

«Технический отчет о сроке эксплуатации стержневых заземляющих электродов»

7 июля 2003 года

Исполнитель: Крис Ремпе
Менеджер по заземляющим устройствам
по Северной и Южной Америке

ERICO, Inc.
34600 Solon Road
Солон, Огайо 44139
Соединенные Штаты Америки



Вступление

Цель настоящего отчета состоит в том, чтобы предоставить электротехнической отрасли техническую информацию, которая будет способствовать надлежащему применению стержневых заземляющих электродов. Наряду со своей электрической конструкцией и функциями, качество системы заземления должно также оцениваться, исходя из коррозионной стойкости его составных частей. Электрические элементы, находящиеся под землей, подвергаются более жестким условиям, чем аналогичные элементы, находящиеся на поверхности земли или внутри конструкции. Способность электрических заземляющих компонентов противостоять коррозии определяет их срок эксплуатации. Сама по себе коррозия является сложным явлением, изучением и предотвращением которого занимается все инженерное сообщество. К сожалению, эти знания и опыт слишком мало воплощаются в жизнь электротехническим сообществом. В результате существует общее непонимание того, чем отличается заземляющий стержень, покрытый медью, от оцинкованного заземляющего стержня. Ответ, прежде всего, заключается в способности двух материалов покрытия, а именно меди и цинка, противостоять любым видам коррозии: электрохимической, электролитической или химической. Нижепредставленный материал является дискуссией, объединяющей теорию, независимые технические исследования и практический производственный опыт, и позволит инженерам, подрядным организациям, инспекторам, отраслевым группам и другим заинтересованным сторонам принимать взвешенные решения.

Предназначение системы заземления

Современное оборудование систем заземления служит многим целям. Его первостепенной и, пожалуй, наиболее важной задачей является защита людей. Система заземления ограничивает потенциал между нетококонесущими электропроводными объектами, а также между нетококонесущими электропроводными объектами и землей, существенно снижая риск поражения электрическим током. Система заземления играет также важную роль при безопасном и эффективном рассеивании токов молний, улавливаемых системами молниезащиты, а также эффективном функционировании ограничителей переходного напряжения (ОПН). При некачественной системе заземления устройства ОПН находятся под воздействием возросшего напряжения, в результате чего ухудшается их способность защищать дорогостоящее оборудование. При грозовом разряде неисправность любого заземляющего компонента в системах молниезащиты значительно увеличивает риск бокового образования дуги и возгорания. Современное электронное оборудование, обеспечивающее преобразование сигнала в цифровой сигнал низкого напряжения, основывается на эффективной системе заземления. Эффективное заземление лежит в основе надежности работы энергосистем, предотвращая пробой изоляции на передающих линиях и защищая дорогое оборудование, такое как трансформаторы, конденсаторы, автоматические выключатели и молниеразрядные устройства, используемые в системах распределения. Большинство согласится, что все эти функции очень важны. Они важны для любой системы, ориентированной на использование качественных компонентов при ее внедрении.



Компоненты систем заземления

Технические характеристики системы заземления зависят от эффективности работы нескольких установленных компонентов: заземляющего проводника, заземляющего разъема и заземляющего электрода. Неисправность любого из этих компонентов приводит к неэффективности работы системы и увеличивает опасность для людей и оборудования. Большая часть системы заземления находится в неблагоприятных условиях под землей, в результате чего проверка элементов является трудновыполнимой или невозможной. Для продолжительной эффективной работы системы заземления чрезвычайно важным является изначальный выбор ее компонентов. Они должны обладать превосходной электрической проводимостью, быть механически прочными, и в состоянии выдерживать импульсные токи и токи короткого замыкания, а также обладать высокой коррозионной стойкостью. В идеале срок службы компонентов системы заземления должен быть равен сроку службы всей системы.

