

4.1. Общие положения

Величина сопротивления заземлителя молниеотводов, если вблизи них во время грозы могут находиться люди, не должна превышать **10 Ом**

. Если же во время грозы вблизи молниезащитного устройства пребывание людей невозможно, то величина сопротивления заземлителя может быть не более **40**

Ом

*

.

* Такое сопротивление допускается только для изолированных систем молниезащиты, особенно при использовании искусственных заземлителей молниеотводов, устанавливаемых на естественных несущих конструкциях (деревья, башни, трубы и т.п.), удаленных от домов на расстояние не менее **10 м**.

Заземление молниеотводов выполняется с помощью забитых в землю вертикальных стальных стержней, уголков или труб, которые объединяются стальной полосой или прутком.

Сопротивление одного вертикально забитого заземляющего электрода R может быть рассчитано по формуле, $Ом:$

(23)

где ρ - удельное сопротивление грунта, $Ом \cdot м$; l - длина электрода,

$М$

;

d

- внешний диаметр для стержней и труб (или ширина полки уголка),

$М$

.

Применяются также заземлители, выполненные из стали круглого сечения или из полосовой стали, которые закладываются горизонтально на глубине 0,5 - 0,7 м. Сопротивление горизонтального заземлителя в виде луча рассчитывается по формуле, $Ом:$



(24)

где l - длина электрода, м; t - глубина заложения, м; d - диаметр проводника круглого сечения или половина ширины стальной полосы,

M

.

Сопротивление горизонтального заземлителя в виде кольца диаметром D из круглой стали диаметром d (или полосы шириной 2

d

), уложенного на глубине

t

(

t

<

D

/

2

), равно,

Ом

:



(25)

В глинистой или черноземной почве ($\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$) вертикальный стержень длиной 2,5 - 3 м имеет сопротивление приблизительно 30

Ом

, а горизонтальная полоса длиной 5

м

, уложенная на глубине 0,5 - 0,7

м

, - приблизительно 25

Ом

. Примерные сопротивления заземления, получаемые в разных грунтах с помощью одиночных электродов, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Примерные сопротивления одиночных заземляющих электродов

**В
разных
грунтах**

Грунт
Удельное сопротивление грунта ρ , Ом
Сопротивление, Ом

**стержня длиной 2,5 - 3
полосы длиной 5**

Глина, чернозем
100
30
25

Смешанный грунт (глина, известняк, щебень)
150
45
40

Суглинок
200
60
50

Супесок

500

150

125

Песок

1000

300

250

Мергель, известняк

1500

450

375

Скалы

3000

900

750

Сопровитвления будут иметь приведенные выше значения при стекании с электродов небольших по величине токов. При токах молнии плотность стекающего с электрода тока велика, поэтому в земле вблизи поверхности электрода создаются очень высокие напряженности электрического поля, превосходящие по величине пробивные напряженности для земли. Другими словами, в земле

вблизи поверхности электрода ток молнии создает очень большое падение напряжения. Под действием этого падения напряжения вблизи электрода происходит пробой почвы, образуется зона искрения, как бы увеличивающая поперечные размеры электрода. Сопротивление электрода уменьшается. Этот эффект, возникающий при растекании тока молнии, учитывается так называемым импульсным коэффициентом $\alpha_{и}$, который определяется экспериментально. Для вертикальных электродов и полос небольшой длины (до 10 м)

α

$и$

$<$

1. Сопротивление электрода

R

$и$

при стекании с него тока молнии определяется как

$$R_{и} = \alpha_{и}R \quad (26)$$

и носит название импульсного сопротивления заземления. Эту величину мы использовали при определении допустимых расстояний между молниеотводом и защищаемым объектом.

Коэффициент α_i зависит от рода грунта и от величины тока, проходящего через один электрод заземлителя. Значения α

i приведены в табл. 3.

Если заземление выполняется несколькими стержнями или полосами, то сопротивление его при прохождении тока молнии будет иметь величину, Ом:

(27)

где n - число электродов; η_i -

импульсный коэффициент использования.

