



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРИМЕНЕНИЮ
ГОТОВЫХ КОМПЛЕКТОВ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ZANDZ
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ



Методические рекомендации предназначены для использования проектными организациями при разработке раздела «Заземление» в проектной и рабочей документации.

В рекомендациях изложены материалы по заземляющим комплектам ZANDZ.

Приведены примеры расчета различных видов заземлителей ZANDZ, даны рекомендации по расположению заземлителей.

Методические рекомендации разработаны авторским коллективом Zandz:

Ю.Н. Саламатина (ответственный исполнитель) – специалист по работе с проектными институтами,

Н.С. Дмитренко - технический специалист,

А.А. Устинова - технический специалист.

Рецензенты: С.П. Еременко ЗАО «Сибречпроект», А.А.Терещенко ОАО «Гипросвязь-4», Ф.Н. Крымова ОАО «Красноярскгражданпроект».

ISBN 978-5-4253-0752-1



ООО «Ваш полиграфический партнер», 2014 г.

127238, Москва, Ильменский пр, д. 1, стр. 6

ISBN: 978-5-4253-0752-1

УДК: 621.316.99

ББК: 38.48

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление	3
1 Общие сведения	4
2 Заземляющие устройства	5
2.1 Модульное заземление ZANDZ	5
2.2 Электролитическое заземление ZANDZ	7
3 Расчет заземляющего устройства	8
3.1 Общие условия	8
3.1.1 Цель расчета	8
3.1.2 Подготовка исходных данных	8
3.1.3 Порядок выполнения расчетов	8
3.2 Расчет модульного заземления	10
3.3 Расчет электролитического заземления	11
3.4 Расчет электролитического заземления вертикального исполнения	11
4 Примеры расчета заземляющего устройства	13
4.1 Расчет контура заземления на основе электролитического заземления ZANDZ в вечномерзлом грунте	13
4.2 Расчет заземляющего устройства на основе комплектов модульного заземления для суглинка	14
4.3 Расчет заземляющего устройства на основе комплектов модульного заземления для многослойного грунта	15
4.4 Расчет заземляющего устройства на основе комплектов модульного заземления с применением коэффициента сезонности	16
Приложение А – Справочные данные	17
Таблица 1 - Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока	17
Таблица 2 - Приближенные значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов, Ом·м	17
Таблица 3 – Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности	18
Таблица 4 – Коэффициенты сезонности для однородной земли	18
Таблица 5 – Коэффициенты использования вертикальных заземлителей	19
Таблица 6 – Коэффициенты использования электролитического заземления	19
Список использованной и рекомендуемой литературы	20

1 Общие сведения

Настоящие Методические рекомендации разработаны в целях организации единого подхода к порядку проектирования систем заземления с помощью комплектов заземления ZANDZ.

Положения Методических рекомендаций по проектированию с использованием заземляющих комплектов ZANDZ распространяются на все виды проектных работ по устройству систем заземления.

Настоящие Методические рекомендации направлены на оказание помощи проектным организациям при выполнении работ по проектированию систем заземления.

В Методических рекомендациях рассматривается проектирование заземляющих устройств на основе модульных (сборных) комплектов ZANDZ и комплектов электролитического заземления ZANDZ.

Модульные (сборные) комплекты ZANDZ применяются при построении различных систем заземления в грунтах, позволяющих производить монтаж глубинного заземления, в частности, когда требуется выполнить контур заземления на ограниченном пространстве.

Комплекты электролитического заземления ZANDZ применяются при построении систем заземления в грунтах, обладающих высоким удельным сопротивлением (скальный грунт, песок, вечномёрзлый грунт и пр.), или, в частности, когда требуется обеспечить низкое значение сопротивления заземляющего устройства в условиях невозможности монтажа заземлителя на большую глубину.

2 Заземляющие устройства

2.1 Модульное заземление ZANDZ

Основной элемент - электрод для забивки в грунт, сборный, по мере углубления его в землю накручиваются дополнительные секции (модули), тем самым производится наращивание его длины.

Заземляющие электроды представляют собой омедненные штыри. Они изготовлены из круглой стали диаметром 14,2-17,2 мм, покрытой электролитическим способом слоем меди толщиной 0,25 мм (чистота меди 99,9 %). Данное покрытие гарантирует высокую коррозионную стойкость и срок службы электрода в грунте до 100 лет.

Электроды изготавливаются длиной от 1,2 до 3,0 м. Между собой соединяются посредством резьбовых латунных муфт, либо безмуфтовым способом.

С помощью модульного заземления можно осуществлять монтаж вертикальных заземлителей на глубину 10-20 метров (максимально до 40 метров). При наращивании длины модульного заземлителя, увеличивается площадь соприкосновения с грунтом, и используются глубинные слои грунта, которые чаще всего обладают пониженным удельным сопротивлением. Вследствие чего снижается сопротивление заземляющего устройства.

