

Область применения

Рекомендации настоящей методики распространяются на измерения сопротивления растеканию на землю заземлителей, определение удельного сопротивления грунта и металлической связи электрооборудования с контуром заземления в электроустановках всех типов, напряжения и систем.

Под термином заземление подразумевается преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Рабочее (функциональное) заземление - заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности). Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ - преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Заземление используется для установки и поддержания потенциала подключенной цепи или оборудования максимально близким к потенциалу земли. Цепь заземления образована проводником, зажимом или соединением, с помощью которого проводник подключен к электроду, электродом и грунтом вокруг электрода. Заземлитель или заземляющее устройство может быть подключено к главной заземляющей шине. Главная заземляющая шина - шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Уравнивание потенциалов - электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

Защитное уравнивание потенциалов - уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Заземление широко используется с целью электрической защиты в случае повреждения изоляции электрооборудования.

Низкое сопротивление цепи заземления обеспечивает стекание тока пробоя на землю и быстрое срабатывание защитных аппаратов. В результате постороннее напряжение как можно быстрее устраняется, чтобы не подвергать его воздействию персонал и оборудование.

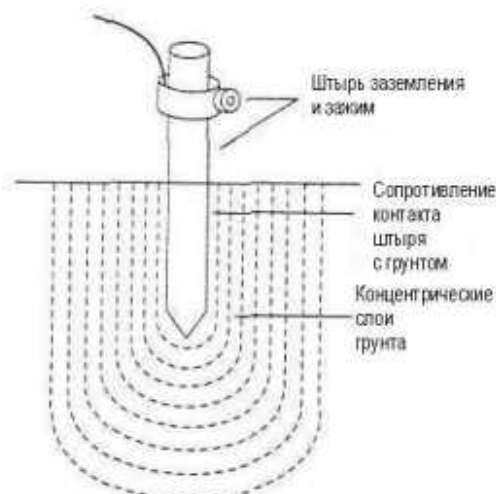
Чтобы наилучшим образом фиксировать опорный потенциал аппаратуры в целях ее защиты от статического электричества и ограничить уровень напряжения на корпусе оборудования для защиты персонала, идеальное сопротивление цепи заземления должно быть равно нулю, что в действительности не возможно, так как это сопротивление зависит от многих факторов.

На рисунке1 показан заземляющий штырь, как составная часть заземляющего контура. Его сопротивление определяется следующими компонентами:

(А) сопротивление металла штыря и сопротивление контакта проводника со штырем;

(Б) сопротивление контакта штыря с грунтом;

(В) сопротивление поверхности земли протекающему току, иначе говоря, сопротивление земли, которое часто является самым важным из перечисленных слагаемых.



Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

(А) Обычно заземляющий штырь выполняется из хорошо проводящего металла (металлический электрод из уголка или трубы без какого-либо покрытия, а также электроды из меди) и клеммой соответствующего качества (чаще всего вместо клеммы соединения выполняют методом сварки), поэтому сопротивлением штыря и его контакта с проводником можно пренебречь.

(Б) Сопротивлением контакта электрода с грунтом можно пренебречь, если электрод плотно вбит и на его поверхности нет краски, масла и подобных веществ.

(В) Остался последний компонент – сопротивление грунта. Можно представить, что электрод окружен концентрическими слоями грунта одинаковой толщины. Ближний к электроду слой имеет наименьшую поверхность, но наибольшее сопротивление. По мере удаления от электрода поверхность слоя увеличивается, а его сопротивление уменьшается. В конечном счете, вклад сопротивления удаленных слоев в сопротивление поверхности грунта становится незначительным. Область, за пределами которой сопротивлением слоев земли можно пренебречь, называется областью эффективного сопротивления. Ее размер зависит от глубины погружения электрода в грунт.

Теоретически сопротивление земли можно определить общей формулой:

$$R = \rho L / A$$

(Сопротивление = Удельное сопротивление * Длина / Площадь)

При вычислении сопротивления земли удельное сопротивление грунта считают неизменным, хотя это редко встречается в практике. Формулы сопротивления земли для систем электродов очень сложны и при этом зачастую позволяют вычислять сопротивление лишь приблизительно. Наиболее часто используется формула сопротивления заземления для случая одного электрода, полученная профессором Дуайтом (H. R. Dwight) из Массачусетского технологического института:

$$R = \rho / 2\pi L \cdot ((\ln 4L) - 1) / r$$

где R – сопротивление заземления штыря в Омах,

L – глубина заземления электрода,

r – радиус электрода,

ρ – среднее удельное сопротивление грунта в Ом·м.

Влияние размера электродов: увеличение диаметра штыря уменьшает сопротивление заземления незначительно. Удвоение диаметра снижает сопротивление меньше, чем на 10%.

Влияние глубины залегания электродов: сопротивление заземления уменьшается с увеличением глубины. Теоретически при удвоении глубины сопротивление уменьшается на 40 %.

Минимальные размеры искусственных заземлителей из которых выполняется заземляющее устройство приведены в таблице 1. Предпочтительно для использования в качестве заземления естественных заземлителей.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

1) металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;

2) металлические трубы водопровода, проложенные в земле;

3) обсадные трубы буровых скважин;

4) металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, закладные части затворов и т. п.;

5) рельсовые пути магистральных неэлектрифицированных железных дорог и подъездные пути при наличии преднамеренного устройства перемычек между рельсами;

6) другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения;

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanvictor.narod.ru

7) металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле. Оболочки кабелей могут служить единственными заземлителями при количестве кабелей не менее двух. Алюминиевые оболочки кабелей использовать в качестве заземлителей не допускается.

Не допускается использовать в качестве заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей и трубопроводов канализации и центрального отопления. Указанные ограничения не исключают необходимости присоединения таких трубопроводов к заземляющему устройству с целью уравнивания потенциалов в соответствии с рисунком 2.

Не следует использовать в качестве заземлителей железобетонные конструкции зданий и сооружений с предварительно напряженной арматурой, однако это ограничение не распространяется на опоры ВЛ и опорные конструкции ОРУ.

Возможность использования естественных заземлителей по условию плотности протекающих по ним токов, необходимость сварки арматурных стержней железобетонных фундаментов и конструкций, приварки анкерных болтов стальных колонн к арматурным стержням железобетонных фундаментов, а также возможность использования фундаментов в сильноагрессивных средах должны быть определены расчетом.

Таблица 1

Материал	Профиль сечения	Диаметр, (мм)	Площадь поперечного сечения, (мм ²)	Толщина стенки, (мм)
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	16	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	100	4
	Угловой	-	100	4
Трубный		32	-	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей;	12	-	-
	для горизонтальных заземлителей	10	-	-
	Прямоугольный	-	75	3
	Трубный		25	-
Медь	Круглый	12	-	-
	Прямоугольный	-	50	2
	Трубный	20	-	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	

* Диаметр каждой проволоки.

Минимальный диаметр стального штыря равен 5/8 дюйма (1,59 см), а медного или покрытого медью стального штыря - равен 1/2 дюйма (1,27 см) (NEC 1987, 250-83-2).

На практике минимальный диаметр 3 метрового штыря заземления равен:

- 1/2 дюйма (1,27 см) для обычного грунта,
- 5/8 дюйма (1,59 см) для сырого грунта,
- 3/4 дюйма (1,91 см) для твердого грунта или для штыря длиннее 10 футов (3 метров).