Таблица 3

***Значения импульсного коэффициен
та***

Заземлитель
Грунт

Глина, чернозем
Суглинок

Супесок
Песок

Вертикальные стержни, шт.:

2 - 4

0,5

0,45

0,3

-

8

0,7

0,55

0,4

0,3

Две , грозоотводящие в отросли в отросли

0,65

0,55

0,45

0,4

Три полюса длиной раохбдящиеся от

0,7

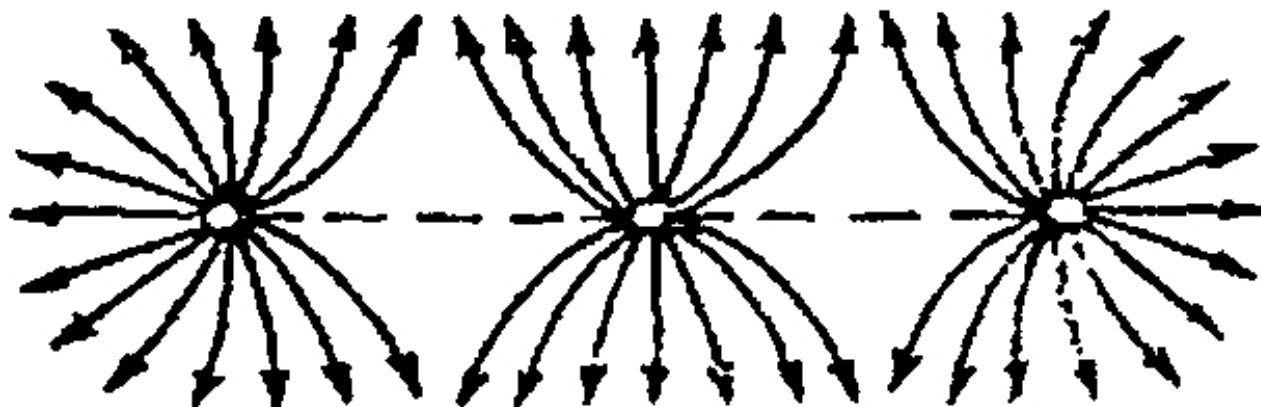
0,6

0,5

0,45

Коэффициент η_i учитывает ухудшение условий стекания тока с заземлителя, состоящего из нескольких близко расположенных электродов, вследствие взаимного экранирования последних. Растекание тока с каждого из

электродов в сторону соседних затруднено (рис. 33), поскольку все электроды имеют одинаковый потенциал и напряженности поля в этом направлении оказываются существенно сниженными. В результате как бы уменьшается поверхность электродов, участвующая в отводе тока в землю, ухудшается их использование, и следовательно, увеличивается сопротивление заземления (η и < 1).



***Рисунок 33. Распределение линий
тока
параллельно
включенных
заземляющих
электродов***

**Коэффициент η_i зависит от
длины электродов, расстояния
между ними и их геометрического
расположения. Значение η
и
для заземлителей:**

**Из вертикальных стержней,
объединенных полосой
(расстояние между стержнями
вдвое больше их
длины).....**

.....
..... **0,75**

**Из двух горизонтальных полос,
расходящихся в
противоположные стороны от
токоотвода 1**

Из трех горизонтальных симметрично расходящихся от токоотвода полос..... 0,75

Отношение $\alpha_i/\eta_i < 1$ практически во всех случаях, поэтому сопротивление заземления, выполненного из нескольких электродов, можно приближенно определять как

$$R_{з.и.} \approx R/n.$$

Ом · м

**) ошибка может быть
значительной.**

Таблица 4

***Связь импульсного сопроти
вления
с
сопротивлением***

заземления переменному току

$R_{з}$, Ом

**Глина, чернозем
Супесок
Песок**

5

5

7,5

10

10

10

15

20

20

20

30

40

30

30

45

60

40

40

60

80

Импульсное сопротивление заземления не может быть измерено. После монтажа заземлителя его сопротивление измеряется только на переменном токе. Для этой цели служат измерители заземления типа МС-07 и МС-08 и мегаомметры ЭСО 202-2, ЭК 4304 и т.п.

