

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Охрана труда»

Методические указания для выполнения практической работы
«МОЛНИЕЗАЩИТА»
дисциплины «Безопасность жизнедеятельности человека»
для студентов специальностей
1-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий»
1-40 05 01 «Информационные системы и технологии»

Авторы: к.т.н., доцент, Журавков Н. М.,
к.т.н., доцент Пантелеенко Е. Ф.

Электронный учебный материал

Минск 2018

УДК 621.316.98

Авторы: к.т.н., доцент, Журавков Н. М.,
к.т.н., доцент Пантелеенко Е. Ф.

Рецензент:

Методические указания включают основные теоретические сведения, касающиеся опасного воздействия молнии, устройства и работы молниезащиты, выбора типа и высоты молниеотвода, а также методики расчета зон защиты для различных конструкций молниеотводов. Указания предназначены для использования в рамках выполнения практических работ по предмету «Безопасность жизнедеятельности человека» студентами специальностей 1-40 01 01 «Программное обеспечение информационных технологий» и 1-40 05 01 «Информационные системы и технологии» факультета Информационных технологий и робототехники.

Белорусский национальный технический университет
Механико-технологический факультет, кафедра «Охрана труда»
пр-т.Независимости, 65, г.Минск, Республика Беларусь
Тел. (017)292-75-61 факс (017)292 91 37
Регистрационный № БНТУ/МТФ35-71.2018

© БНТУ

© Журавков Н.М., Пантелеенко Е.Ф., 2018

Оглавление

| | |
|--|----|
| 1. Общие положения | 4 |
| 2. Основные термины и определения | 4 |
| 3. Повреждения, ущерб и риски | 7 |
| 4. Классификация воздействий токов молний | 9 |
| 4.1. Параметры токов молнии, предлагаемые для нормирования средств защиты от прямых ударов молнии | 10 |
| 5. Защита от прямых ударов молнии | 12 |
| 5.1. Внешняя молниезащитная система | 13 |
| 5.1.1. Молниеприемники | 13 |
| 5.1.2. Естественные молниеприемники | 13 |
| 5.1.3. Токоотводы | 14 |
| 5.1.4. Расположение токоотводов в устройствах молниезащиты, изолированных от защищаемого объекта | 15 |
| 5.1.5. Расположение токоотводов при неизолированных устройствах молниезащиты | 15 |
| 5.1.6. Размещение токоотводов | 15 |
| 5.1.7. Естественные элементы токоотводов | 16 |
| 5.1.8. Заземлители | 16 |
| 6. Выбор молниеотводов | 16 |
| 6.1. Типовые зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов | 17 |
| 6.1.1. Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода | 17 |
| 6.1.2. Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода | 18 |
| 6.1.3. Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода | 20 |
| 6.1.4. Зоны защиты двойного тросового молниеотвода | 22 |

1. Общие положения.

Молния представляет собой разряд атмосферного электричества на землю, который вызывает непосредственное опасное воздействие – это пожары, взрывы, механические повреждения, травмы людей и животных, а также повреждение электрического и электронного оборудования и систем. Последствиями удара молнии могут быть взрывы твердых, жидких и газообразных материалов и веществ и выделение опасных продуктов – радиоактивных и ядовитых химических веществ, а также бактерий и вирусов.

Удары молнии могут быть особо опасны для информационных систем управления, контроля и электроснабжения.

Для электронных устройств, установленных в объектах различного назначения, требуется специальная защита.

Рассматриваемые объекты подразделяются на обычные и специальные.

Обычные объекты – жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства.

Специальные объекты:

- объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;
- объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);
- прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

Воздействие молнии может быть первичным (прямой удар) и вторичным (в виде электростатической, электромагнитной индукции или путем заноса в здание потенциала). Электромагнитная индукция может вызывать искрение или сильное нагревание в местах недостаточно плотных контактов.

2. Основные термины и определения.

Точка поражения - точка, в которой молния соприкасается с землей или возвышающимся объектом (например, зданием, ограничителем перенапряжения, системой энергоснабжения, деревом и т.д.).

Удар молнии может иметь несколько точек поражения.

Удар молнии в землю. Электрический разряд атмосферного происхождения между облаком и землей, состоящий из одного или нескольких импульсов тока.

Ток молнии. Ток, протекающий в точке поражения.

Термины, определяющие поражения в результате воздействия молнии.

Внешние проводящие части выступающие металлические элементы, входящие в защищаемое здание или выходящие из него, например, сеть трубопроводов, металлические элементы кабелей, металлические трубы и т.д., по которым может протекать часть тока молнии.

Внешняя система молниезащиты. Часть системы молниезащиты, состоящая из молниеприемников, тоководов и заземлителей.

Внутренние системы - электрические и электронные системы, находящиеся внутри здания.

Внутренняя система молниезащиты. Часть системы молниезащиты, состоящая из системы уравнивания потенциалов молний и защиты от импульсного перенапряжения.

Промышленные коммуникации - кабельные линии (силовые, информационные, измерительные, управления, связи и сигнализации), проводящие трубопроводы, непроводящие трубопроводы с внутренней проводящей средой.

Допустимый риск R_T . Максимальное значение риска, которое может быть установлено в отношении защищаемого объекта.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземляющий контур – заземляющий проводник в виде замкнутой петли вокруг здания в земле или на ее поверхности.

Заземлитель – часть внешней системы молниезащиты, которая предназначена для отвода тока молнии в землю и его растекание в ней.

Защищаемая система электроснабжения. Система энергоснабжения, соединенная со зданием, защита от воздействия молнии которого предусмотрена в соответствии с требованием действующего ТКП.

Защищаемый объект – здание или система электроснабжения, которые должны быть защищены от воздействия молнии.