Приведенная выше формула Дуайта показывает, что сопротивление заземления зависит не только от глубины и площади поверхности электрода, но и от удельного сопротивления грунта. Оно является главным фактором, который определяет сопротивление заземления и глубину заземления штыря, какая потребуется для обеспечения малого сопротивления. Удельное сопротивление грунта сильно изменяется в зависимости от района земного шара и времени года. Оно

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

в значительной степени зависит от содержания в почве электропроводящих минералов и электролитов в виде воды с растворенными в ней и солями. Сухая почва, не содержащая растворимых солей, имеет высокое сопротивление (смотри таблицу 2). Удельное сопротивление различных видов грунтов и горных пород представлено в приложении 1.

Таблица 2

Почвы	Удельное сопротивление (Ом*м)		
	Зольные почвы, шлаки, засоленные почвы, пустынные	590	2370
Глины, глинистые сланцы, илестая, суглинок	340	4060	16000
Те же с песком или гравием	1020	15 800	135000
Гравий, песок, камни с небольшим количеством глины или суглинка	59000	94000	458000

Два типа почвы в сухом виде могут стать фактически изоляторами с удельным сопротивлением более 300 МОм*м. Как можно видеть в таблице 3, сопротивление образца почвы изменится весьма быстро при увеличении содержания влаги в ней приблизительно до 20%.

Таблица 3

Содержание влаги (%)	Удельное сопротивление (Ом*м)	
	Земля	Песчаный суглинок
0	>300 МОм	>300 МОм
2,5	250000	150000
5	165000	43000
10	53000	18500
15	19000	10500
20	12000	6300
30	6400	4200

Удельное сопротивление почвы, также, зависит от температуры. Таблица 4 показывает, как меняется удельное сопротивление песчаного суглинка с содержанием влаги 12,5% при изменении температуры от +20 до -15°C. Как можно видеть, удельное сопротивление изменяется от 7200 до 330 000 Ом*м.

Таблица 4

Температура (°C)	Температура по Фаренгейту (F)	Удельное сопротивление (Ом*м)
20	68	7200
10	50	9900
0	32(вода)	13800
0	32(лед)	30000
-5	23	79000
-15	14	330000

Поскольку удельное сопротивление грунта сильно зависит от температуры и содержания влаги, разумно считать, что сопротивление устройства заземления будет зависеть от времени года. Поскольку стабильность температуры почвы и содержания в ней влаги улучшается по мере удаления от поверхности, то система заземления будет эффективна в любое время, если штырь вбит на значительную глубину. Отличные результаты получаются, когда штырь достигает уровня подземных вод.

В некоторых случаях удельное сопротивление грунта настолько велико, что для получения низкого сопротивления заземления требуется сложное устройство и значительные затраты. В

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

этих случаях оказывается более экономичным использовать заземленный штырь небольших размеров и снижать сопротивление заземления, периодически повышая содержание растворимых веществ в почве вокруг электрода. Таблица 5 показывает существенное уменьшение сопротивления песчаного суглинка при увеличении содержания в нем соли.

Таблица 5

Влияние содержания соли в грунте на его удельное сопротивление (Песчаный суглинок, содержание воды 15% от веса, температура 17°C)	
Количество добавленной соли (% от веса воды)	Удельное сопротивление (Ом*м)
0	10700
0,1	1800
1,0	460
5	190
10	130
20	120

В таблице 6 показана зависимость удельного сопротивления грунта, пропитанного раствором соли, от температуры. Конечно, если используется пропитка грунта соляным раствором, электрод заземления должен быть защищен от химической коррозии.

Таблица 6

Влияние температуры на удельное сопротивление грунта, содержащего соль (Песчаный суглинок, 20% воды, 5% соли от веса воды)	
Температура, °С	Удельное сопротивление (Ом*м)
20	110
10	142
0	190
- 5	312
- 13	1440

На практике, конечно, не используется такой кардинальный способ как добавление соли в почвенный раствор вокруг заземлителя, но в конечном итоге именно количество солей и воды в почвенном растворе влияет на удельное сопротивление грунта в районе данного заземления. Обычно заземлители изготавливаются из нескольких электродов, которые соединены между собой горизонтальными полосами. Сечение горизонтальных заземлителей должно быть не меньше вертикальных электродов.

В электроустановках напряжением выше 1000 В заземлитель часто выполняется в виде сетки (для ОРУ например). В этом случае сечение горизонтальных заземлителей следует выбирать по условию термической стойкости при допустимой температуре нагрева 400 °С (кратковременный нагрев, соответствующий времени действия защиты и отключения выключателя).

Как говорилось выше, устройство заземления, главная заземляющая шина и проводники заземления (PE и PEN – проводники) составляют основную систему уравнивания потенциалов электроустановки (здания, подстанции, ОРУ и т.д.).

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1 кВ должна соединять между собой следующие проводящие части (рисунок 2):

- 1) нулевой защитный PE- или PEN-проводник питающей линии в системе TN;
- 2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах IT и TT;
- 3) заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

4) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п. (на рисунке они обозначены как С1-С8)

Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

5) металлические части каркаса здания (на рисунке С9);

6) металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине РЕ щитов питания вентиляторов и кондиционеров.

Как показано на рисунке 2 в общую систему уравнивания потенциалов входят также и устройства молниезащиты, заземляющие устройства которых (если они выполнены отдельно) должны быть подключены к заземляющим устройствам здания (подстанции, ОРУ и т.п.).

Аналогичная система уравнивания потенциалов применяется в резервуарных парках организаций, которые отнесены к зонам класса В – Іг. При организации общей системы уравнивания потенциалов в резервуарных парках все металлические части оборудования, устройства молниезащиты, а также вся металлическая аппаратура и трубопроводы должны быть присоединены к общему заземляющему контуру. Присоединение должно быть выполнено с помощью сварки, во фланцевых соединениях трубопроводов должно быть обеспечено переходное сопротивление не более 0,03 Ом на каждый фланец, а во взрывоопасных зонах фланцевые соединения должны быть зашунтированы медным проводником сечением не менее 16 мм².

Во взрывоопасных зонах кроме выполнения устройств заземления и системы уравнивания потенциалов необходимо выполнять заземление оборудования, установленного на заземлённых металлических основаниях и площадках, что не требуется в зонах класса НОРМ.

Для защиты от статического электричества может быть выполнено специальное заземляющее устройство или применяться общий заземляющий контур и общая система уравнивания потенциалов.

