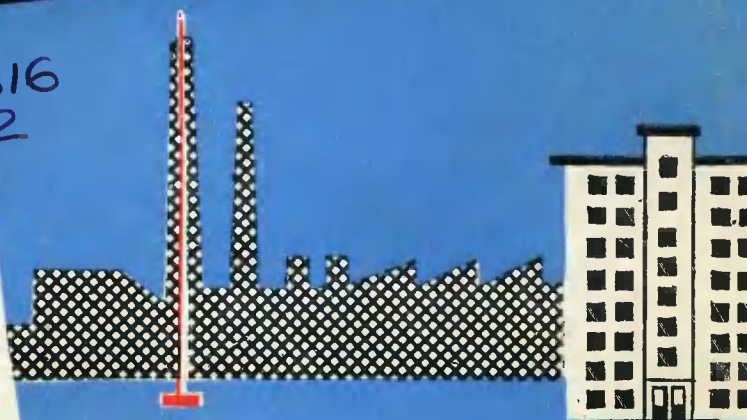


Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

В. П. ЛАРИОНОВ

УДК
621.316
1252



ЗАЩИТА ЖИЛЫХ ДОМОВ И ПРОИЗВОД- СТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ МОЛНИИ



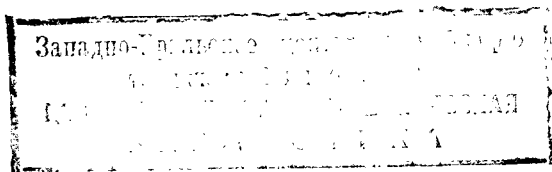
БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 191

В. П. ЛАРИОНОВ

ЗАЩИТА ЖИЛЫХ ДОМОВ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
СООРУЖЕНИЙ ОТ МОЛНИИ

ИЗДАНИЕ ВТОРОЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА

1966

ЛЕНИНГРАД

189477

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Ка-
минский Е. А., Мандрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д.,
Устинов П. И.

УДК 621.316.934
Л25

Брошюра кратко знакомит с процессом развития молнии и ее основными характеристиками. Рассматриваются принципы защиты людей, зданий и производственных сооружений от разрядов молнии. Приводятся примеры выполнения молниезащиты жилых домов, промышленных сооружений и колхозных строений.

Брошюра предназначена для электромонтеров, а также для широкого круга лиц, интересующихся вопросами защиты от молнии.

Настоящее второе издание брошюры дополнено новыми примерами молниезащиты и расчета заземлителей молниеотводов.



Ларионов Владимир Петрович.

**Защита жилых домов и производственных
сооружений от молнии,**

2-е изд., изд-во „Энергия“, 1966 г.

56 с. с черт. (Б-ка электромонтера, вып. 191)

3-3-9

126-66

Редактор *И. И. Лобышева*

Техн. редактор *Т. Н. Царева*

Сдано в набор 11/XII 1965 г.

Подписано к печати 26/II 1966 г.

Бумага типографская мелованная 84×108¹/₂.

Т-04007

Печ. л. 2,94

Уч.-изд. л. 2,72

Тираж 20 000 экз.

Цена 10 коп.

Зак. 789

Московская типография № 10

Главполиграфпрома Комитета по печати

при Совете Министров СССР

Шлюзовая наб., 10

1. МОЛНИЯ И ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Молния представляет собой электрический разряд в атмосфере между облаком и землей (или между разноименно заряженными частями облаков). Разряду молнии предшествует процесс разделения и накопления электрических зарядов в грозовых облаках, происходящий в результате возникновения в облаках мощных восходящих воздушных потоков и интенсивной конденсации в них водяных паров.

По мере концентрации зарядов увеличивается напряженность электрического поля вблизи облака. Когда она достигает критической величины (20—30 кВ/см, в зависимости от высоты облака), начинается ионизация воздуха (процесс образования заряженных частиц — электронов и ионов, в результате чего воздух становится электропроводящим) и по направлению к земле начинает развиваться разряд. В этой начальной (лидерной) стадии молния представляет собой относительно медленно (со скоростью в среднем $2 \cdot 10^7$ см/сек) развивающийся слабо светящийся канал (лидер), окруженный достаточно обширной зоной ионизации, которая заполняется зарядами, стекающими из облака (рис. 1). Распределенный вдоль канала заряд связывает на поверхности земли и на расположенных на ней объектах, например, на металлической мачте, заряды другого знака. По мере приближения канала разряда к земле повышается напряженность электрического поля на вершине возвышающегося над поверхностью земли объекта и с него начинает развиваться встречный канал разряда (встречный стример). Зона ионизации встречного стримера заполняется стекающими с вершины мачты зарядами, которые имеют знак, обратный зарядам лидера. В большинстве случаев (до 90%) заряд облака и лидера имеет

отрицательную полярность, а заряд встречного стримера — положительную.

Когда лидер и встречный стример соприкасаются, начинается главная стадия разряда. Во время этой стадии происходит нейтрализация зарядов в основном в зоне ионизации лидера. Процесс этот распространяется в на-

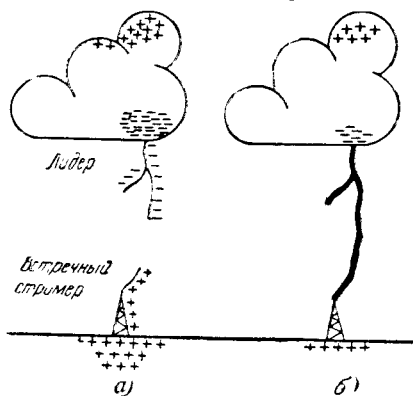


Рис. 1. Развитие разряда молнии.
а — лидерная стадия; б — главный разряд.

правлении от земли к облаку со скоростью порядка 10^9 см/сек и сопровождается сильным свечением канала разряда. По каналу в течение очень короткого времени (до 100 мксек) протекает весьма большой ток, разогревающий канал до температуры порядка $20\,000^\circ\text{C}$ и больше. При нагревании канал быстро расширяется, что вызывает распространение в окружающем воздухе ударной

волны, имеющей на своем фронте высокое давление. Эта волна воспринимается нами как гром.

Часто по одному и тому же каналу происходит несколько разрядов молнии, во время которых разряжаются на землю скопления зарядов, расположенные в разных местах по высоте облака. Это явление воспринимается нами как мерцание молнии. Лишь небольшое количество молний состоит из одного разряда. В большинстве же случаев молния состоит из 2—3 отдельных разрядов. Иногда количество разрядов бывает большим (до 30), такая многократная молния может длиться до 1 сек.

Стекание зарядов в зону ионизации встречного стримера, развивающегося с мачты, а также протекание по мачте зарядов, нейтрализующих заряд лидера и облака, образует электрический ток в мачте, который может быть зарегистрирован, например, электронным осциллографом. Величина этого тока изменяется на разных стадиях разряда, как показано на рис. 2. Во время началь-

ной стадии течет небольшой по величине ток (десятки — сотни ампер). Во время главной стадии за 3—10 мксек величина тока возрастает до многих тысяч ампер, затем постепенно падает. На заключительной стадии разряда происходит нейтрализация оставшихся зарядов в облаке, ток в этой стадии опять имеет относительно небольшую величину.

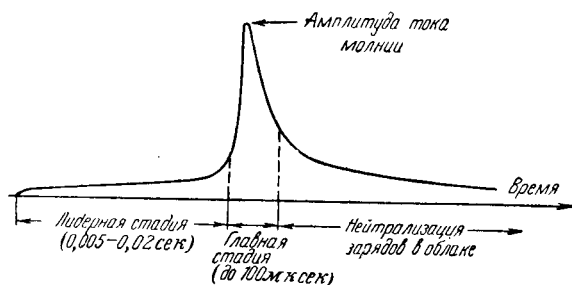


Рис. 2. Изменение тока молнии во времени.

В многократной молнии токи второго и последующих разрядов имеют такой же характер, как и в первом разряде, однако в главной стадии величина тока бывает существенно меньше.

