

ЗАЗЕМЛЕНИЕ

1 ЧАСТЬ. ЗАЗЕМЛЕНИЕ

(ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ)

2 ЧАСТЬ. ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

(ОПИСАНИЕ, РАСЧЁТ, МОНТАЖ)

3 ЧАСТЬ. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ОПИСАНИЕ, РАСЧЁТ, МОНТАЖ)



1 ЧАСТЬ. ЗАЗЕМЛЕНИЕ

А. Термины и определения

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством (ПУЭ 1.7.28).

Грунт является средой, имеющей свойство “впитывать” в себя электрический ток. Также он является некоторой “общей” точкой в электросхеме, относительно которой воспринимается сигнал.

Заземляющее устройство - совокупность заземлителя/ заземлителей и заземляющих проводников (ПУЭ 1.7.19).

Это устройство/ схема, состоящее из заземлителя и заземляющего проводника, соединяющего этот заземлитель с заземляемой частью сети, электроустановки или оборудования. Может быть распределенным, т.е. состоять из нескольких взаимно удаленных заземлителей.

На рисунке оно показано толстыми красными линиями:

Заземлитель - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с грунтом (ПУЭ 1.7.15).

Проводящая часть - это металлический (токопроводящий) элемент/ электрод любого профиля и конструкции (штырь, труба, полоса, пластина, сетка, ведро :-) и т.п.), находящийся в грунте и через который в него “стекает” электрический ток от электроустановки.

Конфигурация заземлителя (количество, длина, расположение электродов) зависит от требований, предъявляемых к нему, и способности грунта “впитывать” в себя электрический ток идущий/ “стекающий” от электроустановки через эти электроды.

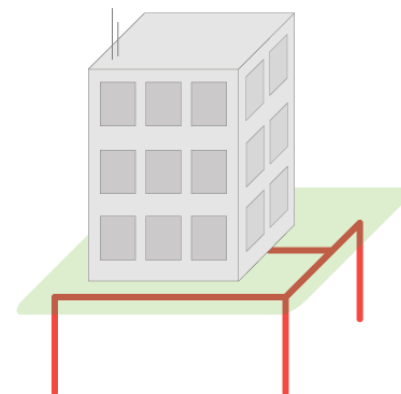
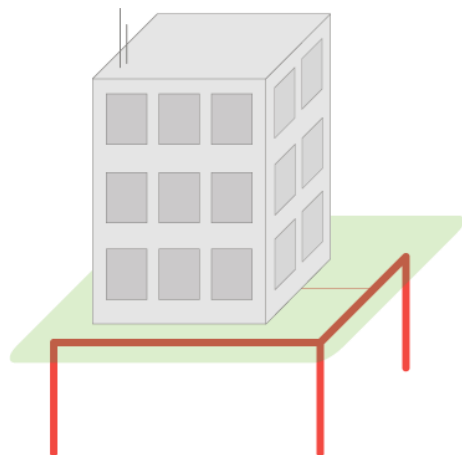
На рисунке он показан толстыми красными линиями:

Сопротивление заземления - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю (ПУЭ 1.7.26).

Сопротивление заземления - основной показатель заземляющего устройства, определяющий его способность выполнять свои функции и определяющий его качество в целом. Сопротивление заземления зависит от площади электрического контакта заземлителя (заземляющих электродов) с грунтом (“стекание” тока) и удельного электрического сопротивления грунта, в котором смонтирован этот заземлитель (“впитывание” тока).

Заземляющий электрод (электрод заземлителя) - проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с локальной землей (ГОСТ Р 50571.21-2000 п. 3.21)

Повторю: в качестве проводящей части может выступать металлический (токопроводящий) элемент любого профиля и конструкции (штырь, труба, полоса, пластина, сетка, ведро :-) и т.п.), находящийся в грунте и через который в него “стекает” электрический ток от электроустановки.

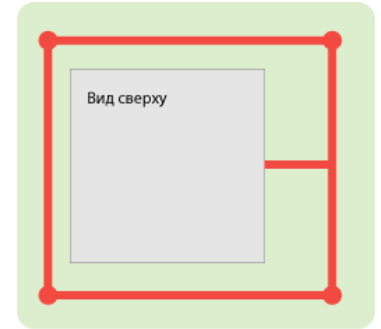


На рисунке они показаны толстыми красными линиями:

Далее определения, не встречающиеся или не описанные достаточно точно в стандартах и нормах, поэтому имеющие только мое описание.

Контур заземления - “народное” название заземлителя или заземляющего устройства, состоящего из нескольких заземляющих электродов (группы электродов), соединенных друг с другом и смонтированных вокруг объекта по его периметру/ контуру.

На рисунке объект обозначен серым квадратом в центре, а контур заземления - толстыми красными линиями:



Удельное электрическое сопротивление грунта - параметр, определяющий собой уровень "электропроводности" грунта как проводника, то есть как хорошо будет растекаться в такой среде электрический ток от заземляющего электрода. Это измеряемая величина, зависящая от состава грунта, размеров и плотности прилегания друг к другу его частиц, влажности и температуры, концентрации в нем растворимых химических веществ (солей, кислотных и щелочных остатков).

Б. Назначение (виды) заземления

Заземление делится на два основных вида по выполняемой роли - на рабочее (функциональное) и защитное. Также в различных источниках приводятся дополнительные виды, такие как: “инструментальное”, “измерительное”, “контрольное”, “радио”.

Б1. Рабочее (функциональное) заземление

Это заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности) (ПУЭ 1.7.30).

Рабочее заземление (электрический контакт с грунтом) используется для нормального функционирования электроустановки или оборудования, т.е. для их работы в ОБЫЧНОМ режиме.

Б2. Защитное заземление

Это заземление, выполняемое в целях электробезопасности (ПУЭ 1.7.29).

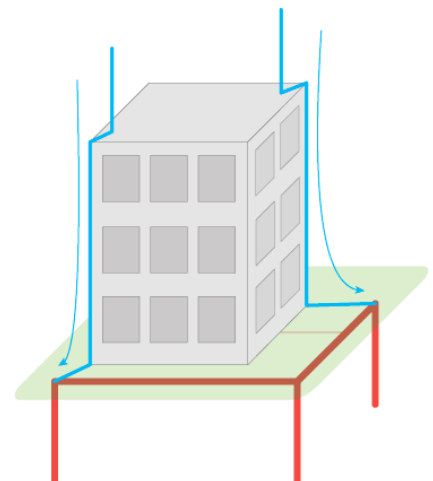
Защитное заземление обеспечивает защиту электроустановки и оборудования, а также защиту людей от воздействия опасных напряжений и токов, могущих возникнуть при поломках, неправильной эксплуатации техники (т.е. в АВАРИЙНОМ режиме) и при разрядах молний. Также защитное заземление используется для защиты аппаратуры от помех при коммутациях в питающей сети и интерфейсных цепях, а также от электромагнитных помех, наведенных от работающего рядом оборудования. Подробнее защитное назначение заземления можно рассмотреть на двух примерах:

- в составе внешней молниезащитной системы в виде заземленного молниеприёмника
- в составе системы защиты от импульсного перенапряжения
- в составе электросети объекта

Б2.1. Заземление в составе молниезащиты

Молния - это разряд или другими словами "пробой", возникающий ОТ облака К земле, при накоплении в облаке заряда критической величины (относительно земли). Примерами этого явления в меньших масштабах является “пробой” ([wiki](#)) в конденсаторе и газовый разряд ([wiki](#)) в лампе.

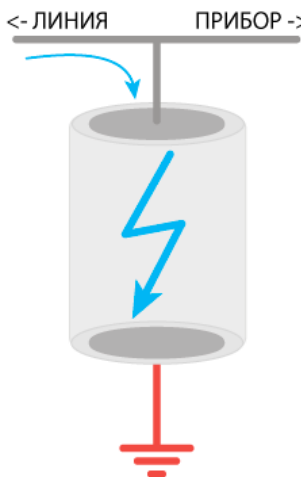
Воздух - это среда с очень большим сопротивлением (диэлектрик), но разряд преодолевает его, т.к. обладает большой мощностью. Путь разряда проходит по участкам наименьшего сопротивления, таким как капли воды в воздухе и деревья. Этим объясняется корнеобразная структура молнии в воздухе и частое попадание молнии в деревья и здания (они имеют меньшее сопротивление, чем воздух в этом промежутке).



