***Область применения***

Рекомендации настоящей методики распространяются на измерения сопротивления расте-канию 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 ка-кой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством*.*

*Рабочее (функциональное) заземление* -заземление точки или точек токоведущих частейэлектроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электро-безопасности). *Защитное зануление* в электроустановках напряжением до 1 кВ - преднамерен-ное 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 электро-безопасности.

Заземление используется для установки и поддержания потенциала подключенной цепи или оборудования максимально близким к потенциалу земли. Цепь заземления образована про-водником, 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 ча-стью 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 достиженияравенства их потенциалов.

*Защитное уравнивание потенциалов* -уравнивание потенциалов,выполняемое в целяхэлектробезопасности.

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

Низкое сопротивление цепи заземления обеспечивает стекание тока пробоя на землю и бы-строе срабатывание защитных аппаратов. В результате по-стороннее напряжение как можно быстрее устраняется, чтобы не подвергать его воздействию персонал и оборудо-вание.

Чтобы наилучшим образом фиксировать опорный потенциал аппаратуры в целях ее защиты от статического электричества и ограничить уровень напряжения на корпу-се оборудования для защиты персонала , идеальное сопро-тивление 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 со-ставная часть заземляющего контура. Его сопротивление определяется следующими компонентами:

(А) сопротивление металла штыря и сопротивление кон-такта 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.

2

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

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

(В) Остался последний компонент – сопротивление грунта. Можно представить , что элек-трод 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 сче-те, вклад сопротивления удаленных слоев в сопротивление поверхности грунта становится не-значительным. 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 = ρ L / A

(Сопротивление = Удельное сопротивление \* Длина / Площадь )

При вычислении сопротивления земли удельное сопротивление грунта считают неизмен-ным, хотя это редко встречается в практике. Формулы сопротивления земли для систем элек-тродов очень сложны и при этом зачастую позволяют вычислять сопротивление лишь прибли-зительно. Наиболее часто используется формула сопротивления заземления для случая одного электрода, полученная профессором Дуайтом (H. R. Dwight) из Массачусетского технологиче-ского института:

R = ρ/2πL·((In·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 за-земления незначительно. Удвоение диаметра снижает сопротивление меньше, чем на 10%.

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

Минимальные размеры искусственных заземлителей из которых выполняется заземляю-щее устройство приведены в таблице 1. Предпочтительно для использования в качестве зазем-ления естественных заземлителей.

В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

1. металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в со-прикосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и сред-неагрессивных средах;
2. металлические трубы водопровода, проложенные в земле;
3. обсадные трубы буровых скважин;
4. металлические шпунты гидротехнических сооружений, водоводы, закладные части за-творов 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;

3

7) металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле. Оболочки ка-белей 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 ото-пления. Указанные ограничения не исключают необходимости присоединения таких трубо-проводов к заземляющему устройству с целью уравнивания потенциалов в соответствии с ри-сунком 2.

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

Возможность использования естественных заземлителей по условию плотности проте-кающих по ним токов, необходимость сварки арматурных стержней железобетонных фундамен-тов и конструкций, приварки анкерных болтов стальных колонн к арматурным стержням желе-зобетонных фундаментов , а также возможность использования фундаментов в сильноагрессив-ных средах должны быть определены расчетом.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Таблица 1 |  |
| Материал | Профиль сечения | Диаметр, | Площадь | Толщина |  |
| поперечного |  |
| (мм) | стенки, (мм) |  |
|  |  | сечения, (мм) |  |
|  |  |  |  |  |
|  | Круглый: |  |  |  |  |
| Сталь | для вертикальных заземлителей; | 16 | - | - |  |
| для горизонтальных заземлителей | 10 | - | - |  |
| черная | Прямоугольный | - | 100 | 4 |  |
|  | Угловой | - | 100 | 4 |  |
|  | Трубный | 32 | - | 3,5 |  |
|  | Круглый: |  |  |  |  |
| Сталь | для вертикальных заземлителей; | 12 | - | - |  |
| для горизонтальных заземлителей | 10 | - | - |  |
| оцинкованная |  |
|  | Прямоугольный | - | 75 | 3 |  |
|  | Трубный | 25 | - | 2 |  |
|  | Круглый | 12 | - | - |  |
| Медь | 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 покры-того 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 (1,59см) 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 за-земления штыря , какая потребуется для обеспечения малого сопротивления. Удельное сопро-тивление грунта сильно изменяется в зависимости от района земного шара и времени года. Оно