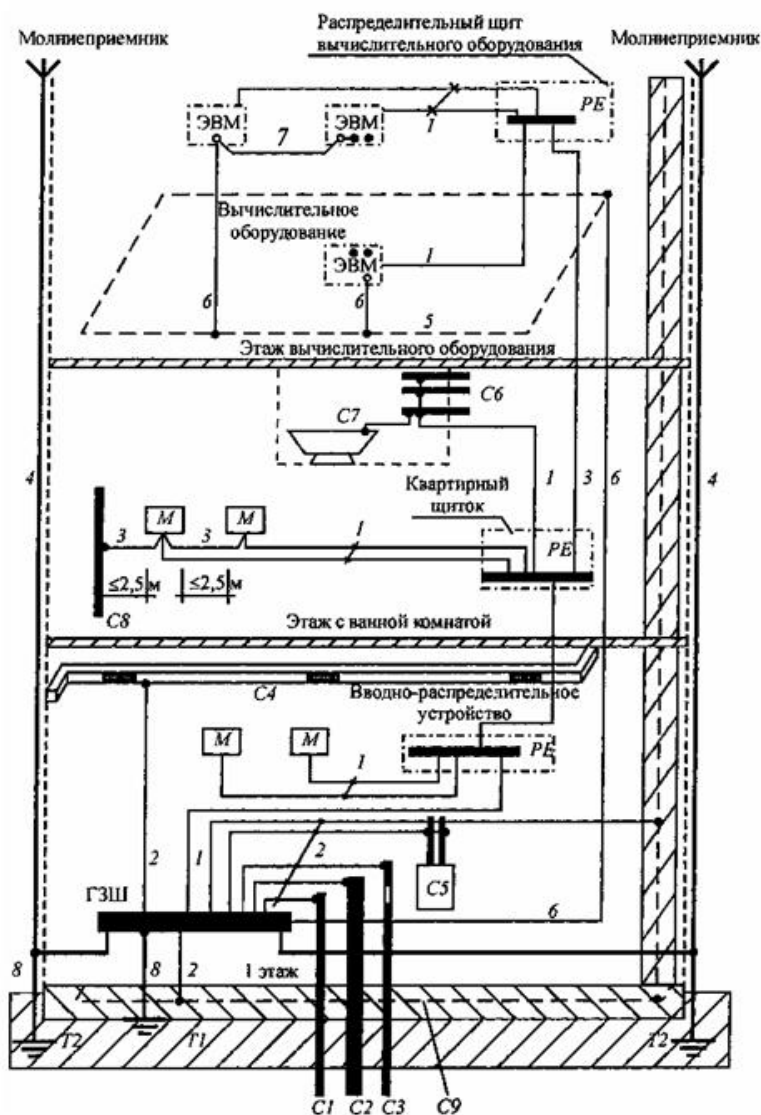


Рисунок 2. Система уравнивания потенциалов в здании

Объект испытания.

Объектами испытаний и измерений, проводимых по данной методике, являются: заземляющие устройства (заземлители в случае применения одиночных электродов), проводники уравнивания потенциалов (за исключением PE - и PEN – проводников, входящих в состав кабеля в качестве отдельной жилы), главная заземляющая шина и грунт в районе установки заземляющих устройств.

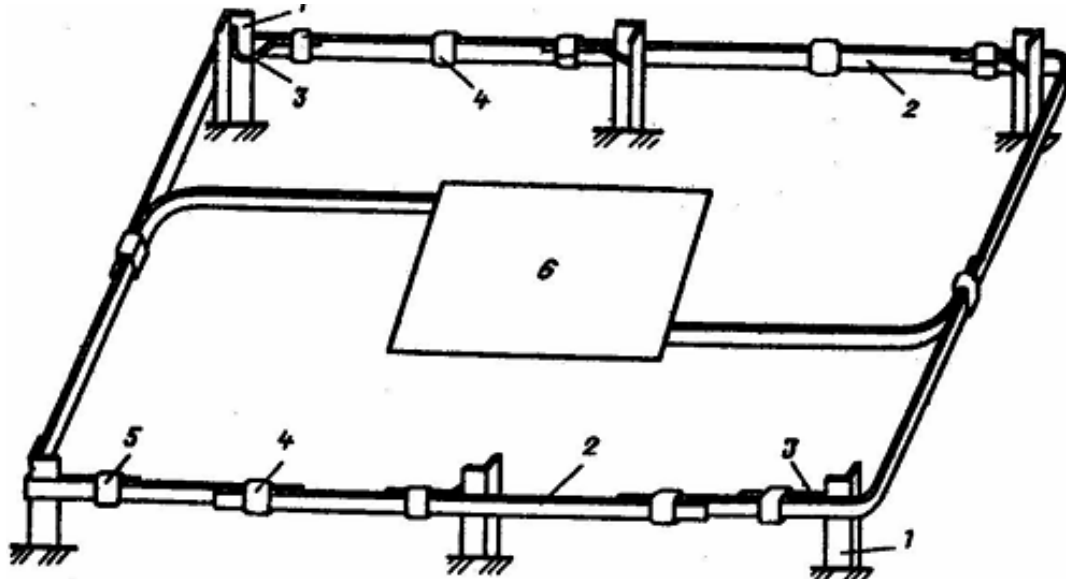


Рисунок 3. Общий вид заземляющего контура, выполненного методом термической сварки. 1 - вертикальный заземлитель, 2 - горизонтальный заземлитель, 3 - связь заземлителя с горизонтальным заземлителем, 4 и 5 - усиление в месте сварки, 6 - заземляемый объект

В качестве искусственных заземлителей применяются:

- ✱ Углублённые заземлители – полосы или круглая сталь, укладываемые горизонтально на дно котлована или траншеи в виде протяжённых элементов;
- ✱ Вертикальные заземлители – стальные ввинчиваемые или вбиваемые стержни диаметром 12-16 миллиметров, угловая сталь с толщиной стенки не менее 4 миллиметров или стальные трубы (некондиционные с толщиной стенки не менее 3,5 миллиметров) (рисунок 2). Длина ввинчиваемых электродов, как правило, 4,5-5 метров, забиваемых уголков и труб 2,5-3 метра. Верхний конец вертикального электрода должен быть на расстоянии 0,6-0,7 метров от поверхности земли (рисунок 4). Расстояние от одного электрода до другого должно быть не менее его длины (рисунок 3).
- ✱ Горизонтальные заземлители – стальные полосы толщиной не менее 4 миллиметров или круглая сталь диаметром не менее 10 миллиметров. Эти заземлители применяются для связи вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители (рисунок 2).

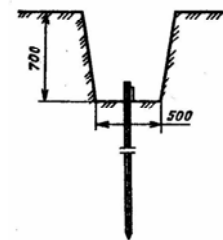


Рисунок 4. Вертикальный электрод из круглой стали.

Электроды и заземляющие проводники не должны иметь окраски, должны быть очищены от ржавчины, следов масла и т.п. В местах сварки металл защищается от коррозии с помощью покрытий из лака.

Металлические части зданий должны быть объединены в единое целое для создания общего контура заземления (рисунки 2 и 5). Соединение должно выполняться сваркой. Общий кон-

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

тур здания соединяется с заземлителем двумя отдельными проводниками (рисунок 3).

Внутри здания соединение контура заземления с оборудованием, которое подвергается заземлению, производится согласно рисунку 6.

Соединение оборудования с магистралью заземления внутри здания выполняется с помощью отдельного проводника, сечение которого должно быть равно сечению фазной жилы провода или кабеля, применяемых для питания данного электрооборудования и, кроме того, соответствовать условиям приведённым в таблице 7. Минимальное сечение заземляющего проводника внутри здания составляет 2,5 миллиметров квадратных по меди, при условии, что защитный проводник не входит в состав кабеля и имеет защиту от механического повреждения и 4 миллиметра, если таковой защиты нет.