Важность заземляющего стержневого электрода

Заземляющий электрод обеспечивает физический контакт с почвой и является средством, используемым для рассеивания в нем токов. Традиционно эту роль выполняла медная труба для холодной воды. Несмотря на то, что в прошлом многие системы основывались изначально на медных трубах для холодной воды, в настоящее время такие медные трубы устанавливаются все реже, уступая место непроводящему току пластику. С целью приведения систем в соответствие НЭК требует, чтобы заземление при помощи водяной трубы было оснащено дополнительным электродом. Существует много типов электродов, удовлетворяющих этому требованию безопасности, в том числе электроды из конструкционной стали, заключенные в бетонную оболочку, пластинчатые, заземляющие кольца, а также стержневые или трубчатые электроды. Однако наиболее часто устанавливаются стержневые заземляющие электроды, среди которых преобладают стальные стержневые электроды с медным или цинковым покрытием. В представленном ниже отчете приводится коррозионная стойкость каждого из типов стержневых электродов.

«Подземная коррозия» - Циркуляр 579 Национального бюро стандартов

С 1910 по 1955 год Национальное бюро стандартов провело обширное исследование подземной коррозии, во время которого 36500 образцов, представляющих 333 разновидности покрытий из черных и цветных металлов и защитных материалов подвергались испытанию в 128 местах по всей территории Соединенных Штатов. Это исследование по праву считается одним из наиболее полных исследований коррозии, которые когда-либо проводились. Компания ERICO будет использовать результаты этого исследования, чтобы показать, что можно вполне обоснованно полагать, что стержневой электрод, покрытый 254 мкм меди, будет сохранять свои технические характеристики в течение более 40 лет в большинстве типов почвы. Также будет показано, что в большинстве типов почвы стержневые электроды, покрытые 99,06 мкм цинка, смогут сохранять свои качества лишь в течение 10-15 лет. Цель настоящего отчета состоит в том, чтобы, показав разницу предполагаемого срока службы, подчеркнуть важность выбора электрода для данного применения.



В Разделе 11 рассматривается область испытаний меди и медных сплавов. В Таблице 48 представлены данные, отображающие среднегодовую потерю веса (в унциях на кв. фут) образцов медных труб, помещенных в 43 различных типа почвы на срок от 8 до 13 лет. Каждая унция на квадратный фут соответствует средней глубине разрушения на 35,56 мкм. Анализ 14 типов почвы из мест, в которых были размещены образцы на 13 лет (Таблица 1) показал, что средняя полная глубина разрушения по истечению данного периода времени составила менее 0,013 мкм. Анализ оставшихся 29 мест, в которых образцы были размещены на 8 лет, показал среднюю полную глубину разрушения равную 0,023 мкм. В нижепредставленной таблице материал «М» означает медные образцы с содержанием меди 99.94%. В химическом составе материала «Р» содержится 99.93% меди. Представлены также средние значения между этими двумя материалами.

Почва	Длительность, год	Материал		Средняя М-Р потеря веса (унций на кв. фут) в год	Глубина разрушения (x 0,001 дюйма в год)
		«М»	«Р»		
31	13.7	0.0083	0.0086	0.00845	0.00001183
27	13.6	0.012	0.012	0.012	0.0000168
36	13.6	0.019	0.019	0.019	0.0000266
2	13.5	0.023	0.016	0.0195	0.0000273
5	13.4	0.03	0.032	0.031	0.0000434
7	13.4	0.036	0.026	0.031	0.0000434
9	13.4	0.03	0.036	0.033	0.0000462
26	13.4	0.013	0.012	0.0125	0.0000175
30	13.4	0.0078	0.0097	0.00875	0.00001225
41	13.4	0.027	0.03	0.0285	0.0000399
47	13.4	0.032	0.035	0.0335	0.0000469
6	13.3	0.011	0.0093	0.01015	0.00001421
10	13.2	0.076	0.095	0.0855	0.0001197
24	13.2	0.019	0.018	0.0185	0.0000259
Ср. кол-во лет 13.42		Средняя глубина разрушения (в год) = 0,892 мкм			

