

Практическая работа

РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Анализ несчастных случаев в промышленности, сопровождающихся временной утратой трудоспособности пострадавших, показывает, что число травм, вызванных электрическим током, сравнительно невелико и составляет 0,5–1 % общего числа несчастных случаев на производстве (в электроэнергетике – 3–3,5 %).

Совершенно иная картина будет, если рассматривать только смертельные несчастные случаи. При этом оказывается, что из общего числа смертельных несчастных случаев на производстве 20–40 % их (а в энергетике – до 60 %) происходит в результате поражения электрическим током, что, как правило, больше, чем по какой-либо иной причине, причем 75–80 % смертельных поражений током происходит при напряжении до 1000 В.

Статистика свидетельствует, что частота смертельного электротравматизма в электроустановках зданий в России составляет $\sim 30 \times 10^{-6}$, в то время как в развитых странах эта цифра не превышает 1×10^{-6} (что является допустимым риском смертельных случаев для человека).

Развитие электротехники сопровождается непрерывным совершенствованием применяемого электрооборудования, поиском новых технических решений при создании электроустановок. Заземляющее устройство является неотъемлемой частью каждой электроустановки напряжением до 1 кВ и выше.

Условия работы заземляющего устройства определяются, в первую очередь, удельным электрическим сопротивлением земли и электрическими параметрами заземляющих и защитных проводников.

Одной из функций заземляющего устройства является защита от поражения электрическим током. Защитное заземление – одна из основных мер защиты, обеспечивающих безопасность электроустановки. В настоящее время заземление и меры защиты регламентируются двумя основополагающими нормативными документами: Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) и комплексом стандартов ГОСТ Р 50571 (МЭК – 364).

1. ЗАЩИТНОЕ ЗАЗЕМЛЕНИЕ

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электрической установки или оборудования с заземляющим устройством (ПУЭ).

Защитное заземление – заземление, выполненное в целях безопасности.

Рабочее заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей отдельных точек электрической цепи, например, нейтральных точек обмоток генераторов, силовых и измерительных трансформаторов и т. п. Рабочее заземление предназначено для обеспечения надлежащей работы электроустановки в нормальных или аварийных условиях и осуществляется непосредственно или через специальные аппараты – пробивные предохранители, разрядники, резисторы и т.п.

Заземление молниезащиты – преднамеренное электрическое соединение с землей молниеприемников и разрядников с целью отвода от них токов молнии в землю.

Замыкание на корпус – или, точнее, электрическое замыкание на корпус – это случайное электрическое соединение токоведущей части с металлическими нетоковедущими частями электроустановки. Замыкание на корпус может быть результатом, например, случайного касания токоведущей части корпуса машины, повреждения изоляции, падения провода, находящегося под напряжением, на нетоковедущие части электроустановок и т. п.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим частям.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус и другими причинами. Это достигается путем уменьшения потенциала заземленного оборудования (за счет уменьшения сопротивления заземления, а также путем выравнивания потенциалов основания, на котором стоит человек, и заземленного оборудования за счет подъема потенциала основания, на кото-

ром стоит человек, до значения, близкого к значению потенциала заземленного оборудования).

Сопротивление заземления – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя на землю.

1.1. Область применения защитного заземления

Защитное заземление применяется:

- 1) электрические сети напряжением до 1000 В с изолированной нейтралью;
- 2) электрические сети напряжением свыше 1000 В с любым режимом нейтрали.

Защитное заземление электроустановок следует выполнять при номинальном напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока во всех случаях.

В помещениях категорий опасности поражения электрическим током ПО (повышенная опасность) и ОО (особая опасность) согласно ПУЭ защитное заземление должно применяться в электроустановках при номинальном напряжении от 42 В до 380 В переменного тока и от 110 В до 440 В постоянного тока (ГОСТ 12.1.013-78).

Во взрывоопасных помещениях категорий А и Б (СП 12.13130.2009) все электроустановки независимо от величины напряжения должны быть заземлены.

1.2. Характеристики заземляющих устройств

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя – проводников (электродов), соединенных между собой и находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

В зависимости от места размещения заземлителя относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

Выносное заземляющее устройство характеризуется тем, что заземлитель его вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудо-

дование, или сосредоточен на некоторой части этой площадки (рис. 1). Поэтому выносное заземляющее устройство называют также сосредоточенным. Размещение электродов выносного заземляющего устройства может быть выполнено «в ряд» или «по контуру».