Зона молниезащиты (ЗМЗ) – пространство, в котором определена электромагнитная среда. Границы между зонами молниезащиты всегда являются физическими (например, такие как стены и потолок, пол).

Импульсные перенапряжения – набегающая волна, вызываемая электромагнитными импульсами от разрядов молнии, представляющими собой бросок напряжения, - могут быть обусловлены и остаточным опасным напряжением в цепях с ограничителями перенапряжения.

Индукцированные (наведенные) перенапряжения – наведение током молнии при ее ударе в землю и на другие объекты вблизи защищаемого объекта.

Магнитный экран – закрытый металлический экран сетчатого или сплошного типа, окружающий защищенный объект, для его защиты от возможных повреждений электрических или электронных систем.

Меры защиты – меры, которые с целью снижения риска должны приниматься в отношении защищаемого объекта.

Молниеприемники – часть внешней системы молниезащиты, которая содержит металлические элементы, например, сетки или натяжные тросы, предназначенные для улавливания разрядов молнии.

Система защиты (СМЗ) – комплексная система, используемая для снижения материального ущерба при ударе молнии в здание и состоящая из внешней и внутренней систем молниезащиты.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Токоотвод – часть внешней системы молниезащиты, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

Угроза для жизни – поражение, в том числе гибель людей или животных из-за напряжения прикосновения и напряжения шага, вызываемых молнией.

Удар молнии в объект – удар молнии в защищаемый объект.

Удар молнии вблизи объекта – удар молнии на достаточно близком расстоянии от защищаемого объекта, являющийся причиной опасных перенапряжений.

Уравнивание потенциалов молнии – заземление наикратчайшим путем отдельных металлических частей посредством токопроводящих проводников с целью снятия разности потенциалов между этими частями и контуром заземления, вызываемой током молнии.

Электромагнитный импульс от разрядов молнии (ЕМР) – электромагнитное воздействие тока молнии, проявляемое в виде импульсных перенапряжений, а также излучаемых импульсов электромагнитного поля.

Напряжение на заземляющем устройстве – напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземлитель и зоной нулевого потенциала.

Опасное искрение – недопустимый электрический разряд внутри защищаемого объекта, вызванный ударом молнии.

Устройство защиты от перенапряжения – устройство, предназначенное для ограничения перенапряжения на защищаемом объекте.

Отдельно стоящий молниеотвод – молниеотвод, молниеприемник и токоотводы которого расположены таким образом, чтобы путь тока молнии не имел контакта с защищаемым объектом.

Молниеотвод, установленный на защищаемом объекте – молниеотвод, молниеприемник и токоотводы которого расположены таким образом, что часть тока молнии может растекаться через защищаемый объект или его заземлитель.

Зона защиты молниеотвода – пространство в окрестности молниеотвода заданной геометрии, отличающееся тем, что вероятность удара молнии в объект, целиком размещенный в его объеме, не превышает заданной величины.

Допустимая вероятность прорыва молнии – предельно допустимая вероятность P удара молнии в объект, защищаемый молниеотводом.

Надежность защиты определяется как $1-P$.

3. Повреждения, ущерб и риски.

Существует три типа повреждения и ущерба:

1. Поражение людей;
2. Физическое повреждение;
3. Повреждение электрических и электронных цепей.

Согласно требованиям ТКП-336-2011 (02.230) необходимость устройства молниезащиты для каждого здания или сооружения напрямую зависит от величины рисков:

- R_1 – риск угрозы человеческой жизни;
- R_2 – риск нарушения коммунального обслуживания;
- R_3 – риск потери культурных ценностей;
- R_4 – риск нанесения ущерба экономической ценности.

Каждый из рисков определяется как сумма элементов рисков. Последние, в зависимости от источника и типа повреждения делятся на:

- элементы риска для здания при ударе молнии в него (R_A – при угрозе жизни при возникновении напряжения прикосновения или шагового напряжения снаружи здания на расстоянии более $3m$ от стен, R_B – при угрозе физи-

ческого повреждения при возникновении опасного искрения внутри здания, вызывающего пожар или взрыв, R_C – при повреждении электромагнитными импульсами разрядов молний внутренних систем зданий);

- элементы риска для здания при ударе молнии рядом с ним (R_M – риск повреждения внутренних систем в результате электромагнитных импульсов от разрядов, R_U - угроза жизни при возникновении напряжения прикосновения или шагового напряжения внутри здания, R_V – риск физического повреждения от пожаров и взрывов в результате искрения на точке входа линии электропередач в здание, R_W - риск повреждения внутренних систем от перенапряжений, индуцированных на входящих линиях электропередач).

- элемент риска для здания при ударе молнии вблизи системы энергоснабжения, подключенной к зданию (R_Z - риск повреждения внутренних систем от перенапряжений, индуцированных на входящих линиях электропередач).

- элементы риска для системы энергоснабжения при ударе молнии в нее (R_V' – риск физического повреждения в результате динамического и теплового воздействия молнии, R_W' – риск повреждения подсоединенного оборудования от перенапряжения в результате резистивной связи, R_Z' - риск повреждения линий электропередач и подсоединенного оборудования от индуцированного перенапряжения)

- риски для системы электроснабжения в результате удара молнии в здание, к которому она подсоединена (R_B' – риск физического повреждения в результате теплового и динамического воздействия тока молнии, R_C' – риск повреждения подсоединенного оборудования при воздействии перенапряжений от резистивной связи).

Сами элементы рисков вычисляются на основании коэффициентов.

Общая формула определения рисков как для зданий, так и для систем энергоснабжения, следующая:

$$R = N \cdot P \cdot L$$

где N – ежегодное количество опасных случаев;

P – вероятность повреждения от удара молнии;

L – последующий ущерб.

