

УДК 621.315

*А. А. Красных, И. Л. Кривошеин,
Е. В. Косолапов, А. Л. Козлов*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ЗОНЕ ПАДЕНИЯ ПРОВОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–35 КВ

Актуальность рассмотренной в статье задачи обусловлена опасностью поражения электрическим током людей и животных в зоне растекания тока замыкания одного из фазных проводов воздушной линии электропередачи напряжением 6 – 35 кВ, упавшего на землю. Цель работы заключается в исследовании особенностей распределения сопротивления грунта, потенциалов и падений напряжений в зоне падения провода воздушной линии электропередачи напряжением 6 – 35 кВ. В статье описана методика расчета сопротивления грунта и приведены результаты экспериментальных исследований потенциала в распределительных сетях напряжением 10 кВ производственного объединения «Северные электрические сети» ПАО «МРСК Центра и Приволжья». Статья предназначена специалистам-энергетикам, научным сотрудникам, преподавателям и студентам вузов энергетической направленности и заинтересованным читателям.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, воздушные распределительные сети напряжением 6-35 кВ, полушаровой заземлитель, параметры электробезопасности.

Опасность поражения электрическим током людей и животных в значительной степени зависит от размеров, формы и расположения заземлителя. В теории упавший на землю провод воздушной линии (ВЛ) рассматривается как протяженный заземлитель круглого сечения [1], заглубленный на половину своего диаметра. В действительности контакт с землей имеют лишь несколько участков упавшего провода, длина которых мала по сравнению с длиной, лежащего на

земле участка провода, то есть контакты провода с землей можно считать точечными.

Потенциальная кривая заземлителя любой формы на расстоянии, значительно превышающем размеры самого заземлителя, приближается к потенциальной кривой полушарового заземлителя. То есть, точечный контакт провода с землей может быть рассмотрен как полушаровой заземлитель, находящиеся у поверхности земли с радиусом, равным радиусу провода ВЛ (рис. 1).

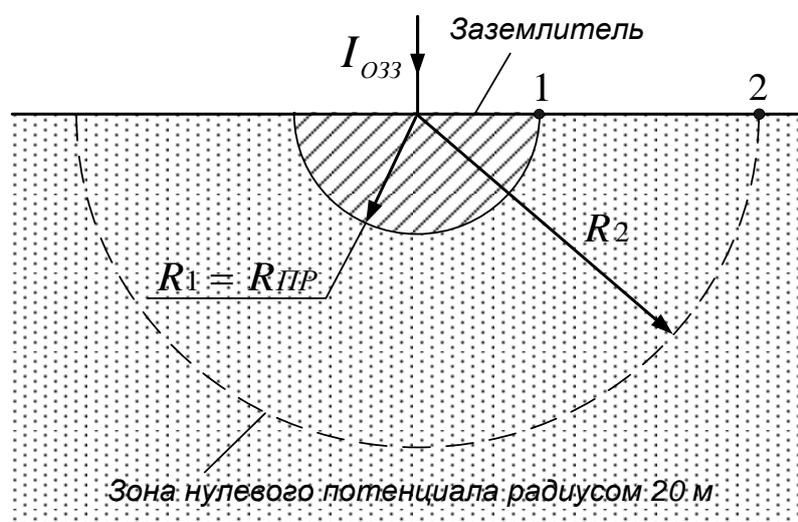


Рис. 1. Полушаровой заземлитель у поверхности земли

Определим распределение сопротивления грунта в случае точечного контакта провода ВЛ и земли. Зная площадь контакта, равную поверхности полушеры заземлителя $S = 2\pi \cdot r^2$, определим плотность δ тока I_{O33} на его поверхности [2]:

$$\delta = \frac{I_{O33}}{S}. \quad (1)$$

$$\delta = \frac{I_{O33}}{2\pi \cdot r^2}. \quad (2)$$

Согласно закону Ома в дифференциальной форме найдем напряженность электрического поля:

Технические науки

$$E = \frac{\delta}{\gamma} = \frac{I_{o33}}{2\pi\gamma \cdot r^2}. \quad (3)$$

Определим напряжение между двумя точками на поверхности земли:

$$U_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \vec{E} \cdot d\vec{r} = \frac{I_{o33}}{2\pi\gamma} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2}. \quad (3)$$

$$U_{12} = \frac{I_{o33}}{2\pi\gamma} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right). \quad (4)$$