При попадании в крышу здания, молния продолжает свой путь к земле, также выбирая участки с наименьшим сопротивлением: мокрые стены, провода, трубы, электроприборы - таким образом представляя опасность для человека и оборудования, находящихся в этом здании.

Молниезащита предназначена для отвода разряда молнии от защищаемого здания/ объекта. Разряд молнии, идущий по пути наименьшего сопротивления попадает в металлический молниеприёмник над объектом, затем по металлическим молниеотводам, расположенным снаружи объекта (например, на стенах), спускается до грунта, где и расходится в нём (напоминаю: грунт является средой, имеющей свойство “впитывать” в себя электрический ток).

Для того, чтобы сделать молниезащиту “привлекательной” для молнии, а также для исключения распространения молниевых токов от деталей молниезащиты (приёмник и отводы) внутрь объекта, её соединение с грунтом производится через заземлитель, имеющий низкое сопротивление заземления.



Заземление в такой системе является обязательным элементом, т.к. именно оно обеспечивает полный и быстрый переход молниевых токов в грунт, не допуская их распространение по объекту.

Б2.2. Заземление в составе системы защиты от импульсного перенапряжения (УЗИП). УЗИП предназначено для защиты электронного оборудования от заряда, накопленного на каком-либо участке линии/сети в результате воздействия электромагнитного поля (ЭМП), наведенного от рядом стоящей мощной электроустановки (или высоковольтной линии) или ЭМП, возникшего при близком (до сотен метров) разряде молнии.

Ярким примером этого явления является накопление заряда на медном кабеле домовой сети или на “пробросе” между зданиями во время грозы. В какой-то момент приборы, подключенные к этому кабелю (сетевая карта компьютера или порт коммутатора), не выдерживают “размера” накопившегося заряда и происходит электрический пробой внутри этого прибора, разрушающий его (упрощенно).

Для “сравливания” накопившегося заряда параллельно “нагрузке” на линию перед оборудованием ставится УЗИП.

Классический УЗИП представляет собой газовый разрядник ([wiki](#)), рассчитанный на определенный “порог” заряда, который меньше “запаса прочности” защищаемого оборудования. Один из электродов этого разрядника заземляется, а другой - подключается к одному из проводов линии/ кабеля.

При достижении этого порога внутри разрядника возникает разряд :-) между электродами. В результате чего накопленный заряд сбрасывается в грунт (через заземление).

Как и в молниезащите - заземление в такой системе является обязательным элементом, т.к. именно оно обеспечивает своевременное и гарантированное возникновение разряда в УЗИПе, не допуская превышение заряда на линии выше безопасного для защищаемого оборудования уровня.

Б2.3. Заземление в составе электросети

Третий пример защитной роли заземления - это обеспечение безопасности человека и электрооборудования при поломках/ авариях.

Проще всего такая поломка описывается замыканием фазного провода электросети на корпус прибора (замыкание в блоке питания или замыкание в водонагревателе через водную среду). Человек, коснувшийся такого прибора, создаст дополнительную электрическую цепь, через которую побежит ток, вызывающий в теле повреждения внутренних органов - прежде всего нервной системы и сердца.

Для устранения таких последствий используется соединение корпусов с заземлителем (для отвода аварийных токов в грунт) и защитные автоматические устройства, за доли секунды отключающие ток при аварийной ситуации.

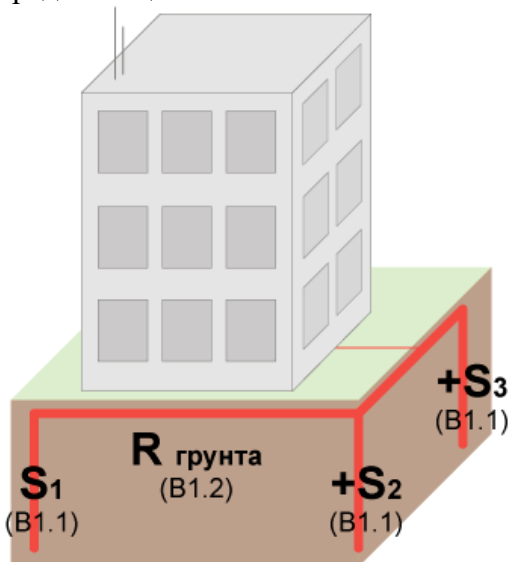
Например, заземление всех корпусов, шкафов и стоек телекоммуникационного оборудования.

В. Качество заземления. Сопротивление заземления.

Для корректного выполнения заземлением своих функций оно должно иметь определенные параметры/ характеристики. Одним из главных свойств, определяющих качество заземления, является

сопротивление растеканию тока (сопротивление заземления), определяющее способность заземлителя (заземляющих электродов) передавать токи, поступающие на него от оборудования в грунт.

Это сопротивление имеет конечные значения и в идеальном случае представляет собой нулевую величину, что означает отсутствие какого-либо сопротивления при пропускании "вредных" токов (это гарантирует их ПОЛНОЕ поглощение грунтом).



В1. Факторы, влияющие на качество заземления

Сопротивление в основном зависит от двух условий:

- площадь (S) электрического контакта заземлителя с грунтом
- электрическое сопротивление (R) самого грунта, в котором находятся электроды

В1.1. Площадь контакта заземлителя с грунтом.

Чем больше будет площадь соприкосновения заземлителя с грунтом, тем больше площадь для перехода тока от этого заземлителя в грунт (тем более благоприятные условия создаются для перехода тока в грунт). Это можно сравнить с поведением автомобильного колеса на повороте. Узкая покрышка имеет небольшую площадь контакта с асфальтом и легко может начать скользить по нему, “отправив” автомобиль в занос. Широкая покрышка, да еще и немного спущенная, имеет много большую площадь контакта с асфальтом, обеспечивая надежное сцепление с ним и, следовательно, надежный контроль за движением.

Увеличить площадь контакта заземлителя с грунтом можно либо увеличив количество электродов, соединив их вместе (сложив площади нескольких электродов), либо увеличив размер электродов. При применении вертикальных заземляющих электродов последний способ очень эффективен, если глубинные слои грунта имеют более низкое электрическое сопротивление, чем верхние.

В1.2. Электрическое сопротивление грунта (удельное)

Напомню: это величина, определяющая - как хорошо грунт проводит ток через себя. Чем меньшее сопротивление будет иметь грунт, тем эффективнее/ легче он будет “впитывать” в себя ток от заземлителя.

Примерами грунтов, хорошо проводящих ток, являются солончаки или сильно увлажненная глина. Идеальная природная среда для пропускания тока - морская вода. Примером “плохого” для заземления грунта является сухой песок.

Возвращаясь к первому фактору и способу уменьшения сопротивления заземления в виде увеличения глубины электрода можно сказать, что на практике более чем в 70% случаев грунт на глубине более 5 метров имеет в разы меньшее удельное электрическое сопротивление, чем у поверхности, за счет большей влажности и плотности. Часто встречаются грунтовые воды, которые обеспечивают грунту очень низкое сопротивление. Заземление в таких случаях получается очень качественным и надежным.

В2. Существующие нормы сопротивления заземления

Так как идеала (нулевого сопротивления растеканию) достигнуть невозможно, все электрооборудование и электронные устройства создаются исходя из некоторых нормированных величин сопротивления заземления, например 0,5, 2, 4, 8, 10, 30 и более Ом.

Для ориентирования приведу следующие значения:

- для подстанции с напряжением 110 кВ сопротивление растеканию токов должно быть не более 0,5 Ом (ПУЭ 1.7.90)
- при подключении **телекоммуникационного оборудования**, заземление обычно должно иметь сопротивление не более 2 или 4 Ом
- для уверенного срабатывания газовых разрядников в **устройствах защиты воздушных линий связи** (например, локальная сеть на основе медного кабеля или радиочастотный кабель) сопро-

тивление заземления, к которому они (разрядники) подключаются должно быть не более 2 Ом. Встречаются экземпляры с требованием в 4 Ом.