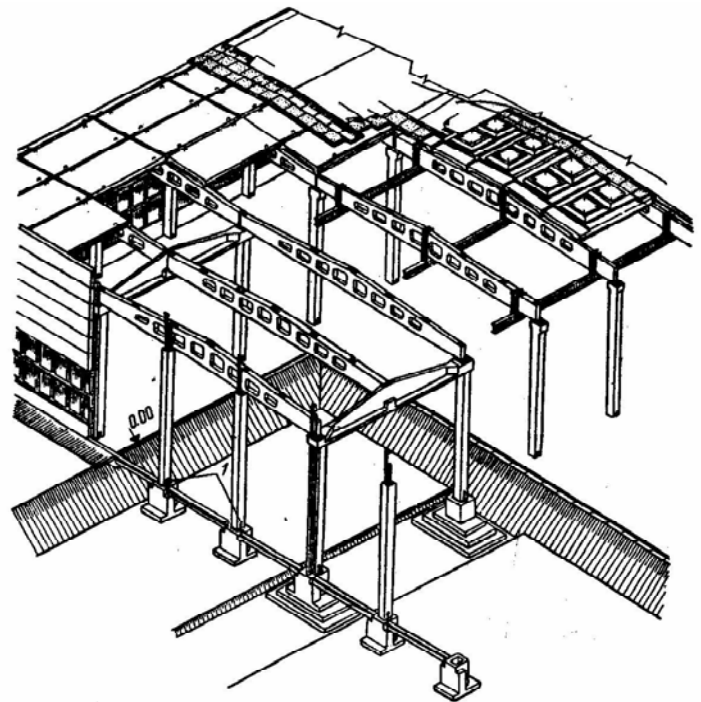


Рисунок 5. Монтаж перемычек для соединения металлической арматуры зданий.
1 - закладные изделия с перемычками.

Таблица 7

Сечение фазных проводников, (мм ²)	Наименьшее сечение защитных проводников, (мм ²)
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Контур заземления каждого резервуара выполняется горизонтальными заземлителями из полосовой стали сечением 4x40 мм², проложенной в земле на глубине не менее 0.5 м по периметру резервуара в каре на расстоянии 1 метра от грунтового фундамента. Контур заземления резервуаров присоединяется к общему контуру заземления лучевыми электродами не менее чем в двух местах с противоположных сторон.

Заземляющие устройства резервуаров должны быть подключены к общему контуру в четырёх точках (по требованию РД 153-39.4-03 таких точек соединения должно быть не менее двух).

При использовании заземляющих проводников для целей молниезащиты или защиты от статического электричества и одновременно для защитного заземления электрооборудования не допускается использование посторонних металлических и железобетонных конструкций. Для этих целей необходимо

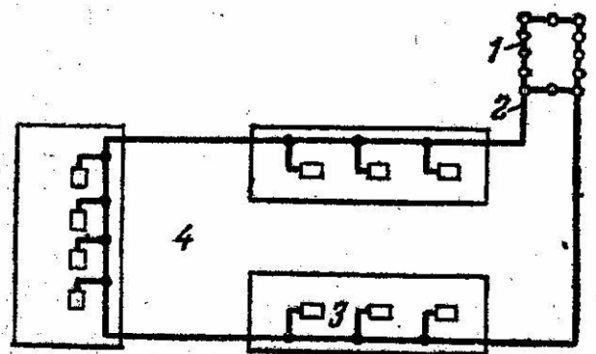


Рисунок 6. Соединение корпусов оборудования с контуром заземления.
1 - заземлитель, 2 - магистраль заземления, 3 - оборудование

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

применять специальные заземляющие проводники (как уже было сказано выше для зон с классом НОРМ).

Части, подлежащие заземлению, должны быть присоединены к заземляющему устройству отдельным проводником. Последовательное включение в заземляющий проводник частей, подлежащих заземлению, не допускается.

Оборудование, резервуары и трубопроводы должны иметь специальные болты или металлические пластины для подключения заземляющих проводников, которые должны иметь обозначения по ГОСТ 21130-75.

Не допускается использовать установочные или крепежные болты для присоединения заземляющих проводников.

Определяемые характеристики.

Измерение сопротивления растеканию заземлителей (сопротивления заземлителей).

Измерение сопротивления заземляющих устройств электростанций и подстанций производится после монтажа, переустройства и капитального ремонта, но не реже 1 раза в 12 лет для подстанций ВЛ распределительных сетей напряжением 35кВ и ниже. Измерение производится после присоединения естественных заземлителей. Измерение сопротивления заземляющих устройств резервуаров и заземляющих устройств для защиты от статического электричества производится в период проведения текущего ремонта этих устройств не реже одного раза в три года. Измерение сопротивления заземляющих устройств молниезащиты зданий, сооружений, подстанций и резервуаров (резервуарных парков) производится ежегодно перед началом грозового периода.

На воздушных линиях электропередачи измерения производятся:

а) При напряжении выше 1кВ:

- ☀ На опорах с разрядниками, разъединителями и другим электрооборудованием - после монтажа, переустройства, ремонтов, а также в эксплуатации не реже 1 раза в год;
- ☀ Выборочно у 2% опор от общего числа опор с заземлителями в населённой местности, на участках ВЛ с наиболее агрессивными или плохо проводящими грунтами – после монтажа, переустройства, ремонтов, а также в эксплуатации не реже 1 раза в год;
- ☀ На тросовых опорах ВЛ 110кВ и выше при обнаружении на них следов перекрытий или разрушений изоляторов электрической дугой;

б) При напряжении до 1кВ:

- ☀ На опорах с заземлителями грозозащиты – после монтажа, переустройства, ремонтов, а также в эксплуатации ежегодно перед началом грозового периода;
- ☀ На опорах с повторными заземлениями нулевого провода - после монтажа, переустройства, ремонтов, а также в эксплуатации не реже 1 раза в год;
- ☀ Выборочно у 2% опор от общего числа опор с заземлителями в населённой местности, на участках ВЛ с наиболее агрессивными или плохо проводящими грунтами – после монтажа, переустройства, ремонтов, а также в эксплуатации не реже 1 раза в год.

Наибольшие допустимые значения сопротивления заземляющих устройств приведены в таблице 8.

Таблица 8.

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление (Ом)
1. Электроустановки напряжением выше 1кВ кроме ВЛ ¹⁾	Электроустановки с эффективно заземлённой нейтралью	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	0,5
	Электроустановки сети с изолированной нейтралью, при использовании заземляющего контура только для установки выше 1кВ	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	250/I ²⁾ , но не более 10
	Электроустановки сети с изолированной нейтралью, при использовании заземляющего контура только для установки до 1кВ	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями	125/I ²⁾ , но при этом должны быть выполнены требования к заземлению установки до 1кВ
	Подстанции с высшим напряжением 20-35кВ при установке молниеотвода на трансформаторном портале	Заземлитель подстанции	4, без учёта заземлителей, расположенных вне контура заземления ОРУ