Током молнии обычно называют кратковременный (до 100 мксек) пик тока, протекающего во время главной стадии разряда. Наибольшее значение (амплитуда) тока молнии колеблется в широких пределах. Максимальные зарегистрированные амплитуды токов молнии составляют 200—230 ка. Однако молнии с такими токами возникают очень редко. Наиболее часто токи молнии имеют величину порядка 20 ка. Чтобы судить о вероятности возникновения молний с тем или иным током, пользуются кривой вероятности токов молнии (рис. 3), построенной по результатам многочисленных измерений. Как видно из этой кривой, токи выше 100 ка возникают всего примерно в 2% разрядов молнии. В расчетах молниезащиты принимают в большинстве случаев амплитуду тока молнии в 150 ка. Такие токи бывают примерно в 0,3% случаев. Токи с амплитудой 200 ка возникают крайне редко и с ними считаются только при расчетах молниезащиты взрывоопасных объектов.

Общий разряд, протекающий через канал многократной молнии, наиболее часто составляет около 10 к и лишь в редких случаях превосходит 20—30 к.

Помимо амплитуд токов молнии необходимо также знать и возможные скорости нарастания этих токов (крутизны фронта токов молнии), поскольку они опре-

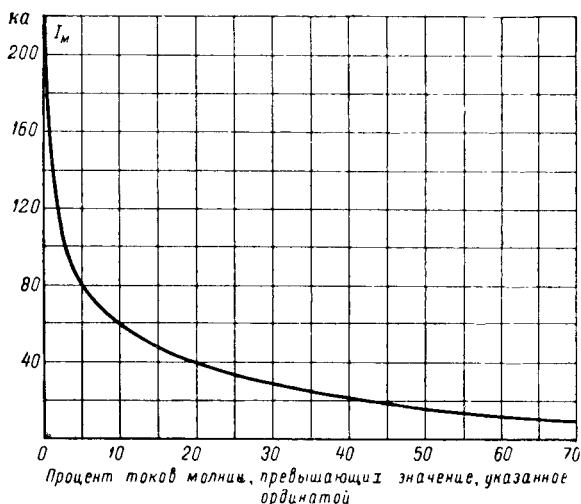


Рис. 3. Кривая вероятности токов молнии для районов с высотами над уровнем моря до 500 м.

деляют индуктивные падения напряжения при протекании тока молнии по протяженным проводникам. Измерения показывают, что крутизна фронта токов молнии, как и их амплитуда, изменяется в широких пределах. Наиболее часто ток молнии имеет среднюю крутизну нарастания порядка 5 ка/мксек. В качестве расчетной из осторожности принимают среднюю крутизну фронта тока молнии равной 30 ка/мксек.

Разряды молнии в весьма высокие объекты (высотные здания, мачты, башни и т. п.) обладают особенностями. Если длина встречного стримера, развивающегося при разряде молнии с объектов высотой до 30 м, не превосходит нескольких метров, то с ростом высоты объекта длина встречного стримера существенно увеличивается, достигая 30—40 м при ударах в объект высо-

той около 100 м, а при высоте объекта в несколько сот метров разряд вообще начинает развиваться с его вершины.

Высокий объект вносит существенное искажение в распределение электрического поля между грозовым облаком и землей. В результате этого напряженность электрического поля на вершине объекта достигает критической величины в то время, когда концентрация зарядов в облаке еще недостаточна для развития разряда. С вершины объекта начинает расти лидерный канал. Когда он достигает облака, часто не возникает резко выраженного главного разряда с характерным пиком тока. Это связано, по-видимому, с тем, что концентрация зарядов в облаке происходит достаточно медленно.

Если высокий объект поражает многократная молния, то последующие разряды ее имеют обычный характер: начинаются с лидерного канала, развивающегося от облака к земле, и завершаются главным разрядом. Амплитуда тока при этом часто превышает максимальное значение тока в первом разряде.

В связи с особенностями развития разряда возрастает вероятность появления сравнительно небольших токов при ударах молнии в высокие объекты. Чем выше объект, тем меньше при той же вероятности амплитуда тока молнии (рис. 4). При высоте объекта порядка 500 м амплитуда тока, имеющего вероятность 5%, снижается приблизительно до 35 ка. Однако это не означает, что в этом случае можно пренебрегать возможностью ударов молнии с весьма большими токами. При ударах в объекты подобной высоты были измерены токи порядка 100 ка. Хотя вероятность их очень невелика, нужно иметь в виду, что высокие объекты поражаются молнией значительно чаще, чем объекты небольшой высоты. Поэтому в качестве расчетной в этом случае для осторожности следует принимать амплитуду тока молнии 150 ка. Нужно также отметить, что общий заряд, протекающий через канал молнии при ударах в высокие объекты, наиболее часто составляет 20—25 к, т. е. превосходит заряд, стекающий на землю при ударах в низкие объекты.

Измерения показывают, что крутизны фронта тока молнии при ударах в высокие объекты практически такие же, как и при разрядах в объекты высотой до 30 м,

поэтому расчетное значение средней крутизны следует принимать равным 30 *ка/мксек*.

Интересно, что в горных районах также наблюдаются разряды молнии без резко выраженного главного разряда, а токи молнии имеют величину, примерно в 2 раза меньшую, чем это указано на рис. 2.

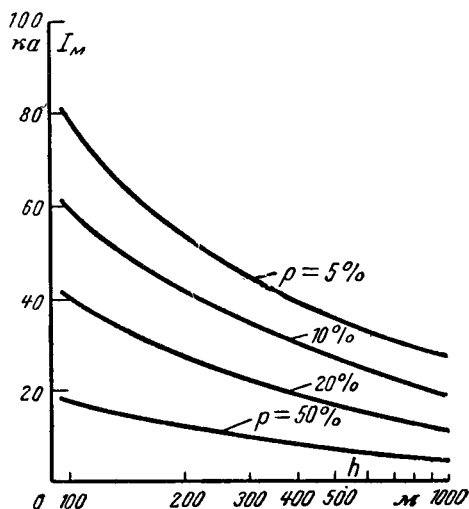


Рис. 4. Изменение амплитуд токов молнии, имеющих вероятность p , %, в зависимости от высоты поражаемого объекта h .

Интенсивность грозовой деятельности в данной местности принято характеризовать общей годовой продолжительностью гроз в часах или числом грозовых дней в году. Поскольку средняя продолжительность грозы составляет 1,5—2 ч, зная число грозовых дней, можно приблизительно найти число грозовых часов в году, и наоборот.

По данным многолетних наблюдений метеорологических станций составлены карты грозовой деятельности на территории Советского Союза, на которых нанесены линии равной продолжительности гроз [Л. 1, 2]. Карты грозовой деятельности для отдельных районов страны приведены также в [Л. 5, 6]. В северных районах СССР бывает в году 5—10 грозовых дней, в средней полосе ев-

ропейской части Советского Союза 20—25 дней, на Кавказе 30—40 дней. В некоторых районах Закавказья число грозных дней доходит до 50—65. Для ориентировки в табл. 1 приведена продолжительность грозной деятельности для некоторых пунктов страны. Там же указано среднее годовое число поражений молнией одного квадратного километра земной поверхности (n).

Таблица 1

Характеристики грозной деятельности

Районы	Годовая продолжительность гроз, $ч$	Число грозных дней в году	Число ударов $\frac{\text{ударов}}{\text{км}^2 \cdot \text{год}}$
Архангельск, Печора, Якутск	15—20	10—15	2,0
Вильнюс, Ленинград, Киров, Тобольск, Братск, Актобинск, Ташкент, Фрунзе . .	20—40	15—20	2,5
Минск, Харьков, Москва, Куйбышев, Свердловск, Новосибирск, Иркутск, Алма-Ата	40—60	20—30	3,8
Киев, Калац, Тбилиси, Усть-Каменогорск, Пржевальск	60—80	30—40	5,0
Луганск, Батуми, Ужгород . .	80—100	40—50	6,3
Ленинакан, Алаверди, Ахалцихе, Красная поляна	100 и больше	50 и больше	7,5

Годовое число ударов в объект высотой h (м), длиной a (м) и шириной b (м) может быть ориентировочно подсчитано по формуле

$$N = n(a + 3h)(b + 3h) \cdot 10^{-6} \text{ ударов в год.} \quad (1)$$

Например, подсчитаем количество поражений для здания, имеющего $a=40$ м, $b=20$ м, $h=30$ м и расположенного в местности с 25 грозными днями в году. По табл. 1 находим $n=3,8$ удара/км²·год, затем по формуле (1) получаем:

$$N = 3,8(40 + 3 \cdot 30)(20 + 3 \cdot 30) 10^{-6} = 0,054 \text{ удара в год,}$$

т. е. здание будет поражаться молнией приблизительно один раз в 20 лет.