Общая глубина разрушения после 13,42 года = 11,99 мкм

Таблица 1. Анализ образцов, размещенных на срок более 13 лет



Почва	Длительность	Материал		Средняя М-Р потеря веса (унций на кв. фут) в год	Глубина разрушения (x 0,001 дюйма в год)
		«М»	«Р»		
1	8.1	0.06	0.063	0.0615	0.0000861
20	8.1	0.042	0.039	0.0405	0.0000567
3	8	0.027	0.029	0.028	0.0000392
8	8	0.024	0.019	0.0215	0.0000301
12	8	0.312	0.278	0.295	0.000413
13	8	0.023	0.031	0.027	0.0000378
14	8	0.04	0.025	0.0325	0.0000455
15	8	0.013	0.016	0.0145	0.0000203
16	8	0.057	0.058	0.0575	0.0000805
17	8	0.037	0.04	0.0385	0.0000539
18	8	0.0076	0.0077	0.00765	0.00001071
19	8	0.039	0.04	0.0395	0.0000553
22	8	0.068	0.07	0.069	0.0000966
23	8	0.118	0.135	0.1265	0.0001771
25	8	0.012	0.011	0.0115	0.0000161
28	8	0.084	0.079	0.0815	0.0001141
29	8	0.123	0.116	0.1195	0.0001673
33	8	0.137	0.117	0.127	0.0001778
34	8	0.016	0.022	0.019	0.0000266
35	8	0.017	0.016	0.0165	0.0000231
37	8	0.169	0.162	0.1655	0.0002317
38	8	0.025	0.043	0.034	0.0000476
40	8	0.125	0.168	0.1465	0.0002051
42	8	0.047	0.049	0.048	0.0000672
43	8	0.635	0.555	0.595	0.000833
44	8	0.079	0.061	0.07	0.000098
45	8	0.033	0.03	0.0315	0.0000441
4	7.9	0.019	0.019	0.019	0.0000266
32	7.9	0.049	0.018	0.0335	0.0000469

Ср. кол-во лет 8

Средняя глубина разрушения (в год) = 2,914 мкм

Общая глубина разрушения после 8 лет = 23,319 мкм

Таблица 2. Анализ образцов, размещенных на срок 8 лет

Время, необходимое для удаления 254 мкм меди, может быть использовано для установления номинального срока службы заземляющего стержневого электрода. Несмотря на то, что использовались различные типы почвы, данные за 8 и 13 лет показывают, что интенсивность коррозии со временем, похоже, уменьшается. Возможно, это происходит благодаря защитной пленке окиси меди, которая образуется на стержне. Хотя полученные в результате исследования данные о коррозии зачастую не соответствуют ее воздействию в реальной жизни, из них с достаточным основанием можно сделать вывод, что в подавляющем количестве подвергнутых испытанию почв ожидаемый срок службы может превышать 40 лет.



В 1924 году было инициировано исследование по размещению в земле образцов из пяти основных металлов, покрытых слоем цинка различной толщины методом погружения в горячую ванну. Исследование закончилось через 10 лет. Было подвергнуто испытанию 208 образцов труб, покрытых цинком средней толщиной 2,82 унции на квадратный фут. Каждая унция на квадратный фут равна толщине покрытия в 43,7 мкм, что составило примерно 125 мкм общей толщины цинкового слоя. Кроме того, было помещено в землю определенное количество оцинкованных стальных пластин с толщиной покрытия от 71 до 225 мкм. Обобщенные результаты исследования представлены в Таблице 65. В отчете говорится: «Анализ этих данных показал, что в большинстве почв цинковое покрытие толщиной в 2 унции (88,9 мкм) и менее было разрушено в течение 10-летнего периода нахождения в земле, и наблюдалась точечная коррозия в подлежащем стальном слое». Относительно защиты, обеспечиваемой цинковым покрытием стальных труб, в отчете делается вывод, что «... для неорганических окисляющих почв номинальная толщина покрытия в 2 унции обеспечит срок службы как минимум на 10 лет. Было также продемонстрировано, что покрытие толщиной в 3 унции (132 мкм) обеспечивает соответствующую защиту на срок от 10 до 13 лет во всех типах неорганических раскисленных почв, за исключением почв с высокой концентрацией солей». Следует иметь в виду, что номинальная толщина покрытия оцинкованного заземляющего стержня составляет 99 мкм.

