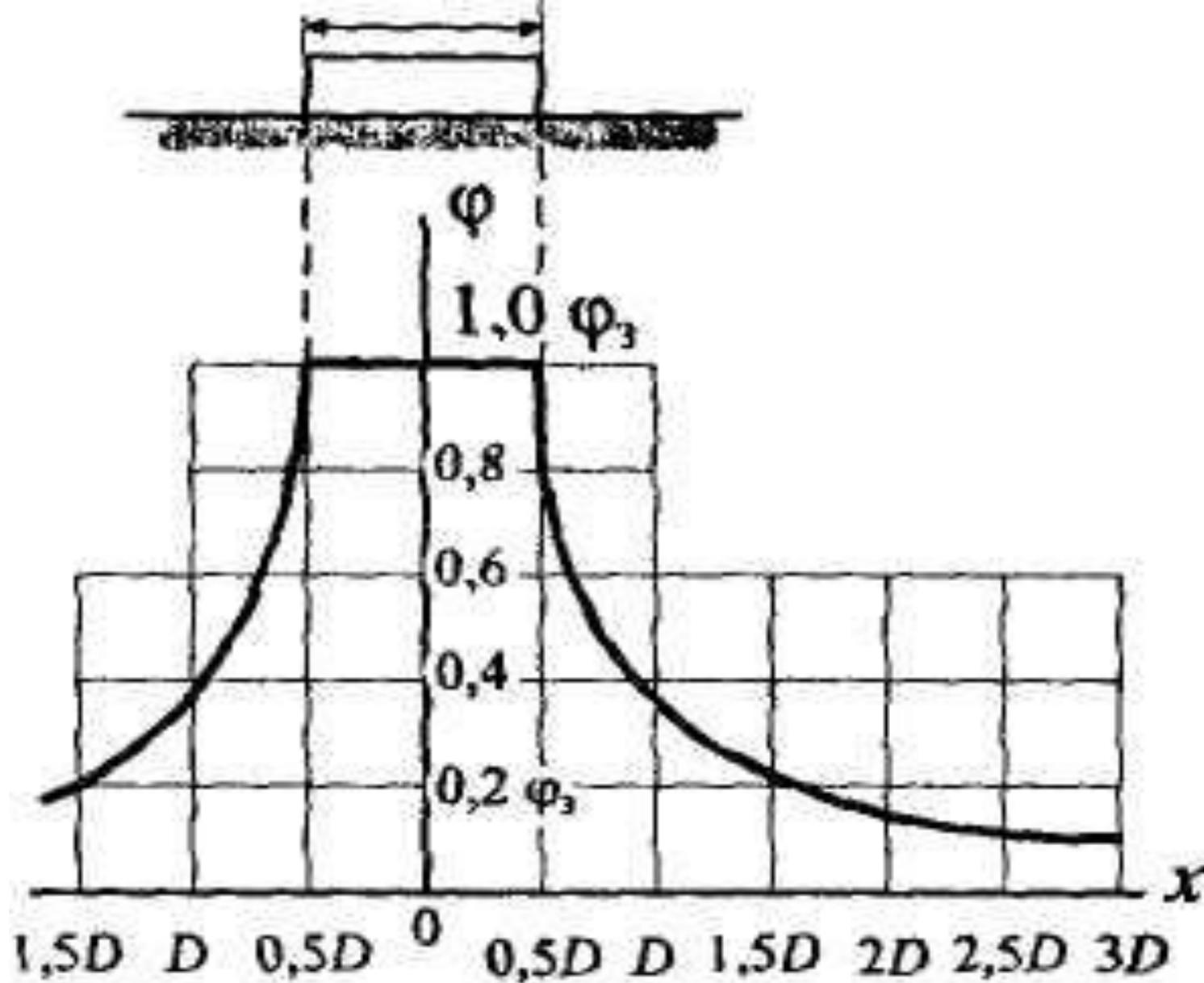


Рисунок 5 - Распределение потенциала на поверхности земли вокруг заземлителя

Потенциал заземлителя при $x = 0,5D$:

(12)

В $\varphi_3 = \frac{I_3 \rho}{2D}$ **поверхностях заземлителей**
(шарового, стержневого и дискового)

образуются эквипотенциальные поверхности с опасным (максимальным) потенциалом. 2.