Годовое число ударов молнии в мачту или башню высотой h (м) может быть приближенно получено по формуле

$$N = 3nh \cdot 10^{-3} \text{ ударов в год.} \quad (2)$$

Если, например, высота мачты $h = 70$ м и расположена она в местности с 35 грозовыми днями в году ($n = 5$ ударов/км²·год), то получим:

$$N = 3 \cdot 5 \cdot 70 \cdot 10^{-3} = 1,05,$$

т. е. мачта будет поражаться молнией один раз в год.

Формула (2) не может быть распространена на объекты высотой в несколько сотен метров. Такие объекты могут поражаться молнией 10 и более раз в течение одной грозы.

2. ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЛНИИ

Здания и различного рода сооружения редко поражаются молнией, однако каждый удар ее в незащищенное здание может привести к значительным убыткам и представляет собой серьезную опасность для жизни людей. Особенно опасны удары молнии во взрывоопасные и огнеопасные здания.

Ток молнии не представляет опасности для металлических проводников достаточного сечения (35 мм² и больше) или металлических частей здания, имеющих хорошее соединение между собой и с землей. Однако поражение молнией объектов, не имеющих электрического соединения с землей, или объектов из непроводящего материала (кирпич, бетон, камень, дерево и т. п.) вызывает пробой от точки удара молнии к земле. Образование канала разряда в толще непроводящего материала, сопровождающееся созданием высокого давления и температуры, приводит к разрушению элементов объекта, по которым проходит ток молнии. Известны многочисленные случаи расщепления по этой причине кирпичных дымовых труб, деревянных домов, деревьев, каменных башен и т. д.

Соприкосновение канала молнии, имеющего весьма высокую температуру, с легковоспламеняющимися и горючими материалами или взрывоопасными смесями газов, паров и пыли вызывает пожар или взрыв.

Разряд внутри незащищенного здания опасен для жизни находящихся в нем людей. Разряд может произойти через тело человека, при этом ток разряда может оказаться смертельным.

Удары молнии в воздушные провода (электрические, телефонные, радиотрансляционные и др.) вызывают появление на этих проводах высоких потенциалов. Высокие потенциалы по проводам проникают в здания, вызывая разряды с электропроводки, штепсельных розеток, выключателей, телефонных аппаратов, репродукторов и пр. на землю или на заземленные элементы здания (водопроводные, отопительные или канализационные трубы). Такие разряды представляют серьезную опасность для людей. Большинство поражений людей связано с заносом высоких потенциалов в здания по воздушным проводам.

В промышленные сооружения высокие потенциалы, помимо воздушных проводов, могут быть занесены по эстакадам, рельсовым путям и другим протяженным металлическим коммуникациям. Для взрывоопасных и пожароопасных сооружений представляют угрозу также заносы потенциалов по подземным трубопроводам и кабелям, поскольку даже маломощные искры в таких сооружениях способны вызвать взрыв или пожар.

Гроза обычно сопровождается дождем. Застигнутые в открытой местности люди иногда стремятся укрыться от дождя под деревьями. Однако укрываться под деревьями, особенно высокими или отдельно стоящими, очень опасно. При ударе молнии в дерево возможен разряд с дерева на находящихся под ним людей. Поражение людей может быть вызвано и тем, что на поверхности земли в этом случае образуются высокие разности потенциалов. Ноги человека могут оказаться под некоторой разностью потенциалов (шаговым напряжением) и он будет поражен прошедшим через его тело током. В открытой местности лучше всего находиться на расстоянии 8—10 м от отдельно стоящих деревьев — в этом случае дерево будет служить защитой от молнии — или же укрываться в лощинах у подножья холмов.

Средством первой помощи людям, пораженным молнией, является искусственное дыхание. Ни в коем случае пораженного молнией человека не следует закапывать или заваливать землей. Представление о том, что эта

мера может помочь пораженному, неправильно. Тело пострадавшего нуждается в усиленном притоке воздуха, и заваливание землей может принести ему только вред. Особенно опасно заваливание землей, если пострадавший получил открытые ранения в результате удара молнии.

Кроме прямых ударов молнии в объект и заноса в него высоких потенциалов по коммуникациям, для взрывоопасных и огнеопасных помещений представляют также опасность так называемые вторичные воздействия молнии. Дело в том, что при разрядах молнии вследствие электростатической индукции на изолированных металлических частях, находящихся внутри здания, могут наводиться высокие потенциалы относительно земли, а вследствие электромагнитной индукции в протяженных металлических элементах (трубопроводах, электропроводке и пр.), не образующих замкнутого контура (в силу необходимости или из-за плохих контактов на стыках), могут наводиться большие по величине напряжения. Под действием наведенных напряжений, достигающих по величине десятков киловольт, внутри здания может возникнуть искра длиной в несколько сантиметров. Такая искра вряд ли может воспламенить горючие материалы, одного, если в помещении содержится взрывоопасная концентрация паров, газов или пыли горючих веществ, она может вызвать взрыв.

Таким образом, каждое здание и сооружение должно быть защищено от ударов молнии. Защищая здания и сооружения, мы тем самым защищаем находящихся в них людей, которые могли бы быть поражены током молнии или могли бы пострадать в результате вызванного молнией взрыва или пожара.

3. ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ МОЛНИИ

1) Молниеотводы и их зоны защиты

Защита зданий и сооружений от ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов. Молниеотвод представляет собой возвышающееся над защищаемым объектом устройство, которое состоит из молниеприемника, непосредственно воспринимающего на себя удар

молнии, токоотводящих спусков и заземлителя, через который ток молнии отводится в землю.

Защитное действие молниеотводов основано на свойстве молнии поражать прежде всего более высокие и хорошо заземленные металлические объекты. Во время лидерной стадии молнии на вершине молниеотвода скапливаются заряды, создающие наибольшие напряженности электрического поля на пути между развивающимся лидерным каналом и вершиной молниеотвода. По этому пути и направляется разряд. Возникновение и развитие с молниеотвода встречного стримера еще более усиливает напряженность поля в направлении лидера молнии и окончательно предопределяет удар в молниеотвод. Защищаемый объект, более низкий, чем молниеотвод, будучи расположенным поблизости от него, оказывается заэкранированным молниеотводом и встречным стримером и поэтому практически не будет поражаться молнией.

Пространство вокруг молниеотвода, защищенное от попаданий молнии, называется его зоной защиты. Защищаемый объект должен всеми своими частями входить в зону защиты молниеотвода. Вследствие того, что развитие электрических разрядов подчиняется статистическим закономерностям, защищенность объекта, находящегося в зоне защиты, обеспечивается лишь с определенной степенью надежности (не менее 99%).

Зоны защиты молниеотводов определены опытным путем на моделях. При этом было принято, что зоны защиты реальных молниеотводов геометрически подобны зонам, полученным на лабораторных моделях.

В качестве модели молнии использовался искровой разряд при импульсном напряжении, развитие которого в длинных промежутках происходит в две основные стадии — лидерную и главную — и имеет, таким образом, качественное сходство с молнией.

