

**УДК 621.3.053 Анализ эффективности использования искусственных заземлителей с применением различных материалов**

Власов А. А.

Научный руководитель – ст. препод. ГАПАНЮК С. Г.

Молниезащитное заземление предназначено для защиты зданий и сооружений от воздействия тока молнии. Повреждения изоляции оборудования на объекте (подстанции, здании, открытой площадке) могут быть вызваны ударами молнии непосредственно в объект или возникновением высоких импульсных потенциалов в результате импульсов, набегающих с линии. При поражении молнией непосредственно линии или объектов и земли вблизи (индуцированный потенциал) от прямых ударов молнии оборудование объектов защищается системой молниеотводов и заземлений, а от набегающих по линии импульсов (волн) основной защитой является ОПН. Поэтому на всех воздушных линиях выполняются молниезащитные заземления. Это делается для того, чтобы ток молнии, перекрывший изоляцию воздушной линии, отводился в землю через заземлители опор. В этом случае до объекта доходят импульсы не с амплитудой тока молнии, ударившей в линию, а со значительно меньшей амплитудой, т.к. раньше произойдет перекрытие линейной изоляции.

Без молниезащитных заземлений на воздушных линиях осуществить защиту зданий, изоляции подстанционного оборудования невозможно. На трансформаторных подстанциях функции молниезащитного, рабочего и защитного (с точки зрения техники безопасности) выполняет единое заземление. Поэтому оно должно быть выполнено так, чтобы избежать возможных обратных перекрытий изоляции и излишней работы релейной защиты при несоблюдении требований по магнитной совместимости.

При выборе материала заземлителя важными параметрами являются удельное электрическое сопротивление проводника (чем ниже сопротивление, тем эффективнее устройство), приемлемая цена и достаточная долговечность. То есть, токопроводящие свойства заземляющего устройства обязаны обеспечить безопасную эксплуатацию оборудования на протяжении всего срока службы. Это значит, что материал должен обладать не только хорошей проводимостью, но и быть коррозионностойким. В ТКП 336-2011 в таблице 7.13 приведены минимальные размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле. Помимо этого нормативные данные для выбора, расчета и монтажа системы заземления указаны в СТБ П ИЕС 62305-3-2006/2010 «Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения зданий, сооружений и опасность для жизни».

При выборе материала искусственных заземлителей следует учитывать следующие параметры:

- рН грунта;
- уровень концентрации микроорганизмов и минеральных солей в почве;
- сопротивление заземлителя;
- срок эксплуатации системы заземления;
- площадь поверхности контакта заземлителя с грунтом (диаметр стержня).

Использование обычного проката черных металлов для устройства заземления приводит к быстрому (5 - 7 лет) возрастанию сопротивления заземлителя из-за непрерывного процесса коррозии стали в грунте. Дело в том, что продукты коррозии имеют рыхлую структуру и объем, в 3,5 раза превышающий первоначальный объем самой стали. Таким образом, возрастанию сопротивления заземлителя способствуют по меньшей мере два фактора:

- на поверхности стального элемента появляется рыхлая оболочка, снижающая контакт его с грунтом;

– давление, возникающее при увеличении в объеме продуктов коррозии железа, оттесняет грунт, окружающий заземлитель.

Поэтому такие заземлители недолговечны. Они не могут обеспечить защиту и нормальную работу установки в течение всего периода ее эксплуатации. В дальнейшем требуется их ремонт, равносильный устройству нового заземления. При этом, естественно, нарушаются, а затем снова восстанавливаются уже сложившиеся элементы инфраструктуры и благоустройства территории. В современных международных нормах заземлители из черных металлов не рассматриваются.

На сегодняшний день для исключения разрушения заземлителя используют медные проводники, нержавеющие материалы или токопроводящие коррозионностойкие покрытия, нанесенные на черную сталь. Последний вариант является более дешевым и при этом весьма эффективным, поскольку переменный электрический ток растекается преимущественно по поверхности проводника. Нанесение на поверхность черного металла слоя с большей электропроводностью уменьшает сопротивление растеканию тока во всем проводнике. Например, покрытие черного металла цинком или медью, может увеличить проводниковые свойства стального заземляющего устройства до 6 раз.

#### 1) Заземлители из нержавеющей стали.

Нержавеющая сталь имеет более высокое сопротивление окислению во многих естественных и искусственных средах по сравнению с «черной» сталью. Повышенное сопротивление окислению на открытом воздухе и в почве достигается, когда в сталь добавляют более 12 % хрома. Потенциал хрома (-0,74 В) намного отрицательнее потенциала раствора электролита (почвы), поэтому почвенная коррозия, в данном случае будет контролироваться анодной реакцией, т.е. растворением хромосодержащего сплава; однако, вследствие контакта хрома с кислородом, первый формирует инертный пассивный слой из оксида хрома [Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]. Несмотря на то, что этот слой очень тонкий, именно он защищает сталь от прямого воздействия агрессивной среды (почвы, воздуха). Даже, когда поверхность нержавеющей стали поцарапана, её подвергли резке, механической обработке, химическим или механическим повреждениям, пассивный слой быстро восстанавливается в присутствии кислорода. Таким образом, пассивный металл может подвергаться коррозии, но он практически не корродирует, поскольку его анодное растворение протекает очень и очень медленно. В науке это явление получило название «пассивацией», а процесс ввода в металл компонента, который вызывает пассивность – легированием металла. Свой вклад в антикоррозионные свойства нержавеющей стали также вносят и другие элементы, входящие в её состав: никель, молибден и азот, которые повышают сопротивление органическим кислотам и предупреждают почвенную коррозию. К минусам использования нержавеющей стали относится ее высокое удельное сопротивление (0,1400 Ом·мм<sup>2</sup>/м) по сравнению с чистой медью. Тем не менее, цена на нержавеющую сталь несравнимо ниже цены чистой электротехнической меди, а устойчивость к коррозии выше. Гарантийный срок эксплуатации системы из нержавеющей стали - 50 лет, фактический срок эксплуатации может превышать 100 лет, но всегда будет зависеть от конкретных условий среды, в которой она эксплуатируется.