Кроме того, результаты анализа оцинкованных труб, представленные в Таблице 65, показывают глубину разрушения примерно на 63,5 мкм по истечению 10 лет. Следует напомнить, что по прошествии 13 лет средняя глубина разрушения меди составила 11,99 мкм. Это исследование вполне определенно показывает разницу коррозионной стойкости меди и цинка. Медь обеспечивает защиту на несколько порядков больше, чем цинк.

«Производственное испытание электрических заземляющих стержней» - Инженерно-строительная лаборатория ВМС США (NCEL)

При сотрудничестве с Национальной ассоциацией инженеров-коррозионистов Инженерно-строительная лаборатория ВМС США осуществила 7-летнюю программу испытания металлических стержней для электрического заземления. Среди прочих материалов в программу испытаний были включены стальные стержни, покрытые медью, с нержавеющей сталью и цинком. Образцы были помещены в землю каждый отдельно и соединены попарно, с тем, чтобы определить степень воздействия электрохимической коррозии, которое каждый стержень оказывал на другие металлы. Несмотря на то, что это исследование не является таким тщательным, как исследование, проведенное Национальным бюро стандартов, оно все же оказалось независимым источником информации, относящейся конкретно к стержневым заземляющим электродам. Исследование дало начало разработке лучшего типа электрода, руководствуясь следующими критериями:

1. Он должен легко устанавливаться
2. Он должен быть стойким к коррозии
3. Он не должен вызывать электрохимической коррозии на близлежащий металл.



В отношении отдельно размещенных стержневых электродов после их извлечения по прошествии 7 лет после размещения наблюдалось следующее:

Оцинкованные стальные стержневые электроды: «Большая часть цинкового покрытия разрушена. Поражение коррозией стали больше всего было у поверхности земли. Здесь, а также в верхней части электрода точечная коррозия была интенсивней».

Стержневой электрод с нержавеющей покрытием: «Коррозия на медном покрытии не выявлена, однако в верхней части стального сердечника была обнаружено корродированное пятно размером примерно 2,54 см под покрытием».

Стержневой электрод, покрытый медью: «Фактически, коррозия на медном покрытии не выявлена, однако в верхней части стального сердечника была обнаружено корродированное пятно размером примерно 5 см под покрытием»

В исследовании делается вывод: «Стержни из магния, алюминия, цинка, низкоуглеродистой стали и оцинкованной стали не обладают необходимой коррозионной стойкостью». Была высказана озабоченность относительно стержневого электрода, покрытого медью, вызвавшего электрохимическую коррозию у сопряженного с ним электрода из низкоуглеродистой стали. Степень электрохимической коррозии, вызванной соединением меди и стали, будет зависеть от их соотношения. Поскольку отношение стали к меди в большинстве заземляющих систем, как правило, большое, степень коррозии стали будет ничтожным. Кроме того, зачастую в земле присутствуют другие источники меди, которые могут способствовать электрохимической коррозии. Теперь двумя исследованиями было четко продемонстрировано разницу в коррозии и, соответственно, предполагаемый срок службы между оцинкованными стержнями и стержнями, покрытыми медью.

Национальный научно-исследовательский проект по разработке систем заземления – Извлечение стержневых электродов на производственном участке Павни

Национальный научно-исследовательский проект по разработке систем заземления был начат в 1992 году с целью сравнения долговечности функциональных характеристик различных типов заземляющих электродов. Организованное изначально Отделением Южной Невады Международной ассоциации электротехнических инспекторов, в настоящее время исследование проводится под контролем Научно-исследовательского фонда противопожарной защиты. В 2003 году на одном из первоначальных производственных участков (Павни) производились земляные работы и были выкопаны образцы стержневых электродов на 5/8 дюйма (14,2 мм) покрытых медью и на 3/4 дюйма (17,2 мм) – оцинкованных. Были установлены результаты. На электроде на 5/8 дюйма покрытом медью практически не было коррозии, в то время как на электроде, на 3/4 дюйма оцинкованном, были видны значительные повреждения (см. рисунки на следующей странице).