- у источника тока (например, трансформаторной подстанции) сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом при линейном напряжении 380 В источника трехфазного тока или 220 В источника однофазного тока (ПУЭ 1.7.101)

- у заземления, используемого для подключения **молниеприёмников**, сопротивление должно быть не более 10 Ом (РД 34.21.122-87, п. 8)

- для частных домов, с подключением к электросети 220 Вольт / 380 Вольт:

- при использовании системы TN-C-S необходимо иметь локальное заземление с рекомендованным сопротивлением не более 30 Ом (ориентируюсь на ПУЭ 1.7.103)

- при использовании системы TT (изолирование заземления от нейтрали источника тока) и применении устройства защитного отключения (УЗО) с током срабатывания 100 мА необходимо иметь локальное заземление с сопротивлением не более 500 Ом (ПУЭ 1.7.59)

В3. Расчёт сопротивления заземления

Для успешного проектирования заземляющего устройства, имеющего необходимое сопротивление заземления, применяются, как правило, типовые конфигурации заземлителя и базовые формулы для расчётов.

Выбор формул расчёта зависит от выбранной конфигурации заземлителя. Сами формулы содержат в себе параметры этой конфигурации (например, количество заземляющих электродов, их длину, толщину) и параметры грунта конкретного объекта, где будет размещаться заземлитель. Например, для одиночного вертикального электрода эта формула будет такой:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right]$$

где:
 ρ - удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м)
 L - длина электрода (м)
 d - диаметр электрода (м)
 T - заглубление электрода (м)

Точность расчёта обычно невысока и зависит опять же от грунта - на практике расхождения практических результатов встречается в почти 100% случаев. Это происходит из-за его (грунта) большой неоднородности: он изменяется не только по глубине, но и по площади - образуя трёхмерную структуру. Имеющиеся формулы расчёта параметров заземления с трудом справляются с одномерной неоднородностью грунта, а расчёт в трёхмерной структуре сопряжен с огромными вычислительными мощностями и требует крайне высокую подготовку оператора.

Кроме того, для создания точной карты грунта необходимо произвести большой объем геологических работ (например, для площади 10*10 метров необходимо сделать и проанализировать около 100 шурфов длиной до 10 метров), что вызывает значительное увеличение стоимости проекта и чаще всего не возможно.

В свете вышесказанного почти всегда расчёт является обязательной, но ориентировочной мерой и обычно ведётся по принципу достижения сопротивления заземления “не более, чем”. В формулы подставляются усредненные значения удельного сопротивления грунта, либо их наибольшие величины. Это обеспечивает “запас прочности” и на практике выражается в заведомо более низких (ниже - значит лучше) значениях сопротивления заземления, чем ожидалось при проектировании.

Строительство заземлителей

При строительстве заземлителей чаще всего применяются вертикальные заземляющие электроды. Это связано с тем, что горизонтальные электроды трудно заглубить на большую глубину, а при малой глубине таких электродов - у них очень сильно увеличивается сопротивление заземления (ухудшение основной характеристики) в зимний период из-за замерзания верхнего слоя грунта, приводящее к большому увеличению его удельного электрического сопротивления.

В качестве вертикальных электродов почти всегда выбирают стальные трубы, штыри/ стержни, уголки и т.п. стандартную прокатную продукцию, имеющую большую длину (более 1 метра) при

сравнительно малых поперечных размерах. Этот выбор связан с возможностью легкого заглубления таких элементов в грунт в отличии, например, от плоского листа.

2 ЧАСТЬ. ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ОПИСАНИЕ, РАСЧЁТ, МОНТАЖ)

Г. Основные способы строительства

При строительстве заземлителей чаще всего применяются вертикальные заземляющие электроды. Это связано с тем, что горизонтальные электроды трудно заглубить на большую глубину, а при малой глубине таких электродов - у них очень сильно увеличивается сопротивление заземления (ухудшение основной характеристики) в зимний период из-за замерзания верхнего слоя грунта, приводящее к большому увеличению его удельного электрического сопротивления. В качестве вертикальных электродов почти всегда выбирают стальные трубы, штыри/ стержни, уголки и т.п. стандартную прокатную продукцию, имеющую большую длину (более 1 метра) при сравнительно малых поперечных размерах. Этот выбор связан с возможностью легкого заглубления таких элементов в грунт в отличии, например, от плоского листа.

Существует два основных традиционных способа/ решения для строительства заземляющих электродов. Оба базируются на применении вертикальных заземляющих электродов.

Г1. Несколько коротких электродов (“уголок и кувалда”)

При таком подходе в качестве заземляющих электродов применяются небольшие (2-3 метра) стальные уголки/ штыри. Для создания заземлителя они соединяются вместе около поверхности грунта стальной полосой путем приваривания её к этим элементам электро или газосваркой.

Заглубление электродов в грунт производится банальным заколачиванием их кувалдой, которая находится в руках физически сильного и выносливого монтажника. Поэтому такое решение повсеместно применяется под условным названием “уголок и кувалда”.

Большая площадь контакта заземлителя с грунтом достигается большим количеством электродов (**многоэлектродный заземлитель**). Увеличивать глубину электродов (альтернативный путь увеличения площади контакта) очень затруднительно, т.к. с увеличением глубины увеличивается сила трения между монтируемым электродом и грунтом, а вес кувалды и силы монтажника имеют предел.

При выборе уголков/ штырей и другого подходящего металлопроката необходимо учитывать их коррозионную стойкость и возможность пропускать через себя токи большой величины в течении какого-то времени без расплавления.

Минимальные разрешенные поперечные размеры (сечения) заземляющих электродов описаны в таблице 1.7.4 ПУЭ, но последние годы чаще применяются поправленные и дополненные величины из таблицы 1 техциркуляра 11 от 2006 года ассоциации “РосЭлектроМонтаж” (источники).

В частности:

- для уголка или прямоугольного профиля (полосы) из чёрной стали поперечное сечение должно составлять не менее 150 мм^2 при минимальной толщине стенки 5 мм
- для круглого стержня из чёрной стали минимальный диаметр должен быть 18 мм
- для трубного профиля из чёрной стали минимальный диаметр должен быть 32 мм при минимальной толщине стенки не менее 3,5 мм

Г1.1. Особенности решения

При увеличении количества электродов необходимо учитывать некоторые особенности.

Г1.1.1. Промерзание грунта зимой

Зимой из-за промерзания грунта на глубины, в которых находится половина длины электродов (а это до 2-х метров) сопротивление такого заземлителя увеличивается. Для компенсации этого увеличения (для сохранения удовлетворительного качества заземления) заземлитель выполняется с доста-

точным “запасом” электродов. Например, для трёхметровых электродов необходимо двухкратное увеличение количества.

Г1.1.2. Взаимное “экранирование”/ “затенение” электродов

Кроме того, увеличением количества электродов необходимо компенсировать само увеличение количества электродов :-). Этот негативный момент т.н. “экранирования”/ “затенения” возникает при использовании множества заземляющих электродов и не позволяет близкорасположенным электродам полноценно “рассеивать” ток в окружающий грунт. Выражается в виде коэффициента использования проводимости заземлителя.

Например: десять электродов глубиной по 3 метра, расположенных в линию на расстоянии 3 метра (т.е. на расстояние = своей глубине) друг от друга “работают” на 60% от своей максимальной эффективности. Десять этих же электродов, расположенных на расстоянии 6 метров (т.е. на расстояние = своей двойной глубине) друг от друга “работают” на 75% от своей максимальной эффективности. Стопроцентная эффективность достигается отдалением электродов на расстояния около 30 метров (10 их глубин), что на практике никогда не используется в угоду стремления к адекватной компактности и стоимости монтажа заземляющего устройства.

Г1.2. Расчёт получаемого сопротивления заземления и необходимого количества заземляющих электродов

Опишу расчёты на примере десяти наиболее часто используемых для такого способа трёхметровых электродов в виде стального равнополочного уголка с шириной полки 50 мм, монтируемых на расстоянии 3-х метров друг от друга в канаве глубиной 0,5 метров (в п. Г1.3. объяснение “почему так”). Грунт, в котором будут монтироваться эти электроды, будет суглинком, обычным для России, с удельным электрическим сопротивлением 100 Ом*м.