#### 2) Заземлители из оцинкованной стали.

Широкое распространение получило применение **оцинкованной стали**, которая является более дешевым материалом, чем «нержавеяка». Цинк обладает достаточно низким удельным сопротивлением (0,059 Ом·мм<sup>2</sup>/м). В паре цинк-сталь цинк является более электрохимически активным материалом, следовательно, начинает разрушаться раньше, чем стальная основа. При введении оцинкованного заземлителя в агрессивную среду (в частности – почву), цинк будет постепенно растворяться, защищая черную сталь от коррозии. И даже глубокие царапины, образование которых возможно на поверхности электрода в процессе монтажа, не могут привести к быстрому появлению ржавчины. Пока слой цинка будет сохраняться вокруг места повреждения, коррозия распространяться не будет. Естественный же процесс окисления цинка является очень длительным. Само же

защитное цинковое покрытие наносится «горячим» способом, в процессе которого атомы цинка «проникают» в наружный слой стали в ходе погружения в ёмкость с расплавленным цинком. Толщина цинкового покрытия не менее 150 мкм надёжно защищает сталь не только от почвенной коррозии, но и служит надёжным защитным барьером при монтаже системы. Срок службы данного изделия напрямую зависит от среды эксплуатации и составляет более 30 лет. Срок гарантии производителя составляет 25 лет. Для увеличения срока эксплуатации систему заземления из оцинкованной стали производитель рекомендует применять в кислых и нейтральных средах с рН от 5 до 7 соответственно.

### 3) Омедненные заземлители.

**Медь** – цветной металл, главными отличительными характеристиками которого являются высокая электропроводимость, пластичность, коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость. Данный металл обладает очень низким удельным сопротивлением. Оно составляет всего 0,0175 Ом·мм<sup>2</sup>/м. Единственными недостатками меди являются ее относительно высокая цена и низкая прочность по сравнению со сталью. Полностью медные стержни достаточно легко гнутся при погружении их в грунт. Для избежания этих проблем и увеличения его срока службы готового изделия, применяют медь в качестве высокопроводящего покрытия.

Медное покрытие наносят на черную сталь электрохимическим методом. Сущность электрохимического омеднения стали заключается в следующем: стальной стержень (катод) подключают к минусу источника тока, а медные пластинки (анод) – к плюсу. Электроды помещают в раствор электролита, содержащий соль меди. Под действием электрического тока положительно заряженные ионы меди Cu<sup>2+</sup> движутся к аноду (стальной основе заземлителя) и оседают на его поверхности в виде чистого металла. Полученный материал называют омедненной сталью. Омедненное покрытие характеризуется высоким сцеплением с разными металлами, высокой пластичностью и электропроводностью. Кроме того, омедненная сталь обладает большей прочностью, чем медь. Толщина медного покрытия, как правило, составляет 0,250 мм.

Омедненная сталь получила широкое распространение на практике, как материал для изготовления заземлителей. Срок службы омедненной стали в качестве заземлителя превышает 35 лет.

Присутствие в нормах одновременно и оцинкованных, и омедненных стержней заземления не случайно и обусловлено возможностью выбора тех или иных материалов для разных геологических условий. Так, в стандарте СТБ П ИЕС 62305-3-2006/2010 отмечается, что медь не рекомендуется к использованию в кислых условиях из-за ее низкой коррозионной стойкости. Известно, что кислая среда характеризуется значением водородного показателя  $pH \leq 7$ . В этих грунтовых условиях в качестве покрытия стержней заземления необходимо выбирать цинк. По данным «Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию» в целом по республике средневзвешенное значение рН пахотных земель составляет 5,9 единиц. Кислые, слабокислые и близкие к нейтральным почвы со значением  $pH \leq 7$  составляют 98,3%. **Следовательно, для грунтовых условий Беларуси необходимо применение оцинкованных заземлителей. Использование медных (омедненных) заземлителей недопустимо.**

### Литература

1. Защита от атмосферного электричества. Часть 3. Физические повреждения конструкций и опасность для жизни: СТБ П ИЕС 62305-3-2006/2010. – Введ. 01.01.2011 (со сроком действия по 01.01.2013). – Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2010. – 121 с.
2. Молниезащита зданий, сооружений и инженерных коммуникаций = Маланкахова будынкаў, збудаванняў і інжынерных камунікацый: ТКП 336-2011. – Введ.

12.08.11 (с отменой на территории РБ РД 34.21.122–87). – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2011. – 187 с.

3. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний = Электраўстаноўкі на напружанне да 750 кВ. Лініі электраперадачы паветраныя і токаправоды, прылады размеркавальныя і трансфарматарныя падстанцыі, ўстаноўкі электросіловыя і акумулятарныя, электраўстаноўкі жылых і грамадскіх будынкаў. Правілы ўстройства і ахоўныя меры электрабяспекі. Ўлік электраэнергіі. Нормы прыёма-здатачных выпрабаванняў: ТКП 339-2011. – Введ. 01.12.2011. – Минск: Министерство энергетики Республики Беларусь, 2011. – 593 с.