4

в значительной степени зависит от содержания в почве электропроводящих минералов и элек-тролитов в виде воды с растворенными в ней и солями. Сухая почва, не содержащая раствори-мых солей , имеет высокое сопротивление (смотри таблицу 2). Удельное сопротивление различ-ных видов грунтов и горных пород представлено в приложении 1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Таблица 2 |  |
| Почвы | Удельное сопротивление (Ом\*м) |  |
| Зольные почвы, шлаки, засоленные почвы, | 590 | 2370 | 7000 |  |
| пустынные |  |
|  |  |  |  |
| Глины, глинистые сланцы, илистая, суглинок | 340 | 4060 | 16000 |  |
| Те же с песком или гравием | 1020 | 15 800 | 135000 |  |
| Гравий, песок, камни с небольшим количест- | 59000 | 94000 | 458000 |  |
| вом глины или суглинка |  |
|  |  |  |  |

Два типа почвы в сухом виде могут стать фактически изоляторами с удельным сопротив-лением более 300 МОм\*м. Как можно видеть в таблице 3, сопротивление образца почвы изме-няется 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 измене-нии температуры от +20 до -15°С. Как можно видеть, удельное сопротивление изменяется от

7200 до 330 000 Ом\*м.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | Таблица 4 |  |
| Температура (°С) | Температура | Удельное |  |
| по Фаренгейту (F) | 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 ме-ре удаления от поверхности, то система заземления будет эффективна в любое время, если штырь вбит на значительную глубину. Отличные результаты получаются, когда штырь достига-ет уровня подземных вод.

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

5

этих случаях оказывается более экономичным использовать заземленный штырь небольших размеров и снижать сопротивление заземления, периодически повышая содержание раствори-мых веществ в почве вокруг электрода. Таблица 5 показывает существенное уменьшение сопро-тивления 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°С)

|  |  |
| --- | --- |
| 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 раство-ром 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 со-бой 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 выби-рать по условию термической стойкости при допустимой температуре нагрева 400 °С (кратко-временный нагрев, соответствующий времени действия защиты и отключения выключателя).

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

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

1. нулевой защитный *РЕ*- или *РЕN*-проводник питающей линии в системе *TN*;
2. заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустанов-ки, в системах *IT* и *ТТ*;
3. заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

6

1. металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водо-снабжения, 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 уравнива-ния потенциалов присоединяется толь-ко та часть трубопровода, которая на-ходится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

1. металлические части каркаса

здания (на рисунке С9); 6) металлические части централи-

зованных систем вентиляции и конди-ционирования. При наличии децентра-лизованных систем вентиляции и кон-диционирования металлические возду-ховоды следует присоединять к шине *РЕ* щитов питания вентиляторов и кон-диционеров.

Как показано на рисунке 2 в об-щую систему уравнивания потенциалов входят также и устройства молниеза-щиты, заземляющие устройства кото-рых (если они выполнены отдельно) должны быть подключены к заземляю-щим устройствам здания (подстанции, ОРУ и т.п.).

Аналогичная система уравнивания потенциалов применяется в резервуар-ных парках организаций, которые отне-сены к зонам класса В – Iг. При организа-ции общей системы уравнивания потенциа-лов в резервуарных парках все металличе-ские части оборудования, устройства мол-ниезащиты, а также вся металлическая ап-

паратура 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 потен-циалов 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 уст-ройство или применяться общий заземляющий контур и общая система уравнивания потенциалов.

