

Технический отчет о сроке эксплуатации стержневых заземляющих электродов.

## **«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 наилучшему применению стержневых заземляющих электродов. Наряду со своей конструкцией и функциями, качество системы заземления должно также оцениваться исходя из коррозионной стойкости его составных частей. Элементы заземляющего устройства, находящиеся под землей, подвергаются более жесткому воздействию агрессивной среды, чем аналогичные элементы, находящиеся на поверхности земли или внутри объекта. Способность заземляющих электродов противостоять коррозии определяет срок эксплуатации заземляющего устройства. 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 омедненный заземляющий стержень, от оцинкованного. Ответ, прежде всего, заключается в способности двух материалов покрытия, а именно меди и цинка, противостоять любым видам коррозии: электрохимической, электролитической или химической. Ниже представленный материал включает в себя теорию, независимые технические исследования, практический опыт, и позволит инженерам-проектировщикам, подрядным организациям, инспекторам, службе эксплуатации и другим заинтересованным лицам принимать взвешенные решения.

### **Предназначение системы заземления**

Первостепенной и наиболее важной задачей системы заземления является защита персонала. Система заземления предназначена для исключения появления на металлических элементах конструкций, входящих в сооружение коммуникациях, корпусах приборов опасной для персонала и оборудования разности потенциалов (напряжения). Система заземления играет также важную роль в рассеивании токов молний, принимаемых системой внешней молниезащиты и эффективном функционировании устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). При грозовом разряде неисправность любого заземляющего компонента в системах молниезащиты значительно увеличивает риск образования искрения и возгорания. Работоспособность современного электронного оборудования основывается на эффективной системе заземления. Эффективное заземление лежит в основе работы энергосистем, предотвращая пробой изоляции на передающих линиях и защищая дорогое оборудование.

## 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 грунтом и является средством, используемым для рассеивания в нем токов. Традиционно роль заземляющего электрода выполняли системы водоснабжения и канализации. В связи с тем, что в настоящее время системы водоснабжения и канализации прокладываются с использованием труб из ПВХ возникает необходимость в монтаже специально предназначенного для рассеивания токов заземляющего устройства, состоящего из горизонтальных и вертикальных заземляющих электродов. Существует много типов электродов, удовлетворяющих требованиям безопасности, в том числе электроды из конструкционной стали, заключенные в бетонную оболочку, пластинчатые, заземляющие кольца, стержневые и трубчатые электроды. Однако наиболее распространенными являются 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 США

С 1910 по 1955 год Национальное бюро стандартов США 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 стальной электрод, покрытый 254 мкм меди, будет сохранять свои технические характеристики в течение более 40 лет в большинстве типов грунта. Также будет показано, что в большинстве типов грунта 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 заземляющего электрода, подчеркнуть важность выбора электрода для системы заземления.

В разделе 11 циркуляра рассматривается область испытаний образцов из меди и медных сплавов. В таблице 48 циркуляра представлены данные, отображающие среднегодовую потерю веса (в унциях на кв. фут) образцов из медных труб, помещенных в 43 различных типа грунта на срок от 8 до 13 лет. Каждая унция на квадратный фут соответствует средней глубине разрушения на 35,56 мкм. Анализ 14 типов грунта 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. Представлены также средние значения между этими двумя материалами.

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

№ образца грунта	Длительность эксперимента, год	Медные образцы с содержанием меди 99.94%	Медные образцы с содержанием меди 99.93%	Средняя потеря веса (унций на кв. фут) в год	Глубина разрушения (x 0,001 дюйма в год)
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
Среднее количество лет 13,42			Средняя глубина разрушения (в год) 0,892 мкм		

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

Таблица 2. Анализ образцов, размещенных на срок 8 лет

№ образца грунта	Длительность эксперимента, год	Медные образцы с содержанием меди 99.94%	Медные образцы с содержанием меди 99.93%	Средняя потеря веса (унций на кв. фут) в год	Глубина разрушения (х 0,001 дюйма в год)
1	8,1	0,06	0,063	0,0615	0,0000861
20	8,1	0,042	0,039	0,405	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
Среднее количество лет 8			Средняя глубина разрушения (в год) 2,914 мкм		

#### **Общая глубина разрушения после 8 лет = 23,319 мкм**

Время, необходимое для разрушения 254 мкм меди, может быть использовано для установления номинального срока службы заземляющего стержневого электрода. Несмотря на то, что использовались различные типы грунта, 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 грунтов ожидаемый срок службы заземляющего электрода может превышать 40 лет.