Расчёты не сложны и проводятся в 3 этапа:

1 этап. Для начала необходимо вычислить сопротивление заземления одного заземляющего электрода. Сопротивление заземления одиночного вертикального заземляющего электрода вычисляется по формуле:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right]$$

где:
 ρ - удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м)
 L - длина электрода (м)
 d - диаметр электрода (м)
 T - заглубление электрода (м)

R_1 составит 27,8 Ом
(при $\rho = 100$ Ом*м, $L = 3$ м, $d = 0.05$ м (50 мм; для плоских электродов под диаметром понимается их ширина), $T = 2$ м (T - расстояние от верхнего уровня грунта до середины заглубленного электрода)).

2 этап. Общее сопротивление нескольких электродов в идеальных условиях будет меньше сопротивления заземления одного электрода во столько раз, сколько будет электродов.

$$R = \frac{R_1}{N_{\text{электродов}}}$$

Для десяти электродов общее сопротивление будет меньше в 10 раз и составит 2,78 Ом.

3 этап. “Компенсации”.

Сезонный коэффициент (увеличения сопротивления заземления в замерзшем зимой грунте) для таких электродов будет равен 2 (откуда это). Коэффициент использования проводимости электродов

будет равен 0,6, т.к. расстояние между электродами будет 3 метра (т.е. равное глубине электрода), а их количество - 10 штук (откуда это). Оба коэффициента увеличивают сопротивление заземления.

$$R = \frac{K_{\text{сезонный}}}{K_{\text{использования}}} \frac{R_1}{N_{\text{электродов}}}$$

Итоговое общее сопротивление заземления вышеприведенных 10-ти электродов будет равно **5,56 Ом** летом и **9,27 Ом** зимой.

Необходимое количество заземляющих электродов

Представим, что наша задача - заземлить телекоммуникационное оборудование и для этого необходимо получить заземление с сопротивлением не более 4 Ом.

1 этап. Всё повторяется. Вычисляем сопротивление заземления одного/ одиночного заземляющего электрода.

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right]$$

где:
 ρ - удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м)
 L - длина электрода (м)
 d - диаметр электрода (м)
 T - заглубление электрода (м)

R_1 составит 27,8 Ом.

2 этап. Количество электродов в идеальных условиях напрямую зависит от необходимого сопротивления заземления с округление в большую сторону (“потолок”).

$$N_{\text{электродов}} = \left\lceil \frac{R_1}{R} \right\rceil$$

Для достижения 4-х Ом количество электродов получится 7 штук (округление 6,95).

3 этап. “Компенсации”.

Сезонный коэффициент (увеличения сопротивления заземления в замерзшем зимой грунте) для таких электродов будет равен 2. Коэффициент использования проводимости электродов будет зависеть от рассчитываемого количества электродов - заранее его не выбрать. Однако можно прикинуть наихудший вариант и, допустив, что электродов будет больше 20, взять для расчёта величину 0,5. Оба коэффициента увеличивают необходимое количество заземляющих электродов.

$$N_{\text{электродов}} = \left\lceil \frac{K_{\text{сезонный}}}{K_{\text{использования}}} \frac{R_1}{R} \right\rceil$$

Итоговое необходимое количество вышеприведенных заземляющих электродов будет равно **28 штук** (округление 27,8). Совпадение с сопротивлением заземления одного электрода случайно.

Г1.3. Монтаж

Монтаж описанного выше многоэлектродного заземлителя выглядит примерно так.

1. От места ввода заземляющего проводника внутрь здания/ объекта по периметру/ контуру этого здания вдоль его стен на удалении в 1 метр копается канава длиной 84 метра (28 электродов на 3 метра) глубиной 0,5-0,7 метра.
2. В эту канаву на расстоянии не менее 3-х метров друг от друга кувалдой забиваются предварительно заостренные с нижней стороны (болгаркой) стальные уголки или отрезки арматуры длиной 3 метра в количестве 28 метров.
3. После забивания всех электродов - в канаву укладывается заземляющий проводник от ввода в здание (где расположен электрощит) до самого дальнего электрода. Обычно при таком способе таким проводником выступает стальная полоса 4*50 мм.
4. Полоса качественно (!) длинным швом приваривается к электродам.
5. Место сварки покрывается слоем битума или антикоррозионной краской, т.к. оно имеет склонность к быстрой коррозии в грунте.
6. Канава засыпается.
7. Снаружи или внутри здания делается переход со стальной полосы на медный провод, подключаемый к электрощиту. Для малых мощностей обычно делается вот так:

Углубление на 0,5-0,7 метра (канавы) необходимо для механической и погодной изоляции проводника (полосы) и верхушек электродов. Например, чтобы не повредить их во время копки грунта для цветника и чтобы сталь меньше намокала во время дождя (это позволяет уменьшить её коррозию, а значит увеличить срок службы).

Взаимное расстояние между электродами не менее 3-х метров является некоторой мерой противодействия эффекту “экранирования”/ “затенения” электродов друг от друга.

Использование сварки для соединения элементов из чёрной стали - настоятельно рекомендовано ПУЭ (п. 1.7.139).

Используемые материалы:

- стальной уголок шириной 50 мм и толщиной стенки 5 мм = 84 метра
- или отрезки стальной гладкой арматуры диаметром 18 мм = 84 метра
- стальная полоса 4*50 мм = около 85 метров
- битум или антикоррозионная краска

Используемый инструмент:

- лопата
- кувалда потяжелее (4-5 кг)
- сварочный аппарат

Используемые ресурсы:

- сильный и выносливый монтажник
- монтажник, обладающий навыками сварщика

Г1.4. Достоинства и недостатки

Достоинства:

- простота
- дешевизна материалов и монтажа
- доступность материалов и монтажа

Недостатки:

- высокая стоимость доставки материала на объект (в легковой автомобиль не положить из-за размеров и веса материалов)
- необходимость применения большого объема грубой силы (копать канаву, махать кувалдой)
- необходима сварка, а значит, сварочный аппарат и человек с навыками сварщика. Ситуация усугубляется при отсутствии на объекте электричества.
- большая площадь, занимаемая заземлителем: часто несколько десятков метров около здания (десять 3-метровых электродов должны будут расположены в канаве длиной 27 метров)
- небольшой срок службы электродов в 5-15 лет (особенно в грунтах с высокими грунтовыми водами). Увеличение поперечных размеров (толщины стали) чревато увеличением сложности монтажа.

- неудобный монтаж, т.к. при использовании даже 2-метровых электродов в начале забивания необходимо вставить на какую-то скамейку/ лестницу и уже с нее “махать кувалдой”
- невозможность монтажа в каменистом грунте

Г1.5. Уменьшение количества электродов

Иногда совместно с этим решением применяется метод кардинального снижения удельного электрического сопротивления грунта, который позволяет сократить количество заземляющих электродов в 2-3 раза при сохранении получаемого сопротивления заземления. Иными словами - этот метод позволяет существенно снизить сопротивление заземления. Речь идёт о засолении грунта в месте размещения электродов путем добавления в него большого объема поваренной соли NaCl (в среднем - 5 килограмм на метр длины канавы, в которую ведется монтаж). При её растворении в грунте (выщелачивании ([wiki](#))) резко повышается концентрация ионов, участвующих в переносе заряда, а следовательно снижается его (грунта) электрическое сопротивление.

При неоспоримом положительном достоинстве такого метода, а также при его простоте и дешевизне - он имеет два огромных **недостатка**, которые грозят восстановлением заземлителя практически “с нуля”:

- за счет вымывания соли из грунта (дожди, весеннее таяние снега), концентрация ионов падает до естественного уровня за 1-3 года
- соль вызывает сильную коррозию стали, разрушая электроды и заземляющий проводник за 2-3 лет



Г2. Одиночный глубинный электрод (“обсадная труба”)

При таком подходе заземлителем является глубокий электрод (чаще всего одиночный) в виде стальной трубы, размещенной в пробуриваемом в грунте отверстии. Бурение и размещение в отверстии трубы выполняется специальной машиной - буровой установкой (обычно на базе грузового автомобиля).