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление (Ом)								
	Отдельно стоящий молниеотвод	Обособленный заземлитель	80								
2. Электроустановка напряжением до 1кВ с глухозаземлённой нейтралью, кроме ВЛ ³⁾	Электроустановка с глухозаземлёнными нейтралью генераторов и трансформаторов или выводами источников однофазного тока	Искусственный заземлитель с подсоединенными естественными заземлителями и учётом использования заземлителей повторных заземлений нулевого провода ВЛ до 1кВ при количестве отходящих линий не менее двух при напряжении источника, В:									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>трёхфазный</th> <th>однофазный</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>660</td> <td>380</td> </tr> <tr> <td>380</td> <td>220</td> </tr> <tr> <td>220</td> <td>127</td> </tr> </tbody> </table>	трёхфазный	однофазный	660	380	380	220	220	127	2 4 8
трёхфазный	однофазный										
660	380										
380	220										
220	127										
		Заземлитель, расположенный в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока или напряжения, В:									
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>трёхфазный</th> <th>однофазный</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>660</td> <td>380</td> </tr> <tr> <td>380</td> <td>220</td> </tr> <tr> <td>220</td> <td>127</td> </tr> </tbody> </table>	трёхфазный	однофазный	660	380	380	220	220	127	15 30 60
трёхфазный	однофазный										
660	380										
380	220										
220	127										
3. ВЛ на напряжение выше 1кВ ⁴⁾	Опоры, имеющие грозозащитный трос или другие устройства грозозащиты, железобетонные и металлические опоры ВЛ 35кВ и такие же опоры ВЛ 3-20кВ в населённой местности, а также заземлители электрооборудования, установленного на опорах ВЛ 110кВ и выше	Заземлитель опоры при удельном эквивалентном сопротивлении p , Ом*м: До 100 Более 100 до 500 Более 500 до 1000 Более 1000 до 5000 Более 5000	$10^{5)}$ $15^{5)}$ $20^{5)}$ $30^{5)}$ $6 \cdot 10^{-3} p^{5)}$								
	Электрооборудование, установленное на опорах ВЛ 3-35кВ	Заземлитель опоры	$250/p^2$, но не более 10								
	Железобетонные и металлические опоры ВЛ 3-20кВ в ненаселённой местности	Заземлитель опоры при удельном сопротивлении грунта p , Ом*м: До 100 Более 100	$30^{5)}$ $0,3p^{5)}$								
	Трубчатые разрядники и защитные промежутки ВЛ 3-220кВ	Заземлитель разрядника или защитного промежутка при удельном сопротивлении грунта p , Ом*м: Не выше 1000 Более 1000	10 15								
	Разрядники на подходах ВЛ к подстанции с вращающимися	Заземлитель разрядника	5								

Вид электроустановки	Характеристика заземляемого объекта	Характеристика заземляющего устройства	Сопротивление (Ом)		
	машинами				
4. ВЛ напряжением до 1кВ ³⁾	Опора ВЛ с устройствами грозозащиты	Заземлитель опоры для грозозащиты	30		
		Общее сопротивление заземления всех повторных заземлений при напряжении источника, В:	трёхфазный	однофазный	5 10 20
	660		380		
	380		220		
	220		127		
	Заземлитель каждого их повторных заземлений при напряжении источника, В:		трёхфазный	однофазный	15 30 60
			660	380	
		380	220		
	Опоры с повторными заземлителями нулевого рабочего провода	220	127		
5. Взрывоопасные зоны		Устройство защиты от статического электричества	100		
6. Резервуарные парки, нефтеналивные эстакады		Общий заземляющий контур	4		

1) Для электроустановок выше 1кВ при удельном сопротивлении грунта ρ более 500 Ом*м допускается увеличение сопротивления в 0,002 ρ раз, но не более десятикратного.

2) I – расчётный ток замыкания на землю, А.

В качестве расчётного тока принимается:

- ✱ В сетях без компенсации емкостного тока – ток замыкания на землю;
- ✱ В сетях с компенсацией емкостного тока:

- Для заземляющих устройств, к которым присоединены дугогасящие реакторы, - ток равный 125% номинального тока этих реакторов;
- Для заземляющих устройств, к которым не присоединены дугогасящие реакторы, ток замыкания на землю, проходящий в сети при отключении наиболее мощного из дугогасящих реакторов или наиболее разветвлённого участка сети.

3) Для установок и ВЛ напряжением до 1кВ при удельном сопротивлении грунта ρ более 100 Ом*м допускается увеличение указанных выше норм в 0,01 ρ раз, но не более десятикратного.

4) сопротивление заземлителей опор ВЛ на подходах к подстанциям должно соответствовать требованиям ПУЭ

5) Для опор высотой более 40 м на участках ВЛ, защищённых тросами, сопротивление заземлителей должно быть в 2 раза меньше приведённых в таблице 8.

Проверка соединений заземлителей с заземляемыми элементами (измерение металлосвязи).

Проверка производится путём простукивания мест соединений молотком и осмотра для выявления обрывов и других дефектов. Производится измерение переходных сопротивлений (при исправном состоянии контактного соединения сопротивление не превышает 0,05 Ом).

Проверка состояния цепей и контактных соединений между заземлителем и заземляемыми элементами, а также соединений естественных заземлителей с заземляющим устройством производится после каждого ремонта и реконструкции заземляющих устройств, но не реже 1 раза в 12 лет.

Проверка целостности заземляющего проводника недоступного для визуального осмотра, производится методом подачи тока от постороннего источника (ГОСТ 50571.16-99) совместно с

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru
проверкой заземляющего устройства.

Во взрывоопасных помещениях и зонах переходное сопротивление контактов должно быть не более 0,03 Ом. Во взрывоопасных зонах простукивание мест соединения проводников уравнивания потенциалов должно производиться обмеднённым молотком на отсутствие дребезжащего звука. Проверка металлической связи оборудования с контуром заземления во взрывоопасных зонах проводится не реже одного раза в три года

Измерение удельного сопротивления грунта.

Измерение удельного сопротивления грунта производится перед началом выполнения работ по проектированию заземляющих устройств, а также после монтажа заземляющего устройства в качестве оценки общего состояния заземляющего устройства. При значении удельного сопротивления грунта более 100 Ом·м возможно увеличения нормы сопротивления заземлителей в 0,01 раз. Удельное сопротивление грунта не нормируется. Примерные значения в зависимости от типа грунта приведены в таблице 2.

Условия испытаний и измерений

Измерение сопротивления заземляющих устройств производится в момент максимального пересыхания грунта. В зонах вечной мерзлоты измерения производят в момент максимального промерзания грунта.

Измерение металlosвязи оборудования с магистралью заземления производится в сухую погоду, одновременно с измерением сопротивления заземляющих устройств.

Атмосферное давление особого влияние на качество проводимых испытаний не оказывает, но фиксируется для занесения данных в протокол.

Средства измерений.

Измерение сопротивления заземляющих устройств и удельного сопротивления грунта производится с использованием измерителей сопротивления заземления М416, Ф4103.

Измерение сопротивления металlosвязи оборудования с магистралью заземления производят с применением мостов постоянного тока типа ММВ, М372, М372И (для измерений во взрывоопасных зонах и помещениях) и др.

При производстве измерений во взрывоопасных зонах с применением приборов общего назначения необходимо оформление наряда-допуска на огневые работы.

Все приборы должны быть поверены, а испытательные установки аттестованы в соответствующих государственных органах (ЦСМ).

Порядок проведения испытаний и измерений.

Измерение сопротивления заземляющих устройств.

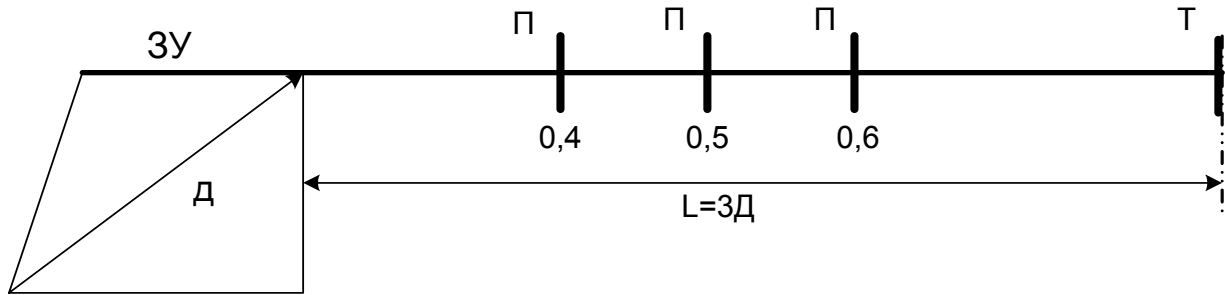


Рисунок 8 Схема для измерения сопротивления заземляющих устройств

Схема для измерения сопротивления представлена на рисунке 10.