Каждый элемент риска рассчитывается на основании отнесенных к нему факторов элементов рисков (N , P и L), то есть, в зависимости от того, куда ударит молния (в здание, рядом со зданием, в систему электроснабжения или рядом с ней), какие вызовет последствия (поражение людей/животных, физическое повреждение, повреждение электрических или электронных цепей).

На основании неравенства между расчетной величиной рисков и допустимой делается заключение о необходимости устройства молниезащиты. При этом зданию требуется молниезащита, если какой-либо из рисков больше допустимого:

$$R_n > R_t$$

Для каждого класса объектов при строительстве и реконструкции требуется определить необходимые уровни надежности защиты от прямых ударов молнии (ПУМ). Для обычных объектов предлагаются четыре уровня надежности защиты, указанные в таблице 3.1.

Параметры токов молнии необходимы для расчета механических и термических воздействий, а также для нормирования средств защиты от электромагнитных воздействий.

Таблица 3.1. Уровни защиты от ПУМ для обычных объектов

| Уровень защиты | Надежность защиты от ПУМ | Вид объекта |
|----------------|--------------------------|--|
| I | 0,98 | Здания и сооружения, в которых выделяются горючие газы при нормальной работе |
| II | 0,95 | Здания и сооружения, в которых выделяются горючие газы при аварийном режиме; склады взрыво- и пожароопасных веществ; здания зрелищных учреждений. |
| III | 0,90 | Жилые и общественные здания в городской застройке; животноводческие фермы; дымовые трубы высотой более 15 м; здания промышленных предприятий, не имеющих взрыво- и пожароопасных факторов. |
| IV | 0,80 | Жилые дома в сельской местности. |

4. Классификация воздействий токов молний

Для каждого из указанных уровней молниезащиты определяются предельно допустимые параметры тока нисходящей и восходящей молнии.

Соотношение полярностей разрядов молнии зависит от географического положения местности. Если отсутствуют такие данные, то принимают 10% разрядов с положительными токами и 90% разрядов с отрицательными токами.

Воздействие молнии, как термическое, так и механическое, определяются пиковым значением тока I , полным зарядом $Q_{\text{полн}}$, зарядом в импульсе $Q_{\text{имп}}$ и удельной энергией W/R . Наибольшие значения указанных параметров наблюдаются при положительных разрядах.

Крутизна фронта тока молнии обуславливает появление индуцированных перенапряжений, вызывающих повреждения. Крутизна составляет от 30 до 90% от уровня наибольшего значения тока. Наибольшее значение этого параметра достигается в последующих импульсах отрицательных разрядов.

4.1. Параметры токов молнии, предлагаемые для нормирования средств защиты от прямых ударов молнии

Значения расчетных параметров для различных уровней защищенности при соотношении положительных и отрицательных разрядов молний 10% к 90% соответственно приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Соответствие параметров тока молнии и уровней защищенности.

| Параметр молнии | Уровень защиты | | |
|---|----------------|-------|---------|
| | I | II | III, IV |
| Пиковое значение тока I , кА | 200 | 150 | 100 |
| Полный заряд $Q_{\text{полн}}$, Кл | 300 | 225 | 150 |
| Заряд в импульсе $Q_{\text{имп}}$, Кл | 100 | 75 | 50 |
| Удельная энергия W/R , кДж/Ом | 10 000 | 5 600 | 2 500 |
| Средняя крутизна $di/dt_{30/90\%}$, кА/мкс | 200 | 150 | 100 |

Плотность ударов молнии в землю.

Плотность ударов молнии в землю N_g выражается числом поражений 1 км² земной поверхности за год и определяется по данным метеорологических наблюдений в местности, где размещается объект.

Если данные метеорологических наблюдений недоступны, и N_g неизвестна, ее рассчитывают по формуле, $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$:

$$N_g = 6,7 \cdot T_d / 100,$$

где T_d – среднегодовая продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

Параметры токов молнии.

Кроме механических и термических воздействий ток молнии создает сильные импульсы электромагнитного излучения, приводящие к поврежде-

нию систем (оборудование связи, управления, автоматики, вычислительные и информационные устройства и т.п.), применяемых во многих отраслях производства. Их повреждение не только небезопасно, но и приводит к экономическим потерям.

Удары молнии могут содержать единственный импульс тока либо состоять из последовательных импульсов, разделенных промежутками времени, в течение которых протекает слабый сопровождающий ток. Первый импульс по параметрам существенно отличается от последующих. В таблицах 4.2. и 4.3. приведены характеристики расчетных параметров тока первого и последующих импульсов, а также длительного сопровождающего тока (таблица 4.4.) для обычных объектов при различных уровнях защиты.

Таблица 4.2. Параметры первого импульса тока молнии.

| Параметр тока | Уровень защиты | | |
|--|----------------|-----|---------|
| | I | II | III, IV |
| Максимум тока I, кА | 200 | 150 | 100 |
| Длительность фронта T ₁ , мкс | 10 | 10 | 10 |
| Время полуспада T ₂ , мкс | 350 | 350 | 350 |
| Заряд в импульсе Q* _{сум} , Кл | 100 | 75 | 50 |
| Удельная энергия W/R**, кДж/Ом | 10 | 5,6 | 2,5 |

Таблица 4.3. Параметры последующего импульса тока молнии.

| Параметр тока | Уровень защиты | | |
|--|----------------|------|---------|
| | I | II | III, IV |
| Максимум тока I, кА | 50 | 37,5 | 25 |
| Длительность фронта T ₁ , мкс | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Время полуспада T ₂ , мкс | 100 | 100 | 100 |
| Средняя крутизна a кА/мкс | 200 | 150 | 100 |

Таблица 4.4. Параметры длительного тока молнии в промежутке между импульсами

| Параметр тока | Уровень защиты | | |
|-----------------------------|----------------|-----|---------|
| | I | II | III, IV |
| Заряд Q _{дл} *, Кл | 200 | 150 | 100 |
| Длительность T, с | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

* Q_{дл} – заряд, обусловленный длительным протеканием тока в период между двумя импульсами тока молнии.