Сопротивление грунта формируется всей зоной растекания тока, то есть объемом земли, начиная от поверхности провода до зоны нулевого потенциала. В реальных условиях зона растекания ограничивается расстоянием 20 метров [3]. Значит, полное сопротивление грунта R_{Σ} можно найти по следующей формуле:

$$R_{\Sigma} = \frac{U_{12}}{I_{o33}} = \frac{1}{2\pi\gamma} \left(\frac{1}{r_{np}} - \frac{1}{20} \right). \quad (5)$$

Часть этого сопротивления R_x , ограниченную неким радиусом r_x определим по следующей формуле:

$$R_x = \frac{1}{2\pi\gamma} \left(\frac{1}{r_{np}} - \frac{1}{r_x} \right). \quad (6)$$

Построим график, показывающий, как нарастает сопротивление грунта $\frac{R_x}{R_{\Sigma}} \cdot 100\%$ в процентном соотношении с удалением от точки контакта (рис. 2).

Проведенные расчеты показали, что при точечном контакте провода ВЛ и земли на расстоянии одного шага (1 м) сосредоточено фактически все сопротивление грунта (99,7%). Причем наибольшая его часть располагается в области, находящейся непосредственно вблизи места контакта. Так в 10 см от места контакта провода ВЛ с землей сосредоточено 96,8 % сопротивления грунта, а на расстоянии 1 см – 68%.

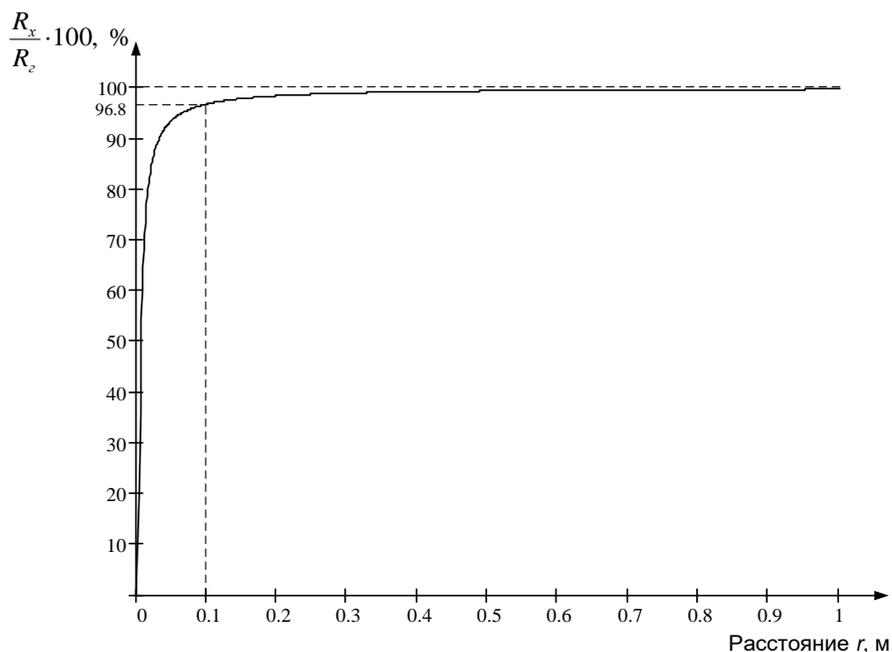


Рис. 2. Распределение сопротивления грунта при удалении от точки контакта провода ВЛ с землей

Используя описанную выше методику, авторами было рассчитано распределение грунта в случае заземлителя круглого сечения, заглубленного на половину своего диаметра (рис. 3).

