

**Е.Н. ФЕДОСЕЕНКО**, ст. преп. НТУ «ХПИ»

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ВАРИАНТА ЗАМЕЩЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОДА ПОВЫШЕННОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Получено подтверждение расчетного варианта замещения вертикального электрода заземления повышенной проводимости с помощью контрольного эксперимента. Сделаны выводы о том, что разработанная модель данного электрода в двухслойной земле как совокупности прямолинейных электродов обеспечивает достаточный для практических расчетов результат.

**Ключевые слова:** заземляющее устройство, нормируемые параметры, сопротивление растеканию, технический углерод, электробезопасность, электрод заземления.

#### Постановка проблемы.

Характеристики заземляющих устройств электрических станций и подстанций должны отвечать нормативным требованиям обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала – защите от напряжения прикосновения и шага, – а также нормативным требованиям выполнения ими других наиболее существенных функций: обеспечение действия релейной защиты от замыканий на землю, уменьшение электромагнитного влияния на вторичные цепи, отведение в землю тока молнии и проч.

Приведение величин нормируемых параметров к допустимым значениям выполняется с помощью мероприятий, позволяющих в каждом конкретном случае совершенствовать заземлитель применяя одно из известных конструктивных решений. К числу таких мероприятий принадлежит вариант технического решения по выполнению вертикальных электродов повышенной проводимости. Замещение указанных электродов совокупностью вертикальных электродов, диаметры которых такие же как у соответствующих горизонтальных заземлителей, позволяет использовать возможности известных алгоритмов расчета сложных ЗУ [1].

#### Анализ литературы.

Вертикальный электрод заземления повышенной проводимости растеканию с достаточной для практических расчетов точностью согласно [2] может быть замещен совокупностью из 12 вертикальных электродов различной длины, расположенных таким образом, чтобы глубина их погружения примерно соответствовала очертанию полуэллипсоида вращения с поверхностью равной поверхности

© Е. Н. Федосеенко, 2013

цилиндра, ограниченного размерами скважины в грунте. Расчетные совокупности электродов, замещающих естественные сосредоточенные заземлители в двухслойной земле по равнозначным электрическим характеристикам, не обоснованы в работах [1, 3, 4]. Способ замещения естественных сосредоточенных заземлителей при расчетах сложных ЗУ электроустановок в двухслойной земле с заданным предложен в работе [5], а в работе [6] реализован применительно к арматуре железобетонных стоек.

Вертикальные электроды используют, если соотношение удельных сопротивлений слоев двухслойной расчетной модели земли  $\rho_1/\rho_2 > 0,8$  (при соотношении  $0,1 \leq \rho_1/\rho_2 \leq 0,8$  требуемое значение сопротивления заземлителя могут обеспечить только горизонтальные электроды). Длину вертикальных электродов целесообразно выбирать в зависимости от  $h$  по соотношению  $l_B \geq 2h$ , но не менее 5 м; здесь:  $h$  – мощность верхнего слоя,  $l_B$  – длина вертикальных электродов [1].

#### Цель настоящей работы.

Целью настоящей работы является подтверждение полученного варианта замещения вертикального электрода повышенной проводимости с помощью контрольного эксперимента.

#### Основная часть.

Результаты исследовательских испытаний по диагностике состояния ЗУ ПС «Орджоникидзевская – 110 кВ» [7] показали, что ЗУ выполнено с соблюдением требований к его сопротивлению, однако, в некоторых местах нарушено конструктивное выполнение заземлителя, обеспечивающее требования техники безопасности по напряжению прикосновения. Результаты выполненных расчетов [7] показали, что после проведения ремонтно-восстановительных работ для условий однофазного КЗ на территории ОРУ-110 кВ ПС значение напряжения прикосновения на рабочих местах у оборудования, на котором могут производиться оперативные переключения, снизилось, но превышает допустимое значение.