Существенный недостаток выносного заземляющего устройства – отдаленность заземлителя от защищаемого оборудования, вследствие чего на всей или на части заземляемой территории коэффициент прикосновения $\alpha = 1$, то есть напряжение прикосновения будет максимальным и равным потенциалу заземлителя (ϕ_z). Поэтому этот тип заземляющего устройства применяют лишь при малых значениях токов замыкания на землю (ГОСТ 12.1.038-82) и, в частности, в установках напряжением до 1000 В, где потенциал заземлителя ϕ_z не превышает значений допустимого напряжения прикосновения $U'_{\text{пр. доп.}}$, В.

Достоинством выносного заземляющего устройства является возможность выбора места размещения электродов заземлителя с наименьшим сопротивлением грунта (сырое, глинистое, в низинах и т. д.).

Контурное заземляющее устройство характеризуется тем, что электроды его заземлителя располагаются по контуру (периметру), на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки. Часто электроды распределяют на площадке по возможности равномерно, и поэтому контурное заземляющее устройство называется также распределенным.

Размещение электродов выносного заземляющего устройства может быть «в ряд» или «по контуру» (рис. 1).

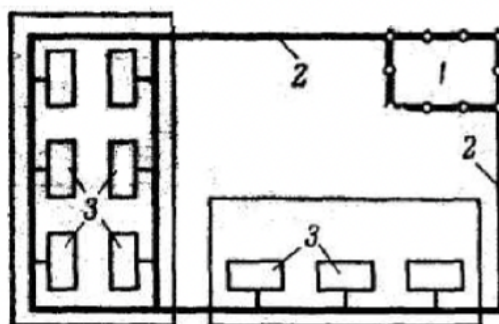


Рис. 1. Выносное заземляющее устройство:

1 – заземлитель; 2 – заземляющие проводники (магистраль); 3 – заземляемое оборудование

Безопасность при контурном заземляющем устройстве может быть обеспечена не за счет уменьшения потенциала заземлителя до безопасных значений, а за счет выравнивания потенциала на защищаемой территории до такого значения, чтобы максимальные напряжения прикосновения и шага не превышали допустимых величин. Это достигается путем соответствующего размещения одиночных заземлителей на защищаемой территории.

1.3. Выполнение заземляющих устройств

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Проводящая часть – часть, которая может проводить электрический ток. Сторонняя проводящая часть – проводящая часть, не являющаяся частью электроустановки

Токоведущая часть – проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе работы под напряжением.

Различают заземлители искусственные, специально изготовленные, предназначенные исключительно для целей заземления и естественные.

Для искусственных заземлителей применяются обычно вертикальные и горизонтальные металлические электроды. В качестве вертикальных электродов используются:

- стальные трубы с толщиной стенки не менее 3,5 мм диаметром 50–60 мм;
- угловая сталь с толщиной полки не менее 4 мм, размером от 40×40 до 60×60 мм, длиной 2,5–3 м;
- прутки стальные диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м.

Для связи вертикальных электродов и в качестве самостоятельного горизонтального электрода применяется полосовая сталь сечением не менее 4×12 мм и сталь круглого сечения диаметром не менее 6 мм.

В случае опасности усиленной коррозии заземлителей необходимо применять электроды увеличенного сечения, либо оцинкованные или омедненные.

Для установки вертикальных заземлителей предварительно роют траншею глубиной $t_0 = 0,5\text{--}0,8$ м, после чего производят забивку труб, уголков или прутков с помощью механизмов (копры, гидропрессы, вибраторы). Верхние торцы погруженных в землю вертикальных электродов соединяют стальной полосой длиной L с помощью сварки. Засыпка траншей производится землей, очищенной от строительного мусора с последующей тщательной трамбовкой, что снижает сопротивление растеканию заземлителя, а, следовательно, дает экономию металла. Искусственные заземлители могут быть выполнены также из электропроводящего бетона.

Естественный заземлитель – сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

В качестве естественных заземлителей могут использоваться:

- проложенные в земле водопроводные и другие металлические трубы (за исключением трубопроводов горючих жидкостей, горючих или взрывоопасных газов)
- осадные трубы артезианских колодцев, скважин, шурфов и т. п.
- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, имеющие соединения с землей
- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле
- металлические шпунты гидротехнических сооружений и т. п.

Естественные заземлители обладают, как правило, малым сопротивлением растеканию тока и поэтому использование их для заземления дает ощутимую экономию металла. Недостатком естественных заземлителей является доступность некоторых из них неэлектротехническому персоналу и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей (при ремонтных работах и т. п.).