Средний ток приблизительно равен Q_L/T.

Форма импульсов тока определяется следующим выражением

$$i(t) = \frac{[I \cdot \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{10} \cdot \exp\left(-t/\tau_2\right)]}{k[1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{10}]}$$

Где I – максимум тока; k – коэффициент, корректирующий значение максимума тока; t – время; τ_1 – постоянная времени для фронта; τ_2 – постоянная времени для спада.

Значения параметров изменения тока молнии во времени приведены в таблице 4.5. Длительный импульс может быть принят прямоугольным со средним током I и длительностью T , соответствующим таблице 4.4.

Таблица 4.5. Значение параметров для расчета формы импульса тока молнии

| Параметр | Первый импульс | | | Последующий импульс | | |
|----------------|----------------|------|---------|---------------------|-------|---------|
| | Уровень защиты | | | Уровень защиты | | |
| | I | II | III, IV | I | II | III, IV |
| I , кА | 200 | 150 | 100 | 50 | 37,5 | 25 |
| H | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,993 | 0,993 | 0,993 |
| τ_1 , мкс | 19,0 | 19,0 | 19,0 | 0,454 | 0,454 | 0,454 |
| τ_2 , мкс | 485 | 485 | 485 | 143 | 143 | 143 |

5. Защита от прямых ударов молнии

В состав комплекса средств молниезащиты зданий или сооружений входят устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система (МЗС)) и устройства защиты от вторичного воздействия молнии (Внутренняя система МЗС). Иногда молниезащита может включать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты.

Внешняя МЗС бывает как изолированной от здания или сооружения, и представляет собой отдельно стоящие стержневые или тросовые молниеотводы или соседние здания, служащие естественными молниеотводами, так и установленной на защищаемом здании или сооружении, и иногда являющейся частью последнего.

Назначение внутренних устройств молниезащиты в ограничении электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращение искрений внутри защищаемого объекта. Токи молнии, попадающие в молниеприем-

ники, через систему токоотводов отводятся в заземлитель и растекаются в земле.

5.1. Внешняя молниезащитная система

Эта система обычно состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. Их конструктивные особенности указаны в таблице 5.1. Указанные значения могут быть увеличены в зависимости от повышенной коррозии или механических воздействий.

Таблица 5.1. Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

| Уровень защиты | Материал | Сечение, мм ² | | |
|----------------|----------|--------------------------|------------|----------------|
| | | молниеприемника | токоотвода | заземлителя |
| I – IV | Сталь | 50 | 50 | 80 |
| I – IV | Алюминий | 70 | 25 | Не применяется |
| I – IV | Медь | 35 | 16 | 50 |

5.1.1. Молниеприемники

Молниеприемники делятся на специально установленные, в том числе на объекте, и на естественные, являющиеся конструктивными элементами защищаемого объекта, выполняющими функции молниеприемника.

Конструктивно молниеприемник может состоять из произвольной комбинации стержней, тросов (натянутых проводов), сеток (сетчатых проводников).

5.1.2. Естественные молниеприемники

В качестве естественных молниеприемников могут рассматривать следующие элементы зданий и сооружений:

- а) металлические кровли защищаемых объектов при условии, что:
 - электрическая непрерывность между разными частями обеспечена на долгий срок;
 - толщина металла кровли составляет не менее значения t , приведенного в таблице 5.2., если необходимо предохранять кровлю от повреждения или прожога;

- толщина металла кровли составляет не менее 0,5 мм, если ее необязательно защищать от повреждений и нет опасности воспламенения находящихся под кровлей горючих материалов;

- кровля не имеет изоляционного покрытия. При этом небольшой слой антикоррозионной краски или слой 0,5 мм асфальтового покрытия, или слой 1 мм пластикового покрытия не считается изоляцией;

- неметаллические покрытия на/или под металлической кровлей не выходят за пределы защищаемого объекта;

Таблица 5.2. Толщина кровли, трубы или корпуса резервуара, выполняющих функции естественного молниеприемника

| Уровень защиты | Материал | Толщина t не менее, мм |
|----------------|----------|--------------------------|
| I-IV | Железо | 4 |
| I-IV | Медь | 5 |
| I-IV | Алюминий | 7 |

б) металлические конструкции крыши (фермы, соединенная между собой стальная арматура);

в) металлические элементы типа водосточных труб, украшений, ограждений по краю крыши и т.п., если их сечение не меньше значений, предписанных для обычных молниеприемников;

г) технологические металлические трубы и резервуары, если они выполнены из металла толщиной не менее 2,5 мм и проплавление или прожог этого металла не приведет к опасным или недопустимым последствиям;

д) металлические трубы и резервуары, если они выполнены из металла толщиной не менее значения t , приведенного в таблицу, и если повышение температуры с внутренней стороны объекта в точке удара молнии не представляет опасности.

5.1.3. Токоотводы

Для снижения вероятности возникновения искрения токоотводы располагают так, чтобы между точкой поражения и землей:

- а) ток растекался по нескольким параллельным путям;
- б) длина путей растекания минимальна.

5.1.4. Расположение токоотводов в устройствах молниезащиты, изолированных от защищаемого объекта

Для молниеприемников, состоящих из стержней, и установленных на отдельно стоящих опорах (опоре), предусматривается не менее одного токоотвода на каждой опоре.

Для молниеприемников, состоящих из одного или нескольких отдельно стоящих горизонтальных проводов (тросов), на каждом конце провода (троса) должно быть не менее одного токоотвода.