**Зная требуемую
расчетную величину
импульсного
сопротивления $R_{и}$
можно определить
предельно допустимую
величину сопротивления
заземления
 R**

3.

**, измеренного на
переменном токе для
разных грунтов (табл. 4),
и, наоборот, по
величине**

R

3.

**можно найти величину
соответствующего**

R

и

.

**Поперечное сечение
заземляющих
электродов должно
быть не меньше 50 $мм^2$
, при этом толщина
полос, стенок труб или
профильной стали
должна быть не меньше
4**

мм

**. В целях защиты от
коррозии желательно
применение**

**оцинкованной стали.
Покраска или покрытие
битумом заземляющих
электродов не
допускается.**

**Верхний слой земли
в летнее время сильно
высыхает, что
увеличивает**

**сопротивление
заземлителя, поэтому
не только полосы
должны
закладываться на
глубину не менее 0,5
м
, но и стержни
рекомендуется
забивать так, чтобы их
верхний край
находился на**

**расстоянии около 0,5
м
от поверхности земли.**

**Отдельные
электроды
стержневого
заземлителя
объединяются общей**

**стальной полосой
сечением не менее 48
мм**

**или стальным
проводником круглого
сечения диаметром не
менее 10
мм**

**. Соединение
электродов с
объединяющей
полосой, а также**

**присоединение к
заземляющему
устройству
ТОКОТВОДОВ
предпочтительнее при
помощи сварки.
Можно также
применять болты, но
не менее двух в
каждом месте
соединения, при этом
все элементы**

**заземлителя и
соединяющие их
болты должны иметь
антикоррозийное
покрытие.**

**К заземляющему
устройству следует
присоединить**

**проходящие
вблизи от него
металлические
трубопроводы, если
они есть (водяные,
отопительные,
канализационные), и
если они не
предназначены для
горючих газов и
жидкостей и не имеют
антикоррозийных**

**покрытий. Подземные
трубопроводы из-за
их большой
протяженности могут
обладать очень
низким
сопротивлением
заземления, что
следует использовать
для уменьшения
сопротивления
заземления.**

**Подземные
трубопроводы
(особенно
водопровод),
естественно, во
многих случаях могут
быть использованы в
качестве
единственного
заземляющего
устройства.**

**Помимо
трубопроводов в
качестве заземлителей
могут быть
использованы также
обсадные трубы
артезианских
колодцев и скважин,
металлические ограды
и т.п. Сопротивление
такого рода
заземлителей во**

**многих случаях
настолько мало ($R_{з.} < 2$
 $Ом$
) , что они могут также
использоваться в
качестве
единственного
(общего)
заземляющего
устройства. Создание
искусственных**

**заземляющих
устройств из стержней
или полос, имеющих
такую величину
сопротивления,
затруднительно.**

**При прохождении
тока молнии как на**

**самом заземлителе,
так и на окружающих
заземлитель участках
поверхности земли
появляются
электрические
потенциалы.**

**Наиболее высокий
потенциал $U_z = I_M R_z$.**

и.

**возникает
непосредственно на**

**заземлителе. По мере
удаления от
заземлителя
потенциал на
поверхности земли
уменьшается (рис.
34). Вблизи
заземлителя
потенциал
уменьшается очень
резко, затем
изменение**

**Рисунок 34. Измене
ние потенциалов
вблизи
заземлителя
при
прохождении
через
него
тока
молнии**

**Резкое падение
потенциала вблизи
заземлителя опасно
для людей,
оказавшихся
поблизости от него
во время разряда**

молнии. Если человек стоит на некотором расстоянии x от заземлителя и касается токоотвода, то он оказывается под разностью потенциалов
(

U

з

-

U

х

)