Монтируемое заземляющее устройство может иметь удобную, индивидуальную для конкретного случая конфигурацию, с любым числом вертикальных элементов, а сами вертикальные элементы могут быть смонтированы на любую глубину:

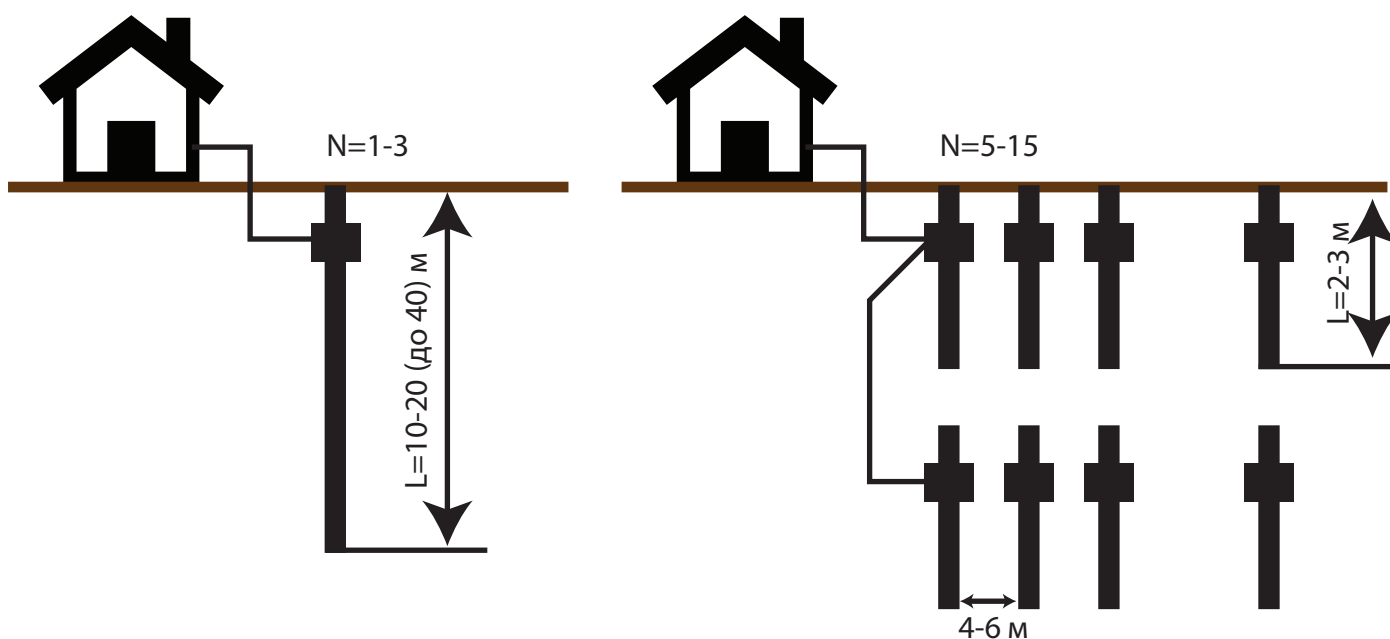


Рисунок 1 – Установка вертикальных электродов

Все компоненты модульного заземления полностью совместимы друг с другом.

Для монтажа электродов используется ручной электрический отбойный молоток (перфоратор) мощностью 25Дж.