Для молниеприемников в виде сетчатой конструкции, подвешенной над защищаемым объектом, на каждой ее опоре должно быть не менее одного токоотвода. Общее количество токоотводов – не менее двух.

5.1.5. Расположение токоотводов при неизолированных устройствах молниезащиты.

По периметру защищаемого объекта токоотводы должны располагаться друг от друга на среднем расстоянии, не менее приведенного в таблице 5.3. Они должны быть соединены горизонтальными поясами вблизи поверхности земли и через каждые 20 м по высоте объекта.

Таблица 5.3. Расстояние между токоотводами

| Уровень защиты | Среднее расстояние, м |
|----------------|-----------------------|
| I | 10 |
| II | 15 |
| III | 20 |
| IV | 25 |

5.1.6. Размещение токоотводов

Расположение токоотводов по периметру защищаемого объекта должно быть равномерным. Предпочтительно прокладывание токоотводов вблизи углов зданий.

Условия прокладывания неизолированных от защищаемого объекта токопроводов:

- если стена из негорючего материала, они могут крепиться к поверхности стены или проходить в стене;

- если стена из горючего материала, их можно крепить к поверхности стены таким образом, чтобы повышение температуры, вызванное протеканием тока, не представляло опасности для поверхности стены;

- если стена из горючего материала, и повышение температуры токопровода для нее является опасным, токопровод необходимо располагать на расстоянии не менее 0,1 м от объекта. Металлические стены для крепления токопровода могут контактировать со стеной.

Токоотводы прокладывают по прямым и вертикальным линиям, обеспечивая кратчайший путь до земли. Не рекомендуется прокладка токоотводов в виде петель.

5.1.7. Естественные элементы токоотводов

Естественными элементами токоотводов могут являться металлические конструкции зданий, при условии, что они имеют не меньшие размеры, чем требуются для конструкции токоотводов. Металлические конструкции могут иметь изоляционное покрытие.

5.1.8. Заземлители

Заземлитель молниезащиты совмещается с заземлителями электроустановок и средств связи, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода. Разделенные по технологическим соображениям заземлители следует объединить с помощью системы уравнивания потенциалов.

6. Выбор молниеотводов

Тип и высоту молниеотводов выбирают исходя из значений требуемой надежности P_z . Если совокупность всех молниеотводов объекта обеспечивает надежность защиты не менее P_z , то объект считается защищенным.

При выборе системы защиты от прямых ударов молнии, по возможности обеспечивают максимальное использование естественных молниеотводов. Если обеспечиваемая естественными молниеотводами защита недостаточна, применяют дополнительные конструкции в виде специально установленных молниеотводов.

Выбор молниеотводов в общих случаях проводят с применением специальных компьютерных программ, которые вычисляют зоны защиты или вероятность прорыва молнии в объект (или их группу) любой конфигурации при произвольном расположении любого количества молниеотводов различных типов.

Высоту молниеотводов можно снизить, применив вместо стержневых конструкций тросовые, особенно при их подвеске по внешнему периметру объекта.

При обеспечении защиты объекта простейшими молниеотводами (одиночными стержневыми, одиночными тросовыми, двойными стержневыми, двойными тросовыми, замкнутыми тросовыми), их размеры определяют согласно ТКП 366-2011, пользуясь заданными в нем зонами защиты.

При проектировании молниезащиты для обычного объекта, определение зон защиты возможно по защитному углу или методом катящейся сферы, согласно стандарту международной электротехнической комиссии (IEC 1024).

6.1. Типовые зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов

6.1.1. Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода.

Для одиночного стержневого молниеотвода высотой h стандартной зоной защиты является конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (рисунок 1). Габариты этой зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .

Далее, в таблице 6.1 приведены расчетные формулы, пригодные для молниеотводов высотой до 150 м. Для более высоких молниеотводов используют специальную методику.

Таблица 6.1. Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

| Надежность защиты P_z | Высота молниеотвода h , м | Высота конуса h_0 , м | Радиус конуса r_0 , м |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0,9 | от 0 до 100 | $0,85h$ | $1,2h$ |
| | от 100 до 150 | $0,85h$ | $[1,2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |
| 0,99 | от 0 до 30 | $0,8h$ | $0,8h$ |
| | от 30 до 100 | $0,8h$ | $[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | $[0,8 - 10^{-3}(h-100)]h$ | $0,7h$ |
| 0,999 | от 0 до 30 | $0,7h$ | $0,6h$ |
| | от 30 до 100 | $[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$ | $[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | $[0,65 - 10^{-3}(h-100)]h$ | $[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |

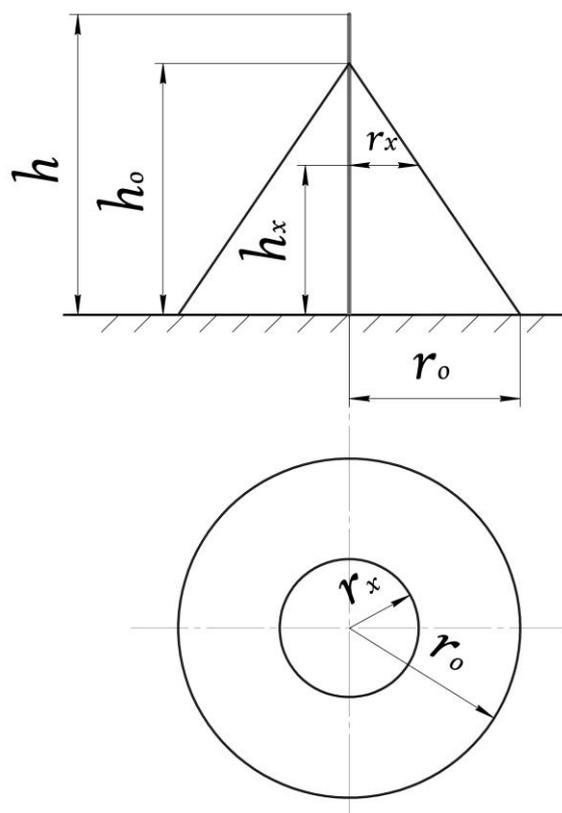


Рисунок 6.1. – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода.