В 1924 году было проведено исследование по размещению в земле 208 образцов из пяти основных металлов, покрытых методом горячего цинкования слоем средней толщиной покрытия 125 мкм. Кроме того в землю было помещено определенное количество оцинкованных стальных пластин с толщиной покрытия от 71 до 225 мкм. В результате исследования было установлено, что в большинстве грунтов цинковое покрытие толщиной 88,9 мкм 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 грунтов номинальная толщина покрытия в 88,9 мкм обеспечит срок службы как минимум на 10 лет. Покрытие толщиной 132 мкм обеспечивает соответствующую защиту на срок от 10 до 13 лет во всех типах неорганических раскисленных грунтов, за исключением грунтов с высокой концентрацией солей. Следует иметь в виду, что номинальная толщина покрытия оцинкованного заземляющего стержня составляет 99 мкм. Результаты анализа оцинкованных труб 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 США 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, 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 США, 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 монтироваться;
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».

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

*Омедненный стальной стержневой электрод:* «Фактически, коррозия на медном покрытии не выявлена, однако в верхней части стального сердечника была обнаружена корродированная 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 омедненного стержневого электрода, 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 ничтожной. 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 США по разработке систем заземления – извлечение стержневых электродов на производственном участке Ravni.**

Национальный научно-исследовательский проект США по разработке систем заземления был начат в 1992 году с целью сравнения долговечности функциональных характеристик различных типов заземляющих электродов. В 2003 году на одном из первоначальных производственных участков Ravni были извлечены образцы омедненных стержневых электродов диаметром 5/8 дюйма (14,2 мм) и оцинкованных электродов диаметром 3/4 дюйма (17,2 мм). В результате было установлено, что на омедненном электроде практически не было коррозии, в то время как на оцинкованном, были видны значительные повреждения.



Рисунок 1. Производственный участок Ravni. Оцинкованный стержневой электрод длиной 3,04 м, извлеченный через 10 лет с момента монтажа.



Рисунок 2. Производственный участок Равпі. Омедненный заземляющий электрод длиной 2,45 м, извлеченный через 10 лет с момента монтажа.



Рисунок 3. Производственный участок Равпі. Электрод типа Н, находящийся рядом с омедненным электродом, извлеченный через 10 лет с момента монтажа.



Рисунок 4. Производственный участок Равпі. Электрод типа І, находящийся рядом с оцинкованным электродом, извлеченный через 10 лет с момента монтажа.

## Выводы:

Компания ERICO мировой лидер в области производства продукции для монтажа заземляющих устройств. В 2003 году компания ERICO продала один миллион оцинкованных и омедненных заземляющих стержневых электродов. Позиция ERICO состоит в том, что оцинкованные заземляющие стержневые электроды предназначены для электроустановок со сроком эксплуатации до 10 лет. Применение омедненных заземляющих электродов и электродов из нержавеющей стали, благодаря их длительному сроку эксплуатации, позволяет обеспечить надежную защиту для персонала и оборудования. Определить разрушенный коррозией заземляющий электрод непросто. Их размещение под землей затрудняет к ним доступ с целью проверки, даже если кто-то помнит, где они смонтированы. 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 грунтов различных типов. Это значительно меньше, чем срок службы, обеспечиваемый омедненным стержневым электродом. Несмотря на то, что данным, собранным Национальным бюро стандартов США, более 50 лет они 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 США. 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;

**Медное покрытие 254 мкм:** приемлемо для оборудования со сроком службы до 40 лет;

**Медное покрытие 330 мкм:** приемлемо для оборудования со сроком службы до 50 лет.

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.

## Литература:

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)