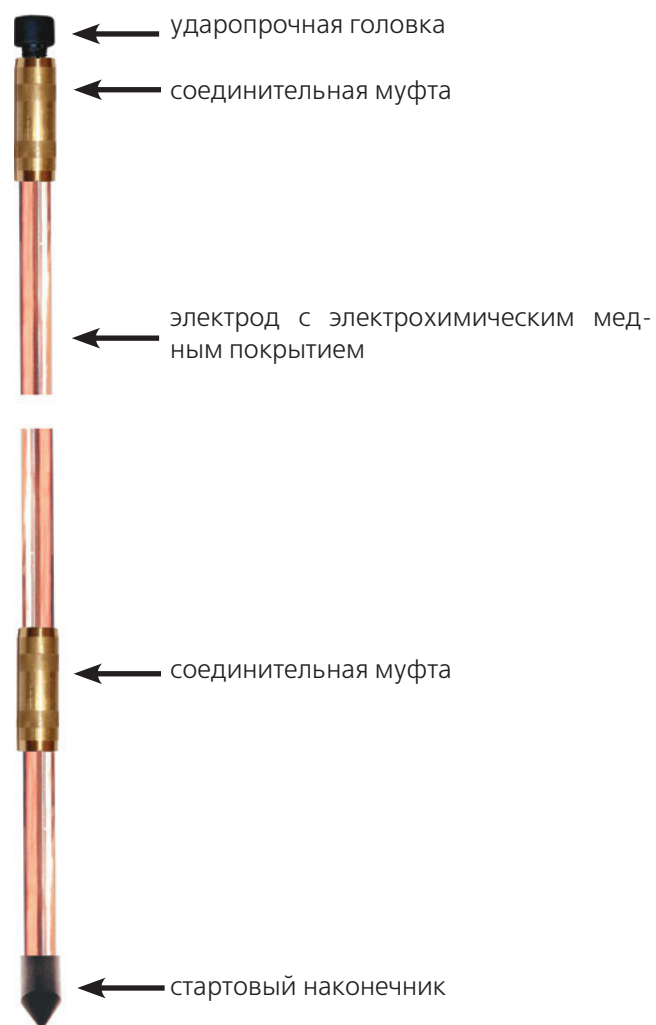


Рисунок 2 -Типовая комплектация заземлителя ZANDZ

Обслуживание состоит в периодическом (раз в несколько лет) визуальном осмотре соединений заземлителя и заземляющего проводника и проведении измерений сопротивления заземляющего устройства.

Электролитическое заземление ZANDZ

Комплекты электролитического заземления ZANDZ созданы для грунтов, обладающих высоким удельным сопротивлением (скальный грунт, песок, вечномёрзлый грунт и пр.).

Основной элемент комплектов электролитического заземления ZANDZ – это полый перфорированный электрод – труба (4), в который засыпается специальная смесь минеральных солей (2). Смесь солей впитывает воду из окружающего электрода грунта, растворяется в ней и выходит из электрода в виде электролита. Тем самым повышается электропроводность грунта в околоэлектродном пространстве и уменьшается его промерзание (понижается температура замерзания). Пространство вокруг электрода заполняется грунтовым заменителем (3) из смеси графитовой крошки со специальным видом глинистого минерала, предназначенного для увеличения площади электрического контакта электрода с почвой, а также для обеспечения равномерности процесса выщелачивания.

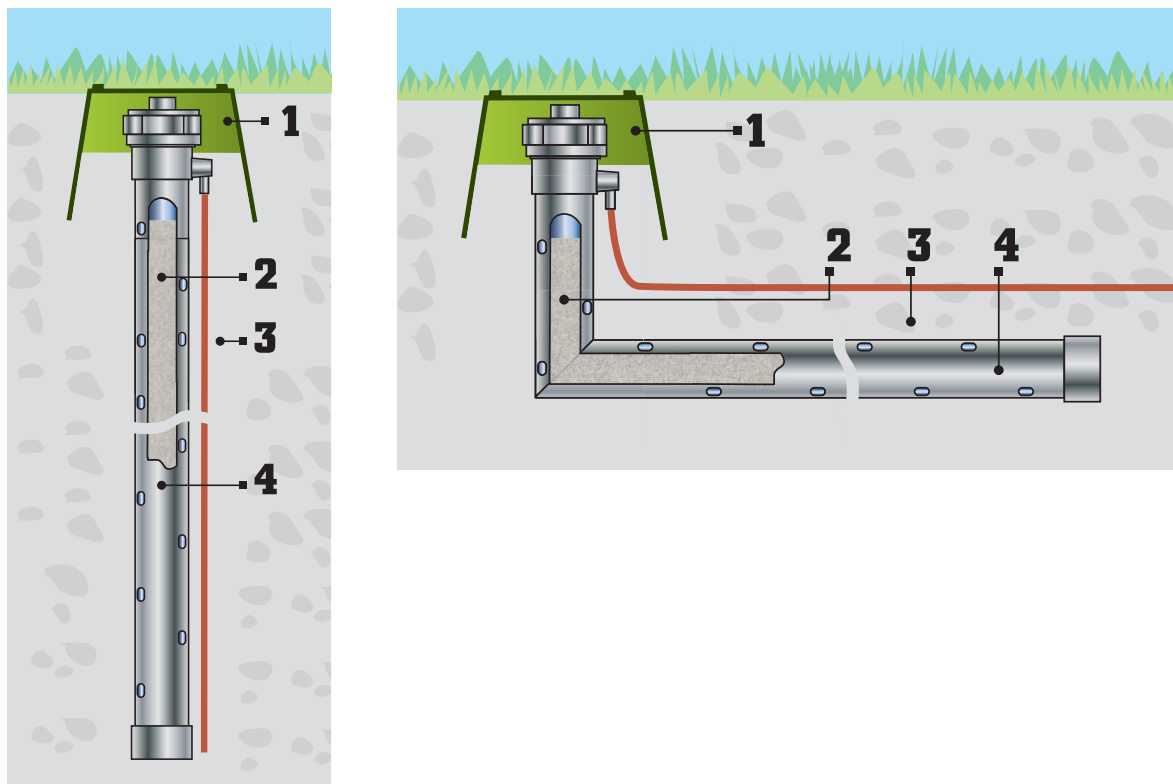


Рисунок 3 – Электролитическое заземление

Комплект электролитического заземления ZANDZ содержит все необходимые для монтажа заземляющего электрода компоненты, легко сопрягаемые друг с другом.