Несмотря на то, что большинство разрядов молнии в землю имеет отрицательную полярность, при опытном определении зон защиты применялись разряды положительной полярности. Связано это с тем, что при положительной полярности длина встречного стримера с модели молниеотвода составляет всего примерно $\frac{1}{3}$ разрядного промежутка. Это значительно больше относительной длины встречных стримеров, развивающихся

с молниеотводов высотой до 100 м, но, однако, ближе к реальным условиям, чем при использовании разрядов отрицательной полярности. В лабораторных условиях при отрицательной полярности импульса разряд начинает развиваться с модели молниеотвода и зоны защиты получают сильно завышенными.

В лабораторных опытах были приняты также недостаточно обоснованные предположения относительно высоты, с которой канал лидера молнии начинает ориентироваться на молниеотвод. Поверхность нулевого потенциала, относительно которой строится зона защиты, лишь в первом приближении можно считать совпадающей с поверхностью земли. Ее действительное положение зависит от геологического строения грунта и уровня грунтовых вод.

Все сказанное свидетельствует о весьма приближенном моделировании реальных процессов в лаборатории и условности полученных зон защиты. Однако надежность разработанных на основе лабораторных опытов рекомендаций по зонам защиты подтверждена многолетним опытом эксплуатации молниеотводов, что дает нам возможность уверенно пользоваться ими.

Молниеотводы по типу молниеприемников разделяются на стержневые и тросовые. Стержневые молниеотводы выполняются в виде вертикально установленных стержней (мачт), соединенных с заземлителем, а тросовые — в виде горизонтально подвешенных тросов (проводов). По опорам, к которым крепится трос, прокладываются токоотводы, соединяющие трос с заземлителем. Тросовые молниеотводы применяются для защиты линий электропередачи высокого напряжения, длинных и узких сооружений, а также в тех случаях, когда из-за густой сети подземных коммуникаций нельзя установить необходимое число стержневых молниеотводов. Для подавляющего же большинства зданий и сооружений защита стержневыми молниеотводами оказывается более простой и удобной.

Помимо стержней и тросов в качестве молниеприемников часто используются конструктивные элементы зданий и сооружений, например, крыши, металлические трубы, парапеты и др., или сетки из стальных проводов, накладываемые на крыши защищаемых объектов. Защитное действие молниеотводов с такими молниеприем-

никами во многих случаях, в особенности по отношению к соседним сооружениям, может быть сведено к действию стержневых или тросовых молниеотводов соответствующих размеров.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода представляет собой пространство вблизи молниеотвода, ограниченное конусообразной поверхностью (рис. 5). Чтобы быть защищенным от прямых ударов молнии, объект полностью должен находиться внутри зоны защиты.

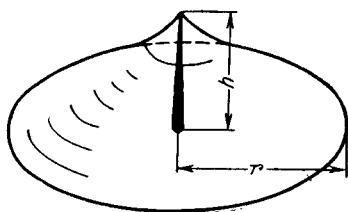


Рис. 5. Зона защиты стержневого молниеотвода.

Образующая поверхности, ограничивающей зону защиты молниеотвода высотой $h \leq 30$ м, имеет вид ломаной линии (рис. 6). Один из отрезков этой ломаной ab является частью прямой, соединяющей вершину молниеотвода с точкой на поверхности земли, удаленной на $0,75h$ от оси молниеотвода, а другой отрезок bc представ-

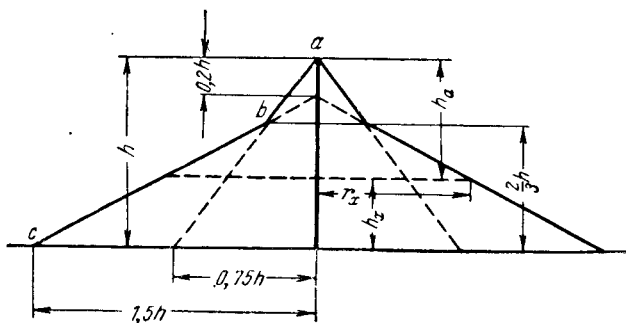


Рис. 6. Построение зоны защиты стержневого молниеотвода.

ляет собой часть прямой, соединяющей точку молниеотвода на высоте $0,8h$ с точкой на поверхности земли, удаленной от молниеотвода на $1,5h$.

Если h_x является высотой защищаемого объекта, то соответствующий ей r_x называется радиусом зоны защиты на высоте h_x , а превышение молниеотвода над защи-

щаемым объектом $(h-h_x)=h_a$ называется активной высотой молниеотвода.

Из рис. 6 видно, что точка b находится на высоте $\frac{2}{3} h$. Легко показать, что радиус зоны защиты на высоте $h_x < \frac{2}{3} h$ равен:

$$r_x = 1,5h \left(1 - \frac{h_x}{0,8h} \right). \quad (3)$$

Радиус зоны защиты на уровне $h_x > \frac{2}{3} h$:

$$r_x = 0,75h \left(1 - \frac{h_x}{h} \right). \quad (4)$$

При высоте больше 30 м эффективность молниеотводов снижается. Для определения радиуса зоны защиты молниеотвода высотой $h=30 \div 100$ м значения, полученные по (3) и (4), нужно умножить на коэффициент $p = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$.

Построение зоны защиты производится аналогично тому, как это показано на рис. 6, но прямые aa' и cc' проводятся через точки, лежащие на поверхности земли на расстояниях соответственно $0,75hp$ и $1,5hp$ от оси молниеотвода.

Зона защиты между двумя стержневыми молниеотводами имеет значительно большие размеры, чем сумма зон защиты двух одиночных молниеотводов. Внутренняя часть зоны защиты двух стержневых молниеотводов (рис. 7) в плоскости, проходящей через оба молниеотвода, ограничивается сверху дугой окружности, которую можно построить по трем точкам: две из них — вершины молниеотводов, а третья расположена посередине между молниеотводами на высоте

$$h_0 = h - \frac{a}{7} \quad (5)$$

(a — расстояние между молниеотводами). Сечение зоны защиты в перпендикулярной плоскости строится аналогично тому, как определяются образующие зоны защиты одиночного молниеотвода (сечение по $\theta-\theta$ на рис. 7).

Также строится и внешняя часть зоны защиты каждого из стержневых молниеотводов.

Для двух молниеотводов высотой $h=30 \div 100$ м точка h_0 определяется как

$$h_0 = h - \frac{a}{7p}. \quad (6)$$

Радиусы зоны защиты в сечениях также уменьшаются в p раз.

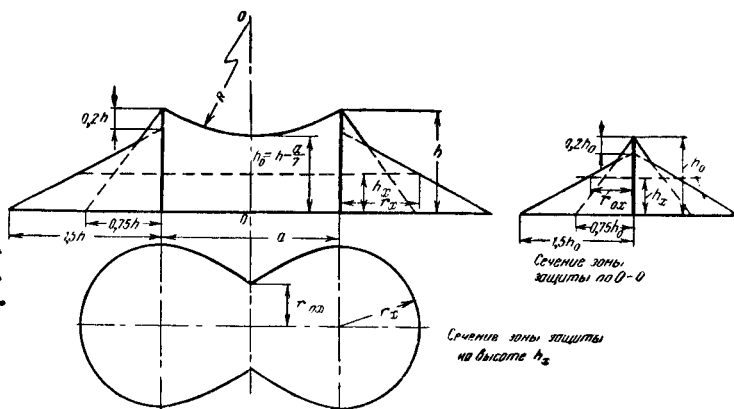


Рис. 7. Зона защиты двух стержневых молниеотводов.

Объекты, расположенные на достаточно большой территории, защищаются несколькими молниеотводами (рис. 8). В этом случае внешняя часть зоны защиты определяется тем же путем, как и зона защиты двух молниеотводов. Внутренняя часть зоны защиты нескольких молниеотводов не строится. Объект высотой h_x , находящийся внутри треугольника (или прямоугольника), образуемого молниеотводами, будет защищен в том случае, если диаметр D , окруж-

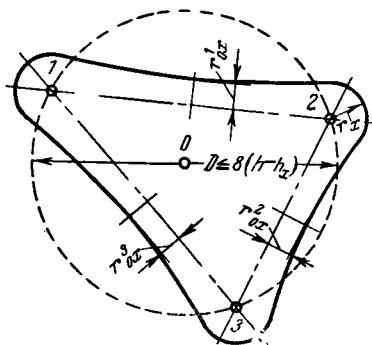


Рис. 8. Площадь на уровне h_x , защищенная тремя молниеотводами (1, 2, 3) высотой h .