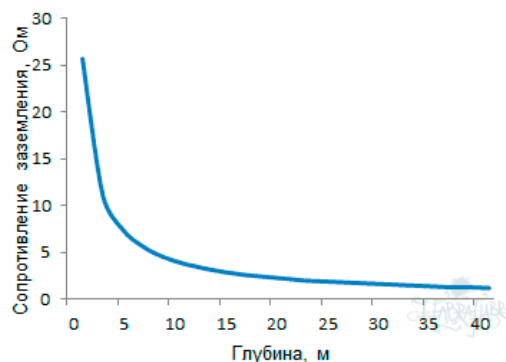
Большая площадь контакта заземлителя с грунтом (вот о чём я) достигается большой длиной (вернее, глубиной) электрода. Кроме того, за счет достижения глубинных слоев грунта, в большинстве случаев имеющих меньшее удельное электрическое сопротивление, такой способ имеет большую эффективность (меньшее сопротивление заземления), чем первый - при одинаковой суммарной длине электродов.

Г2.1. Особенность решения

При увеличении глубины электрода необходимо учитывать, что в однородном грунте сопротивление заземления снижается не пропорционально этому увеличению (больше глубина -> меньше уменьшение сопротивления).

Поэтому при отсутствии на глубине слоев грунта с более низким удельным электрическим сопротивлением стоит рассмотреть вопрос увеличения количества электродов, а не увеличения глубины одиночного электрода. На решение этого вопроса будут влиять и стоимость монтажа дополнительных электродов, и доступность площади для их размещения.

Но напомним (оригинал): ...на практике более чем в 70% случаев грунт на глубине более 5 метров имеет в разы меньшее удельное электрическое сопротивление, чем у поверхности, за счет большей влажности и плотности.



Г2.2. Расчёт получаемого сопротивления заземления. Опишу расчёты на примере одиночного тридцатиметрового электрода в виде стальной трубы диаметром 100 мм, смонтированной в канаве глубиной 0,5 метров. Грунт, в котором будет монтироваться этот электрод, будет для упрощения расчёта однородным суглинком, обычным для России, с удельным электрическим сопротивлением 100 Ом*м.

Расчёт проводится в 1 этап.

Сопротивление заземления одиночного вертикального заземляющего электрода вычисляется по формуле:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right]$$

где:
 ρ - удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м)
 L - длина электрода (м)
 d - диаметр электрода (м)
 T - заглубление электрода (м)

R_1 составит **3,7 Ом** (при $\rho = 100$ Ом*м, $L = 30$ м, $d = 0.1$ м (100 мм), $T = 15.5$ м (T - расстояние от верхнего уровня грунта до середины заглубленного электрода)).

Сравните с результатом в п. Г1.2. Даже при условии однородного грунта одиночный глубинный заземлитель оказывается много эффективнее, чем многоэлектродный, что скажется на огромной разнице в занимаемой этим заземлителем площадки на поверхности.

Но в этой “эйфории” не стоит забывать про стоимость буровых работ, о чём я упомяну ниже в п. Г2.4. (“Недостатки”).

Г2.3. Монтаж

На практике монтаж такого заземлителя в чём-то проще монтажа многоэлектродного заземлителя из первого решения (Г1).

1. От места ввода заземляющего проводника внутрь здания/ объекта на удалении в 3 метра (для безопасного подъезда установки) в сторону перпендикулярно стены копается канава длиной 3-4 метра глубиной 0,5-0,7 метра.
2. Буровая установка производит бурение и установку электрода (“обсадная труба”).
3. В канаву укладывается заземляющий проводник от ввода в здание (где расположен электропит) до электрода. Обычно при таком способе таким проводником выступает стальная полоса 4*50 мм.
4. Полоса качественно (!) длинным швом приваривается к электроду-трубе.
5. Место сварки покрывается слоем битума или антикоррозионной краской, т.к. оно имеет склонность к быстрой коррозии в грунте.
6. Канава засыпается.
7. Снаружи или внутри здания делается переход со стальной полосы на медный провод, подключаемый к электропитанию. Например, как описано в п. Г1.3.

Используемые материалы:

- стальная труба диаметром 100-200 мм с толщиной стенки 3,5-5 мм = 30 метров
- стальная полоса 4*50 мм = около 5 метров
- битум или антикоррозионная краска
- Используемый инструмент:
- буровая установка
- лопата
- сварочный аппарат
- Используемые ресурсы:
- монтажник, обладающий навыками сварщика

Г2.4. Достоинства и недостатки

Достоинства:

- высокая эффективность

- компактность, т.к. не нужно “городить” множество электродов
- сезонная НЕзависимость качества заземления. Зимой из-за промерзания грунта сопротивление такого заземлителя почти не изменяется из-за нахождения в зоне промерзающего грунта не более 5-10% длины электрода.

Недостатки:

- высокая стоимость буровых работ (от 1500-2000 рублей за метр бурения). Приведенный в расчётах (п. Г2.2.) электрод обойдется в 50-60 тысяч рублей.
- (как и у первого способа) необходима сварка, а значит, сварочный аппарат и человек с навыками сварщика.
- (как и у первого способа) небольшой срок службы электродов в 5-15 лет (особенно в грунтах с высокими грунтовыми водами). При использовании толстостенной трубы возможно его увеличение до большего срока, однако это вызывает увеличение стоимости этой трубы.

Современные технологии

Традиция - это прогресс в минувшем; в будущем прогресс станет традицией (Эдуар Эррио)

В конце двадцатого века было разработано решение, которое обладает достоинствами обоих описанных выше способов, не имея присущих им недостатков.

Кроме того, сильное влияние засоления грунта на снижение сопротивления заземления (п. Г1.5.) настолько привлекло внимание инженеров, что было найдено “лекарство” от недостатков этого метода - вымывания соли из грунта и коррозии электродов. Оно породило очень интересный способ строительства заземлителя, применимый там, где пасуют простые металлические электроды - в вечномёрзлых, а также каменистых грунтах.

3 ЧАСТЬ. СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ОПИСАНИЕ, РАСЧЁТ, МОНТАЖ)

Д. Основные способы строительства

Напомню о достоинствах и недостатках традиционных способов строительства заземлителей, описанных в прошлой части:

Несколько коротких электродов (п. Г1.4)

Достоинства:

- простота
- дешевизна материалов и монтажа
- доступность материалов и монтажа

Недостатки:

- высокая стоимость доставки материала на объект
- необходимость применения большого объема грубой силы
- необходима сварка
- большая площадь, занимаемая заземлителем
- небольшой срок службы электродов в 5-15 лет
- неудобный монтаж

Одиночный глубинный электрод (п. Г2.4)

Достоинства:

- высокая эффективность
- компактность
- сезонная НЕзависимость качества заземления

Недостатки:

- высокая стоимость буровых работ
- необходима сварка
- небольшой срок службы электродов в 5-15 лет

Остановился я на общих словах:

В конце двадцатого века было разработано решение, которое обладает достоинствами обоих описанных выше способов, не имея присущих им недостатков.

Кроме того, сильное влияние засоления грунта на снижение сопротивления заземления (п. Г1.5.) настолько привлекло внимание инженеров, что было найдено “лекарство” от недостатков этого метода - вымывания соли из грунта и коррозии электродов. Оно породило очень интересный способ строительства заземлителя, применимый даже там, где пасуют простые металлические электроды - в вечномёрзлых, а также каменистых грунтах.

Д1. Модульное заземление (для обычных грунтов)

Идеальным сочетанием вышеописанных свойств способов строительства был бы какой-то способ, имеющий такой набор:

Достоинства:

- простота
- дешевизна материалов и монтажа
- доступность материалов и монтажа
- высокая эффективность
- компактность
- сезонная НЕзависимость качества заземления

Недостатки:

- нет
- сократить длину (глубину) монтируемых заземляющих электродов для удобства их ручного монтажа (чтобы не забивать эти электроды со стремянки)
- оставить большую длину (глубину) заземляющих электродов
- убрать буровую установку
- убрать кувалду
- убрать сварку
- увеличить срок службы электродов без увеличения размеров до... ну пусть будет 100 лет :-)
- сохранить адекватную стоимость материалов.