Нужно отметить, что сопротивление заземления, выполненного на базе комплектов электролитического заземления ZANDZ, уменьшается примерно в 1,2-2 раза в год (в зависимости от грунта) каждый год на протяжении 3-4 лет. После чего наступает равновесие между естественным вымыванием электролита из грунта и выщелачиванием солевого наполнителя электрода. Как правило, в расчетах, в том числе и в примерах расчетов в разделе 4, сопротивление заземления и требуемое количество комплектов рассчитываются на момент времени через 6 месяцев после монтажа комплектов. Для ускорения выщелачивания соли из электрода рекомендуется после окончания монтажа залить в электрод 5-7 литров воды.

Особенностью применения электролитических комплектов в вечномёрзлых грунтах является образование талика. Из-за уменьшения температуры замерзания грунта около электрода образуется зона талика, которая может представлять опасность для фундамента рядом стоящего здания или дорожного покрытия. Зона талика на поверхности грунта представляет собой овал размером около 3х6 метров. В ходе проектных работ необходимо учитывать эту особенность и отдалять электроды от зданий и сооружений, на которые может повлиять зона протайки.

Обслуживание электролитических заземляющих комплектов ZANDZ состоит в периодическом (раз в несколько лет) измерении сопротивления заземления и визуальном определении количества солевой смеси внутри заземлителя. Для этого необходимо открыть крышку инспекционного колодца (1). Если смесь полностью превратилась в электролит, то электрод заправляется: в него засыпается новый объем солей. Заправки электрода достаточно на минимальный срок службы - 10 лет (в среднем - 15 лет). Поэтому первый осмотр рекомендуется проводить не ранее этого срока.

Расчет заземляющего устройства

3.1 Общие условия

3.1.1 Цель расчета

Целью расчета является определение основных параметров заземляющего устройства: числа, размеров и размещения электродов, при которых соблюдается условие:

$$R \leq R_T; \quad (1)$$

где R – расчетное сопротивление заземляющего устройства, Ом;

R_T – требуемое сопротивление заземляющего устройства, Ом.

Значение R_T устанавливается в зависимости от величины напряжения, вида системы электроснабжения.

3.1.2 Подготовка исходных данных

Исходными данными для выполнения расчета являются:

- характеристика электрической системы (вид системы, напряжение) и данные о требуемой величине сопротивления заземляющего устройства;
- план защищаемого объекта с указанием основных размеров и размещения электрооборудования;
- характеристики грунта и климатической зоны объекта.

3.1.3 Порядок выполнения расчетов

Расчеты выполняются в следующей последовательности:

- 1) на основании характеристик грунта принимается решение, какие заземлители (модульные или электролитические) будут участвовать в расчете;
- 2) определяется необходимое число вертикальных заземлителей и уточняется схема заземлителя с учетом коэффициентов их взаимного использования;
- 3) рассчитывается длина полосы, соединяющей электроды, и определяется ее сопротивление растеканию тока;
- 4) вычисляется общее расчетное сопротивление растеканию тока искусственного заземляющего устройства R_{3y} с учетом соединительной полосы.

$$R_{3y} = \frac{(R_{\text{БЕРТ}} \cdot R_{\text{ГОР}})}{(R_{\text{БЕРТ}} + R_{\text{ГОР}})} \quad (2)$$

Полученное значение проверяется на соответствие условию $R_{3y} \leq R_T$. Если оно удовлетворяет условию, это означает, что все основные параметры заземлителя выбраны правильно. В противном случае в принятую схему заземлителя необходимо внести соответствующие поправки и расчеты повторить.

Тип заземлителя выбирается на основании анализа исходных данных с учетом требований, изложенных в разделе 2.

Модульные (сборные) комплекты ZANDZ применяются при построении заземления в грунтах, позволяющих производить монтаж глубинного заземления, и в частности, когда требуется выполнить контур заземления на ограниченном пространстве.

Электролитические заземляющие комплекты ZANDZ применяются при построении систем заземления в грунтах, обладающих высоким удельным сопротивлением (скальный грунт, песок, вечномёрзлый грунт и пр.) или/и когда требуется обеспечить низкое значение сопротивления заземления в условиях невозможности монтажа заземлителя на большую глубину.

Определив тип заземлителя, приступают к выбору количества и длины электродов и их ориентировочному размещению на плане участка.

Ориентировочное число одиночных стержневых заземлителей определяют по формуле:

$$\eta = \frac{R_T}{(\eta_{\text{БЕРТ}} \cdot R1_{\text{БЕРТ}})} \quad (3)$$

где $R1_{\text{БЕРТ}}$ – сопротивление одиночного вертикального электрода, Ом.

R_T – требуемое сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$\eta_{\text{БЕРТ}}$ – коэффициент использования вертикальных заземлителей (для ориентировочного расчета принимается равным 1).