7

***Объект испытания.***

Объектами испытаний и измерений, проводимых по данной методике, являются: зазем-ляющие устройства (заземлители в случае применения одиночных электродов ), проводники уравнивания потенциалов (за исключением РЕ - и РЕN – проводников, входящих в состав кабе-ля в качестве отдельной жилы), главная заземляющая шина и грунт в районе установки зазем-ляющих устройств.

**3**

В качестве искусственных заземлителей применяются:

 Углублённые заземлителей – полосы или круглая сталь, ук-ладываемые 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 сталь-ные 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 свя-зи вертикальных заземлителей и как самостоятельные заземлители (рисунок 2).

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 обще-го контура заземления (рисунки 2 и 5). Соединение должно выполняться сваркой. Общий кон-

8

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

контура заземления с оборудова-нием, которое подвергается зазем-лению, производится согласно ри-сунку 6.



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Соединение оборудования с |  |  |
| магистралью | заземления | внутри |  |  |
| здания выполняется с помощью |  |  |
| отдельного | проводника, | сечение |  |  |
| которого должно быть равно се- |  |  |
| чению фазной жилы провода или |  |  |
| кабеля, применяемых для питания |  |  |
| данного электрооборудования и, |  |  |
| кроме того, соответствовать усло- |  |  |
| виям приведённым в таблице 7. |  |  |
| Минимальное сечение заземляю- |  |  |
| щего проводника внутри | здания |  |  |
| составляет 2,5 миллиметров квад- |  |  |
| ратных 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. |
|  |  |  | Таблица 7 |
| Сечение фазных проводников, (мм2) | Наименьшее сечение защитных проводников, (мм2) |  |
|  | *S* ≤16 |  | *S* |  |
|  | 16 < *S* ≤ 35 |  | 16 |  |
|  | *S* > 35 |  | *S*/2 |  |

Контур заземления каждого резервуара выполняется горизонтальными заземлителя-ми из полосовой стали сечением 4х40 мм², проложенной в земле на глубине не менее 0.5 м по периметру резервуара в каре на рас-стоянии 1 метра от грунтового фундамента. Контур заземления резервуаров присоединя-ется 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 статиче-ского электричества и одновременно для защитного заземления электрооборудования не допускается ис-пользование посторонних металлических и железобетонных конструкций. Для этих целей необходимо

9

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

Части, подлежащие заземлению, должны быть присоединены к заземляющему устройству отдель-ным проводником. Последовательное включение в заземляющий проводник частей, подлежащих зазем-лению, 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.

10

***Определяемые характеристики.***

*Измерение сопротивления растеканию заземлителей (сопротивления заземлителей).*

Измерение сопротивления заземляющих устройств электростанций и подстанций произво-дится 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 уст-ройств резервуаров и заземляющих устройств для защиты от статического электричества произ-водится в период проведения текущего ремонта этих устройств не реже одного раза в три года. Измерение сопротивления заземляющих устройств молниезащиты зданий, сооружений, под-станций и резервуаров (резервуарных парков) производится ежегодно перед началом грозового периода.

На воздушных линиях электропередачи измерения производятся: a) 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;

