

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРОДОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Зоричев А.Л., Лещинский В.Г.

Международные стандарты по качеству заземляющих электродов

Составные элементы и части заземляющих устройств должны быть рассчитаны и сконструированы таким образом, чтобы их технические характеристики, в условиях нормальной эксплуатации, отвечали требованиям надежности и безопасности, как для людей, так и для окружающей среды.

К основным функциям системы заземления относятся:

- обеспечение требуемого режима нейтрали электрической сети для систем TN и TT;
- обеспечение электробезопасности потребителей и оборудования (защитное заземление);
- выполнение дополнительных требований по заземлению электрического и/или электронного оборудования (функциональное или рабочее заземление);
- обеспечения работы системы внешней молниезащиты и системы уравнивания потенциалов.

Для случая молниезащиты зданий, система заземления должна быть выполнена в соответствии со стандартами Международной Электротехнической Комиссии (IEC) [1]. В этих стандартах система заземления представлена как неотъемлемая составная часть объекта, предназначенная для различных целей: заземления систем молниезащиты, защитного заземления низковольтных электроустановок и телекоммуникационных систем и т.д., в которых она должна выполнять следующие задачи:

- обеспечить отвод токов молнии в землю,
- способствовать растеканию токов молнии в грунте,
- выполнять уравнивание потенциалов между вертикальными элементами (токоотводами) системы внешней молниезащиты и подводимыми к объекту коммуникациями (подразумевается кольцевое заземляющее устройство),

При проектировании любой системы заземления важным является не только выбор расположения и количества заземляющих электродов, не только обеспечение требуемого сопротивления заземления, но и правильный выбор типа заземляющих электродов и проводников, их материала, формы и размеров.

Стандарты [2-5] формулируют требования к качеству заземляющих электродов и работ по их монтажу, которые должны обеспечить длительный срок эксплуатации (обычно в течение 20-30 лет) и стабильность технических параметров. Это:

- достаточная механическая прочность материала, используемого для электродов, проводников и зажимов;
- электрическая и термическая устойчивость к токам, протекающим через них в землю,
- высокая коррозионная стойкость в различных типах грунта.

При выборе электродов для системы заземления должны учитываться:

- заземляющие и коррозионные свойства материала электрода,
- продолжительность протекания тока и его амплитудное значение,
- электрические и физические параметры грунта.

Для систем заземления электроустановок размеры заземляющих электродов зависят от тока короткого замыкания и времени его протекания, в то время как для молниезащиты основную роль играют параметры тока молнии.

Заземляющие электроды и проводники должны быть изготовлены из материала устойчивого к коррозии, такого как медь, омедненная гальванизированным способом или нержавеющая сталь. Материал, используемый для системы заземления и заземляющих проводников, должен быть электрохимически совместимым с материалом соединительных и монтажных элементов, и должен обладать устойчивостью к коррозии в коррозионной атмосфере и влаге. Необходимо исключить вероятность соединения разных материалов, в противном случае они должны быть дополнительно защищены от коррозии.

Степень коррозии заземляющих электродов зависит от типа материала, из которого изготовлен электрод, и условий окружающей среды. Такие факторы окружающей среды как удельное сопротивление грунта, влажность, растворимые соли (формирующие электролит), степень аэрации и температура оказывают непосредственное влияние на степень и скорость коррозии. Важным фактором являются естественные и промышленные отходы.

Результат контакта между несовместимыми металлами, наряду с воздействием окружающей среды или электролита приведет к увеличению коррозии анодного металла, и уменьшению коррозии катодного металла. Электролитом данной реакции могут быть подземные воды или влажная почва.