ности, проходящей через вершины молниеотводов (или диагональ прямоугольника, в углах которого находятся молниеотводы), не будет больше восьмикратной активной высоты молниеотводов, т. е. условием защищенности площади между молниеотводами на уровне h_x является:

$$D \leq 8(h - h_x). \quad (7)$$

При произвольном расположении молниеотводов условие защищенности на высоте h_x должно быть провере-

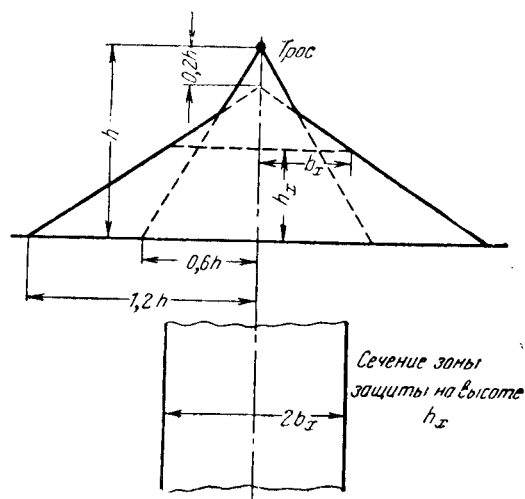


Рис. 9. Зона защиты тросового молниеотвода.

но для каждой тройки ближайших друг к другу молниеотводов в отдельности. При этом h_x должно быть меньше h_0 , определенной для каждой отдельно взятой пары молниеотводов.

Если высота молниеотводов $h = 30 \div 100$ м, то условием защищенности объекта высотой h_x будет:

$$D \leq 8(h - h_x) p. \quad (8)$$

Зона защиты тросового молниеотвода показана на рис. 9. Сечение зоны защиты в плоскости, перпендикулярной тросу, строится так же, как и для стержневого молниеотвода, с той лишь разницей, что ширина зоны на поверхности земли для тросового молниеотвода, под-

вешенного на высоте $h \leq 30$ м, равна $1,2h$. Половина ширины зоны защиты на уровне $h_x < \frac{2}{3}h$ определяется как

$$b_x = 1,2h \left(1 - \frac{h_x}{0,8h}\right). \quad (9)$$

На уровне $h_x > \frac{2}{3}h$ половина ширины зоны защиты составляет:

$$b_x = 0,6h \left(1 - \frac{h_x}{h}\right), \quad (10)$$

Внешняя часть зоны защиты двух параллельных тросовых молниеотводов (рис. 10) определяется так же, как

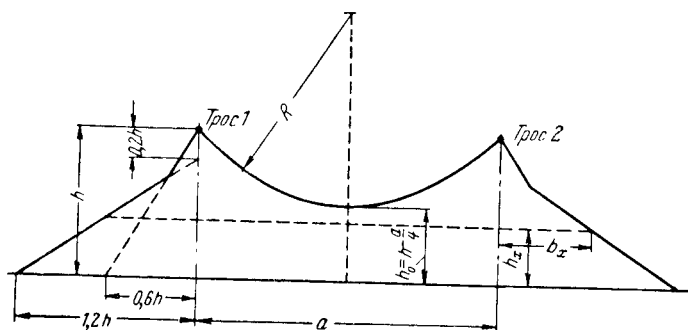


Рис. 10. Зона защиты двух параллельных тросов.

и для одиночного троса. Внутренняя часть ограничена поверхностью, которая в сечении плоскостью, перпендикулярной тросам, дает дугу окружности. Эта дуга может быть построена по трем точкам: две из них — тросы, а третья расположена посередине между тросами на высоте

$$h_0 = h - \frac{a}{4}. \quad (11)$$

В практике молниезащиты иногда целесообразно бывает использовать два молниеотвода разной высоты. Построение сечений зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов производится в этом случае аналогично (рис. 11). Сначала строится зона защиты более высокого

молниеотвода 1. Затем через вершину молниеотвода меньшей высоты проводится горизонтальная линия до пересечения в точке 3 с зоной защиты молниеотвода 1. Считая, что вершина некоего фиктивного молниеотвода

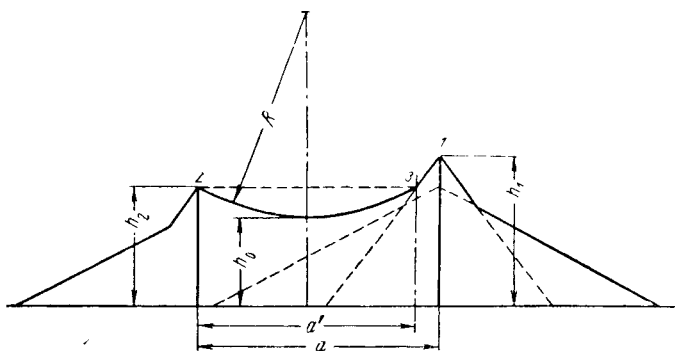


Рис. 11. Зона защиты двух молниеотводов разной высоты.

совпадает с точкой пересечения 3, строится зона защиты для молниеотводов 2 и 3, имеющих одинаковую высоту h_2 и расположенных друг от друга на расстоянии a' . Величина h_0 определяется по формулам (6) или (11) в зависимости от типа молниеотвода.

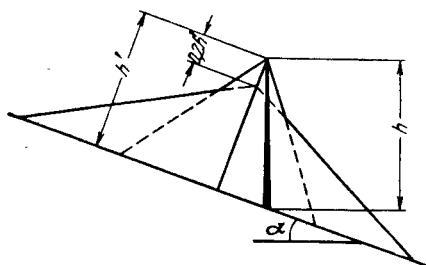


Рис. 12. Построение зоны защиты молниеотвода, установленного на местности с уклоном.

Если требуется защитить объект, расположенный на местности со значительным уклоном, то зону защиты молниеотвода, установленного на склоне, можно построить способом, который показан на рис. 12. Молниеотвод участвует в процессе разряда только своей верхней точкой, а поверхность земли в первом приближении может быть принята за плоскость нулевого потенциала, поэтому зона защиты строится относительно перпендикуляра высотой h' , опущенного из вершины молниеотвода на поверхность земли. Зона защиты молниеотвода вниз по склону оказывается уменьшенной, а вверх по склону — увеличенной.

2) Особенности конструктивного выполнения молниеприемников и токоотводов

Молниеотводы могут устанавливаться как вблизи защищаемых объектов, так и на самих объектах.

Отдельно стоящие молниеотводы делаются из стальных труб, если их высота не превосходит 20 м, или в виде решетчатых металлических конструкций при высоте более 20 м. Однако более дешевыми являются молниеотводы, выполненные на железобетонных или (при высоте до 20 м) деревянных опорах. Металлическая арматура железобетонных опор используется в качестве токоотводов, по деревянным опорам прокладывается специальный токоотводящий спуск к заземлителю. Молниеотводы рекомендуются выполнять в виде свободно стоящих конструкций без растяжек.

Если молниеотвод устанавливается, например, на здании, то он защищает от поражения молнией крышу здания и расположенные на ней детали (трубы, башни, скульптурные украшения и т. п.). От молниеприемника по наружной поверхности стен здания прокладываются токоотводящие спуски к заземлителю.

Если здание имеет железную крышу то, естественно, установка специального молниеприемника не требуется. Его роль выполняет железная крыша, которую следует надежно заземлить по крайней мере двумя токоотводящими спусками. При длине здания свыше 20 м через каждые 20 м должны быть устроены дополнительные токоотводящие спуски к заземлителю. Все находящиеся на крыше здания выступающие детали снабжаются отдельными молниеприемниками, надежно присоединенными к крыше. Металлические крыши башен также электрически соединяются с крышей здания. Трубы, выполненные из непроводящего материала, снабжаются молниеприемниками из стального прутка, проложенными по периметру труб на их вершинах и соединенными с крышей здания. В скульптурные фигуры при их изготовлении закладываются стальные прутки, выступающие на 20—30 см над фигурой и присоединяемые снизу к крыше, или же стальные прутки прокладываются по поверхности скульптурных фигур, если закладка их внутрь не была предусмотрена.