Радиус горизонтального сечения r_x зоны требуемой надежности на высоте h_x определяется по формуле

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}$$

6.1.2. Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Обычно зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой h ограничены симметричными наклонными поверхностями, которые в сечении образуют равнобедренный треугольник с вершиной на высоте $h_0 < h$, основание которого величиной $2r_0$ находится на уровне земли (рисунок 6.2).

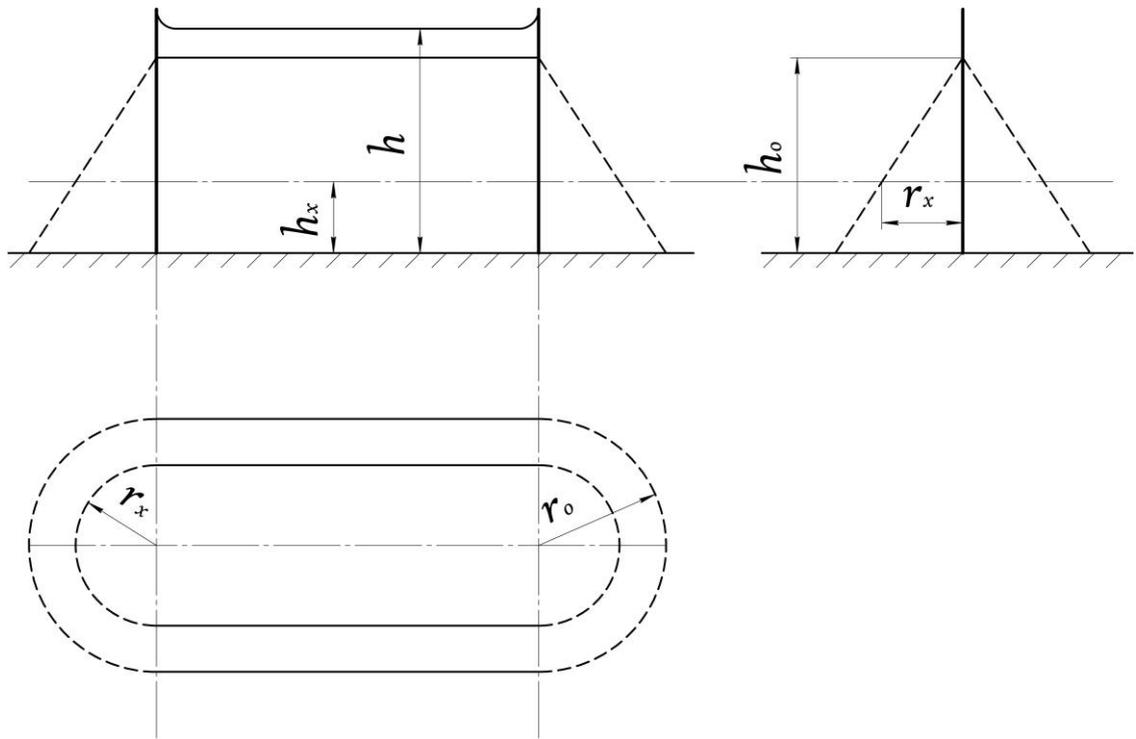


Рисунок 6.2. – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода

Формулы расчета зоны защиты для молниеотводов высотой до 150 м такой конструкции приведены в таблице 6.2. При большей высоте используют специальное программное обеспечение.

Таблица 6. 2. Расчет зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

| Надежность защиты P_z | Высота молниеотвода h , м | Высота конуса h_0 , м | Радиус конуса r_0 , м |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0,9 | от 0 до 150 | $0,87h$ | $1,5h$ |
| 0,99 | от 0 до 30 | $0,8h$ | $0,95h$ |
| | от 30 до 100 | $0,8h$ | $[0,95-7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | $0,8h$ | $[0,9 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |
| 0,999 | от 0 до 30 | $0,75h$ | $0,7h$ |
| | от 30 до 100 | $[0,75-4,28 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$ | $[0,7-1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | $[0,72 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ | $[0,6 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |

Примечание: здесь и далее под h понимают минимальная высота троса над землей с учетом провеса.

Нижеприведенная формула используется для расчета полуширины r_x зоны защиты требуемой надежности на высоте h_x от поверхности земли

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}$$

Если необходимо расширить защищаемый объем, к торцам зоны защиты тросового молниеотвода могут добавлять зоны защиты несущих опор, которые рассчитывают по формулам одиночных стержневых молниеотводов (см. таблицу 6.1). При наличии больших провесов тросов, например у воздушных линий электропередач, обеспечиваемую вероятность прорыва молнии рассчитывают с применением программных методов, так как построение зоны защиты по минимальной высоте троса приводит к неоправданным запасам.