b) 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, переустройст-ва, 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 электроуста- | Характеристика заземляемого |  | Характеристика заземляющего | Сопротивление |  |
| новки | объекта |  | устройства | (Ом) |  |
| 1. Электроуста- | Электроустановки с эффективно |  | Искусственный заземлитель с под- | 0,5 |  |
| новки напряже- |  | соединенными естественными |  |
| заземлённой нейтралью |  |  |
| нием выше 1кВ |  | заземлителями |  |  |
|  |  |  |  |
| кроме ВЛ1) | Электроустановки сети с изолиро- |  | Искусственный заземлитель с | 250/I2), но не |  |
|  | ванной нейтралью, при использо- |  |  |
|  | вании заземляющего контура |  | подсоединенными естествен- | более 10 |  |
|  |  | ными заземлителями |  |
|  | только для установки выше 1кВ |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | 125/I2), но при |  |
|  | Электроустановки сети с изолиро- |  | Искусственный заземлитель с | этом должны |  |
|  | ванной нейтралью, при использо- |  | подсоединенными естествен- | быть выполнены |  |
|  | вании заземляющего контура |  | требования к за- |  |
|  |  | ными заземлителями |  |
|  | только для установки до 1кВ |  | землению уста- |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  | новки до 1кВ |  |
|  | Подстанции с высшим напря- |  |  | 4, без учёта за- |  |
|  |  |  | землителей, рас- |  |
|  | жением 20-35кВ при установке |  | Заземлитель подстанции |  |
|  |  | положенных вне |  |
|  | молниеотвода на трансформа- |  |  |
|  |  |  | контура заземле- |  |
|  | торном портале |  |  |  |
|  |  |  | ния ОРУ |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 11 |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид электроуста- | Характеристика заземляемого |  | Характеристика заземляющего | Сопротивление |  |
| новки |  | объекта |  | устройства | (Ом) |  |
|  |  | Отдельно стоящий молниеот- |  | Обособленный заземлитель | 80 |  |
|  |  | вод |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  | Искусственный заземлитель с |  |  |
|  |  |  |  | подсоединенными естествен- |  |  |
|  |  |  |  | ными заземлителями и учётом |  |  |
|  |  |  |  | использования заземлителей |  |  |
|  |  |  |  | повторных заземлений нулево- |  |  |
|  |  |  |  | го провода ВЛ до 1кВ при ко- |  |  |
|  |  |  |  | личестве отходящих линий не |  |  |
|  |  |  |  | менее двух при напряжении |  |  |
| 2. Электроуста- |  |  |  | источника, В: |  |  |
|  | Электроустановка с глухоза- |  | трёхфазный |  | однофазный |  | 2 |  |
| новки напряже- |  |  | 660 |  | 380 |  |  |
|  | землёнными нейтралями гене- |  |  |  |  |
| нием до 1кВ с |  |  |  |  |  |  | 4 |  |
|  |  | 380 |  | 220 |  |  |
|  | раторов и трансформаторов |  |  |  |  |
| глухозаземлённой |  |  |  |  |  | 8 |  |
|  | 220 |  | 127 |  |  |
| или выводами источников од- |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| нейтралью, кроме | Заземлитель, расположенный в |  |  |
| нофазного тока |  |  |
| ВЛ3) |  | непосредственной близости от |  |  |
|  |  |  | нейтрали генератора или |  |  |
|  |  |  | трансформатора или вывода |  |  |
|  |  |  | источника однофазного тока |  |  |
|  |  |  | или напряжения, В: |  |  |
|  |  |  |  | трёхфазный |  | однофазный |  | 15 |  |
|  |  |  |  | 660 |  | 380 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  | 30 |  |
|  |  |  |  | 380 |  | 220 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  | 60 |  |
|  |  |  |  | 220 |  | 127 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Опоры, имеющие грозозащит- |  | Заземлитель опоры при удель- |  |  |
|  |  | ный трос или другие устройст- | ном эквивалентном сопротив- |  |  |
|  |  | ва грозозащиты, железобетон- | лении p, Ом\*м: |  |  | 105) |  |
|  |  | ные и металлические опоры ВЛ |  | До 100 |  |  |  |
|  |  | 35кВ и такие же опоры ВЛ 3- |  | Более 100 до 500 |  |  | 155) |  |
|  |  | 20кВ в населённой местности, | Более 500 до 1000 | 205) |  |
|  |  | а также заземлители электро- | Более 1000 до 5000 | 305) |  |
|  |  | оборудования, установленного | Более 5000 |  |  | 6\*10-3 p5) |  |
|  |  | на опорах ВЛ 110кВ и выше |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Электрооборудование, уста- | Заземлитель опоры | 250/I2), но не |  |
|  |  | новленное на опорах ВЛ 3- |  |  |  |  |  | более 10 |  |
| 3. ВЛ на напря- |  | 35кВ |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4) |  | Заземлитель опоры при удель- |  |  |
| жение выше 1кВ |  | Железобетонные и металличе- | ном сопротивлении грунта p, |  |  |
|  |  | ские опоры ВЛ 3-20кВ в нена- | Ом\*м: |  |  | 305) |  |
|  |  | селённой местности | До 100 |  |  |  |
|  |  |  | Более 100 |  |  | 0,3p5) |  |
|  |  |  | Заземлитель разрядника или за- |  |  |
|  |  | Трубчатые разрядники и за- | щитного промежутка при удель- |  |  |
|  |  | ном сопротивлении грунта p, |  |  |
|  |  | щитные промежутки ВЛ 3- |  |  |
|  |  | Ом\*м: |  |  |  |  |
|  |  | 220кВ | Не выше 1000 |  |  | 10 |  |
|  |  |  | Более 1000 |  |  |  |
|  |  |  |  |  | 15 |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | Разрядники на подходах ВЛ к |  | Заземлитель разрядника | 5 |  |
|  |  | подстанции с вращающимися |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