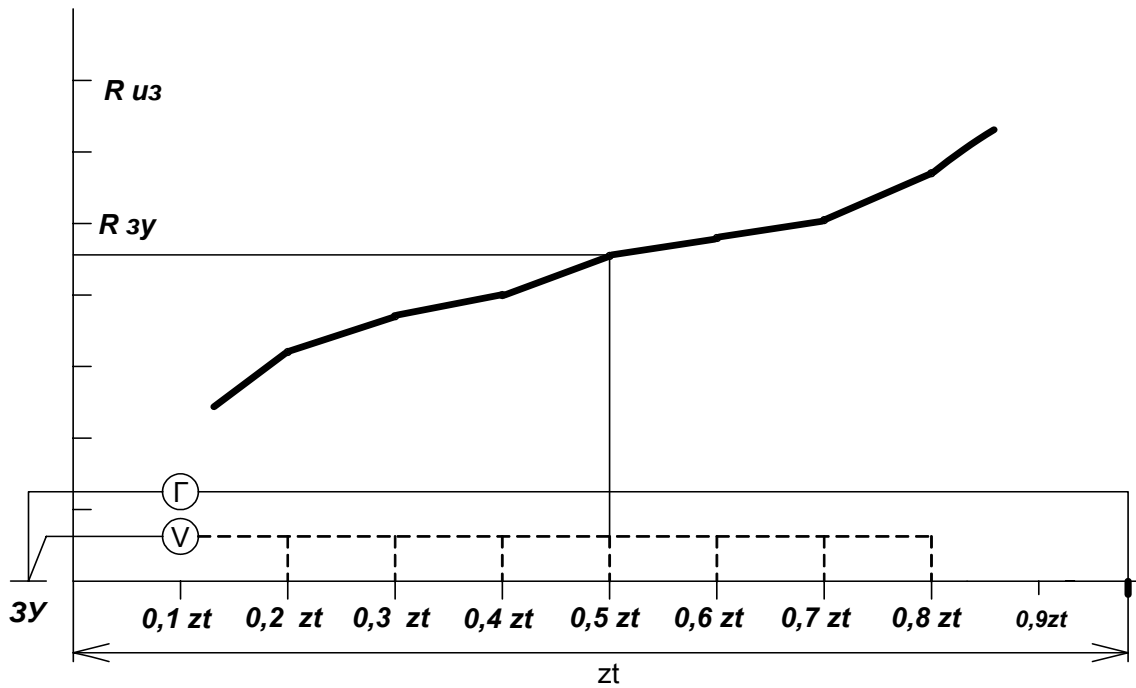


Рисунок 9 Зависимость сопротивления от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства.

При производстве измерений оценивается качество выполнения заземляющего устройства, представляющего собой совокупность заземлителей, т.е. проводников, находящихся в непосредственном контакте с грунтом и заземляющих проводников, осуществляющих связь электроустановок с заземлителями.

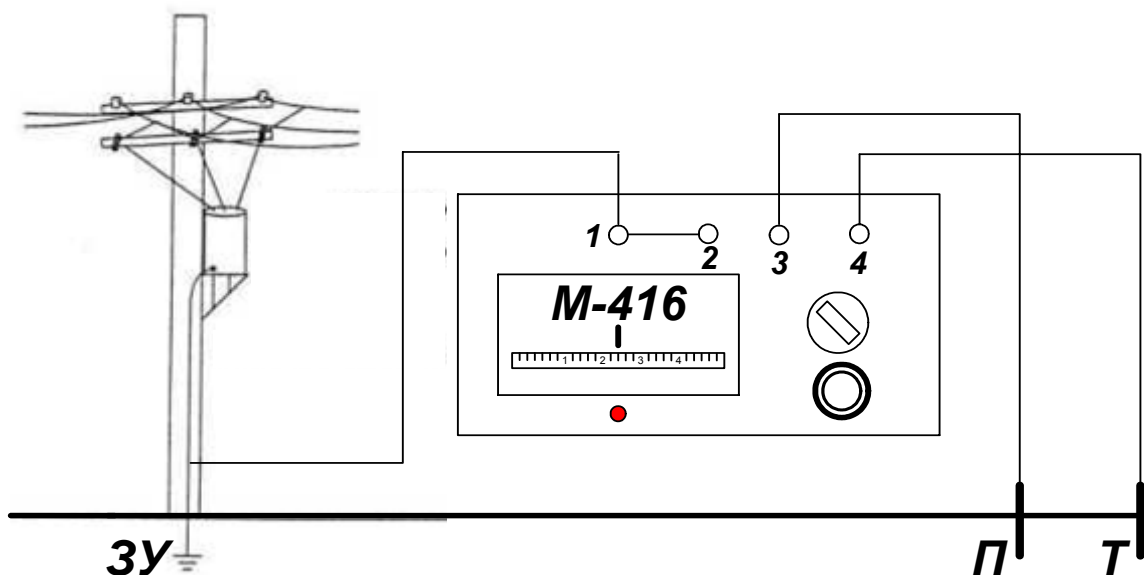


Рисунок 10 Схема для измерения сопротивления заземляющего устройства.

Точность измерений зависит в основном от правильности расположения измерительных электродов: токового (Т) и потенциального (П). При различных геоэлектрических разрезах грунта близкое к действительному значению сопротивления может быть получено при различном соотношении расстояний от испытуемого заземлителя до потенциального и до токового электродов.

Измерительные электроды рекомендуется размещать по однолучевой схеме: токовый (Т) на расстоянии $L = 3Д$ от края измеряемого заземляющего устройства (где $Д$ – наибольшая диагональ заземляющего устройства) и потенциальный электрод (П) устанавливается поочередно на расстояниях $0,2zt$, $0,3zt$, $0,4zt$, $0,5zt$, $0,6zt$, $0,7zt$, $0,8zt$ (рисунок 8).

Измерения сопротивления производится при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек. По данным измерений строится кривая зависимости сопротивления от расстояния потенциального электрода до заземляющего устройства, показанная на рисунке 9.

Если вид полученной зависимости соответствует изображенной кривой сплошной толстой линией на рисунке 9, а величины сопротивлений, измеренных при положениях потенциального электрода на расстояниях, $0,4zt$ и $0,6zt$ отличаются не более чем на 10%, то за сопротивление заземляющего устройства принимается величина, измеренная при расположении потенциального электрода на расстоянии $0,5zt$.

Если значения сопротивлений, измеренных при положениях потенциального электрода на расстояниях $0,4zt$ и $0,6zt$, отличаются более чем на 10%, то измерения сопротивления необходимо повторить при увеличенном в 1,5 – 2 раза расстоянии до токового электрода.

Если полученная измерением зависимость сопротивления отличается от изображенной сплошной толстой линией на рисунке 9 кривой, что может быть следствием влияния подземных или надземных коммуникаций, то измерения должны быть повторены при расположении токового электрода в другом направлении от заземляющего устройства.