6.1.3. Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Двойным молниеотводом считается таковой, когда расстояние между стержневыми молниеприемниками L не превышает предельного значения L_{\max} . Если указанное условие не выполняется, оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

На рисунке 6.3 представлена конфигурация стандартных зон защиты двойного стержневого молниеотвода высотой h и расстоянием между молниеотводами L в вертикальном и горизонтальном сечениях. Внешние зоны защиты двойного

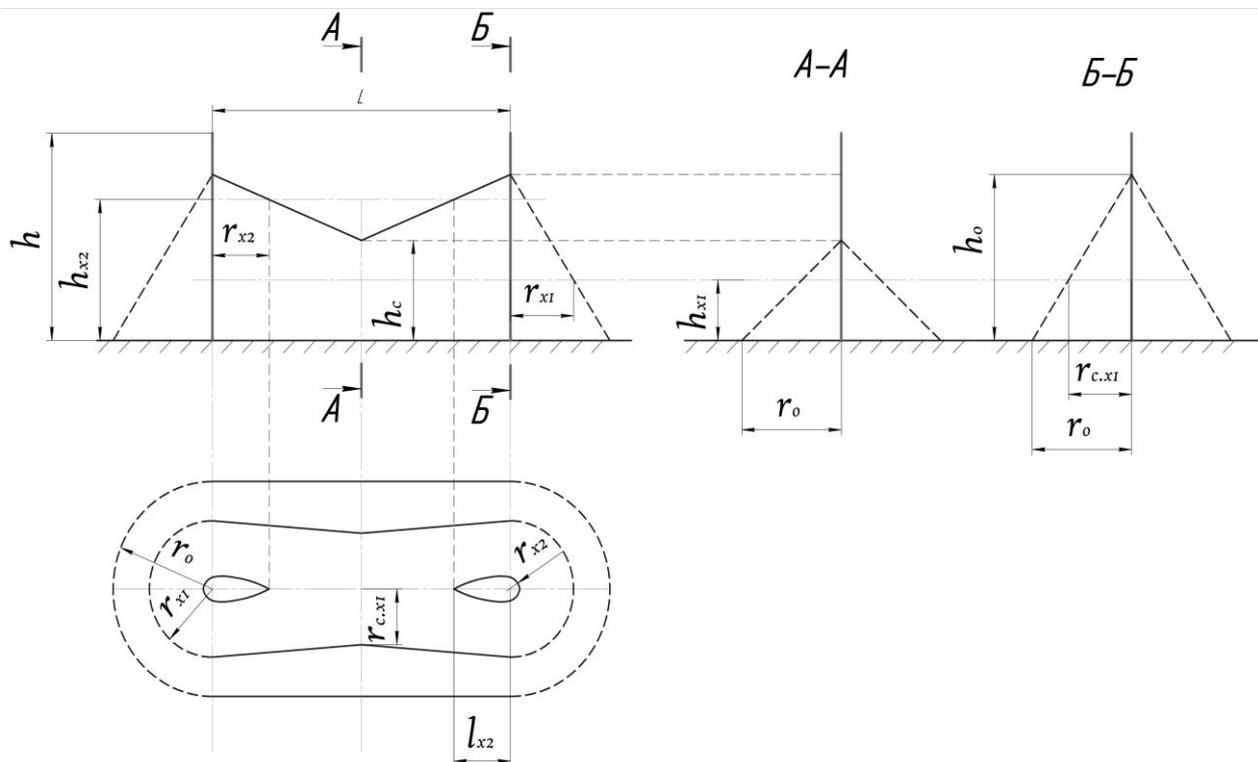


Рисунок 6.3. – Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

молниеотвода (полуконусы с габаритами h_0 и r_0) строятся по формулам из таблицы 6.1 для одиночных стержневых молниеотводов. Размеры внутренней области определяются параметрами h_0 (максимальной высотой самого молниеотвода) и h_c (минимальной высотой зоны на середине расстояния между молниеотводами). Если расстояние между молниеотводами удовлетворяет условию $L \leq L_c$, считается, что граница зоны не имеет провеса, и в таком случае $h_c = h_0$. Если выполняется условие $L_c \leq L \leq L_{max}$, тогда высота h_c рассчитывается по следующей формуле

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_c} h_0$$

Переменные L_{max} и L_c вычисляются согласно эмпирическим формулам, приведенным в таблице 6.3, и пригодным для молниеотводов высотой до 150 м. Если высота молниеотвода превышает 150 м, необходимо пользоваться специальным программным обеспечением.

Таблица 6.3. Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

| Надежность защиты P_3 | Высота молниеотвода h , м | L_{max} , м | L_c , м |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|
| 0,9 | от 0 до 30 | 5,75h | 2,5h |
| | от 30 до 100 | $[5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ | 2,5h |
| | от 100 до 150 | 5,5h | 2,5h |
| 0,99 | от 0 до 30 | 4,75h | 2,25h |
| | от 30 до 100 | $[4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ | $[2,25 - 0,0107(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | 4,5h | 1,5h |
| 0,999 | от 0 до 30 | 4,25h | 2,25h |
| | от 30 до 100 | $[4,25 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ | $[2,25 - 0,0107 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | 4,0h | 1,5h |

Размеры горизонтальных сечений зоны можно рассчитать по общим для всех уровней надежности формулам:

- максимальная полуширина r_x в горизонтальном сечении на высоте h_x :

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0}$$

- длина горизонтального сечения l_x на высоте $h_x \geq h_c$:

$$l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$$

причем при $h_x < h_c$ $l_x = L/2$;

- ширина горизонтального сечения в центре между молниеотводами $2r_{cx}$ на высоте $h_x \leq h_c$:

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c}$$

6.1.4. Зоны защиты двойного тросового молниеотвода

Двойной молниеотвод является таковым, если расстояние между тросами L не превышает предельного значения L_{max} . Если это условие не выполняется, два молниеотвода рассматривают как одиночные.

Вертикальное и горизонтальное сечение зон защиты двойного тросового молниеотвода с высотой h и расстоянием между тросами L приведено на рисунке 6.4.