12

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид электроуста- | Характеристика заземляемого |  | Характеристика заземляющего | Сопротивление |  |
| новки | объекта |  | устройства | (Ом) |  |
|  | машинами |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4. ВЛ напряжени- | Опора ВЛ с устройствами гро- | Заземлитель опоры для грозо- | 30 |  |
| ем до 1кВ3) | зозащиты | защиты |  |  |  |
|  |  | Общее сопротивление заземле- |  |  |
|  |  | ния всех повторных заземлений |  |  |
|  |  | при напряжении источника, В: |  |  |
|  |  |  | трёхфазный | однофазный |  | 5 |  |
|  |  |  | 660 | 380 |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 10 |  |
|  | Опоры с повторными заземли- |  | 380 | 220 |  |  |
|  |  |  |  |  | 20 |  |
|  |  | 220 | 127 |  |  |
|  | телями нулевого рабочего про- |  |  |  |
|  |  | Заземлитель каждого их по- |  |  |
|  | вода | вторных заземлений при на- |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  | пряжении источника, В: |  |  |
|  |  |  | трёхфазный | однофазный |  | 15 |  |
|  |  |  | 660 | 380 |  |  |
|  |  |  |  |  |  | 30 |  |
|  |  |  | 380 | 220 |  |  |
|  |  |  |  | 60 |  |
|  |  |  | 220 | 127 |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 5. Взрывоопасные |  |  | Устройство защиты от статиче- | 100 |  |
| зоны |  | ского электричества |  |
|  |  |  |
| 6. Резервуарные |  |  |  |  |  |  |  |
| парки, нефтена- |  | Общий заземляющий контур | 4 |  |
| ливные эстакады |  |  |  |  |  |  |  |

1. Для электроустановок выше 1кВ при удельном сопротивлении грунта p более 500 Ом\*м допускается увеличение со-противления в 0,002p 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 то-ка этих реакторов;

* Для заземляющих устройств, к которым не присоединены дугогасящие реакторы, ток замыкания на землю, прохо-дящий в сети при отключении наиболее мощного из дугогасящих реакторов или наиболее разветвлённого участка

сети.