**, называемой
напряжением
прикосновения.
Человек
подвергается**

**опасности, если
даже он и не
касается
токоотвода, но ноги
его находятся на
разных расстояниях**

у

и

z

от заземлителя (во

**время ходьбы). В
этом случае ноги
человека попадают
под разность
потенциалов (
 U
 u
-
 U
 z
) , которая**

**называется
шаговым
напряжением.**

**Напряжение
прикосновения и
шаговое
напряжение**

**зависят от
величины
сопротивления
заземления и могут
быть снижены до
безопасных
величин только при
очень малом
сопротивлении
заземления,
которое трудно**

выполнить. Поэтому не рекомендуется пребывание людей во время грозы в непосредственной близости (до 5 м) от заземлителя, в частности, как это уже отмечалось, не следует укрываться под отдельно

**СТОЯЩИМИ
ВЫСОКИМИ
деревьями. В целях
безопасности
людей заземлители
должны
располагаться
возможно дальше
(на расстоянии
больше 5
М**

**) от проезжих
дорог и тротуаров
или же
ограждаться.
Токоотводы и
заземлители
должны быть
удалены от входа в
дом.**

Уменьшение напряжений прикосновения и шагового может быть достигнуто с помощью применения специальных типов заземлителей - так называемых заземляющих

**контуров.
Заземляющий
контур состоит из
забитых в землю
стержней,
соединенных
полосой, или же
только из полос,
которые
располагаются по
контору**

**защищаемого дома,
образуя
многоугольник.
Если расстояние
между
противоположными
сторонами контура
заземления велико,
то внутри контура
дополнительно
помещаются на**

**расстоянии
порядка 2 м друг
от друга полосы
выравнивания
потенциала,
которые
электрически
соединяются с
контуром.
Примерное
распределение**

**ПОТЕНЦИАЛОВ ПО
ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ
ВНУТРИ КОНТУРА БЕЗ
ПОЛОС,
ВЫРАВНИВАЮЩИХ
ПОТЕНЦИАЛ,
ПРЕДСТАВЛЕНО НА
РИС. 35 КРИВОЙ**

А

. Кривая

Б

дает распределение потенциалов при применении полос, выравнивающих потенциал. В последнем случае внутри контура шаговое напряжение и напряжение прикосновения

существенно снижаются.