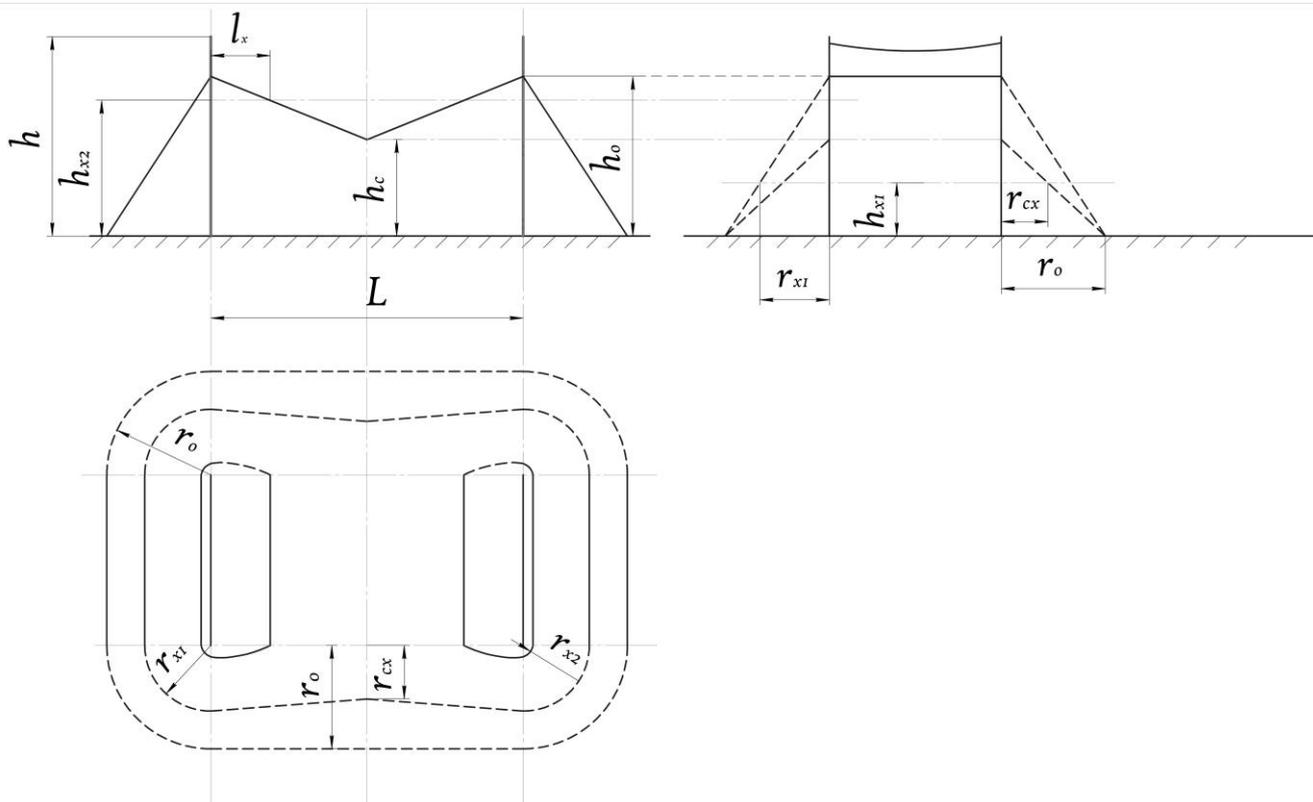


Рисунок 6.4. – Зона защиты двойного тросового молниеотвода

Конфигурация внешних областей зон защиты (односкатные поверхности габаритами h_0 и r_0) определяется согласно формул таблицы 6.2. для одиночных тросовых молниеотводов.

Размеры внутренних областей зон защиты определяются параметрами h_0 (максимальной высотой зоны непосредственно у тросов) и h_c (минимальной высотой зоны посередине между тросами). Если расстояние между тросами

$L \leq L_c$, то провес отсутствует, то есть $h_c = h_0$. Если выполняется условие $L_c \leq L \leq L_{max}$, тогда высота h_c рассчитывается по следующей формуле:

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_c} h_0$$

Расстояния L_{max} и L_c вычисляются согласно эмпирическим формулам, приведенным в таблице 6.4., и пригодным для молниеотводов высотой до 150 м. Если высота молниеотвода превышает 150 м, необходимо пользоваться специальным программным обеспечением. Длину горизонтального сечения зоны защиты на высоте h_x рассчитываем по формулам

$$\text{при } h_c \geq h_x \quad l_x = L/2$$

$$\text{при } 0 < h_c < h_x \quad l_x = \frac{L(h_0 - h_x)}{2(h_0 - h_c)}$$

Таблица 6.4. Расчет параметров зоны защиты двойного тросового молниеотвода

| Надежность защиты P_3 | Высота молниеотвода h , м | L_{max} , м | L_c , м |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0,9 | от 0 до 150 | 6,0h | 3,0h |
| 0,99 | от 0 до 30 | 5,0h | 2,5h |
| | от 30 до 100 | 5,0h | $[2,5-7,14 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | $[5,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ | $[2,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |
| 0,999 | от 0 до 30 | 4,75h | 2,25h |
| | от 30 до 100 | $[4,75-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ | $[2,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$ |
| | от 100 до 150 | $[4,5-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ | $[2,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$ |

Чтобы расширить защищаемый объем у двойного тросового молниеотвода, на защищаемую зону может быть наложена зона защиты опор, несущих тросы. Она строится как зона двойного стержневого молниеотвода, если расстояние между опорами меньше, чем вычисленное по формулам из таблицы 6.3 ($L < L_{max}$). Если условие $L < L_{max}$ не выполняется, опоры рассматривают как одиночные стержневые молниеотводы.

В случаях, когда тросы непараллельны, находятся на разной высоте или их высота изменяется по длине пролета (в том числе при больших провесах тросов в пролете), то для оценки надежности защиты используют специальное программное обеспечение, чтобы избежать излишних запасов по надежности защиты.