Заземляющие проводники – проводники, соединяющие заземляемую часть (точку) с заземлителем.

В качестве заземляющих проводников, предназначенных для соединения заземляемых частей с заземлителями, применяется, как правило, полосовая сталь и сталь круглого сечения.

В сетях напряжением до 1000 В и выше с изолированной нейтралью, т. е. с малыми токами замыкания на землю, наименьшее сечение стальной прямоугольной шины составляет 24 мм² при прокладке ее внутри здания и 48 мм² при прокладке вне здания или в земле; для круглой стали наименьший диаметр равен 5 и 6 мм соответственно.

В производственных помещениях с электроустановками напряжением выше 1000 В магистрали заземления (заземляющие проводники с двумя и более ответвлениями) из стальной полосы должны иметь сечение не менее 120 мм², а напряжением до 1000 В – не менее 100 мм². Допускается применение стали круглого сечения той же проводимости.

Во всех случаях не требуется применения медных проводников сечением более 25 мм², алюминиевых – более 35 мм² и стальных – 120 мм². Прокладка в земле алюминиевых неизолированных проводников не допускается. Искусственные заземлители не должны иметь окраску.

В табл. 1 приведены наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле.

Таблица 1

Материалы и размеры заземлителей и заземляющих устройств

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

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм ²	Толщина стенки, мм
	Трубный	25	—	2
Медь	Круглый	12	—	—
	Прямоугольный	—	50	2
	Трубный	20	—	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	-

* диаметр каждой проволоки

Рекомендуется в целях экономии металла использовать в качестве заземляющих проводников так называемые естественные проводники – металлические конструкции зданий и сооружений: фермы, колонны, подкрановые пути, каркасы распределительных устройств, шахты подъемников, лифтов и элеваторов, а также обрамления каналов, стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические кожухи шинопроводов, металлические стационарные открыто проложенные трубопроводы всех назначений (кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных смесей, канализации и центрального отопления).

1.4. Прокладка заземляющих проводников

Прокладка заземляющих проводников производится открыто по конструкциям зданий, в том числе по стенам. Заземляющие проводники в закрытых помещениях должны быть доступны для осмотра. Ответвления от магистралей к электроприемникам напряжением до 1000 В допускается прокладывать скрытно непосредственно в стене, под чистым полом и т. п. с предварительной защитой их от воздействия агрессивных сред. Такие ответвления не должны иметь соединений.

В наружных установках заземляющие проводники допускается прокладывать в земле, в полу, а также по краю площадок фундаментов технологических установок и т. п.

Присоединение заземляемого оборудования к магистралям заземления осуществляется с помощью отдельных проводников. При этом последовательное включение заземляемого оборудования не допускается (рис. 2).

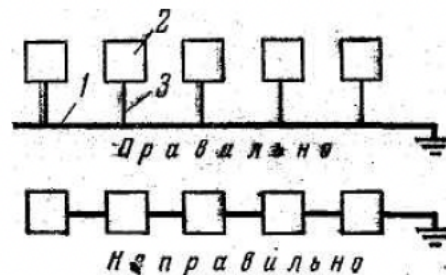


Рис. 2. Схема присоединения заземляемых объектов к заземляющей магистрали.

1 – заземляющая магистраль; 2 – заземляемое оборудование;

3 – проводник-ответвление к заземляющей магистрали

Главная заземляющая магистраль (шина) – шина, являющаяся частью заземляющего устройства до 1000 В и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Заземление отдельных электродвигателей, аппаратов и другого оборудования, установленных непосредственно на металлических станках и имеющих с металлом станков надежный контакт, может осуществляться путем присоединения станины станков к заземляющей магистрали.

Соединение заземляющих проводников между собой, а также с заземлителями и заземляемыми конструкциями выполняется, как правило, сваркой, а с корпусами аппаратов, машин и другого оборудования – сваркой или с помощью болтов. Отсоединение от главной заземляющей магистрали (шины) должно быть возможно только с использованием инструмента.

При этом присоединение заземляющей магистрали к заземлителю – искусственному или естественному – выполняется в двух местах. Открыто проложенные заземляющие проводники должны иметь отличительную окраску: по зеленому фону желтые полосы.

Главная заземляющая магистраль (шина) должна быть, как правило, медной, допускается из стали; из алюминия не допускается.

1.5.Методика расчета величины сопротивления искусственного защитного заземления

Методика расчета включает четыре этапа.