Сопротивление одиночного электрода вычисляется по формуле, соответствующей его форме и расположению (Таблица 1). При этом расчетное удельное сопротивление грунта ρ должно приниматься с учетом возможного повышения сопротивления грунта в течение года, т.е.

$$\rho = \rho' \cdot \psi_B; \quad (4)$$

где ρ' – измеренное (либо табличное) значение удельного сопротивления грунта, Ом·м (Таблица 2);

ψ_B – коэффициент сезонности для вертикального электрода, принимается в зависимости от климатической зоны, состояния земли во время проведения измерения, конструктивных особенностей заземлителя (Таблицы 3,4).

Полученное число электродов размещают на площадке соответствующим образом (в ряд, по контуру и т.д.); при этом расстояние между ними принимают равным не менее длины вертикального электрода.

При размещении вертикально электрода в двухслойном грунте эквивалентное сопротивление грунта определяется по формуле:

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot L_{\text{БЕРТ}} \cdot k}{\rho_1 (t + L_{\text{БЕРТ}} \cdot k - h) + \rho_2 (h - t)} \quad (5)$$

где ρ_1, ρ_2 – удельное сопротивление грунта первого и второго слоев, Ом·м;

h – толщина первого (верхнего) слоя грунта, м;

k – коэффициент, $k=1$ при $\rho_1 \geq \rho_2$, $k=2$ при $\rho_1 < \rho_2$.

$L_{\text{верт}}$ – длина вертикального электрода, м;

t – заглубление верха электрода, м

3.2 Расчет модульного заземления

Расчет одиночного заземления производится как расчет обычного вертикального заземлителя из металлического стержня.

Формула расчета сопротивления заземления одиночного вертикального заземлителя:

$$R_{\text{БЕРТ}} = \frac{\rho}{(2\pi L_{\text{БЕРТ}})} \left(\ln \frac{2L_{\text{БЕРТ}}}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T + L_{\text{БЕРТ}}}{4T - L_{\text{БЕРТ}}} \right) \quad (6)$$

где ρ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом•м;

$L_{\text{верт}}$ – длина вертикального электрода, м;

d – диаметр вертикального электрода, м;

T – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м;

$$T = \frac{L_{\text{верт}}}{2} + t;$$

где t – заглубление верха электрода, м

Для готовых комплектов модульного заземления ZANDZ при монтаже в виде одного вертикального электрода формула расчета сопротивления упрощается до вида:

$$\text{для комплекта ZZ-000-015: } R_{\text{ZZ-000-015}} = \rho \cdot 0,0868; \quad (7)$$

$$\text{для комплекта ZZ-000-030: } R_{\text{ZZ-000-030}} = \rho \cdot 0,0472 \quad (8)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом•м.

Для расчета взяты следующие величины:

$$L_{\text{верт}} = 15 \text{ (30) м};$$

$$d = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм};$$

$$T = 8 \text{ (15,5) м с учетом заглубления электрода на глубине } t = 0,5 \text{ м.}$$

Формула расчета сопротивления заземления одиночного горизонтального заземлителя в виде полосы:

$$R_{\text{ГОР}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{ГОР}}} \cdot \ln \left(\frac{2L_{\text{ГОР}}^2}{bt} \right); \quad (10)$$

где ρ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом•м;

$L_{\text{ГОР}}$ – длина горизонтального электрода, м;

b – ширина полосы горизонтального электрода, м;

t – глубина заложения горизонтальной сетки, м;

Формула расчета сопротивления заземления одиночного горизонтального заземлителя в виде круглого электрода (провода):

$$R_{\text{ГОР}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{ГОР}}} \cdot \ln \left(\frac{2L_{\text{ГОР}}^2}{bt} \right); \quad (10.1)$$

где d – диаметр горизонтального электрода, м;

3.3 Расчет электролитического заземления

Расчет сопротивления заземления электролитического заземления производится как расчет обычного горизонтального электрода в виде трубы, имеющей длину 2,4 метра с учетом влияния электролита на окружающий грунт (коэффициент С).

Формула расчета сопротивления заземления одиночного горизонтального электрода с добавлением поправочного коэффициента:

$$R_{ZZ-100-102} = \frac{C \rho}{\pi L} \ln \frac{L}{\sqrt{dT}}; \quad (11)$$

где С – безразмерный коэффициент, описывающий содержание электролита в окружающем грунте;

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом•м;

L – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

T – заглубление – расстояние от поверхности земли до заземлителя, м;

Коэффициент С варьируется от 0,5 до 0,05.

Со временем он уменьшается, т.к. электролит проникает в грунт на больший объем, при этом повышая свою концентрацию. Как правило, он составляет 0,125 через 6 месяцев выщелачивания солей электрода в плотном грунте и через 0,5 – 1 месяц выщелачивания солей электрода в рыхлом грунте. Процесс можно ускорить путем добавления воды в электрод при монтаже.

