

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХУРОВНЕВОГО ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНОГО ЗАЕМЛИТЕЛЯ ИЗ ОДИНОЧНЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

Нижевский И.В., Нижевский В.И., к.т.н.,  
Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Передача электрической энергии",  
тел. (0572) 707-69-77

*Запропонована методика оцінки аналітичним шляхом електричних параметрів дворівневої конструкції заземлювача з кільцевих електродів. Новизну методики складає облік довільного розташування в ґрунті двох кільцевих заземлювачів між собою. Приведені результати дозволяють зробити правильний вибір геометричних розмірів дворівневого заземлювача з кільцевих електродів для заданих початкових умов при проектуванні або модернізації таких заземлювачів з метою забезпечення нормативних вимог.*

*Предложена методика оценки аналитическим путем электрических параметров двухуровневой конструкции заземлителя из кольцевых электродов. Новизну методики составляет учет произвольного расположения в грунте двух кольцевых заземлителей между собой. Приведенные результаты позволяют сделать правильный выбор геометрических размеров двухуровневого заземлителя из кольцевых электродов для заданных исходных условий при проектировании или модернизации таких заземлителей с целью обеспечения нормативных требований.*

В практике энергетического строительства в ряде случаев оказывается целесообразным применение заземлителей в виде кольца, выполненного из круглой прутковой стали и уложенного параллельно поверхности земли на некоторой глубине. Конструкция такого заземлителя характеризуется тремя параметрами: радиусом  $r$  прутка, радиусом  $R$  окружности по осевой линии кольца и глубиной  $H$  его укладки от поверхности земли. Расчет стационарного сопротивления растеканию  $R_{\Sigma}$  кольцевого заземлителя известен [1]. Что же касается аналитической оценки параметров двухуровневой конструкции заземлителя, состоящего из двух кольцевых электродов, то она может быть выполнена после решения задачи расчета электрического поля в грунте в окрестностях такого заземлителя. Аналитический расчет заземлителей использует электростатическую аналогию, которая заключается в том, что поле тока в земле подчиняется тем же законам, что и электростатическое поле. В общем случае электростатическая аналогия позволяет использовать для расчета сложных заземлителей [2] уравнения Максвелла:

$$\varphi_k = \sum_{i=1}^n \alpha_{ki} I_i. \quad (1)$$

В этом уравнении величины  $\alpha_{ki}$ , называемые в электростатике потенциальными коэффициентами, представляют собой собственные (при  $k = i$ ) и взаимные (при  $k \neq i$ ) сопротивления. При этом по принципу взаимности  $\alpha_{ki} = \alpha_{ik}$ .

Воспользуемся также широко известным методом зеркальных изображений. Зеркальные изображения источников тока в непроводящем полупространстве имеют направление тока, совпадающее с направлением тока источников. В электростатике, как известно, зеркальные изображения в проводящем полупространстве получают заряд противоположного знака.

На основании этих методов потенциал в произвольной точке поля в грунте определяется суммой потенциалов, наводимых собственным током  $I$  заземлителя и током  $I'$  его зеркального изображения.

При соотношениях  $R/r \geq 7$  и  $2H/r \geq 6$  (обозначения показаны на рис. 1) с погрешностью менее 1% связь между потенциалом  $\varphi$  кольцевого заземлителя и стекающим с него током  $I$  может быть установлена в предположении, что плотность тока во всех точках кольцевого заземлителя одинакова.

Рассмотрим двухуровневый заземлитель в виде двух одинаковых колец, размещенных в грунте параллельно поверхности земли на двух разных уровнях соосно, как показано на рис. 1.

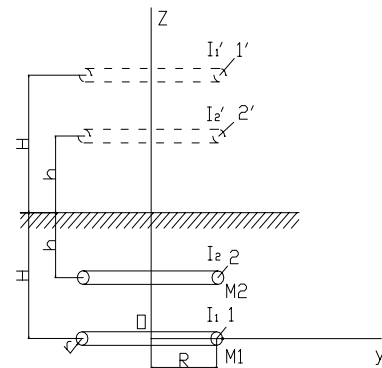


Рис. 1. Двухуровневый заземлитель при соосном расположении кольцевых электродов

В общем случае будем считать, что с кольцевого заземлителя 1 (первый уровень) стекает равномерно ток  $I_1$ , а с кольцевого заземлителя 2 (второй уровень) стекает равномерно ток  $I_2$ , а с соответствующих им зеркальных изображений стекают равномерно токи  $I_1' = I_1$  и  $I_2' = I_2$ .