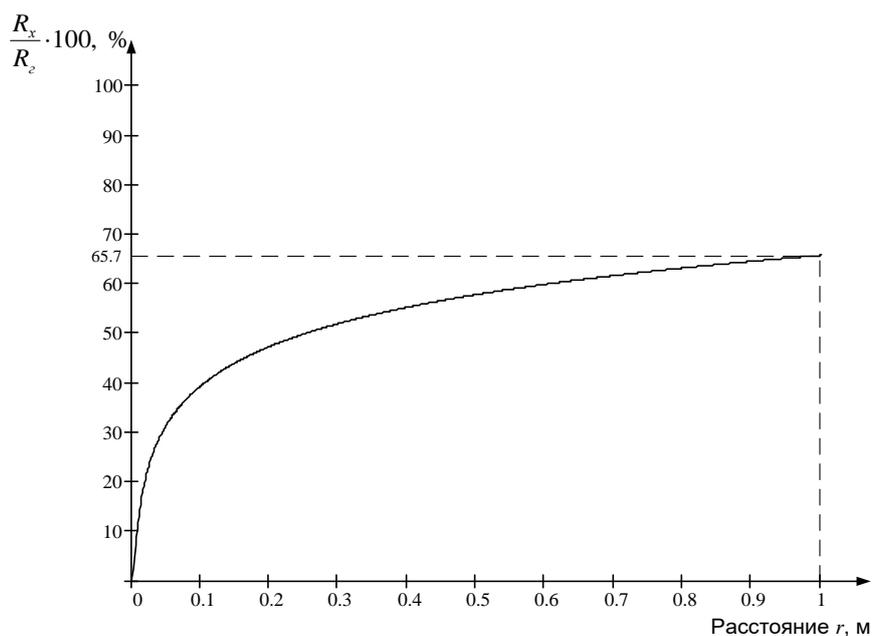


Рис. 3. Распределение сопротивления грунта в случае заземлителя круглого сечения, заглубленного на половину своего диаметра

Сравнивая опасность поражения током людей и животных в зоне растекания тока полушарового заземлителя и заземлителя круглого сечения заглубленного на половину своего диаметра, можно отметить, что:

- напряжение прикосновения к упавшему проводу максимально в случае полушарового заземлителя. На первый шаг приходится 99,7% сопротивления грунта, против 65,7%;
- в случае заземлителя круглого сечения, заглубленного на половину своего диаметра, опасная зона действия шагового напряжения наибольшая. В случае полушарового заземлителя опасная зона действия шагового напряжения ограничена одним шагом.

Измерение распределения потенциала по поверхности земли [4], проведенное в распределительных сетях напряжением 10 кВ производственного объединения «Северные электрические сети» ПАО «МРСК Центра и Приволжья» показало, что при падении провода ВЛ на землю, возможен случай когда практически все падение напряжения приходится на малый участок вблизи лежащего на земле провода (таб. 1).

Таблица 1

Распределение потенциала в зоне растекания тока замыкания

Расстояние до упавшего провода, м	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	2	3
Потенциал, В	4500	159	69	26	14	6	0,5	0

Проведенные исследования показывают, что при падении на землю провода ВЛ распределительной сети напряжением 6 – 35 кВ сопротивление грунта может быть сосредоточено на небольшом участке вблизи лежащего провода. Значительная энергия, передаваемая через малый объем грунта в зоне контакта провода ВЛ с землей может привести к изменению удельного сопротивления грунта из-за его высыхания.

Список литературы

1. *Долин П. А., Медведев В. Т., Корочков В. В., Монахов А. Ф.* Электробезопасность, теория и практика. М.: МЭИ, 2012. 284 с.
2. *Бессонов Л. А.* Теоритические основы электротехники. Электромагнитное поле. М.: Гардарики, 2001. 317 с.
3. *Бургсдорф В. В., Якобс А. И.* Заземляющие устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1987. 400 с.
4. *Козлов А. Л.* Исследование зоны растекания тока замыкания на землю в сетях воздушных линий электропередачи напряжением 6–10 кВ // Электробезопасность. 2015. № 3. С. 16–24.

КРАСНЫХ Александр Анатольевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехник и электроники, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: kaf_eie@vyatsu.ru

КРИВОШЕИН Игорь Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехник и электроники, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: kriv-14@yandex.ru

КОСОЛАПОВ Евгений Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры электротехник и электроники, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: evgen-43@yandex.ru

КОЗЛОВ Алексей Леонидович – заведующий лабораториями кафедры электротехник и электроники, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: alexk79@mail.ru