Немного фантастично, но решение оказалось простым: технология, получившее название “модульное штыревое заземление”, сокращено “модульное заземление”.

При таком способе строительства заземляющий электрод необходимой длины (глубины) представляет собой сборную конструкцию из нескольких коротких (1,5 метра) стальных штырей-модулей, имеющих небольшие поперечные размеры (диаметр менее 20 мм) с цинковым или медным покрытием, которые соединяются **последовательно друг за другом**. Для заглубления используется обычный бытовой электрический отбойный молоток с достаточной энергией удара.

Как и в случае “обсадной трубы” (п. Г2) - большая площадь контакта заземлителя с грунтом достигается большой длиной (глубиной) электрода. За счет достижения глубинных слоев грунта, в большинстве случаев имеющих меньшее удельное электрическое сопротивление, такой способ имеет большую эффективность (меньшее сопротивление заземления).

Соединение штырей между собой может производиться несколькими способами:

- “**глухое отверстие + шип**” (пример). На одной стороне штыря имеется глухое отверстие глубиной 50-70 мм, а на другой стороне - шип длиной 50-70 мм, имеющий диаметр чуть больше паза. При монтаже шип запрессовывается в отверстие.



- “**глухое отверстие + штифт + глухое отверстие**”. Штырь с обеих сторон имеет глухое отверстие глубиной 50-70 мм. Штифт длиной 100-140 мм используется в виде отдельной дополнительной детали. При монтаже он вставляется между штырями и запрессовывается в оба отверстия. Считается весьма ненадежным способом соединения.



- **"резьба + муфта + резьба" (пример).** Штырь с обеих сторон имеет резьбу длиной 50 мм. Муфта, отрезок трубы с внутренней резьбой, используется в виде отдельной дополнительной детали. При монтаже она накручивается на заглубляемый штырь, после чего в нее закручивается следующий штырь. Как показала многолетняя практика - это наиболее надежный способ соединения, позволяющий монтировать сборные заземляющие электроды до 40 метров глубиной с гарантированным сохранением необходимых электрических и антикоррозионных свойств по всей длине. Такая глубина является компромиссом между максимальной энергией удара отбойного молотка, силой трения между монтируемым электродом и грунтом, механической прочностью муфты (её стоимостью). Без увеличения энергии удара невозможно еще большее заглубление электрода из-за силы трения. При увеличении энергии удара необходимо увеличивать прочность муфты, что вызывает увеличение её стоимости.



Д1.1. Особенности решения. Антикоррозионные свойства.

Д1.1.1. Универсальность и простота применения

Это решение можно назвать “конструктором”, т.к. из унифицированных элементов собирается любая необходимая конструкция. Например, глубинный электрод на 30 метров. Все детали имеют промышленное производство, что убирает необходимость что-то “допиливать” на объекте. При этом они имеют одинаковое качество и одинаковые свойства, что играет роль при проведении большого объёма монтажных работ на множестве однотипных объектах, а также положительно влияет на предсказуемость результатов.

Обращение со штырями облегчено, т.к. они имеют длину всего 1,5 метра и вес не более 3-х килограмм. Это позволяет перевозить их в небольшом легковом автомобиле.

Д1.1.2. Долгий срок службы

Покрытие стального штыря слоем цинка или меди увеличивает его срок службы до нескольких раз (относительно срока службы штыря таких же размеров без покрытия).

Способы защиты стали от коррозии у покрытий сильно различаются из-за разного участия этих металлов в электрохимических реакциях, оказывающих наиболее разрушительное влияние на штырь. Из-за разности этих реакций, разности производства, разности стоимости производства - ведутся постоянные споры, какое покрытие всё-таки лучше.

Цинковое покрытие

В паре “цинк-железо” цинк является восстановителем/ донором ([wiki](#)). Окисляется/ корродирует прежде всего именно цинк, защищая, таким образом, железо.

Когда вся его масса проучаствует в реакции (окислится) - начнет корродировать сталь.

Достоинства:

- отсутствие необходимости механической защиты покрытия при монтаже. Повреждение целостности покрытия не приводит к последствиям, т.к. цинк всё равно защищает железо, находясь рядом.
- дешевое, налаженное и широко распространенное производство оцинкованных изделий со стандартной для этого материала толщиной покрытия от 5 до 30 мкм (“горячее” и “холодное” цинкование)
- антикоррозионная защита не только штырей, но и всех металлоконструкций в зоне действия. Однако эти металлоконструкции чаще всего не нуждаются в такой защите.

Недостатки:

- сравнительно небольшое увеличение срока службы штыря из-за малой толщины покрытия - до 15-25 лет.
- Толстый слой цинкового покрытия имеет высокую стоимость. Кроме того, очень редко встречается производство, имеющее техническую возможность для этого.
- сокращение срока службы штырей в присутствии большого количества металлоконструкций, расположенных рядом с ними

Медное покрытие (подробное описание технологии)

В паре “медь-железо” медь является окислителем, а железо - восстановителем/ донором ([wiki](#)). Окисляется/ корродирует прежде всего железо, защищая таким образом медь.

Странно... нам необходимо противоположное действие. Но тут кроется особенность электрохимической реакции: она возможна только в присутствии электролита/ воды. Если железо изолировать от него, то реакция останавливается.

Поэтому медное покрытие должно быть толстым и однородным для того, чтобы не допустить его глубокого повреждения при монтаже и таким образом не допустить попадания электролита/ воды к железу.

При этом положительно сказывается мягкость/ пластичность чистой меди: она сильно уменьшает силу трения при сцарапывании, что не позволяет острому элементу в грунте (например, камню) полностью процарапать покрытие по глубине - до стального сердечника. Камень просто скользит по поверхности, снимая небольшой наружный слой. Такое поведение меди можно сравнить с мылом, используемым для снятия застрявшего на пальце кольца.

Достоинства:

- очень большой срок службы омеднённого штыря - до 100 лет (при соблюдении целостности покрытия)

Недостатки:

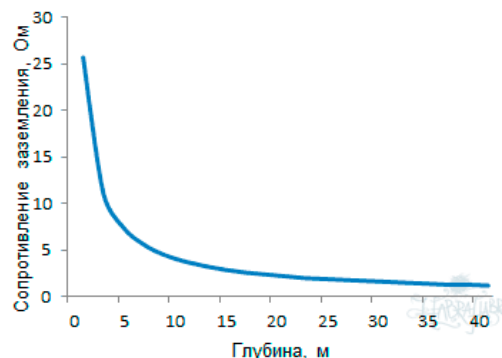
- необходимость создания покрытия большой толщины (от 200 мкм) для его защиты от глубокого повреждения при монтаже. Такое покрытие дороже более тонкого.
- дорогостоящее и редкое производство омеднённых изделий с большой толщиной покрытия

Д1.1.3. Зависимость уменьшения сопротивления заземления от увеличения глубины электрода

Т.к. данное решение имеет все свойства глубинного заземлителя напомним его особенность (из п. Г2.1).

При увеличении глубины электрода необходимо учитывать, что в однородном грунте сопротивление заземления снижается не пропорционально этому увеличению (больше глубина -> меньше уменьшение сопротивления).

Поэтому при отсутствии на глубине слоев грунта с более низким удельным электрическим сопротивлением стоит рассмотреть вопрос увеличения количества электродов, а не увеличения глубины одиночного электрода. На решение этого вопроса будут влиять и стоимость монтажа дополнительных электродов, и доступность площади для их размещения.



На практике более чем в 70% случаев грунт на глубине более 5 метров имеет в разы меньшее удельное электрическое сопротивление, чем у поверхности, за счет большей влажности и плотности.

Д1.1.4. Суперкомпактность

Небольшая длина штырей и использование небольшого по величине электроинструмента позволяет монтировать глубинные заземлители там, где раньше это было в принципе невозможно: на объектах при самой стеснённой внутриквартальной застройке и даже в подвалах зданий. При проведении работ вне здания для заглубления электрода достаточно “пяточка” земли диаметром 20 см.