Рис. 1– Скважины под электроды повышенной проводимости растеканию

С целью обеспечения нормативных значений напряжения прикосновения, где оно превышает допустимые значения, в дополнение к рекомендациям [7] на ОРУ-110 кВ были выполнены два вертикальных электрода повышенной проводимости растеканию. В стороне от заземляющей сетки (минимальное удаление от периферийных горизонтальных электродов ЗУ 5,5 м) пробурены две скважины диаметром 0,33 м и глубиной 3 м, расстояние между которыми 5,1 м (рис. 1). В центр каждой скважины помещался электрод из стальной полосы 40x4 мм<sup>2</sup> длиной 2,5 м, причем один из электродов имел проводящее антикоррозионное покрытие. Засыпка скважин произведена гранулированным техническим углеродом марки П-803 производства ОАО «Стахановский завод технического углерода». Подсоединение вертикальных электродов повышенной проводимости растеканию выполнено медным изолированным проводом сечением 10 мм<sup>2</sup>. Смонтированные экспериментальные образцы электродов показаны на рис. 2; с 17.11.2008 г. они находятся в опытно-промышленной эксплуатации.



Рис. 2 – Вертикальные электроды повышенной проводимости растеканию: а – без покрытия; б – с покрытием.

Расчет сопротивления растеканию электродов повышенной проводимости растеканию применительно к электрическим характеристикам грунта на территории ПС «Орджоникидзевская – 110 кВ», которые определены в работе [7] и составляют: на глубине до 0,6 м – удельное сопротивление первого слоя равно 28 Ом·м и для второго слоя на глубине от 0,6 м – 35,5 Ом·м, в соответствии с

разработанной в [2] методикой дает значение 6,8 Ом для каждого из электродов.

Измерение сопротивления растеканию экспериментальных образцов электродов с использованием измерителя сопротивления заземления Ф4103-М1 (изготовитель – завод «Мегометр», г. Умань) дало следующие результаты:

- электрод без покрытия – 5,0 Ом;
- электрод с покрытием – 5,4 Ом.

Анализ результатов измерения и сопоставление их с рассчитанным значением показал, что отличие составляет в среднем 30% и вызывается погрешностью измерения электрических характеристик грунта [7]. Можно также отметить, что обоснованная расчетная совокупность замещающих электродов обеспечивает достаточный для практических расчетов результат. Некоторое различие в сопротивлениях растеканию электродов без покрытия и с покрытием объясняется более близким расположением к заземлителю ПС первого из указанных электродов.

Как показывает анализ результатов исследовательских испытаний заземлителя ПС «Орджоникидзевская – 110 кВ» [7] и измерения сопротивления растеканию экспериментальных образцов электродов повышенной проводимости растеканию значения напряжения в тех местах ОРУ-110 кВ, где оно превышало допустимые значения, снизится до значений меньших допустимых.

Действительно, имеем расчетное сопротивление ЗУ, учитывающее только искусственные заземлители, равно 0,31 Ом [7]; расчетное сопротивление экспериментальных электродов повышенной проводимости растеканию – 3,4 Ом и расчетное сопротивление системы «трос-опора» двух присоединенных к ПС воздушных линий 110 кВ  $|\underline{z}_{ex}| = 1,6$  Ом (при  $\text{Re } \underline{z}_{ex} > \text{Im } \underline{z}_{ex}$ ) [8]. Тогда расчетное сопротивление ЗУ составляет 0,24 Ом.

Наибольшее расчетное значение падения напряжения на оборудовании при протекании имитационного тока 4,9 А в ЗУ составило согласно [7] 31,95 мВ; в пересчете на ток однофазного КЗ на ОРУ-110 кВ равный 12,02 кА при снижении расчетного значения сопротивления с 0,31 Ом до 0,24 Ом имеем наибольшее значение напряжения прикосновения 61 В, что меньше предельно допустимого значения 65 В при расчетном времени воздействия более 1,0 с.

#### Заключение.

На этапе проектирования сложных ЗУ электроустановок необходимо учитывать аварийную разность потенциалов между различными точками ЗУ при КЗ на шинах РУ, которая определяется продольными токами КЗ по горизонтальным естественным и

искусственным заземлителем. Выполненный анализ результатов измерения и сопоставление их с рассчитанным значением подтвердили целесообразность разработки технического решения искусственного электрода заземления, обладающего достаточно большой контактирующей с грунтом поверхностью, т.е. электрода заземления повышенной проводимости растеканию, удовлетворяющего требованиям технологичности выполнения, в том числе, в условиях действующих электроустановок. Для возможности использования указанного выше метода моделирования электрод повышенной проводимости растеканию должен быть замещен расчетной совокупностью прямолинейных электродов.