Если крыша здания выполнена из непроводящего материала, то можно снабдить ее молниеприемником в ви-

де сетки из стальных прутков диаметром 8 мм с размером ячейки порядка $5 \times 5 \text{ м}^2$ (узлы сетки свариваются). В остальном защита осуществляется так же, как и для здания с железной крышей: дополнительные молниеприемники, установленные на выступающих частях здания, привариваются к стальной сетке на крыше, а сетка токоотводящими спусками соединяется с заземлителем.

В зданиях городского типа в качестве токоотводящих спусков могут быть использованы водопроводные и канализационные трубы, металлический каркас здания, а также арматура железобетонного каркаса здания, если при надлежащем соединении она образует сплошной путь от молниеприемника до заземлителя. В качестве дополнительных токоотводов могут быть использованы пожарные лестницы и водосточные трубы при условии надежного соединения их частей.

Дома сельского типа поражаются молнией преимущественно в дымовые трубы, коньки крыш, в края фронтонов от конька до нижнего края крыши. Если крыша неметаллическая, то в этом случае не следует на ней устраивать сетку из стальных прутков. Достаточно проложить стальной пруток в местах наиболее вероятного поражения молнией, т. е. по коньку крыши и по краям фронтонов, и соединить его с заземлителем двумя токоотводящими спусками; на вершине дымовой трубы также следует проложить стальной пруток (или установить стержень, возвышающийся над трубой на 20—50 см) и соединить его с молниезащитным устройством.

Все элементы молниезащитного устройства должны иметь достаточное сечение, чтобы не происходило под действием тока молнии их чрезмерного нагревания или даже расплавления. Молниеприемники должны иметь сечение не менее 50 мм^2 (диаметр стального прутка 8 мм). Токоотводящие спуски, в том случае, если по ним протекает весь ток молнии, также должны быть выполнены из стали сечением не менее 50 мм^2 . Если же имеется несколько токоотводов, соединенных параллельно, и по каждому из них может протекать лишь часть тока молнии, то сечение может быть уменьшено до 25—35 мм^2 .

Токоотводящие спуски следует прокладывать от молниеприемника к заземлителю по кратчайшим путям. На всем своем протяжении токоотводы не должны образовывать петель или острых углов. В противном случае при

ударах молнии будут возможны пробой между разными точками токоотводов, а также обрывы токоотводящих спусков под действием электродинамических сил, возни-

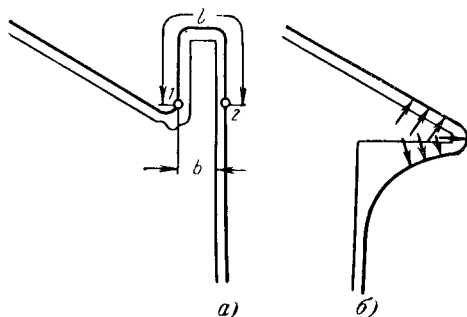


Рис. 13. Неправильная прокладка токоотводящих спусков.

a — при $b < 0,1 l$ возможен пробой между точками 1 и 2; *б* — возможен обрыв токоотвода под действием электродинамических сил (показаны стрелками).

кающих при прохождении по ним тока молнии (рис. 13 и 14).

Соединение частей молниезащитного устройства (частей токоотводов между собой, токоотводов с молниеприемниками и заземлителями) лучше всего производить с помощью сварки. Могут применяться также болтовые соединения и заклепки. Во всех случаях площадь контакта между соединяемыми деталями должна быть не меньше удвоенного сечения этих деталей.

Токоотводы крепятся к несущей конструкции (опоре) молниеотвода или к стене здания через каждые 1,5—2 м. Токоотвод, имеющий надлежащее сечение, может соприкасаться со стеной деревянного дома или с деревянной опорой молниеотвода.

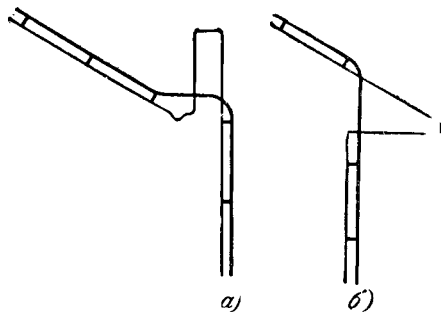


Рис. 14. Правильная прокладка токоотводящих спусков.

Для предохранения от коррозии молниеприемники и токоотводы должны быть покрашены или оцинкованы. Применение в качестве токоотводов многопроволочных стальных тросов по условиям коррозии не рекомендуется, если же они и используются, то только в оцинкованном виде.

3) Допустимые расстояния между молниеотводом и защищаемым объектом

Защищаемый объект должен полностью входить в зону защиты молниеотводов. Вместе с тем он должен располагаться на определенном расстоянии от них. Если это расстояние меньше допустимого, то при ударах молнии могут происходить перекрытия с частей молниеотвода на защищаемый объект.

Молниезащитное устройство, включающее в себя молниеприемники, токоотводы и заземлитель, обладает электрическим сопротивлением: активным и индуктивным. Наиболее существенную часть активного сопротивления составляет сопротивление заземления молниезащитного устройства, т. е. переходное сопротивление между заземлителем и грунтом. Токоотводы в электрическом отношении представляют собой индуктивность, величина которой зависит прежде всего от длины токоотвода.

Ток молнии, проходя по молниеотводу, создает падение напряжения на сопротивлении заземления и индуктивности токоотвода. Падение напряжения U_R на сопротивлении заземления равно произведению его величины $R_{\text{и}}$ и тока молнии I_M :

$$U_R = I_M R_{\text{и}}. \quad (12)$$

Падение напряжения U_L на индуктивности токоотводящего спуска равно произведению ее величины L и средней скорости (крутизны) нарастания тока молнии a :

$$U_L = aL. \quad (13)$$

Максимальный потенциал в точке токоотвода, расположенный на расстоянии l от заземлителя (рис. 15), при ударе молнии в молниеотвод будет составлять:

$$U_l = I_M R_{\text{и}} + aL. \quad (14)$$

Для расчета потенциала молниеотвода принимаются (см. § 1) амплитуда тока молнии $I_M = 150 \text{ ка}$ и средняя

крутизна его фронта $a=30$ ка/мксек. Индуктивность токоотвода L можно выразить через произведение удельной индуктивности L_0 (индуктивности единицы длины) на длину участка токоотвода l :

$$L=L_0l. \quad (15)$$

Как для металлических молниеотводов решетчатой конструкции, так и для отдельно проложенных токоот-

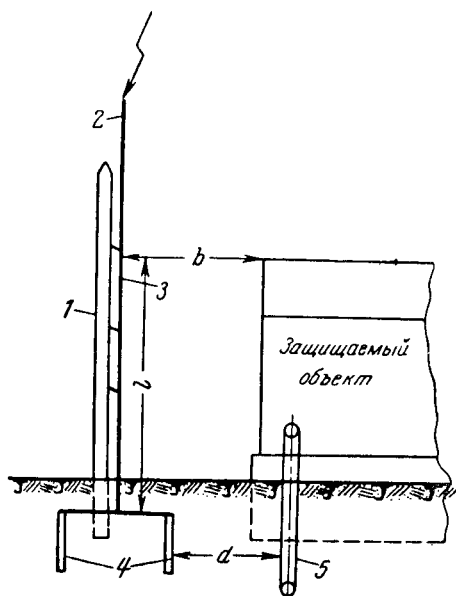


Рис. 15. К определению допустимого расстояния между молниеотводом и защищаемым сооружением.