1. Для установок и ВЛ напряжением до 1кВ при удельном сопротивлении грунта p более 100 Ом\*м допускается увеличе-ние указанных выше норм в 0,01p раз, но не более десятикратного.
2. сопротивление заземлителей опор ВЛ на подходах к подстанциям должно соответствовать требованиям ПУЭ
3. 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 металлосвя-*

*зи).*

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 про-изводится 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

13

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 производится обмеднённым молотком на отсутствие дребез-жащего звука. Проверка металлической связи оборудования с контуром заземления во взрыво-опасных зонах проводится не реже одного раза в три года

*Измерение удельного сопротивления грунта.*

Измерение удельного сопротивления грунта производится перед началом выполнения ра-бот по проектированию заземляющих устройств, а также после монтажа заземляющего устрой-ства в качестве оценки общего состояния заземляющего устройства. При значении удельного сопротивления грунта более 100 Ом·м возможно увеличения нормы сопротивления заземлите-лей в 0,01 раз. Удельное сопротивление грунта не нормируется. Примерные значения в зависи-мости 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 металлосвязи 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 металлосвязи оборудования с магистралью заземления произ-водят 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 соответ-ствующих государственных органах (ЦСМ).

14

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |
|  | ***Порядок проведения испытаний и измерений.*** |  |
|  | *Измерение сопротивления заземляющих устройств.* |  |
| ЗУ | П | П | П | Т |  |
|  |  |  |  |  |
|  | 0,4 | 0,5 |  | 0,6 |  |
|  | д | L=3Д |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| ***Рисунок 8 Схема для измерения сопротивления заземляющих устройств*** |  |

Схема для измерения сопротивления представлена на рисунке 10*.*

***R из***

***R зу***

Г

 V

***ЗУ*** ***0,1 zt 0,2 zt 0,3 zt 0,4 zt 0,5 zt 0,6 zt 0,7 zt 0,8 zt*** ***0,9zt***

zt

***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 непосред-ственном контакте с грунтом и заземляющих проводников, осуществляющих связь электроуста-новок с заземлителей.

15

***1***

***2*** ***3*** ***4***

***М-416***

 1 2 3 4

***ЗУ*** ***П Т***

***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 геоэлектричеких разрезах грун-та близкое к действительному значению сопротивления может быть получено при различном соотношении расстояний от испытуемого заземлителя до потенциального и до токового элек-тродов.

Измерительные электроды рекомендуется размещать по однолучевой схеме: токовый (Т) на расстоянии L = 3Д от края измеряемого зеземляющего устройства ( где Д – наибольшая диаго-наль заземляющего устройства) и потенциальный электрод (П) устанавливается поочерёдно 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 стоится кривая зависимости сопротивления от рас-стояния 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 потенциально-го 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 необходи-мо 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 токо-вого 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.

16

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

Работоспособность измерителя М – 416 проверяется в положении «Контроль 5Ом». Показа-ния прибора при проверке должны быть в пределах 5 Ом (допуск ± 0,35 Ом).

*Измерение сопротивления металлосвязи оборудования с магистралью заземления.*

***1***

***2*** ***3*** ***4***

***М-416***

 1 2 3 4

***R перех.***

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

Для измерения металлосвязи оборудования с заземлителем можно использовать различные приборы, которые способны измерять малые величины сопротивлений, в том числе и специаль-но предназначенный для этого прибор М – 372 (Измеритель заземляющей проводки), ММВ (ма-лый 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 сопротив-ление металлической связи. Измерение с использование моста ММВ проводится по схеме на рисунке 12.



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| При | производстве | измерений | Корпус |  |  |
| оборудования |  |  |
| струбцина подключённая к минусово- | Болтовое |  |
|  |  |
| му зажиму прибора надёжно зажима- |  | соединение |  |
| ется на ГЗШ для обеспечения надёж- |  | Струбцина |  |
| ного контакта, а второй зажим прибо- | ММВ |  |
|  |  |
| ра подключается к корпусу оборудо- | ГЗШ |  |  |
| вания в районе болтового соединения. |  |  |
| Для обеспечения качественных изме- | ***Рисунок 12. Схема измерения металлосвязи с помощью ММВ*** |  |
| рений и получения достоверных пока- |  |  |  |
| зания 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. |  |  |

17

*Измерение удельного сопротивления грунта.*

***1***

***2*** ***3*** ***4***

***М-416***

 1 2 3 4

**D**

***П Т***

|  |
| --- |
| **L** |

***Рисунок 13 Схема для измерения удельного сопротивления грунта.***

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

Потенциальный и токовый электроды располагают на расстоянии 20 и 10 метров от изме-рительного (как при обычных измерениях сопротивления заземлителя). В местах забивки изме-рительного, потенциального и токового электродов растительный и насыпной слои почвы необ-ходимо удалить.