1. Определяют величину сопротивления одиночного вертикального заземлителя R_B по формуле:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{расч.в}}}{2\pi\alpha} \left(\ln \frac{2\alpha}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+\alpha}{4t-\alpha} \right), \text{ Ом}, \quad (1)$$

где α – длина вертикального заземлителя, м;

d – диаметр вертикального заземлителя, м;

для уголка с шириной полки b : $d = 0,5 \times b$.

Расчетное сопротивление грунта $\rho_{\text{расч.}}$ находят по формуле:

$$\rho_{\text{расч.}} = \rho_{\text{уд.}} \times \varphi, \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{уд.}}$ – удельное сопротивление грунта, Ом·м (табл. 2);

φ – климатический коэффициент вертикального электрода (табл. 3).

Заглубление заземления t вычисляют по формуле:

$$t = t_0 + \alpha/2, \text{ м}, \quad (3)$$

где t_0 – глубина траншеи, в которую забиваются вертикальные заземлители, м.

Связь натурального и десятичного логарифма: $\ln X = 2,303 \cdot \log X$.

Конкретные значения величин, входящих в формулы, принимают с учетом номера варианта, задаваемого преподавателем, согласно табл. 7.

2. Далее определяют необходимое число вертикальных заземлителей n по формуле:

$$n = \frac{R_B}{R_3 \times \eta_B}, \quad (4)$$

где R_3 – допустимое значение сопротивления защитного заземления, Ом (табл. 6).

η_B – коэффициент использования вертикальных заземлителей, зависящий от отношения расстояния между вертикальными электродами A к их длине α (табл. 7) и от варианта исполнения заземления: «в ряд» или «по контуру».

Порядок расчета n :

- 1) принять $\eta_B = 1$ и найти n из формулы (4);
- 2) по найденному числу n из табл. 4 методом интерполяции определить уточненное значение η_B ;
- 3) подставить определенное из табл. 4 значение η_B в формулу (4) и определить окончательное число вертикальных заземлителей n ;

4) округлить полученное значение n до большего целого числа (например, $n = 3,25$, принять $n = 4$).

Рассчитанное количество заземлителей n забивают в подготовленную траншею вертикально через определенное расстояние и соединяют их все между собой горизонтальным электродом (полосой или прутком) длиной L соответствующего сечения.

3. Определяют сопротивление горизонтального электрода R_{Γ} по формуле:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{d_1 t_0}, \text{ Ом} \quad (5)$$

где L – длина полосы, м – определяется по формулам:

– при размещении в ряд:

$$L = C \cdot \alpha \cdot (n - 1) \quad (6)$$

– при размещении по контуру:

$$L = C \cdot \alpha \cdot n, \quad (7)$$

здесь: $C = A/\alpha$, значение из табл. 7.

$\rho_{\text{расч.г}}$ определяется по формуле (2) с учетом грунта ($\rho_{\text{уд}}$ – табл. 2) и длины полосы горизонтального электрода (φ_{Γ} – табл. 3);

d_1 – диаметр горизонтального электрода, м (для полосы $d_1 = 0,5 \cdot b$, где b – ширина горизонтальной полосы, м).

4. Определяют величину общего расчетного сопротивления заземляющего устройства по формуле

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{\text{В}} R_{\Gamma}}{R_{\text{В}} \eta_{\Gamma} + R_{\Gamma} \eta_{\text{В}} n}, \text{ Ом} \quad (8)$$

где η_{Γ} – коэффициент использования горизонтального электрода (табл. 5).

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Схема защитного заземления электротехнической установки приведена на рис. 3.

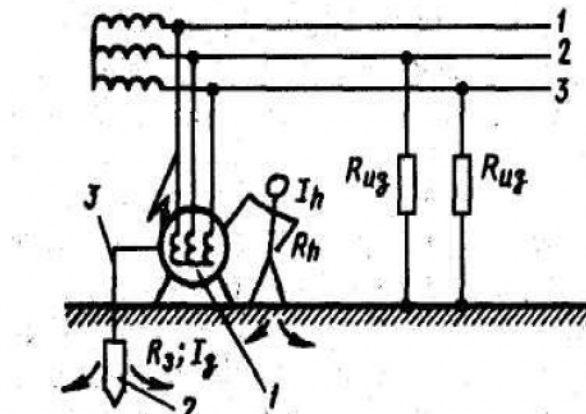


Рис. 3. Схема защитного заземления электротехнической установки:

1 – заземляемое оборудование; 2 – искусственный заземлитель; 3 – заземляющий проводник

Схема искусственного заземляющего устройства приведена на рис. 4.