Потенциал за поверхностью заземлителей уменьшается по закону гиперболы до минимального (опасность тоже падает).

3. Потенциал поверхности земли на расстоянии свыше 20м от заземлителя любой формы практически равен нулю.

Сопротивление заземлителей растеканию тока

Метод электростатической аналогии. Между соотношениями двух электрических полей (электростатического поля в диэлектрике и стационарного электрического поля) есть формальная аналогия.

Метод позволяет при одинаковой конфигурации проводящих тел решать задачи электрического поля для токов, используя готовые решения задач для электростатики.

Определим сопротивление растеканию тока заземлителей отдельных типов.

Сопротивление R получим путем замены емкости C на величину $1/R$ и диэлектрической проницаемости материала ε на величину $1/\rho$

$$R = (\varepsilon \rho) / C, \quad (13)$$

где R - сопротивление заземлителя растеканию тока в однородной среде с удельным сопротивлением ρ (Ом м);

C - емкость рассматриваемого заземлителя в однородной среде с диэлектрической проницаемостью ε (Ф/м).

**Сопротивление растеканию тока с
заземлителя радиусом r по методу зеркального
отображения (рисунок 6). Допущение.**

**Воздушное пространство над поверхностью
заполнено средой с таким же, как у земли,
удельным сопротивлением ρ .**

**Условный шар находится в однородной
безграничной среде. Электрод является
половиной шара, емкость его в 2 раза меньше,
а сопротивление растеканию тока в 2 раза
больше, чем целого шара.**

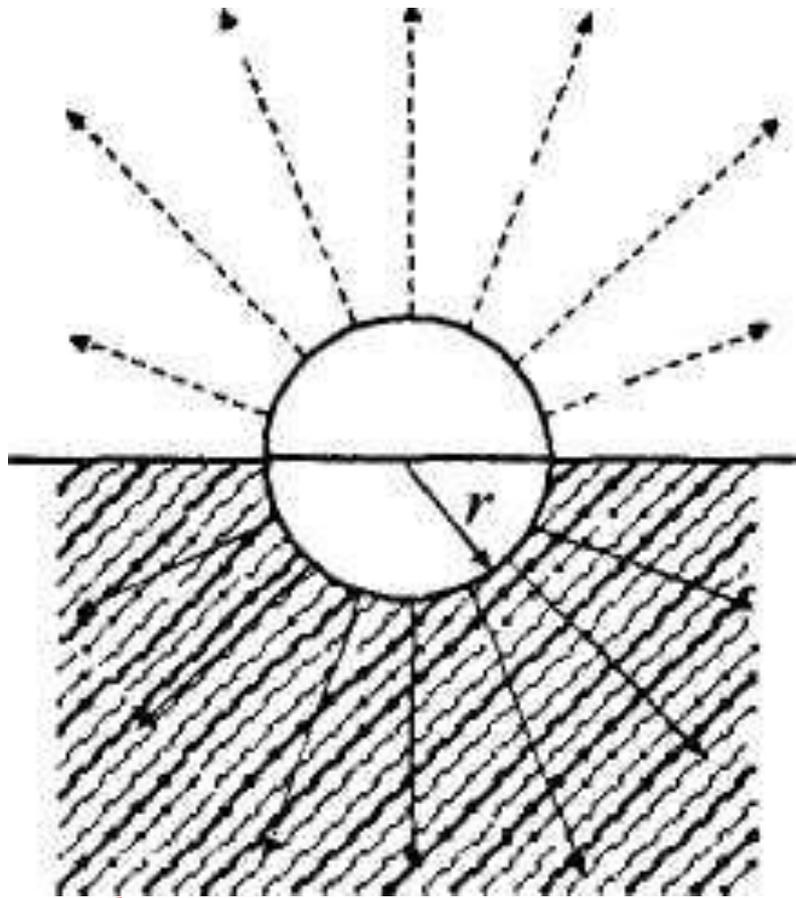


Рисунок 6 - Полушаровой заземлитель, расположенный у поверхности земли и его зеркальное изображение с условными токами стекающими в землю

В результате сопротивление растеканию тока для полушарового заземлителя

$$R_0 = \rho / 2\pi r. \quad (14)$$

Вывод. Используя метод электростатической аналогии можно получать формулы для расчета сопротивлений растеканию тока стержневых и дисковых заземлителей ЭУ, а также сопротивлений протеканию тока между электродами.