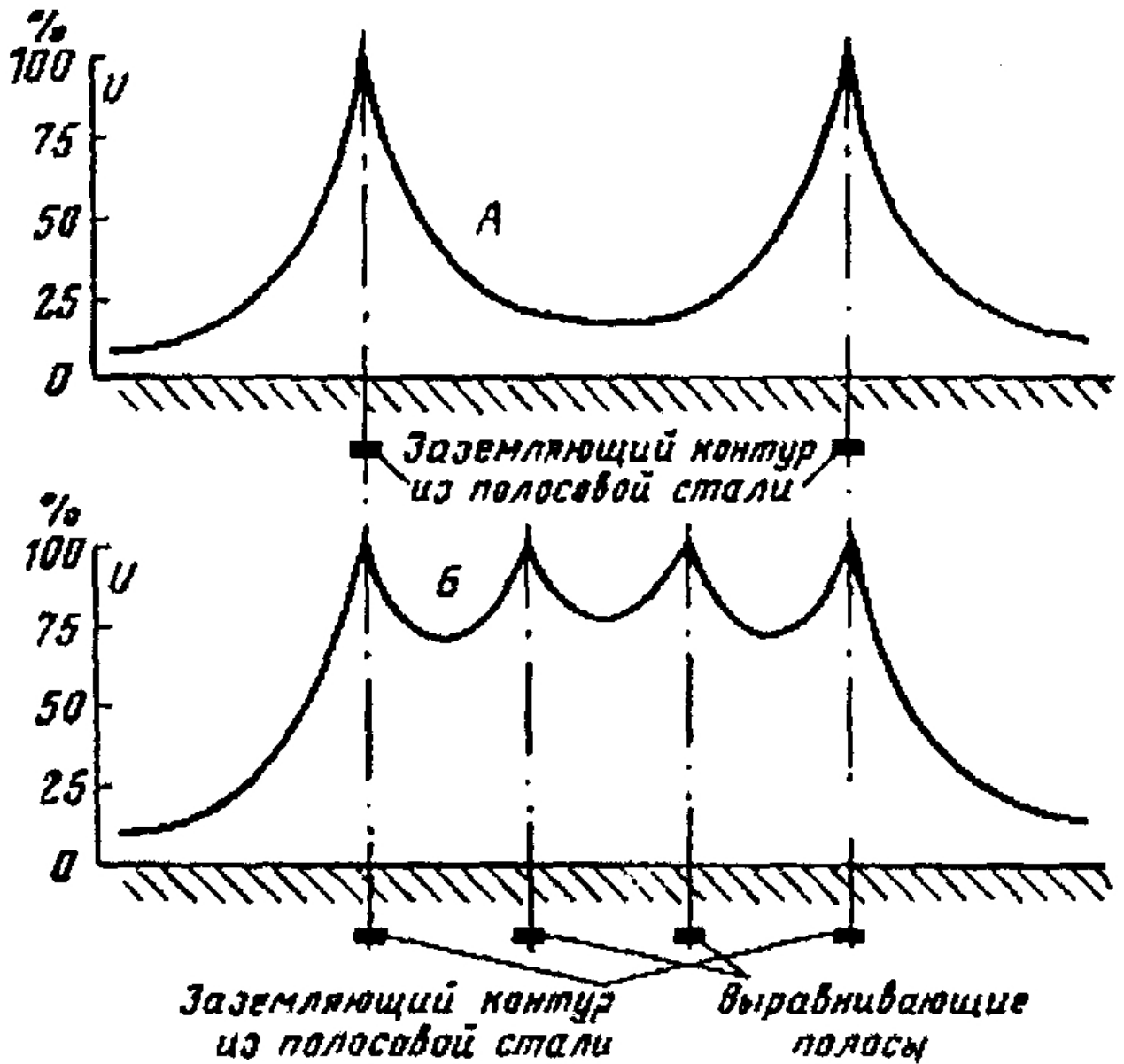


Рисунок 35. Распределение потенциалов на поверхности земли при

стекании

с

заземляющего

контура

тока

молнии

Для уменьшения

**шагового
напряжения с
внешней стороны
контура
применяется
укладка на
постепенно
увеличивающейся
глубине
дополнительных
полос, которые**

**соединяются с
контуром
заземления.
Благодаря этим
полосам
уменьшение
потенциала земли в
направлении от
контура идет более
полого (рис. 36) и
шаговое**

**напряжение
снижается, однако
зона высоких
потенциалов земли
при этом
увеличивается.**

Выравнивающими

**распределение
потенциалов
свойствами
обладает также
кольцевой
заземлитель,
особенно если он
состоит из двух
колец разного
диаметра,
расположенных на**

**различной глубине
(рис. 37).**

**Импульсное
сопротивление
такого заземлителя
с диаметром
большого кольца 5
М**

**В глинистых или
черноземных
грунтах составляет**

примерно 5

Ом

, в супесчаных

грунтах - 15

Ом

■

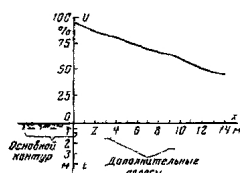


Рисунок 36. Снижение шагового напряжения за пределами контура заземления

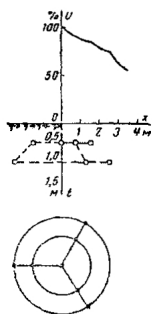


Рисунок 37. Распределение потенциалов по радиусу кольцевого заземлителя

4.2. Расчет сопротивления заземляющего устройства молниеотвода

Для заземления молниеотводов

**часто требуется
заземлитель с
импульсным
сопротивлением не
более 10 Ом.
Такой заземлитель
может быть
выполнен из двух
стержней,
объединенных
полосой или**

**круглой сталью (см.
рис. 38).**

**Для стержней
(электродов) может
быть взята сталь
круглая диаметром
не менее 12 мм,**

**стальная труба
диаметром 60
мм**

**или уголок с
полкой 40 - 50´4
мм**

**. Электроды
длиной 2,5
м**

**забиваются в
землю на глубину**

не меньше 0,5 - 0,6

М

от поверхности

земли с

расстоянием между

ними не меньше 5

М

. Между собой

электроды

соединяются

стальной полосой

4´40

ММ

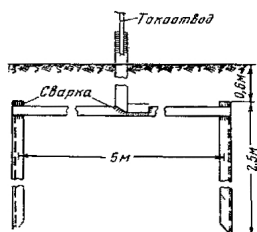
**или круглой сталью
диаметром не менее**

10

ММ

■

Токоотвод присоединяется к середине заземлителя.