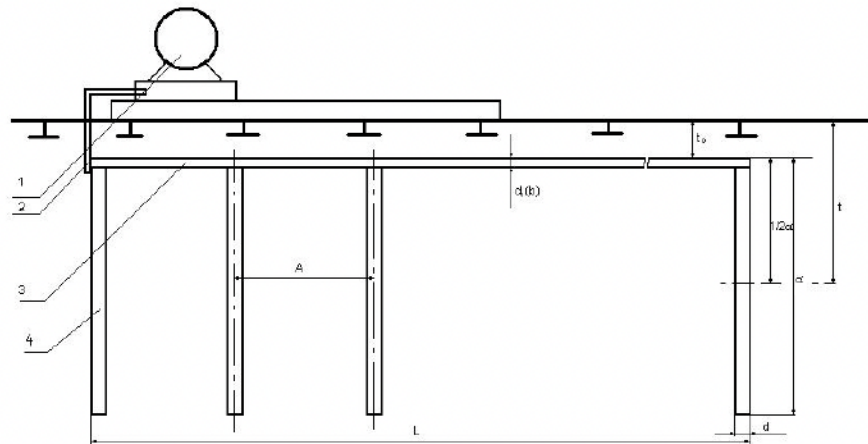


Рис. 4. Схема искусственного защитного заземления:

1 – заземляемая электротехническая установка, 2 – заземляющий проводник,
3 – заземляющая магистраль (горизонтальный электрод), 4 – вертикальный заземлитель

Расчет сопротивления искусственного защитного заземления будет считаться выполненным правильно, если его величина R не будет превышать установленных нормативных значений (ГОСТ 12.1.038-81, ПУЭ), табл. 6.

3. ФОРМА ОТЧЕТА

1. Общие сведения (титульный лист): обязательно указать номер варианта

2. Содержание отчета:

- Кратко описать цель работы;
- Привести методику расчета (записать ее)
- Выполнить расчеты согласно методики (записать расчеты)
- Заполнить итоговую таблицу

Результаты расчета сопротивления заземляющего устройства

Номер варианта	R_B , Ом	n , шт.	R_T , Ом	$R_{общ.}$, Ом	R_3 , Ом

3. Выводы по работе. Сравнить найденную величину общего расчетного сопротивления заземляющего устройства $R_{общ.}$ с допустимым (нормируемым) значением R_3 и сделать выводы о надежности защиты персонала от поражения электрическим током в случае замыкания на корпус электроустановки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова доля электротравм от общего количества травм на производстве?
2. Какова частота электротравматизма в электрических установках зданий?
3. Какими нормативными документами регламентируется заземление?
4. Что такое заземление, защитное заземление?
5. Назначение защитного заземления.
6. Что такое рабочее заземление, его назначение?
7. Что такое замыкание на корпус?
8. Причины замыкания на корпус.
9. Что такое заземление молниезащиты, его назначение?
10. Принцип действия защитного заземления.
11. Что такое сопротивление заземления?
12. Области применения защитного заземления.
13. Что такое заземляющее устройство?
14. Назовите типы заземляющих устройств.
15. Что такое выносное заземляющее устройство?
16. Чем характеризуется контурное заземляющее устройство?
17. За счет чего обеспечивается безопасность при контурном заземляющем устройстве?
18. Что такое заземлитель?
19. Что такое проводящая часть?
20. Что такое токоведущая часть?
21. Назовите виды заземлителей.
22. Что применяется для вертикальных и горизонтальных искусственных заземлителей?
23. Каким способом соединяются вертикальные заземлители с горизонтальным электродом?

24. Опишите метод установки вертикальных заземлителей.
25. Из какого материала могут быть выполнены искусственные заземлители?
26. Что такое естественный заземлитель?
27. Что может служить в качестве естественных заземлителей?
28. Укажите достоинства и недостатки естественных заземлителей.
29. Что такое заземляющий проводник?
30. Какой прокат может применяться в качестве заземляющих проводников?
31. Что из естественных проводников может быть рекомендовано в качестве заземляющих проводников?
32. Что запрещено использовать в качестве заземляющих проводников?
33. Назовите правила прокладки заземляющих проводников.
34. Назначение главной заземляющей магистрали (шины).
35. Способы соединения заземляющих проводников между собой, с заземлителями и заземляемыми конструкциями.
36. Допускается ли последовательное включение заземляемого оборудования?
37. Какие материалы могут использоваться для изготовления магистрали (шины)?
38. Какую окраску должны иметь открыто проложенные заземляющие проводники?
39. Укажите допустимые значения сопротивления защитного заземления при напряжении электрической сети до и свыше 1000 В.
40. Охарактеризуйте способ выполнения защитного заземления «в ряд» и «по контуру».