1 — деревянная стойка молниеотвода; 2 — молниеприемник; 3 — токоотводящий спуск, укрепленный на стойке; 4 — заземлитель; 5 — подземные коммуникации.

водящих проводников удельная индуктивность составляет в среднем $L_0 \approx 1,7$ мкГн/м. Таким образом, для расчетных условий имеем:

$$U_l = 150R_{\text{н}} + 30 \cdot 1,7l, \text{ кв.} \quad (16)$$

Амплитуда напряжения на молниеотводах оказывается весьма высокой, например, при $R_{\text{н}} = 10 \text{ ом}$ и на расстоянии $l = 10 \text{ м}$ от заземлителя получаем:

$$U_l = 150 \cdot 10 + 30 \cdot 1,7 \cdot 10 = 2000 \text{ кв.}$$

Потенциал заземлителя при этом

$$U_{\text{з}} = I_{\text{м}} R_{\text{н}} = 150 \cdot 10 = 1500 \text{ кв.}$$

Очевидно, чтобы не было перекрытия с молниеотвода на защищаемый объект, прочность изоляции между ними должна быть выше величины напряжения на молниеотводе.

В том случае, когда объект и молниеотвод разделены воздушным промежутком длиной b , то необходимо выполнить условие

$$b \geq \frac{U_l}{E}, \quad (17)$$

где E — допустимая средняя напряженность электрического поля в воздухе, при которой невозможен пробой промежутка между молниеотводом и объектом; она равна 500 кв/м .

Если в (17) подставить значение E и U_l из (16), то получим:

$$b \geq \frac{150R_{\text{н}} + 50l}{500} = 0,3R_{\text{н}} + 0,1l, \text{ м.} \quad (18)$$

Чтобы исключить возможность перекрытия в земле с заземлителя на входящие в здание металлические коммуникации, электрический кабель и др., нужно выдерживать между ними расстояние

$$d \geq \frac{I_{\text{м}} R_{\text{н}}}{E_1} = \frac{150R_{\text{н}}}{300} = 0,5R_{\text{н}}, \text{ м,} \quad (19)$$

где $E_1 = 300 \text{ кв/м}$ — допустимая средняя напряженность электрического поля в земле.

Таким образом, допускаемое расстояние в точках сближения молниеотвода и объекта зависит от сопротивления заземления молниеотвода и высоты над землей точки сближения. Если известны b , d и l , то по формулам (18) и (19) легко найти величину сопротивления заземления, обеспечивающую безопасность сближения.

Совершенно аналогичное положение возникает в случае удара молнии в защищенное здание. В этом случае между молниезащитным устройством и заземленными объектами внутри здания (электропроводкой, трубопроводами различного назначения, металлическим каркасом лифта и т. п.) также должно быть обеспечено необходимое расстояние, иначе между ними произойдет пробой, который вызовет местное повреждение здания и может оказаться опасным для людей. Расчет необходимого расстояния в месте сближения в случае одного токоотвода может производиться по формуле (18), однако если часть промежутка b занимает кирпичная (или из какого-либо другого непроводящего материала) стена, то ее следует учитывать утроенной толщиной.

Если здание имеет несколько токоотводящих спусков, то допустимое расстояние в точке сближения с одним из токоотводов определяется по формуле

$$b \geq 0,3R_{\text{н}} + \frac{0,1l}{n}, \quad (20)$$

где n — число токоотводящих спусков.

Если используется в качестве токоотвода стальной каркас здания или разветвленная водопроводная сеть, то второй член в (20) практически не оказывает влияния на величину b из-за своей малости. Основную роль играет величина сопротивления заземления.

Заметим также, что если токоотводящий спуск имеет петлю длиной l (рис. 13,а), то падение напряжения на этой петле составит $U_l = aL_0 l = 30 \cdot 1,7l = 50l$. Чтобы не было пробоя между точками 1 и 2, необходимо выполнить условие

$$b \geq \frac{aL_0 l}{E} = \frac{50l}{500} = 0,1l, \text{ м.} \quad (21)$$

В случае, если ни конструктивно, ни снижением величины сопротивления заземления не удастся обеспечить требуемого расстояния между токоотводом и заземленными частями внутри здания, необходимо последние присоединить вблизи мест сближения к молниезащитному устройству, а в нижней части — к заземлителю.

Электропроводка при этом должна быть проложена в металлических трубах, которые также внизу присоеди-

няются к заземлителю, а в местах сближения — к молниезащитной системе. Электрическая емкость между трубой и лежащей внутри нее электропроводкой достаточно велика, а как известно, емкостное сопротивление обратно пропорционально величине емкости и частоте тока. Поэтому при прохождении тока молнии, эквивалентного току весьма высокой частоты, емкостное сопротивление между проводкой и трубой ничтожно, и, таким образом, оказывается, что проводка и труба практически имеют между собою электрическое соединение. Этот эффект спасает изоляцию электропроводки от пробоев.

4) Заземление молниеотводов

Величина сопротивления заземления 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 заземления может быть в пределах 40 ом.

Заземление молниеотводов выполняется большей частью с помощью вертикально забиваемых стальных стержней, профильного железа или некондиционных труб, которые объединяются стальной полосой или прутком.

Сопротивление одного вертикально забитого заземляющего электрода R может быть рассчитано:

$$R = 0,37 \frac{\rho}{l} \lg \frac{4l}{d}, \text{ ом}, \quad (22)$$

где ρ — удельное сопротивление грунта, ом·м;

l — длина электрода, м;

d — внешний диаметр для стержней и труб, для углового железа — ширина полки, для двутаврового — высота, м.

Применяются также заземлители, выполненные из проволоки круглого сечения или из полосовой стали, которые закладываются горизонтально на глубине 0,5—0,7 м. Сопротивление горизонтального заземлителя рассчитывается по формуле

$$R = 0,37 \frac{\rho}{l} \lg \frac{l^2}{td}, \text{ ом}, \quad (23)$$

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

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

**Сопротивления одиночных заземляющих электродов
в разных грунтах**

Род грунта	Удельное сопротивление ρ , ом·м	Сопротивление стержня длиной 2,5—3 м, ом	Сопротивление полосы длиной 5 м, ом
Глина, чернозем	100	30	25
Смешанный грунт (глина, известняк, щебень) . . .	150	45	40
Суглинок	200	60	50
Супесок	500	150	125
Песок	1 000	300	250
Мергель, известняк	1 500	450	375
Скалы	3 000	900	750

Указанные сопротивления достаточно точны при стекании с электродов небольших по величине токов. При токах молнии плотность стекающего с электрода тока весьма 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 $\alpha_{\text{и}}$, кото-

рый определяется экспериментально. Импульсный коэффициент для вертикальных электродов и полос небольшой длины (до 10 м) имеет величину меньше единицы. Сопротивление электрода $R_{\text{и}}$ при стекании с него тока молнии определяется как

$$R_{\text{и}} = \alpha_{\text{и}} R. \quad (24)$$

$R_{\text{и}}$ носит название импульсного сопротивления заземления. Заметим, что эту величину мы использовали при определении допустимых расстояний между молниеотводом и защищаемым объектом (см. § 3).

Коэффициент $\alpha_{\text{и}}$ зависит от рода грунта и от величины тока, стекающего через один электрод заземлителя. Значения $\alpha_{\text{и}}$ при прохождении через заземлители токов молнии приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Значения импульсного коэффициента $\alpha_{\text{и}}$

Тип заземлителя	Род грунта			
	Глина, чернозем	Суглинок	Супесок	Песок
Вертикальный стержневой, число стержней: 2—4	0,55	0,45	0,3	—
8	0,7	0,55	0,4	0,3
15	0,8	0,7	0,55	0,4
Две горизонтальные полосы длиной по 5 м, расходящиеся в противоположные стороны от точки присоединения токоотвода	0,65	0,55	0,45	0,4
Три полосы длиной по 5 м, симметрично расходящиеся от точки присоединения токоотвода . . .	0,7	0,6	0,5	0,45

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

$$R_{\text{з.и}} = \frac{\alpha_{\text{и}} R}{\eta_{\text{и}} n}, \text{ ом}, \quad (25)$$

где n — число электродов;

$\eta_{\text{и}}$ — импульсный коэффициент использования.