В качестве электродов применяются металлические стержни диаметром 10-12 мм и длиной 1,2 метра, погруженные в землю на глубину не менее 0,5 метра.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

Для измерений сопротивления заземляющего устройства измеритель подключают по схеме, изображенной на рисунке 10.

Работоспособность измерителя М – 416 проверяется в положении «Контроль 50 Ом». Показания прибора при проверке должны быть в пределах 5 Ом (допуск $\pm 0,35$ Ом).

Измерение сопротивления металlosвязи оборудования с магистралью заземления.

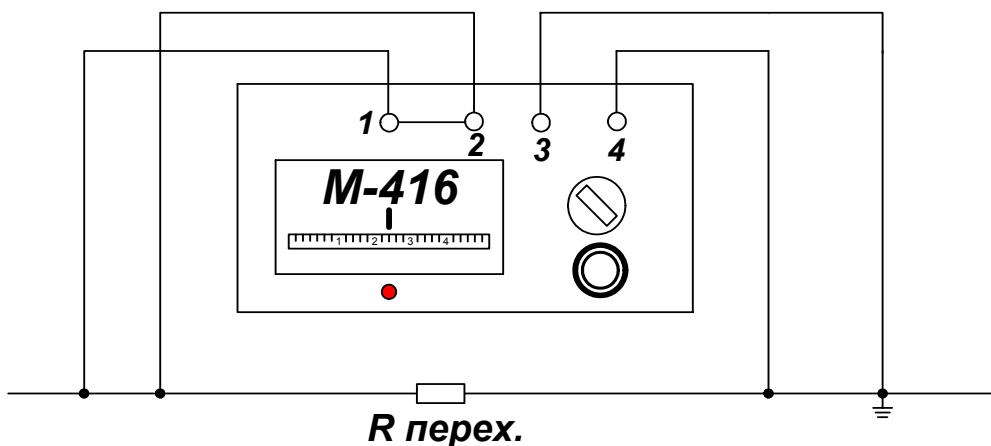


Рисунок 11 Схема для измерения сопротивления связи электрооборудования с заземляющим устройством.

Для измерения металlosвязи оборудования с заземлителем можно использовать различные приборы, которые способны измерять малые величины сопротивлений, в том числе и специально предназначенный для этого прибор М – 372 (Измеритель заземляющей проводки), ММВ (малый мост Винстона) и уже упомянутый выше мост М-416.

Измерение связи электрооборудования с заземляющим устройством с применением М-416 проводится по схеме на рисунке 11. Под R переходным подразумевается измеряемое сопротивление металлической связи. Измерение с использованием моста ММВ проводится по схеме на рисунке 12.

При производстве измерений трубка подключённая к минусовому зажиму прибора надёжно зажимается на ГЗШ для обеспечения надёжного контакта, а второй зажим прибора подключается к корпусу оборудования в районе болтового соединения. Для обеспечения качественных измерений и получения достоверных показаний места подключения на корпусе оборудования и главной заземляющей шине необходимо зачистить напильником. Нажав кнопку измерения прибора ММВ и уравновесив нулевой орган с помощью вращения ручки реохорда, считайте показания. Из показаний прибора необходимо вычесть сопротивление проводов.

Аналогично производятся измерения с применением М372.

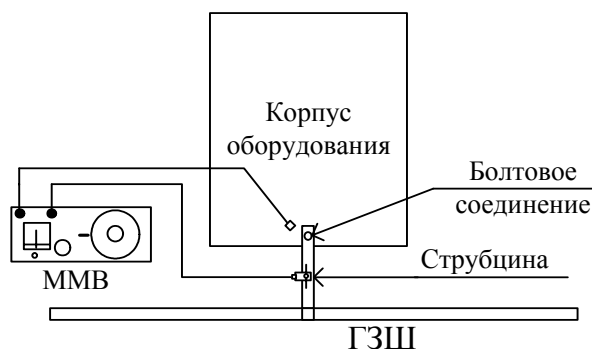


Рисунок 12. Схема измерения металlosвязи с помощью ММВ

Измерение удельного сопротивления грунта.

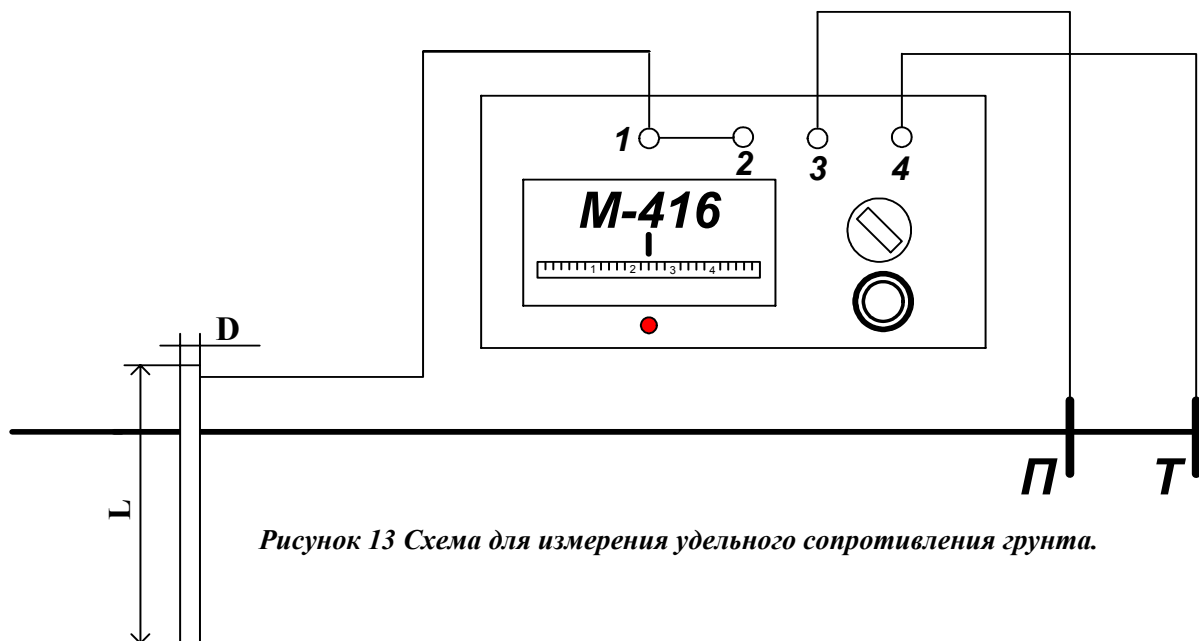


Рисунок 13 Схема для измерения удельного сопротивления грунта.

Измерение удельного сопротивления грунта с применением прибора М-416 представлена на рисунке 13. В качестве измерительного электрода применяют металлический стержень известных размеров.

Потенциальный и токовый электроды располагают на расстоянии 20 и 10 метров от измерительного (как при обычных измерениях сопротивления заземлителя). В местах забивки измерительного, потенциального и токового электродов растительный и насыпной слой почвы необходимо удалить.

Удельное сопротивление грунта на глубине забивки измерительного электрода рассчитывается по формуле:

$$\rho = 2,73R \cdot L / (\lg(4L/D))$$

- где R – сопротивление заземления штыря в (Омах),
- L – глубина забивки измерительного электрода, (в м)
- D – диаметр электрода (в м),
- ρ - среднее удельное сопротивление грунта (в Ом·м).

Измерение удельного сопротивления грунта методом четырёх электродов представлена на рисунке 14.