Для электролитического заземления ZANDZ формула расчета сопротивления заземления упрощается до вида:

$$R_{ZZ-100-102} = \rho \cdot 0,0414; \quad (12)$$

Для расчета взяты следующие величины:

L=2,4 м;

d=0,065 м=65 мм;

T=0,6 м;

C=0,125.

3.4 Расчет электролитического заземления вертикального исполнения

Расчет сопротивления заземления электролитического заземления производится как расчет обычного вертикального электрода в виде трубы без заглубления верха электрода, с учетом влияния электролита на окружающий грунт (коэффициент С).

Формула расчета сопротивления заземления одиночного горизонтального электрода с добавлением поправочного коэффициента:

$$R_{ZZ-100-102MB} = \frac{C \rho}{2\pi L_{\text{верт}}} \ln \frac{4L_{\text{верт}}}{d}; \quad (13)$$

где С – безразмерный коэффициент, описывающий содержание электролита в окружающем грунте;

ρ – удельное сопротивление грунта, Ом•м;

$L_{\text{верт}}$ – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м;

Для электролитического заземления ZANDZ ZZ-100-102MB формула расчета сопротивления заземления упрощается до вида:

$$R_{ZZ-100-102MB} = \rho \cdot 0,0346; \quad (14)$$

Для расчета взяты следующие величины:

$$L_{\text{верт}} = 3 \text{ м};$$

$$d = 0,065 \text{ м} = 65 \text{ мм};$$

$$C = 0,125.$$

Для электролитического заземления ZANDZ ZZ-100-102-6MB-ГН219 (рекомендуется к использованию на объектах нефтегазовой отрасли в условиях Крайнего Севера) формула расчета сопротивления заземления упрощается до вида:

$$R_{ZZ-100-102-6MB-ГН219} = \rho \cdot 0,0156; \quad (15)$$

Для расчета взяты следующие величины:

$$L_{\text{верт}} = 6 \text{ м};$$

$$d = 0,219 \text{ м} = 219 \text{ мм};$$

$$C = 0,125.$$

Примеры расчета заземляющего устройства

4.1 Расчет контура заземления на основе электролитического заземления ZANDZ в вечномерзлом грунте

Исходные данные:

Требуется обеспечить сопротивление заземляющего устройства (ЗУ) 4 Ом;

Удельное сопротивление грунта 1000 Ом•м.

Формула (12) расчёта для одного электрода электролитического заземления:

$$R_{ZZ-100-102} = \rho \cdot 0,0414 = 1000 \cdot 0,0414 = 41,4 \text{ Ом};$$

Сопротивление 10 электродов с учетом коэффициента использования (0,93):

$$R_{\text{БЕПТ}} = \frac{R_{ZZ-100-102}}{(\eta_{\text{БЕПТ}} \cdot n)} = \frac{41,4}{(0,93 \cdot 10)} = 4,45 \text{ Ом}.$$

Оптимальным будет размещение электродов на расстоянии 6 метров друг от друга. Такое же расстояние желательно выдержать до фундаментов и дорог (из-за образования зоны талика вокруг электродов). Можно выбрать схему размещения «в линию» или «расческа». Дополнительно понадобится стальная полоса 30х4 мм, чтобы связать электроды между собой (из расчета для схемы «в линию» – 80 м).

Сопротивление дополнительной полосы 30х4 мм длиной 80 м по (10):

$$R_{\text{ГОР}} = \frac{1000}{(2\pi \cdot 80)} \cdot \ln \frac{2 \cdot 80^2}{0,03 \cdot 0,5} = 27,2 \text{ Ом};$$

Общее сопротивление заземляющего устройства по (2):

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{4,5 \cdot 27,2}{4,5 + 27,2} = 3,8 \text{ Ом}.$$

4.1 Расчет заземляющего устройства на основе комплектов модульного заземления для суглинка

Исходные данные:

Требуется заземляющее устройство с сопротивлением 2 Ом;

Удельное сопротивление грунта 150 Ом•м - среднее справочное значение для суглинка.

Сопротивление одного вертикального заземлителя длиной 15 м по (7):

$$R_{ZZ-000-015} = \rho \cdot 0,0868 = 150 \cdot 0,0868 = 13,0 \text{ Ом}$$

Сопротивление 5-ти вертикальных заземлителей длиной 15 метров, расположенных на расстоянии 15 м друг от друга (с учетом коэффициента использования, равного 0,69):

$$R_{\text{БЕРТ}} = \frac{R_{ZZ-000-015}}{(\eta_{\text{БЕРТ}} \cdot n)} = \frac{13,0}{(0,69 \cdot 5)} = 3,8 \text{ Ом.}$$