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 2

Значения удельных сопротивлений грунтов

№ грунта	Название грунта	Удельное сопротивление, $\rho_{уд.}$, Ом·м
1	Торф	20
2	Чернозем	20
3	Глина	40
4	Садовая земля	40
5	Суглинок	100
6	Супесок	300
7	Грунт скалистый	500
8	Песок	700

Таблица 3

Признаки климатических зон (1, 2, 3, 4) и значения климатического коэффициента ϕ

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых электродов	1	2	3	4
1. Климатические признаки зон: – средняя многолетняя низшая температура (январь), °С	–15 ÷ –20	–10 ÷ –14	0 ÷ –10	0 ÷ +5
– средняя многолетняя высшая температура (июль), °С	+16 ÷ +18	+18 ÷ +22	+22 ÷ +24	+24 ÷ +26
– продолжительность замерзания вод, дней	170–190	~150	~100	0

Окончание табл. 3

Данные, характеризующие климатические зоны и тип применяемых электродов	1	2	3	4
2. Значения коэффициента ϕ :				
– при применении вертикальных электродов длиной до 5 м;	1,65	1,45	1,3	1,1
– то же при длине электродов 5 и более м;	1,35	1,25	1,15	1,1
– то же при применении горизонтальных электродов длиной до 50 м;	5,5	3,5	2,5	1,5
– то же при длине 50 и более м	4,5	3,0	2,0	1,4

Таблица 4

Значения коэффициентов использования вертикальных электродов η_v

Число заземлителей n , шт	Отношение расстояния между электродами A к их длине a					
	1	2	3	1	2	3
	Размещение в ряд			Размещение 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 5

Значения коэффициентов использования горизонтальных электродов η

Соотношение расстояний между электродами А к их длине a	Число вертикальных заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Размещение в ряд								
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42			
2	0,94	0,84	0,80	0,75	0,56			
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68			
Размещение по контуру								
1		0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2		0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3		0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Таблица 6

**Допустимые (нормативные) значения сопротивления защитного
заземления в электрических сетях**

Тип эл. сети	Напряжен. электрич. сети	Режим нейтрали	Усл. обозн. сети	Допустимое значение сопротивления R_z , Ом
ТТ	до 1000 В	глухозаземленная	А 1	≤ 2 (для лин-го $U = 660$ В)
			А 2	≤ 4 (для лин-го $U = 380$ В)
			А 3	≤ 8 (для лин-го $U = 220$ В)*

Окончание табл. 6

Тип эл. сети	Напряжен. электрич. сети	Режим нейтрали	Усл. обозн. сети	Допустимое значение сопротивления R_3 , Ом
IT	до 1000 В	изолированная	Б 1	≤ 4
			Б 2	≤ 10 (при мощности генератора, трансформатора ≤ 100 кВА)
IN	выше 1000 В	изолированная	В	≤ 10
TN	выше 1000 В	глухозаземленная	Г	$\leq 0,5$

*Линейные напряжения 660, 380 и 220 В приведены для трехфазного электрического тока; такие же значения сопротивления R_3 установлены для линейных напряжений соответственно 380, 220 и 127 В однофазного электрического тока.

Таблица 7

Исходные данные для расчета

[illegible]

Окончание табл. 7

Параметры	Варианты																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
№ грунта	1	2	3	4	5	6	7	5	1	2	3	4	5	6	5	3	5	6	4	5	6	7	4	5	3
№ климат. зоны	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	1	4	2	3	4	1	4	3	4	1
Глубина траншеи, м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	0,7										
Тип электр. сети	A1	Г	В	Г	A2	Б2	В	Г	A2	Б1	В	Г	A1	Б2	Б1	Г	A1	Б1	Г	Г	A3	Б2	Г	A2	A1
Вид и размер горизонтального электрода: – прутки диаметром d_1 , мм; – полоса шириной b , мм	20		45		20		50		35		25		30		40		20		40		30		25		45
		40		60		80		50		90		40		30		40		30		50		45		35	

*размер «полка» 45 мм для уголкового стали обозначает сечение уголка 45×45 мм;

**размер «полка» 80 мм для уголкового стали обозначает сечение уголка 80×80 мм.