Распределенные по большой площади ЗУ могут пострадать от разных грунтовых условий в удаленных друг от друга частях. Это может усилить процесс коррозии и поэтому требует особого внимания. Для уменьшения коррозии систем заземления необходимо:

- избегать использования нестойкого к коррозии металла в агрессивной окружающей среде;
- избегать контакта несовместимых металлов (металлов с заметно разной электрохимической и гальванической активностью);
- использовать проводники, полосу, электроды и зажимы соответствующего поперечного сечения для обеспечения достаточной коррозионной стойкости;
- обеспечить изоляцию в точках соединения проводников, не подлежащих сварке, соответствующим изоляционным материалом во избежание попадания влаги;
- во время монтажа муфт, сварочных или механических соединений тщательно соблюдать все технологические требования, применять изоляционные материалы, стойкие к средам, ускоряющим коррозию;
- учитывать гальванический эффект, возникающий при присоединении к заземляющим электродам других металлических конструкций или коммуникаций;
- избегать проектирования систем, в которых естественные коррозионные материалы из катодного металла, например, меди - могут соприкоснуться с анодным металлом (например, катодная медь с анодным металлом – сталью).

Испытания на коррозионную стойкость заземляющих стержней в естественных и лабораторных условиях.

Процесс коррозии заземляющих стержней является следствием электрохимических процессов в грунте или воздействия блуждающих токов. Степень коррозии заземляющих стержней зависит от типа материала, из которого изготовлен стержень, и условий окружающей среды.

Целью исследования было сравнение степени и скорости коррозии двух разных типов покрытия, наиболее часто используемых для стержней заземления: нанесенного электролитическим способом медного покрытия и цинкового покрытия, нанесенного горячим способом.

Лабораторные испытания стальных заземляющих стержней с медным покрытием, производимых польской компанией Galmar, и стальных заземляющих стержней с цинковым покрытием, нанесенным горячим способом, проводились в Лаборатории Факультета Инженерного Дела по испытаниям структуры материалов Варшавского Политехнического Университета [7]. Испытания проводились на отрезках стержней диаметром 20 мм и длиной 68

мм с цинковым покрытием толщиной Zn 0,08 мм, нанесенным горячим способом, а также испытывались стержни, омедненные электролитическим способом толщиной покрытия Cu в 0,250 мм. Сегменты стержней были помещены в раствор, содержащий уксусную кислоту CH_3COOH и ацетат натрия CH_3COONa с молярным отношением 1:1, pH составляло 4,8 (типичный показатель кислотности почвы в Польше). Степень коррозии измерялась гравиметрически с интервалом в 7 дней на протяжении 35-ти дней испытания. Дополнительные испытания были проведены для измерения коррозионной стойкости при помощи электрохимического метода.

Фотографии опытных образцов до и после проведения 35-ти дневного испытания приведены на рис. 1 и рис. 2.



Рис.1. Фотографии отрезков заземляющего стержня с цинковым покрытием, нанесенным горячим способом, толщиной Zn - 0.08 мм (а) до и (б) после проведения испытания на коррозионную стойкость.



Рис. 2. Фотографии отрезков омедненного электролитическим способом заземляющего стержня с толщиной покрытия Cu - 0.250 мм (а) до и (б) после проведения испытания на коррозионную стойкость.

Испытаниям на коррозионную стойкость были подвергнуты также отрезки заземляющих стержней, соединенные латунными или бронзовыми муфтами. При этом было проведено измерение активного сопротивления соединений до, и после проведения испытания на коррозионную стойкость (рис. 3).



Рис. 3. Фотографии частей омедненного заземляющего стержня, соединенного латунной муфтой, (а) до и (б) после проведения испытания на коррозионную стойкость.

Результатами проведенных гравиметрических и электрохимических испытаний доказано, что в данной искусственно созданной среде заземляющие стержни подвергаются коррозии равномерно и пропорционально времени испытания. Среднее значение степени коррозии цинкового покрытия нанесенного горячим способом составляло 1,1 мм в год и было почти в 25 раз выше, чем степень коррозии медного покрытия, нанесенного электролитическим методом согласно технологии фирмы GALMAR.

Кроме этого констатировано, что соединительные муфты не влияют на степень коррозии заземляющих стержней, а процессы коррозии соединительных муфт не имеют значительного влияния на значение активного сопротивления в соединении. Среднее активное сопротивление в месте соединения до проведения испытаний составляло 0,11 Ом, а после проведения испытаний – 0,17 Ом.

В естественных условиях сравнительные испытания на коррозию заземляющих стержней были проведены специалистами Лаборатории Гражданского Морского Флота США [8].