***Рисунок 38. Зазем
литель
из
двух
стержней
,
объединенных
полосой***

**Рассчитаем
приблизленно
[формула (28)]
сопротивление
такого заземлителя,
если грунт имеет
удельное
сопротивление $\rho =$
 $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. По табл.
2 сопротивление
одного стержня**

составляет 30

Ом

, значит

сопротивление двух

параллельно

соединенных

стержней будет

равно 15

Ом

. Объединяющая

полоса длиной 5

М
имеет
сопротивление 25
Ом
. Сложим
сопротивление
стержней и
параллельно им
включенное
сопротивление
полосы и получим,

**таким образом,
величину
сопротивления
заземления:
—**

**Сделаем более
точный расчет того**

же заземлителя. Сопротивление одного стержня при переменном токе по формуле (23)

Для двух

**стержней
импульсный
коэффициент α и
по табл. 3
составляет 0,55, а
коэффициент
использования η
и
равен 0,75 (см.
выше). Импульсное
сопротивление двух**

**стержней находим
из формулы (27).**

**Сопротивление
полосы длиной 5 м
при переменном**

**токе составляет
[формула (24)]:**

**Примем по табл. 3
 $a_{II} = 0,65$ (как и
для полосы**

длиной 10 м).
Коэффициент
использования
полосы в системе
со стержневыми
электродами
 η
и
равен 0,75.
Импульсное

**сопротивление
полосы равно:
—**

**Импульсное
сопротивление
заземлителя,**

**таким образом,
равно:
—**

**Как видим,
результат
сравнительно**

**мало отличается
от величины
сопротивления,
полученной с
помощью
приближенного
расчета.**

**Заземлитель,
имеющий
импульсное
сопротивление не
более 10 Ом,
может быть
выполнен без
стержневых
электродов
только с помощью**

**полос. Как было
определено выше,
сопротивление на
переменном токе
полосы,
уложенной на
глубине
0
,
*6 м***

в грунт с $\rho = 100$

Ом · м

, равно 24,6

Ом

. Для двух полос

по табл. 3а

и

= 0,65, а η

и

= 1 (см. выше).

**Таким образом,
импульсное
сопротивление
заземлителя из
двух полос,
расходящихся в
противоположные
стороны от точки
присоединения
токоотвода,**

составляет:

—

**Пример: Для
заземления
молниезащитного**

**устройства
требуются
заземлители с
импульсным
сопротивлением
20 Ом.
Рассчитаем
заземлитель для
грунта с $\rho = 500$**

Ом · м (супесок).

Сопротивление

одной трубы

длиной 3

М

и диаметром

6

см

в таком грунте

**при переменном
токе (23)**

составляет:
—

Если

**ИСПОЛЬЗОВАТЬ ТРИ
ТРУБЫ, ТО
ОПРЕДЕЛИВ, КАК И
РАНЬШЕ, А $\alpha = 0,3$
И η И
=
 0
,
 75**

, находим импульсное сопротивление заземлителя из трех труб —

**Если учесть
соединительные
полосы, то
сопротивление
будет еще более
НИЗКИМ.**

**Легко
убедиться, что
приближенный
расчет по
данным табл. 2 и
формуле (28) в
этом случае дал
бы
значительную**

**ошибку. Как уже
указывалось,
пользоваться
приблизженным
методом расчета
МОЖНО ТОЛЬКО
при низком
удельном
сопротивлении**

грунта (до 500 O

M · M

).