Сопротивление дополнительного горизонтального проводника – полосы 30х4мм, 150 м по (10):

$$R_{\text{ГОР}} = \frac{150}{(2\pi \cdot 150)} \cdot \ln \frac{2 \cdot 150^2}{0,03 \cdot 0,5} = 2,4 \text{ Ом;}$$

Общее сопротивление заземляющего устройства по (2):

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{3,8 \cdot 2,4}{3,8 + 2,4} = 1,5 \text{ Ом.}$$

4.3 Расчет заземляющего устройства на основе комплектов модульного заземления для многослойного грунта

Исходные данные:

Требуется заземляющее устройство с сопротивлением 0,5 Ом;

Удельное сопротивление грунта:

$\rho_1 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – верхний слой;

$\rho_2 = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ – нижний слой;

$h = 10 \text{ м}$ – глубина верхнего слоя.

Эквивалентное сопротивление грунта по (5):

$$\rho_{\text{экв}} = \frac{100 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 1}{50(0,5 + 30 \cdot 1 - 10) + 100(10 - 0,5)} = 75,9 \text{ Ом}\cdot\text{м};$$

Сопротивление одного вертикального заземлителя длиной 30 м в двуслойном грунте по (8).

$$R_{\text{ZZ-000-030}} = \rho \cdot 0,0472 = 75,9 \cdot 0,0472 = 3,6 \text{ Ом}$$

Сопротивление 5-ти вертикальных заземлителей длиной 30 м (с учетом коэффициента использования, равного 0,69):

$$R_{\text{ВЕРТ}} = \frac{R_{\text{ZZ-000-030}}}{(\eta_{\text{ВЕРТ}} \cdot n)} = \frac{3,6}{(0,69 \cdot 5)} = 1,04 \text{ Ом}.$$

Сопротивление дополнительного горизонтального проводника для связи заземлителей между собой – полосы 30x4мм, 180 м по (10):

$$R_{\text{ГОР}} = \frac{75,9}{(2\pi \cdot 180)} \cdot \ln \frac{2 \cdot 180^2}{0,03 \cdot 0,5} = 0,93 \text{ Ом};$$

Общее сопротивление заземляющего устройства по (2):

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{1,04 \cdot 0,93}{1,04 + 0,93} = 0,49 \text{ Ом}.$$

4.4 Расчет заземляющего устройства на основе комплектов модульного заземления с применением коэффициента сезонности

Исходные данные:

Требуется заземляющее устройство с сопротивлением 0,5 Ом;

Удельное сопротивление грунта 50 Ом•м

Сопротивление одного вертикального заземлителя длиной 30 м в грунте с удельным сопротивлением 50 Ом•м по (8).

$$R_{ZZ-000-030} = \rho \cdot 0,0472 = 50 \cdot 0,0472 = 2,36 \text{ Ом};$$

Сопротивление 5-ти вертикальных заземлителей длиной 30 м (с учетом коэффициента использования, равного 0,69):

$$R_{\text{ВЕРТ}} = \frac{R_{ZZ-000-030}}{(\eta_{\text{ВЕРТ}} \cdot n)} = \frac{2,36}{(0,69 \cdot 5)} = 0,68 \text{ Ом}.$$

Удельное сопротивление грунта по (3) с учетом коэффициента сезонности для горизонтального электрода при $\psi_B = 2,2$

$$\rho = 50 \cdot 2,2 = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

Сопротивление дополнительного горизонтального проводника для связи заземлителей между собой – полосы 30х4мм, 150 м по (10):

$$R_{\text{ГОР}} = \frac{110}{(2\pi \cdot 150)} \cdot \ln \frac{2 \cdot 150^2}{0,03 \cdot 0,5} = 1,74 \text{ Ом};$$

Общее сопротивление заземляющего устройства по (2):

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{0,68 \cdot 1,74}{0,68 + 1,74} = 0,49 \text{ Ом}.$$