Электроды А, М, N и В устанавливаются на одинаковых расстояниях друг от друга. Целесообразно произвести несколько измерений с изменением расстояния между электродами.

Удельное сопротивление грунта рассчитывается по формуле:

$$\rho = k \cdot R_{\text{изм}},$$

где k – коэффициент, зависящий от расстояния между электродами, который определяется по формуле:

$$k = 2\pi a,$$

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

где a – расстояние между электродами (м).

Коэффициент k можно определить по таблице 9 в зависимости от расстояний между электродами.

Таблица 9

AB (м)	30	45	60	90	120	150	200
MN (м)	10	15	20	30	40	50	66
k	62,8	94,2	125,6	188,4	251,2	314	421

Измерения проводят в стороне от металлических конструкций и коммуникаций.

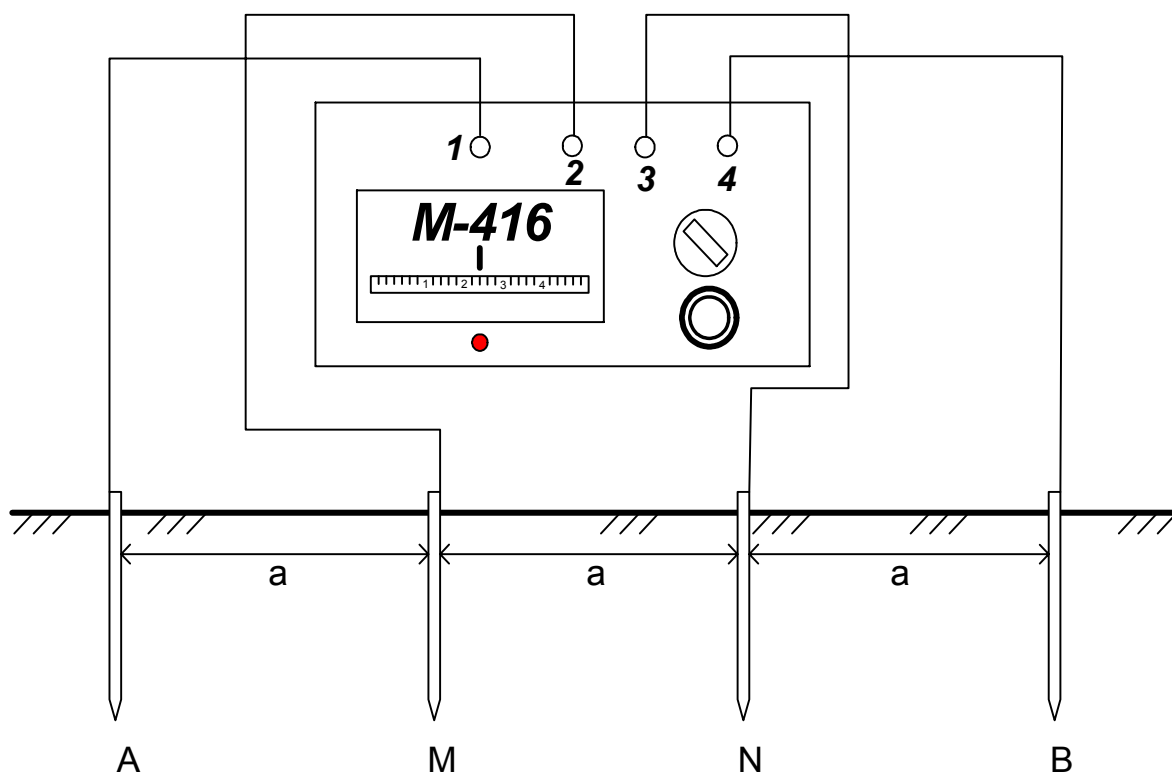


Рисунок 14 Схема для измерения удельного сопротивления грунта методом четырёх электродов.

Обработка данных, полученных при испытаниях.

Первичные записи рабочей тетради должны содержать следующие данные:

- ✚ дату измерений.
- ✚ температуру, влажность и давление
- ✚ наименование, тип оборудования
- ✚ номинальные данные объекта испытаний
- ✚ результаты испытаний
- ✚ используемую схему измерения

Все данные испытаний сравниваются с требованиями НТД и на основании сравнения выдётся заключение о пригодности объекта к эксплуатации.

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru

Иногда, при обработке результатов, используют поправочные коэффициенты, значение которых зависит от состояния почвы, влажности, времени года, погоды (выпадение дождя) на момент проведения измерений.

Использование данных коэффициентов необоснованно по следующим причинам:

1. Измерения сопротивления заземлителей необходимо производить в период или максимального просыхания или максимального промерзания грунта – это само по себе подразумевает максимальное сопротивление растеканию на землю заземлителей.
2. При производстве измерение в период подготовки к грозовому сезону (когда, естественно, почва сырая) результаты измерений будут искажены в сторону уменьшения, но и в этом случае нет смысла вводить поправочные коэффициенты – ведь измерение производится именно для этого времени года и именно сейчас надо проверить сопротивление заземлителей.

Меры безопасности при проведении испытаний и охрана окружающей среды.

Перед каждым измерением необходимо проверить прибор в соответствии с инструкцией.

Работы необходимо проводить по распоряжению, с соблюдением межотраслевых правил безопасности.

Электрические измерения в зонах класса В - Ig должны проводиться только приборами во взрывозащищенном исполнении.

Допускается производить измерения в зонах класса В - Ig приборами общего назначения при условии, что взрывоопасные смеси во время проведения испытаний отсутствуют или содержание паров ЛВЖ во взрывоопасной зоне находится в пределах установленных норм и исключена возможность образования взрывоопасных смесей во время проведения испытаний. Работы по измерениям должны оформляться нарядом – допуском на огневые работы с непрерывным контролем за состоянием паровоздушной среды.

Во время грозы приближаться к молниеотводам ближе чем на 4 метра запрещается. На опорах отдельно стоящих молниеотводов должны быть вывешены таблички с предупредительными надписями.

Удельное электрическое сопротивление верхних слоёв земли (мощностью не более 50 м)

Слой земли	Сопротивление (Ом*м)
Песок при температуре выше 0°C: сильноувлажнённый грунтовыми водами умеренно увлажнённый влажный слегка влажный сухой	10-60 60-130 130-400 400-1500 1500-4200
Суглинок: сильноувлажнённый грунтовыми водами ($t > 0^\circ\text{C}$) промерзший слой ($t < -5^\circ\text{C}$)	10-60 60-190
Глина (при $t > 0^\circ\text{C}$)	20-60
Торф: при температуре около 0°C при температуре выше 0°C	40-50 10-40
Солончаковые почвы (при $t > 0^\circ\text{C}$)	15-25
Щебень: сухой мокрый	Не менее 5000 Не менее 3000

Удельное электрическое сопротивление горных пород

Горная порода	ρ_2 (Ом*м)												
	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
Графит													
Магнетит													
Сульфиды													
Уголь антрацит													
Вода морская, поземная													
Песок с солёной водой													
Песчаник рыхлый													
Глина													
Доломит													
Вода речная													
Известняк рыхлый													
Мергель													
Песок с пресной водой													
Уголь бурый													
Уголь каменный													
Песчаник плотный													
Сланец глинистый													
Известняк плотный													
Вода дождевая													
Гнейс													
Базальт													
Габбро													
Гранит													
Диабаз													
Каменная соль													

Автор: Янсюкевич Виктор Александрович – yanviktor.narod.ru