Удельное сопротивление грунта на глубине забивки измерительного электрода рассчиты-вается по формуле:

ρ = 2,73R·L/(lg(4L/D))

где R – сопротивление заземления штыря в (Омах),

L – глубина забивки измерительного электрода, (в м)

* 1. – диаметр электрода (в м),
* - среднее удельное сопротивление грунта (в Ом·м).

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

Электроды A, M, N и В устанавливаются на одинаковых расстояниях друг от друга. Целе-сообразно произвести несколько измерений с изменением расстояния между электродами.

Удельное сопротивление грунта рассчитывается по формуле:

ρ = к·Rизм,

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

к = 2πа,

18

где а – расстояние между электродами (м).

Коэффициент к можно определить по таблице 9 в зависимости от расстояний между элек-тродами.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  | Таблица 9 |
| АВ (м) | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 150 | 200 |
| MN (м) | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 66 |
| к | 62,8 | 94,2 | 125,6 | 188,4 | 251,2 | 314 | 421 |

Измерения проводят в стороне от металлических конструкций и коммуникаций.

***1***

***2*** ***3*** ***4***

***М-416***

 1 2 3 4

a a a

А M N B

***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 вы-даётся заключение о пригодности объекта к эксплуатации.

19

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 макси-мального просыхания или максимального промерзания грунта – это само по себе подра-зумевает максимальное сопротивление растеканию на землю заземлителей.
2. При производстве измерение в период подготовки к грозовому сезону (когда, естествен-но, почва сырая) результаты измерений будут искажены в сторону уменьшения, но и в этом случае нет смысла вводить поправочные коэффициенты – ведь измерение произво-дится именно для этого времени года и именно сейчас надо проверить сопротивление за-землителей.

***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 - Iг должны проводиться только приборами во взрыво-защищенном исполнении.

Допускается производить измерения в зонах класса В - Iг приборами общего назначения при усло-вии, 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 на-рядом – 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 от-дельно стоящих молниеотводов должны быть вывешены таблички с предупредительными надписями.

20

Приложение 1.

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

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Слой земли | Сопротивление |  |
|  |  |  |  |  | (Ом\*м) |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Песок при температуре выше 0оС**: | 10-60 |  |  |
| сильноувлажнённый грунтовыми водами |  |  |
| умеренно увлажнённый |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 60-130 |  |  |
| влажный |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 130-400 |  |  |
| слегка влажный |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 400-1500 |  |
| сухой |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 1500-4200 |  |
| **Суглинок**: |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| сильноувлажнённый грунтовыми водами (t > 0оС) | 10-60 |  |  |
| промёрзший слой (t < -5оС) | 60-190 |  |  |
| **Глина** (приt > 0оС) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 20-60 |  |  |
| **Торф**: |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| при температуре около 0оС | 40-50 |  |  |
| при температуре выше 0оС | 10-40 |  |  |
| **Солончаковые почвы** (приt > 0оС) | 15-25 |  |  |
| **Щебень:** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| сухой |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Не менее 5000 |  |
| мокрый |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Не менее 3000 |  |
| **Удельное электрическое сопротивление горных пород** |  |  |  |  |  |  |
| **Горная порода** |  |  |  |  |  |  |  | ρ, (Ом·м) |  |  |  |  |  |  |
|  | **10-6 10-5 10-4 10-3 10-2 10-1 110 102103** | **104 105 106** |  |
| **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** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 21 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

22