Приложение А – Справочные данные¹

Таблица 1 - Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока

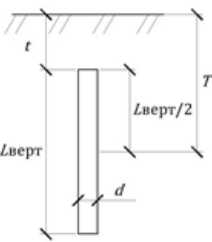
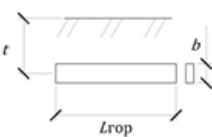
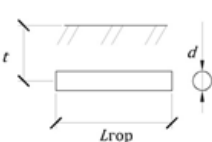
№	Тип заземления	Схема	Формула	Условия применения
1	Вертикальный круглого сечения в земле		$R_{\text{БЕРТ}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{БЕРТ}}} \left(\ln \frac{2L_{\text{БЕРТ}}}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T + L_{\text{БЕРТ}}}{4T - L_{\text{верт}}} \right)$	$L_{\text{БЕРТ}} \gg d;$ $T > L_{\text{БЕРТ}}/2$
2	Горизонтальный прямоугольного сечения в земле		$R_{\text{ГОР}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{ГОР}}} \cdot \ln \left(\frac{2L_{\text{ГОР}}^2}{bt} \right);$	$L_{\text{ГОР}} \gg b;$ $L_{\text{ГОР}} \gg 4t;$
3	Горизонтальный круглого сечения в земле		$R_{\text{ГОР}} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{ГОР}}} \cdot \ln \left(\frac{2L_{\text{ГОР}}^2}{dt} \right);$	$L_{\text{ГОР}} \gg b;$ $L_{\text{ГОР}} \gg 4t;$
4	Готовый комплект модульного заземления ZZ-000-15		$R_{\text{ZZ-000-015}} = \rho \cdot 0,0868$	
5	Готовый комплект модульного заземления ZZ-000-30		$R_{\text{ZZ-000-030}} = \rho \cdot 0,0472$	
6	Готовый комплект электролитического заземления ZZ-100-102		$R_{\text{ZZ-100-102}} = \rho \cdot 0,0414;$	
7	Готовый комплект электролитического заземления ZZ-100-102MB		$R_{\text{ZZ-100-102MB}} = \rho \cdot 0,0346;$	
8	Готовый комплект электролитического заземления ZZ-100-102-6MB-ГН219		$R_{\text{ZZ-100-102-6MB-ГН219}} = \rho \cdot 0,0156;$	

Таблица 2 - Приближенные значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов, Ом•м

Грунт	Возможные пределы колебаний	При влажности 10...20%
Глина	8 ... 70	40
Суглинок	4 ... 150	100
Песок	400 ... 700	700
Супесок	150 ... 400	300
Торф	10 ... 30	20
Чернозем	9 ... 53	20
Каменистый	500 ... 800	-
Скалистый	$10^4 \dots 10^7$	-

¹ - Таблицы 1-5 по Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М. Энергоатомиздат, 1984

Таблица 3 – Признаки климатических зон для определения коэффициентов сезонности

Характеристике климатической зоны	Климатические зоны России			
	1	2	3	4
Средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	от -20 до -15	от -14 до -10	от -10 до 0	от 0 до +5
Средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	от +16 до +18	от +18 до +22	от +22 до +24	от +24 до +21
Среднегодовое количество осадков, см	~ 40	~ 50	~ 50	30...50
Продолжительность замерзания вод, дни	190...170	~ 150	~ 100	0

Таблица 4 – Коэффициенты сезонности для однородной земли

Климатическая зона	Состояние земли во время измерений ее сопротивления при влажности		
	повышенной	нормальной	малой
Вертикальный электрод длиной 3 м			
1	1,9	1,7	1,5
2	1,7	1,5	1,3
3	1,5	1,3	1,2
4	1,3	1,1	1,0
Вертикальный электрод длиной 5 м			
1	1,5	1,4	1,3
2	1,4	1,3	1,2
3	1,3	1,2	1,1
4	1,2	1,1	1,0
Вертикальный электрод длиной 10 м			
1	9,3	5,5	4,1
2	5,9	3,5	2,6
3	4,2	2,5	2,0
4	2,5	1,5	1,1
Вертикальный электрод длиной 50 м			
1	7,2	4,5	3,6
2	4,8	3,0	2,4
3	3,2	2,0	1,6
4	2,2	1,4	1,12

Таблица 5 – Коэффициенты использования вертикальных заземлителей

Число заземлителей	Отношение расстояний между электродами к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	Электроды размещены в ряд			Электроды размещены по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблица 6 – Коэффициенты использования электролитического заземления

Число электродов (комплектов ZZ-100-102)	Коэффициент использования
2	1
5	0,99
10	0,93
20	0,8

Список использованной и рекомендуемой литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). - 7-е изд. перераб. и доп. с изменениями - М.: Энергосервис.
2. ГОСТ Р 50571.5.54-2011/МЭК 60364-5-54:2002. Электроустановки низковольтные, часть 5-54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и проводники уравнивания потенциалов;
3. ГОСТ 12.1.038 - 82. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжения прикосновения и токов. Госстандарт СССР;
4. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок. РД 153-34.0-20.525-00. СПО ОРГРЭС, Москва, 2000;
5. Бургсдорф В.В. и Якобс А.И. Заземляющие устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1987;
6. Маньков В. Д., Заграничный С. Ф. Защитное заземление и защитное зануление электроустановок: Справочник. - СПб.: Политехника, 2005
7. Найфельд М. Р. Заземление, защитные меры электробезопасности, изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1971
8. Карякин Р. Н. Нормы устройства сетей заземления. М.: Энергосервис, 2002
9. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М. Энергоатомиздат, 1984
10. Целебровский Ю. В. Заземляющие устройства электроустановок высокого напряжения. Новосибирск, Изд-во НЭТИ, 1987.
11. Руководство по проектированию, строительству и эксплуатации заземлений в установках проводной связи и радиотрансляционных узлов. М.: Издательство «Связь», 1971

Таблица регистрации изменений

[illegible]