Такая компактность особенно актуальна в свете необходимости получения большого количества документов на вскрытие покрытия, проведения работ и последующего облагораживания территории.

Д1.1.5. Никакой сварки

Все элементы конструкции надёжно сопрягаются без электро или газосварки. Используются либо неразъёмные, либо резьбовые соединения. Для присоединения к смонтированному электроду заземляющего проводника используется специальный болтовой зажим из латуни или нержавеющей стали.

Д1.2. Расчёт получаемого сопротивления заземления

Расчёт (подробное описание) почти полностью повторяет расчёт одиночного электрода из п. Г2.2. за исключением поперечных размеров - у модульного заземления диаметр электрода не превышает 20 мм.

На примере тридцатиметрового составного электрода из омеднённых штырей диаметром 14 мм, смонтированного в канаве глубиной 0,5 метров. Грунт, в котором будет монтироваться этот электрод, будет для упрощения расчёта однородным суглинком, обычным для России, с удельным электрическим сопротивлением 100 Ом*м.

Расчёт проводится в 1 этап.

Сопротивление заземления одиночного вертикального заземляющего электрода вычисляется по формуле:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left(\frac{4T + L}{4T - L} \right) \right]$$

где:
 ρ - удельное электрическое сопротивление грунта (Ом*м)
 L - длина электрода (м)
 d - диаметр электрода (м)
 T - заглубление электрода (м)

R_1 составит 4,7 Ом (при $\rho = 100$ Ом*м, $L = 30$ м, $d = 0.014$ м (14 мм), $T = 15.5$ м (T - расстояние от верхнего уровня грунта до середины заглубленного электрода)).

Этот результат хуже, чем у электрода, имеющего диаметр 100 мм, но замечу - уменьшение диаметра электрода в 7 раз (700%) вызвало увеличение сопротивления заземления всего на 27%.

Д1.3. Монтаж

Монтаж модульного заземления очень лёгкий и доступен даже девушке. Штыри забиваются в грунт друг за другом отбойным молотком постепенно увеличивая глубину заземляющего электрода. Отбойный молоток размещается над штырём. Задачи монтажника: ровно держать молоток над штырём (не “на весу”, т.е. молоток своим весом давит не на руки, а на монтируемый штырь) и наращивать электрод - устанавливать следующий штырь над уже заглубленным.

Если монтаж выполняется вне здания то, монтаж модульного заземления/ заземлителя производится в канаве небольшой длины и глубиной 0.5 метра в которую также укладывается заземляющий проводник (медный провод или традиционная стальная полоса), идущий до объекта (электрощита).

Если монтаж выполняется внутри здания (в подвале), то монтаж заземлителя производится на уровне пола. Далее медным проводом полученный заземлитель подключается к щиту.

И при использовании стальной полосы и при использовании медного провода для их соединения со штырём в основном используется болтовой зажим из латуни или нержавеющей стали.

Иногда можно встретить способ соединения с помощью экзотермической сварки (смесь горючего материала с медной пылью заливает место контакта проводника и штыря, сваривая их между собой). Но это экзотика.

Подробнее о монтаже резьбовых штырей можно познакомиться на YouTube ([ссылка](#)).

UPD: Отбойный молоток можно взять в аренду на сутки (от 500-700 рублей) или купить почти в любом магазине электроинструмента (от 9-10 т.руб.).

Д1.4. Достоинства и недостатки

Достоинства:

- простота и лёгкость монтажа. Все операции производит без серьёзного физического труда один человек без особой подготовки.
- высокая эффективность заземлителя, обеспечивающая низкое сопротивление заземления
- суперкомпактность, позволяющая монтировать заземлитель на очень маленькой площадке или в подвалах
- большой срок службы заземляющего электрода (до 100 лет в суглинке)

- сезонная Независимость качества заземления. Зимой из-за промерзания грунта сопротивление такого заземлителя почти не изменяется из-за нахождения в зоне промерзающего грунта не более 5-10% длины электрода.

- не нужна сварка. Элементы конструкции надежно сопрягаются без неё.

Недостатки:

- невозможность монтажа электрода в каменистом грунте. Гвоздь не забить в камень. Штырь за счёт высокой механической прочности конструкции может отодвинуть небольшой камень, встреченный на своём пути. Может, изогнувшись в сторону от контакта по касательной с большим камнем, продолжить заглубление не по вертикальной оси. Но попав в достаточно большой камень без возможности отклониться - он встанет.

- сравнительно высокая цена омеднённых штырей (около 380 рублей за метр) и дополнительной комплектации к ним. Цена много ниже стоимости буровых работ, но она однозначно выше цен на чёрный металлопрокат, используемый при строительстве традиционного многоэлектродного заземлителя. Однако объективнее сравнивать не “голую” стоимость материалов, а стоимость всех затрат при строительстве заземлителя. Часто оказывается, что суммарные затраты сопоставимы или даже ниже именно у модульного заземления (например, за счёт банальной экономии на доставке материалов на объект).

Д2. Электролитическое заземление (для вечномёрзлых или каменистых грунтов)

Напомню об отмеченном в п. Г1.5. методе иногда применяемом для существенного уменьшения сопротивления заземления.

Засоление грунта в месте размещения электродов путем добавления в него большого объема поваренной соли NaCl. При её растворении в грунте (выщелачивании ([wiki](#))) резко повышается концентрация ионов, участвующих в переносе заряда, а следовательно снижается его (грунта) электрическое сопротивление.

При неоспоримом положительном достоинстве такого метода, а также при его простоте и дешевизне - он имеет два огромных недостатка:

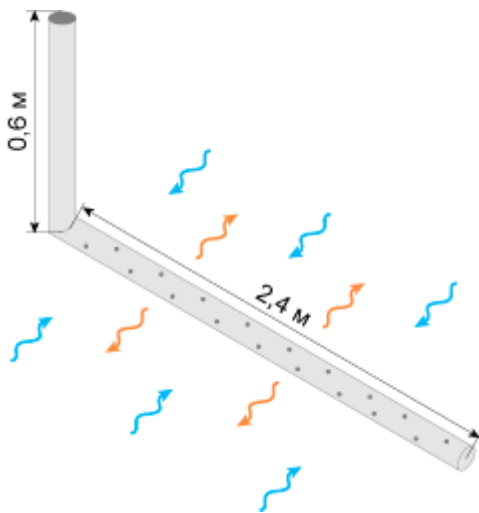
- за счет вымывания соли из грунта (дожди, весеннее таяние снега), концентрация ионов падает до естественного уровня за 2-3 года
- соли вызывают сильную коррозию стали, разрушая электроды и заземляющий проводник за 3-5 лет. Эти недостатки грозят восстановлением заземлителя практически “с нуля”.

Нужны были меры противодействия этим недостаткам и ими стали:

- постоянное поддержание концентрации ионов в грунте. Иными словами, их пополнение новыми порциями.
- использование в конструкции материалов, минимально подверженных воздействию соли, и менее агрессивных компонентов этих солей

В итоге было разработано решение, получившее название "электролитическое заземление" (электролит - раствор солей).

Электрод такого типа представляет собой трубу небольшой длины (обычно 2-3 метра) из нержавеющей стали, имеющей почти по всей длине перфорацию. Внутри этой трубы находятся гранулы (не порошок) смеси солей.



Кроме привычного NaCl в смеси присутствуют еще 3 компонента. Состав якобы является секретом производителей, но мы то знаем, как это бывает :-)

Промышленно выпускается два вида труб. В вертикальном исполнении и горизонтальном (в виде повернутой буквы “Г” - вот так “Г__”).

Такой электрод помещается в грунт: вертикального исполнения - в заранее сделанную скважину необходимой глубины (2,5 - 3,5 метра); горизонтального исполнения - в заранее выкопанную канаву глубиной 0,7 метра длиной 2,5 метра.

Влага из грунта впитывается солями в электроде и выходит в виде раствора (электролита) в этот же грунт, пропитывая его и вызывая уменьшение его удельного электрического сопротивления.

Из-за чего, уменьшается сопротивление заземления электрода (трубы), размещенной в этом грунте.