ERICO®



Рисунок 1. Оцинкованный на 3/4 дюйма стержневой электрод длиной 3,04 м, извлеченный по прошествии 10 лет (Производственный участок Павни)

ERICO®



Рисунок 2. Покрытый медью на 5/8 дюйма стержневой заземляющий электрод длиной 2,45 м, извлеченный по прошествии 10 лет (Производственный участок Павни)

ERICO[®]



Рисунок 3. Электрод типа Н, находящийся рядом с покрытым медью на 5/8 дюйма стержневым электродом длиной 2,45 м, извлеченный по прошествии 10 лет



Рисунок 4. Электрод типа I, находящийся рядом с оцинкованным на 3/4 дюйма стержневым электродом длиной 3,04 м, извлеченный по прошествии 10 лет.



Рекомендации

Будучи всемирно известным лидером в области производства полного ряда продукции для заземления, ERICO является единственно квалифицированной компанией, могущей высказывать свое мнение по этому поводу. В 2003 году компания ERICO продала один миллион оцинкованных и покрытых медью заземляющих стержневых электродов. Позиция ERICO состоит в том, что оцинкованные заземляющие стержневые электроды больше подходят для краткосрочного некритического оборудования. Для большинства установок стержневые электроды, покрытые медью, или изготовленные из нержавеющей стали, благодаря своему более продолжительному сроку службы, обеспечивают лучшую защиту, как для людей, так и для оборудования. Определить вышедший из строя заземляющий электрод непросто. Их размещение ниже уровня земли затрудняет к ним доступ с целью проверки, даже если кто-то помнит, где они находятся. Установка стержневых электродов, которые не требуют проверки, обеспечивает самый высокий уровень безопасности.

В ходе описанных выше независимых исследований, имитируя реальные производственные условия на местах, было продемонстрировано, что можно ожидать, что цинковое покрытие толщиной 99 мкм обеспечит защиту на 10-15 лет в большинстве типов почвы. Это значительно меньше, чем срок службы, обеспечиваемый стержневым электродом, покрытым медью. Несмотря на то, что данным, собранным Национальным бюро стандартов, более 50 лет, они совершенно не потеряли своей актуальности. Металл продолжает подвергаться коррозии в той же степени, как это было и тогда. Многие из принятых методов, применяемых в настоящее время в электротехнической отрасли, основываются на работах, проведенных еще до исследований НБС. Не стоит забывать о работе, проделанной Георгом Симоном Омом в XIX веке. Проще говоря, 99 мкм цинка на оцинкованном стержневом электроде это не то же, что 254 мкм меди на стержневом электроде, покрытом медью. Эту разницу следует принимать во внимание. Выбирая заземляющие стержневые электроды, компания ERICO рекомендует руководствоваться следующими принципами:

цинковое покрытие 99 мкм: приемлемо для оборудования со сроком службы до 10 лет. Не рекомендуется для применения с глубокой установкой.

медное покрытие 254 мкм: приемлемо для оборудования со сроком службы до 40 лет. Применимо для глубокой установки.

медное покрытие 330 мкм: приемлемо для оборудования со сроком службы до 50 лет. Рекомендуется глубокая установка.

Важно помнить, что заземляющий стержневой электрод является единственным компонентом заземляющего устройства. Лица, ответственные за проектирование заземления должны учесть все аспекты системы и попытаться использовать высококачественные продукты, увеличивающих для владельца ценность его оборудования.



МАТЕРИАЛ ДЛЯ ССЫЛОК

1. «Подземная коррозия» Мелвин Романофф, Министерство торговли США, Национальное бюро стандартов, Циркуляр 579 (апрель, 1957)
2. «Производственные испытания заземляющих стержневых электродов», Инженерно-строительная лаборатория ВМС США, Военно-морское оборудование, инженерно-строительное командование ВМС, технический отчет R660 (февраль, 1970)