Разработанная модель электрода заземления повышенной проводимости растеканию в двухслойной земле как совокупности прямолинейных электродов обеспечивает достаточный для практических расчетов результат.

Использование электродов повышенной проводимости растеканию направлено на оптимизацию конструктивных характеристик сложных ЗУ электроустановок. В условиях действующих электроустановок электроды повышенной проводимости растеканию есть одним из технических решений по достижению допустимых значений нормативных параметров заземлителя, если указанные параметры превышают допустимые.

Разработанные электроды повышенной проводимости растеканию смонтированы как экспериментальные образцы на ПС «Орджоникидзевская-110 кВ» АК «Харьковоблэнерго»; способ выполнения указанных электродов защищен патентами Украины №№9874 и 23105 «Спосіб виконання заземлювальних пристроїв електричних станцій та підстанцій». Перспективы дальнейших исследований в данном направлении заключаются в изучении изменения электромеханических свойств вертикального электрода повышенной проводимости.

**Литература:** 1. Бургсдорф В.В., Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с. 2. Федосеенко Е.Н., Минченко А.А. Вертикальные электроды заземления повышенной проводимости растеканию и их замещение при расчетах электрических характеристик сложных комбинированных заземлителей. // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, – 2007. – №6/5(30) – С. 56-59. 3. Барбашов И.В., Пушкал В.А. Расчетные эквиваленты железобетонных фундаментов типовых подстанций ограниченной площади // Вестник Харьковского политехнического института, №169, “Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок”. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, - 1980. – Вып. 8. С. 56-58. 4. Линк И.Ю., Колушко Д.Г., Колушко Г.М. Математическая модель неэквивалентного заземляющего устройства подстанции, размещенного в двухслойном грунте // Электронное моделирование. – Киев: ИПМЭ, 2003. – Т.25. №2. С. 99-111. 5. Минченко А.А., Федосеенко Е.Н. Замещение естественных сосредоточенных

заземлителей совокупностью электродов при расчетах электрических характеристик сложных заземляющих устройств электроустановок // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тем. випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №7. – С. 121-124. 6. Минченко А.А., Федосеенко Е.Н. Учет естественной проводимости растеканию тока с арматуры железобетонных стоек при расчетах сложных заземляющих устройств электроустановок с помощью совокупности вертикальных электродов // Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тем. випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – №28 – С. 97-100. 7. Протокол исследовательских испытаний по диагностике состояния заземляющего устройства подстанции «Орджоникидзе» АК «Харьковоблэнерго». – Харьков: НИПКИ «Молния» Харьков, 2006. – 14 с. 8. Минченко А.А., Березка С.К., Гуль В.І. Удосконалення розрахункової моделі грозостійкості повітряних ліній 110 кВ та вище з тросом: Звіт про НДР (заключний) / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. інт-т»: №ДР 0108U001458; №ДО 0209U001619. – Харків, 2008. – 67 с.

*Надійшла до редколегії 10.10.2013*

УДК 621.316

**Экспериментальное подтверждение варианта замещения вертикального электрода повышенной проводимости / Федосеенко Е.Н.** // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Энергетика: надежность и энергоэффективность. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2013. - № 59 (1032). – С. 131 – 136.

Отримано підтвердження розрахункового варіанту заміщення вертикального електроду заземлення підвищеної провідності за допомогою контрольного експерименту. Зроблені висновки про те, що розроблена модель даного електроду в двохшаровій землі як сукупності прямолінійних електродів забезпечує достатній для практичних розрахунків результат.

**Ключові слова:** заземлюючий пристрій, нормовані параметри, опір розтіканню, технічний вуглець, електробезпека, електрод заземлення.

Confirmation of the indicated substitution for the grounding electrode of increased current spreading conductivity is got by a control experiment. It is concluded that the developed model of the electrode in a two-layer ground as a set of linear electrodes provides sufficient for practical calculations result.

**Keywords:** grounding connections, normalized parameters, the spreading resistance, carbon, electric safety, grounding electrode.