Т.к. смесь солей находится в гранулах и в её составе присутствует специальная добавка, она не растворяется всем объемом в весеннее время, когда грунт пропитан водой. Таким образом достигается длительный и равномерный выход электролита из электрода, постепенно увеличивающий (а не просто сохраняющий) концентрацию ионов в окружающем грунте. Обычно заводской “заправки” электрода хватает на 15 лет, после чего возможна неоднократная “дозаправка”.

Применение в качестве материала трубы из нержавеющей стали и использование менее агрессивной, чем NaCl смеси солей, обеспечивают срок службы “оболочки” такого электрода не менее 50 лет.

Д2.1. Особенности решения

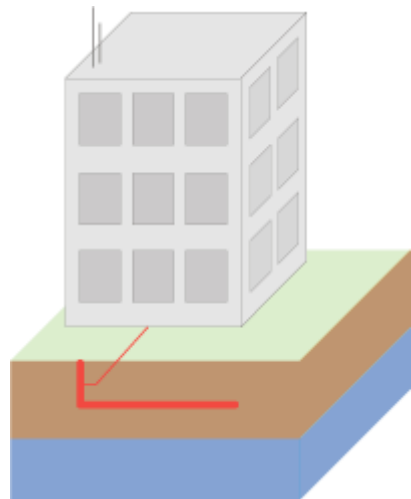
Д2.1.1. Простота применения в вечномерзлых или каменистых грунтах

Конструкция электрода электролитического заземления позволяет использовать его в “проблемных” грунтах.

Вечномерзлые грунты постоянно (круглогодично в течении сотен лет) находятся в замерзшем состоянии. Встречаются на Севере нашей страны. Глубина промерзания такого грунта достигает 2-х километров (в районе Якутска). Начинается вечная мерзлота с 1-2 метров от уровня земли, т.е. с той глубины, которую не может прогреть солнце в летний период. Вечномерзлый грунт очень сложен для строительства заземлителей: он имеет очень высокое электрическое сопротивление (в 100-300 раз больше суглинка) и обладает свойством “выталкивать” из себя металлические электроды из-за эффекта расширения воды при замерзании. Это происходит после летнего оттаивания грунта (перехода грунтовой влаги в жидкое состояние) под этими электродами.

Каменистый грунт, содержащий большое количество камней размером от кулака до метровых валунов, не менее сложен для строительства заземлителей тем, что в него трудно погрузить электроды обычным способом - мешают камни.

Для установки электрода такого типа в горизонтальном исполнении необходима только канава небольшой глубины (0,7 метра), которую сравнительно легко вырыть в обоих типах грунта. Размещение электрода в верхнем слое грунта над вечной мерзлотой избавляет от эффекта “выталкивания”.



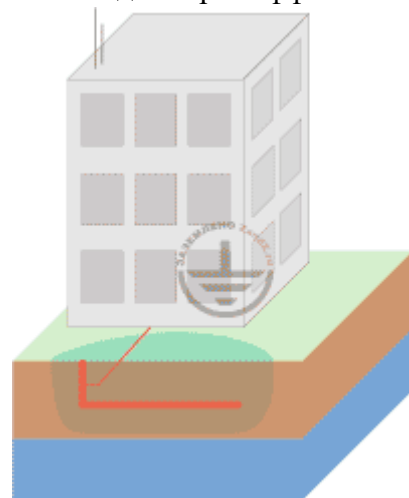
Небольшое заглубление электрода делает возможным и ограниченное применение его в скальниках - если над каменным монолитом есть хотя бы метровый слой рассыпчатого (для “пропитывания” электролитом) грунта.

Д2.1.2. Компактность

Электрод электролитического заземления до 12 раз эффективнее обычного стального электрода такого же размера. Это значит в 12 раз уменьшается необходимое количество элементов заземлителя, а значит значительно уменьшается

площадь, занимаемая ими.

При этом, очень ослабевает зависимость сопротивления заземления от сезона из-за уменьшения температуры замерзания воды при увеличении в ней концентрации солей до -5 градусов (температура обычного грунта под снежной шапкой). Это убирает необходимость использования дополнительных заземляющих электродов для компенсации роста сопротивления зимой.



Д2.1.3. Образование талика

У свойства электрода уменьшать температуру замерзания грунта есть и негативный момент. Около электрода образуется зона талика ([wiki](#)), могущая представлять опасность для фундамента рядом стоящего здания или дорожного покрытия. Зона талика на поверхности грунта представляет собой овал размером около 3х6 метров. Поэтому в ходе проектных работ необходимо учесть это и отдалить электроды от объектов, могущих быть повреждёнными.

Д2.1.4. Никакой сварки

Для присоединения к смонтированному электроду заземляющего проводника используется специальный болтовой зажим из латуни или нержавеющей стали.

Д2.2. Расчёт получаемого сопротивления заземления

Приведу пример расчёта сопротивления заземления электрода горизонтального исполнения, т.к. это наиболее распространённый на практике вариант, имеющего длину горизонтальной части 2,4 метра и её диаметр 65 мм. Грунт, как обычно, будет однородным суглинком с удельным электрическим сопротивлением 100 Ом*м.

Сопротивление заземления одиночного горизонтального заземляющего электрода вычисляется по формуле:

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{L}{\sqrt{dT}}$$

В случае электрода электролитического заземления к формуле добавляется коэффициент, описывающий концентрацию электролита в грунте около этого электрода:

$$R_1 = C \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{L}{\sqrt{dT}}$$

Коэффициент варьируется от 0,5 до 0,05. Постепенно он уменьшается, т.к. электролит проникает в грунт на БОЛЬШОЙ объем, при это повышая свою концентрацию. В обычном грунте он составляет 0,125 через 1-2 месяца выщелачивания солей. Процесс можно ускорить добавлением воды в электрод на заключительной стадии монтажа.

R1 составит 4,14 Ом (при C = 0,125, ρ = 100 Ом*м, L = 2.4 м, d = 0.065 м (65 мм), T = 0.6 м (T - расстояние от верхнего уровня грунта до середины заглублённого электрода)).

Отличный результат для одиночного заземлителя размером всего в 2,4 метра! Но, как всегда, расплата за результат в цене такого электрода... О чём ниже в п. Д2.4. (недостатки).

Д2.3. Монтаж

Монтаж электрода электролитического заземления горизонтального исполнения самый простой из всех встреченных мной способов. По сути это банальное закапывание электрода на небольшую глубину.

Роем канаву глубиной 0,7 метра и длиной 2,5 метра. На дно опускается электрод. Используя болтовой зажим, подключается заземляющий проводник. Канавка закапывается.

Дополнительно можно залить в горловину электрода литров 5 воды для ускорения процесса выщелачивания.

Д2.4. Достоинства и недостатки

Достоинства:

- простота и лёгкость монтажа
- очень высокая эффективность заземлителя, обеспечивающая низкое сопротивление заземления
- компактность, позволяющая монтировать заземлитель на небольшой площадке. Однако, с учётом негативной особенности, описанной в п. Д2.1.3.
- большой срок службы заземляющего электрода (не менее 50 лет) при его “дозаправке” смесью солей. Решение изначально создавалось с таким свойством.

- очень слабая сезонная зависимость качества заземления
- не нужна сварка. Элементы конструкции надежно сопрягаются без неё.

Недостатки:

- высокая цена электрода (40-60 тысяч рублей за электрод), которая ограничивает широкое использование. Рекомендуется применение электролитического заземления в вечномерзлых или каменистых грунтах, в которых обычные способы строительства не позволяют добиться необходимого результата или ещё дороже.
- необходимость отдаления от фундаментов зданий и дорог

При подготовке данной статьи использовались следующие материалы:

- Правила Устройства Электроустановок (ПУЭ), часть 1.7 в редакции седьмого издания ([ссылка](#))
- ГОСТ Р 50571.21-2000 (МЭК 60364-5-548-96) Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации ([ссылка](#))
- Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87 ([ссылка](#))
- Технический циркуляр 11/2006 ассоциации "Росэлектромонтаж" ([ссылка](#))
- Underground corrosion (United States. National Bureau of Standards. Circular 579) Автор: Melvin Romanoff; Издатель: U.S. Govt. Print. Off., 1957)
- Публикации на сайте "[Заземление на ZANDZ.ru](#)"