Используя приведенные в работе [3] формулы, определим составляющие потенциала в произвольной точке плоскости расположения кольцевого заземлителя первого уровня, например в точке  $M_1$ .

Потенциал  $\varphi_{11}$  в точке  $M_1$  на поверхности кольцевого заземлителя первого уровня, создаваемый собственным током  $I_1$ , определяется по выражению:

$$\varphi_{11} = \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{y+R} \cdot \ln 4 \frac{y+R}{y-R}. \quad (2)$$

Потенциал  $\varphi_{11}'$  в точке  $M1$ , создаваемый током  $I_1'$  его зеркального изображения, определяется по выражению:

$$\varphi_{11}' = \frac{\rho I_1'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + (y-R)^2}}. \quad (3)$$

Потенциал  $\varphi_{12}$  в точке  $M1$ , создаваемый током  $I_2$  кольцевого заземлителя второго уровня, определяется по выражению:

$$\varphi_{12} = \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + (y-R)^2}}. \quad (4)$$

Потенциал  $\varphi_{12}'$  в точке  $M1$ , создаваемый током  $I_2'$  зеркального изображения кольцевого заземлителя второго уровня, определяется по выражению:

$$\varphi_{12}' = \frac{\rho I_2'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + (y-R)^2}}. \quad (5)$$

В общем виде суммарный потенциал в точке  $M1$  выразим как

$$\varphi_{M1} = (\varphi_{11} + \varphi_{11}') + (\varphi_{12} + \varphi_{12}'), \quad (6)$$

или, подставляя приведенные выше выражения (2)-(5) в формулу (6), получаем

$$\begin{aligned} \varphi_{M1} = & \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{y+R} \cdot \ln 4 \frac{y+R}{y-R} + \\ & + \frac{\rho I_1'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + (y-R)^2}} + \\ & + \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + (y-R)^2}} + \\ & + \frac{\rho I_2'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + (y-R)^2}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Имея в виду, что заземлитель состоит из двух кольцевых электродов, на основании соотношения (1) для кольцевого заземлителя первого уровня можно записать

$$U_1 = \varphi_{M1} = \alpha_{11} I_1 + \alpha_{12} I_2. \quad (8)$$

Анализ выражений (7) и (8) приводит к следующему заключению.

Собственное сопротивление  $\alpha_{11}$  кольцевого заземлителя первого уровня с учетом его зеркального изображения определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} = & \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{y+R} \cdot \ln 4 \frac{y+R}{y-R} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + (y-R)^2}} \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Взаимное сопротивление  $\alpha_{12}$  между кольцевым заземлителем первого уровня и кольцевым заземлителем второго уровня с учетом его зеркального изображения определяется по выражению:

$$\begin{aligned} \alpha_{12} = & \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + (y-R)^2}} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + (y-R)^2}} \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Если точка  $M1$  находится на внешней поверхности кольцевого заземлителя первого уровня, то ее координаты  $y = R + r$  и  $z = 0$ . Подставляя эти значения в выражения (7), (9) и (10), а также учитывая, что реальные кольцевые заземлители имеют  $R \gg r$ , с достаточной для инженерных расчетов точностью получаем следующие приближенные выражения:

$$\begin{aligned} U_{M1} \cong & \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + r^2}} \right] + \\ & + \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + r^2}} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + r^2}} \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{11} \cong & \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + r^2}} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{12} \cong & \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + r^2}} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + r^2}} \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Составляющие потенциала кольцевого заземлителя второго уровня в точке  $M2$ , т.е. на внешней его поверхности, как и в случае кольцевого заземлителя первого уровня будут следующие.

$$\varphi_{22} = \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{y+R} \cdot \ln 4 \frac{y+R}{y-R}. \quad (14)$$

$$\varphi_{22}' = \frac{\rho I_2'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(2h)^2 + (y-R)^2}} \quad (15)$$

$$\varphi_{21} = \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + (y-R)^2}} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{21}' = & \frac{\rho I_1'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}} \times \\ & \times \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + (y-R)^2}}. \end{aligned} \quad (17)$$