Опытные образцы заземляющих стержней были изготовлены:

- из мягкой стали;
- стали с цинковым покрытием, нанесенным горячим способом;
- стали с медным покрытием, нанесенным электролитическим методом;
- нержавеющей стали;
- алюминия и других материалов.

Девять вертикальных стержневых заземлителя, изготовленных из различных материалов, длиной 2,4 м и диаметром 5/8 дюйма (14,2 мм) каждый, были зарыты в грунт на 7-летний период времени. Стержни проверялись по истечении 1, 3, и 7 лет.

Кроме визуального осмотра у каждого заземляющего стержня были произведены измерения потери массы, являющейся следствием коррозии. Потеря массы в процентах, соответствующая определенному материалу заземляющего стержня, отображена в табл. 1. Специалисты Лаборатории Гражданского Морского Флота сделали заключение, что только стальные заземляющие стержни с медным покрытием толщиной $Cu - 0,250$ мм и заземляющие стержни, изготовленные из нержавеющей стали, отвечают требованиям коррозионной стойкости в естественных условиях (имеют низкую степень коррозии).

Таблица 1. Данные относительной потери массы из-за коррозии в естественных условиях для заземляющих стержней (в зависимости от материала, из которого они изготовлены).

Тип материала стержня и покрытия стального стержня	Относительная потеря массы [%]		
	Через 1 год	Через 3 года	Через 7 лет
Мягкая сталь (без покрытия)	2,6	6,1	7,6
Сталь с цинковым покрытием, нанесенным горячим методом	1,5	2,4	3,2
Сталь с медным покрытием, нанесенным электролитическим методом	0,5	0,9	1,4
Нержавеющая сталь типа 320	0,2	0,5	1,4
Алюминий типа 6061- T6	0,9	1,6	2,3

На приведенных ниже фотографиях указаны примеры коррозии стержней заземления, погруженных на различную глубину (рис. 4, 5 и 6). На рис. 4 показаны:

(а) верхняя часть (ближайшая к поверхности почвы) омедненного электролитическим методом заземляющего стержня с толщиной покрытия $Cu - 0.250$ мм,

(б) верхняя часть заземляющего стержня с цинковым покрытием, нанесенным горячим методом,

(с) верхняя часть заземляющего стержня из мягкой стали без покрытия, по истечении 7-летнего периода испытания в естественных условиях.

На рис. 5 показана средняя часть тех же стержней, находящаяся на большей глубине. Стержень из мягкой стали (б) был разрушен коррозией по всему сечению на глубине 1.23м. На рис. 6 показана самая нижняя часть тех же стержней, где у стержня с цинковым покрытием, нанесенным горячим методом, (б) в результате коррозии значительно уменьшился диаметр (на глубине ниже 2 м).



Рис. 4. Снимки верхней части стержней заземления по истечении 7 лет испытания в естественных условиях; (а) омедненный стержень заземления, (б) стержень заземления с цинковым покрытием, нанесенным горячим методом, (с) стержень заземления из мягкой стали без покрытия.



Рис. 5. Снимки средней части стержней заземления по истечении 7 лет испытания в естественных условиях; (а) омедненный стержень заземления, (б) стержень заземления с цинковым покрытием, нанесенным горячим методом, (с) стержень заземления из мягкой стали без покрытия.



Рис. 6. Снимки нижней части стержней заземления по истечении 7 лет испытания в естественных условиях; (а) омедненный стержень заземления, (б) стержень заземле-

ния с цинковым покрытием, нанесенным горячим методом, (с) стержень заземления из мягкой стали без покрытия.

Испытания на коррозионную стойкость, проведенные в естественных условиях, показали несомненное преимущество заземляющих стержней с медным покрытием, срок эксплуатации которых выше, а затраты на эксплуатацию системы заземления состоящей из вертикальных заземляющих стержней с медным покрытием, меньше.

В Новосибирске с 22 по 25 марта на базе Сибирской энергетической академии и Новосибирского государственного технического университета состоялась вторая Российская конференция по заземляющим устройствам. В ней приняли участие представители большинства регионов России, а также специалисты из Казахстана, Латвии, Польши, Украины.

На конференции обсуждались:

- действующие нормативные документы;
- методы расчета и проектирования заземляющих устройств, а также изысканий под заземляющие устройства;
- характеристики заземлителей на высокой частоте и при стекании токов молнии;
- коррозия и долговечность заземлителей;
- конструктивное исполнение заземляющих устройств электрических станций, подстанций, линий электропередачи, объектов связи.

Рассмотрев среди многих других важных проблем вопрос о коррозионной стойкости заземляющих устройств, Конференция записала в своих решениях следующие рекомендации по изменению главы 1.7 ПУЭ «Заземление и защитные меры безопасности»:

Рассмотренный на Конференции опыт показал, что применение оцинкованных заземлителей не увеличивает их долговечность, и это положение ПУЭ следует исключить. Ниже предложена редакция соответствующих параграфов и таблицы.

1.7.111. (измененный 1-й абзац) Искусственные заземлители могут быть из черной стали; стали, омедненной гальваническим способом или медными. Далее по тексту.

1.7.112. (измененный 3-й абзац)

- применение заземлителей и заземляющих проводников из черной стали с гальваническим медным покрытием или медных.

Таблица 1.7.4.

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле (выделены измененные и дополненные строка и столбец)

Материал	Профиль сечения	Диаметр мм	Площадь поперечного сечения мм	Толщина (толщина стенки) мм ²	Толщина защитного покрытия мм
Сталь черная	Круглый				
	-для вертикальных заземлителей	16	-	-	-
	-для горизонтальных заземлителей	10	-	-	-
	Прямоугольный	-	100	4	-
	Угловой	-	-	4	-
Трубы	32	-	3,5	-	
Сталь омедненная	Круглый				
	-для вертикальных заземлителей	12	-	-	0,25
	-для горизонтальных заземлителей	10	-	-	0,25
Прямоугольный	-	75	3	0,25	
Медь	Круглый	12	-	-	-
	Прямоугольный	-	50	2	-
	Труба	20	-	2	-
	Канат многопроволочный	1,8 каждой проволоки	35	-	-

Выводы:

Результаты лабораторных и натурных испытаний на коррозионную стойкость заземляющих стержней с различным покрытием показали техническую и экономическую эффективность применения электродов с медным покрытием и их преимущества по сравнению с электродами из черной стали или оцинкованных горячим способом.

Литература:

1. IEC 62305-3. Ed.1/CDV. Protection against lightning. Part 3: Physical damages to structures and life hazard.
2. BS 7430:1991. Code of practice for earthing.
3. UL 467: 1993. Standard for safety. Grounding and bonding equipment.
4. EN 50164-1:1999. Lightning protection components (LPC) Part 1: Requirements for connection components.
5. EN 50164-2:2002. Lightning protection components (LPC) Part 2: Requirements for conductors and earth electrodes.
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7-е изд.), гл. 1.7 ПУЭ «Заземление и защитные меры безопасности»
7. Камински М., Хойновска-Лобода Х. Испытания коррозионной стойкости стальных заземлителей с нанесенным цинковым и медным покрытием. Варшава: Варшавский Политехнический Университет, Факультет Инженерного Дела по испытаниям структуры материалов, 2003
8. DRISKO R. W. Field Testing of Electrical Grounding Rods. Naval Civil Engineering Laboratory, Port Hueneme, California. Published by United States Department of Commerce, National Technical Information Service, February 1970.
9. Марек Лобода, Роберт Марциняк. «Международные стандарты по качеству заземляющих электродов». Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам: Сборник докладов / Под ред. Ю.В. Целебровского. – Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2005. – 248 с.
10. Марек Лобода, Роберт Марциняк. «Испытания на коррозионную стойкость заземляющих стержней в естественных и лабораторных условиях». Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам: Сборник докладов / Под ред. Ю.В. Целебровского. – Новосибирск: Сибирская энергетическая академия, 2005. – 248 с.
11. Целебровский Ю.В., Зоричев А.Л. «Вторая Российская конференция по заземляющим устройствам. Развитие теории и практики продолжается». Новости электротехники, №2 (32) 2005