На основании выражений (14)-(17) получаем суммарный потенциал кольцевого заземлителя второго уровня, а также, с учетом принятых ранее упрощений, его собственное и взаимное сопротивления:

$$\begin{aligned} \varphi_{M2} = U_2 = \alpha_{22}I_2 + \alpha_{21}I_1 = \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{y+R} \cdot \ln 4 \frac{y+R}{y-R} + \\ + \frac{\rho I_2'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(2h)^2 + (y-R)^2}} + \\ + \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + (y-R)^2}} + \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} + \frac{\rho I_1'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + (y-R)^2}} \\ \alpha_{22} \cong \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2h)^2 + r^2}} \right] \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \alpha_{21} \cong \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H-h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(H-h)^2 + r^2}} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(H+h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(H+h)^2 + r^2}} \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Сопоставляя выражения (13) и (20), видим, что  $\alpha_{12} = \alpha_{21}$ , т.е. соблюдается принцип взаимности.

Расчет рассматриваемого двухуровневого заземлителя сводится, согласно (1), к решению системы двух уравнений, написанных для кольцевых заземлителей первого и второго уровней:

$$\begin{cases} U_1 = \varphi_{M1} = \alpha_{11}I_1 + \alpha_{12}I_2 \\ U_2 = \varphi_{M2} = \alpha_{21}I_1 + \alpha_{22}I_2 \end{cases} \quad (21)$$

Если  $U_1 = U_2 = U$ , тогда сопротивление растеканию заземлителя, на основании [1], определяется по выражению

$$R_{\Sigma} = \frac{U}{I_1 + I_2} = \frac{\alpha_{11} \cdot \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12}} \quad (22)$$

Теперь рассмотрим двухуровневый заземлитель в виде двух кольцевых заземлителей, размещенных в грунте параллельно поверхности земли на разных уровнях, причем оси симметрии этих заземлителей расположены на расстоянии  $D \gg 2R$ , как показано на рис. 2.

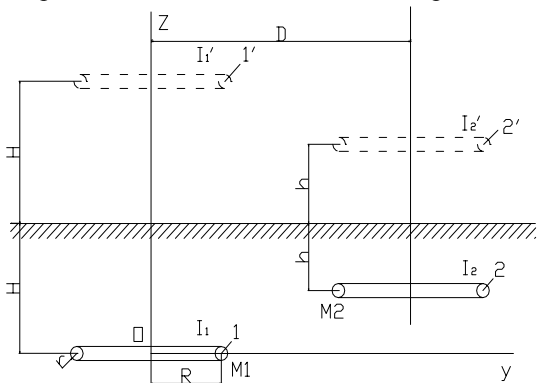


Рис. 2. Двухуровневый заземлитель при параллельном смещении осей кольцевых электродов на расстояние  $D$

Используя аналогичный вышеизложенному подход, выразим составляющие потенциала в рассматриваемой точке  $M1$  в общем виде:

$\varphi_{11}$  и  $\varphi_{11}'$  определяются по выражениям (2) и (3) соответственно;

$$\begin{aligned} \varphi_{12} = \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (y+R)^2}} \times \\ \times \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{yR}{(H-h)^2 + (y+R)^2} \right] \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{12}' = \frac{\rho I_2'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (y+R)^2}} \times \\ \times \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{yR}{(H+h)^2 + (y+R)^2} \right]. \end{aligned} \quad (24)$$

Учитывая, что в этом случае для кольцевого заземлителя второго уровня относительно точки  $M1$  координата  $y = D - R$ , а также принимая предыдущие упрощения, получаем следующие составляющие потенциала.

$$\varphi_{11} = \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} \quad (25)$$

$$\varphi_{11}' = \frac{\rho I_1'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}} \times \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + r^2}} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{12} = \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + (D-R+R)^2}} \times \\ \times \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H-h)^2 + (D-R+R)^2} \right] \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \varphi_{12}' = \frac{\rho I_2'}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + (D-R+R)^2}} \times \\ \times \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H+h)^2 + (D-R+R)^2} \right]. \end{aligned} \quad (28)$$

На основании соотношений (25)-(28) потенциал в искомой точке  $M1$  рассчитывается по формуле

$$\begin{aligned} U_{M1} \cong \frac{\rho I_1}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + r^2}} \right] + \\ + \frac{\rho I_2}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H-h)^2 + D^2} \right] + \right. \\ \left. + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H+h)^2 + D^2} \right] \right\}. \end{aligned} \quad (29)$$

Из формулы (29) следует, что собственное и взаимное сопротивления кольцевого заземлителя первого уровня в такой двухуровневой конструкции составляют:

$\alpha_{11}$  определяется по выражению (12);

$$\alpha_{12} \cong \frac{\rho}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H-h)^2 + D^2} \right] + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H+h)^2 + D^2} \right] \right\}. \quad (30)$$

Выполняя аналогичные преобразования для кольцевого заземлителя второго уровня, получаем суммарный потенциал  $U_{M2}$ , а также его собственное и взаимное сопротивление:

$$U_{M2} \cong \frac{\rho I_2}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2h)^2 + r^2}} + \frac{\rho I_1}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{(H-h)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H-h)^2 + D^2} \right] + \frac{1}{\sqrt{(H+h)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(H+h)^2 + D^2} \right] \right\} \right] \quad (31)$$

$$\alpha_{22} \cong \frac{\rho}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2h)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2h)^2 + r^2}} \right]. \quad (32)$$

По принципу взаимности  $\alpha_{21} = \alpha_{12}$ , т.е.  $\alpha_{21}$  рассчитывается по формуле (30).

Результирующее сопротивление определяется по формуле (22).

Полученные выражения (30) – (32) позволяют рассмотреть другой частный случай, когда второй кольцевой заземлитель находится на расстоянии  $D$  от первого в одной с ним плоскости, т.е. когда  $h = H$ , как показано на рис. 3.

В этом случае при  $U_1 = U_2 = U$  и  $I_1 = I_2 = I$  аналитические выражения принимают следующий вид.

$$U_M \cong \frac{\rho I}{2\pi^2} \cdot \left[ \frac{1}{2R} \cdot \ln \frac{8R}{r} + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}} \cdot \ln 4 \frac{\sqrt{(2H)^2 + (2R)^2}}{\sqrt{(2H)^2 + r^2}} + \frac{\rho I}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{D} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{D^2} \right] + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(2H)^2 + D^2} \right] \right\} \right] \quad (33)$$

$\alpha_{11}$  рассчитывается по формуле (12);

$$\alpha_{12} \cong \frac{\rho}{4\pi} \cdot \left\{ \frac{1}{D} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{D^2} \right] + \frac{1}{\sqrt{(2H)^2 + D^2}} \cdot \left[ 1 + \frac{(D-R)R}{(2H)^2 + D^2} \right] \right\}. \quad (34)$$

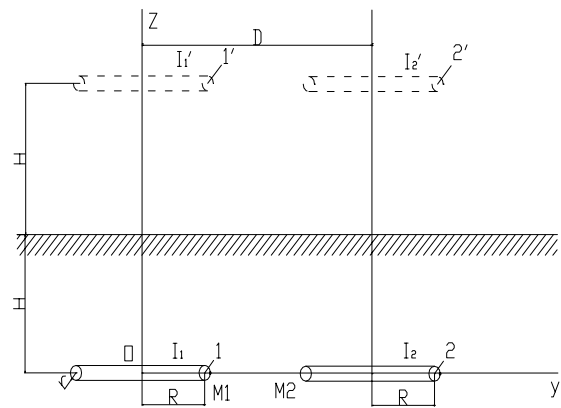


Рис. 3. Заземлитель из двух кольцевых электродов, расположенных в одной плоскости

Так как заземлитель симметричный, то в этом случае  $\alpha_{11} = \alpha_{22}$  и  $\alpha_{12} = \alpha_{21}$ . Сопротивление растеканию заземлителя также определяется по формуле (22), которая при этом существенно упрощается.

## ВЫВОДЫ

1. В работе впервые предложена методика оценки аналитическим путем электрических параметров двухуровневой конструкции заземлителя, состоящего из двух кольцевых электродов. Новизну методики составляет учет произвольного расположения в грунте двух кольцевых заземлителей между собой.

2. Приведенные результаты позволяют при проектировании или модернизации сделать правильный выбор геометрических параметров двухуровневой конструкции заземлителя из кольцевых электродов для заданных исходных условий с целью обеспечения нормативных требований.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ослон А.Б. Заземляющие устройства на линиях электропередачи и подстанциях высокого напряжения. Итоги науки и техники. Электрические станции, сети и системы. - М.: Изд-во ВИНТИ, 1966. - С. 65-184.
- [2] Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 400 с.
- [3] Нижевский В.И., Нижевский И.В. Исследование электрического поля в грунте в окрестностях кольцевого заземлителя // Східно-Європейський журнал передових технологій. - Харків: Технологічний центр. - 2008. - №3/4(33). - С. 54-58.

Поступила 27.12.2007