Коэффициент $\eta_{\text{и}}$ (меньше 1) учитывает ухудшение условий растекания тока с заземлителя, состоящего из нескольких поблизости расположенных электродов, вследствие их взаимного экранирования. Растекание тока с каждого из электродов в сторону соседних затруд-

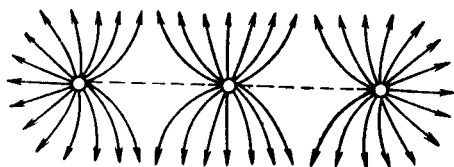


Рис. 16. Распределение линий тока параллельно включенных заземляющих электродов.

нено (рис. 16), 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.

Коэффициент $\eta_{\text{и}}$ зависит от длины электродов, расстояния между ними и их геометрического расположения. В табл. 4 приведены значения $\eta_{\text{и}}$ для некоторых типов заземлителей.

Т а б л и ц а 4

Величины импульсных коэффициентов использования $\eta_{\text{и}}$

Тип заземлителя	$\eta_{\text{и}}$
Заземлитель из вертикальных стержней, объединенных полосой (расстояние между стержнями вдвое больше их длины)	0,75
Две горизонтальные полосы, расходящиеся в противоположные стороны	1
Три горизонтальные симметрично расходящиеся полосы	0,75

Отношение $\alpha_{\text{и}}/\eta_{\text{и}}$ практически во всех случаях меньше единицы, поэтому сопротивление заземления, выполненного из нескольких электродов, можно приближенно определять как

$$R_{з.и} \approx \frac{R}{n}, \quad (26)$$

при этом действительная величина импульсного сопротивления заземления будет меньше рассчитанного. Расчет по формуле (26) дает удовлетворительный результат при $\rho = 100 \div 200 \text{ ом} \cdot \text{м}$, для плохих грунтов ($\rho > 200 \text{ ом} \cdot \text{м}$) ошибка может быть значительной.

Импульсное сопротивление заземления не может быть измерено. После создания заземлителя его сопротивление измеряется только на переменном токе. Для этой цели служат измерители заземления типа МС-07 и МС-08 завода «Энергоприбор» и типа М1103 завода «Точэлектроприбор». Пользуясь табл. 5, можно по величине сопротивления, измеренной на переменном токе, оценить величину соответствующего импульсного сопротивления заземления. Если измеренная величина сопротивления не превышает значения, указанного в табл. 5 для данного рода грунта, то это означает, что импульсное сопротивление заземления также не выходит за пределы величины, указанной в соответствующей строке таблицы.

Таблица 5

Определение импульсного сопротивления заземления по величине сопротивления, измеренного на переменном токе

Требуемая величина импульсного сопротивления заземления, ом	Предельно допустимая величина сопротивления заземления, измеренная на переменном токе, в зависимости от рода грунта, 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

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 подвержен в летнее время сильному высыханию, увеличивающему сопротивление заземлителя, поэтому не только полосы должны закладываться на глубину не менее 0,5 м, но и стержни рекомендуются 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 50 мм² или стальным проводником круглого сечения диаметром не менее 8 мм. Соединение электродов с объединяющей полосой, а также присоединение к заземляющему устройству токоотводящих спусков предпочтительнее производить при помощи сварки. Можно также применять болты, но не менее двух в каждом месте соединения.

К заземляющему устройству следует присоединить проходящие поблизости от него металлические трубопроводы (водяные, отопительные, канализационные), если они не предназначены для горючих газов и жидкостей и не имеют антикоррозионных покрытий. Подземные трубопроводы в силу их большой протяженности могут обладать весьма низким сопротивлением заземления, и это обстоятельство 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, буровых скважин, свинцовые оболочки кабелей. Сопротивление такого рода заземлителей во многих случаях настолько мало (порядка 2 ом и меньше), что они могут также использоваться в качестве единственного заземляющего устройства. Заметим, что создание заземляющих устройств из стержней или полос, имеющих такую же величину сопротивления, встречает большие трудности.

При прохождении тока молнии как на самом заземлителе, так и на окружающих заземлитель участках поверхности земли появляются электрические потенциалы. Наиболее высокий потенциал, равный $U_z = I_m R_{з.и.}$, возникает непосредственно на заземлителе. По мере удаления от заземлителя потенциал на поверхности земли умень-

шается (рис. 17). Вблизи заземлителя потенциал уменьшается очень резко, затем изменение потенциала замедляется.

Резкое падение потенциала вблизи заземлителя опасно для людей, оказавшихся поблизости от него во время удара молнии. Если человек стоит на некотором расстоянии

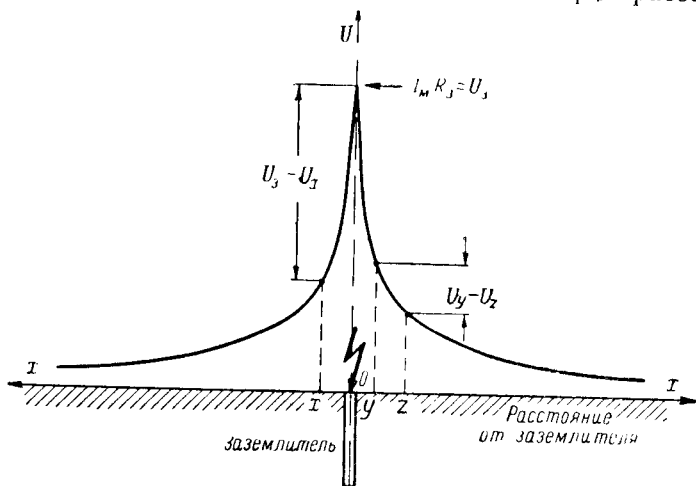


Рис. 17. Изменение потенциала вблизи заземлителя при прохождении через него тока молнии.

$(U_z - U_x)$ — напряжение прикосновения; $(U_y - U_z)$ — шаговое напряжение.

нии x от заземлителя и касается токоотвода, то он оказывается под разностью потенциалов $(U_z - U_x)$, называемой напряжением прикосновения. Человек подвергается опасности, если даже он и не касается токоотвода, но ноги его находятся на разных расстояниях y и z от заземлителя (во время ходьбы). В этом случае ноги человека попадают под разность потенциалов $(U_y - U_z)$, 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 осуществить. Поэтому не рекомендуется пребывание людей во время грозы в непосредственной близости (до 5 м) от заземлителя, в частности, как это уже отмечалось, не

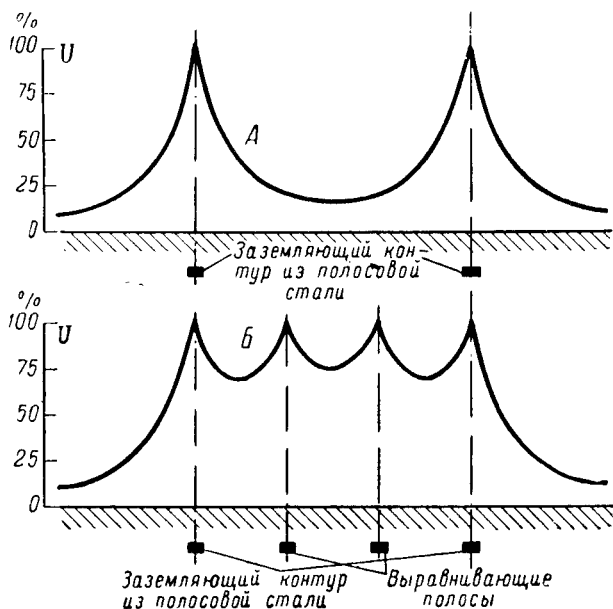


Рис. 18. Примерное распределение потенциалов по поверхности земли при стекании с заземляющего контура тока молнии.
 А — полосовой заземляющий контур; Б — заземляющий контур с выравнивающими полосами.

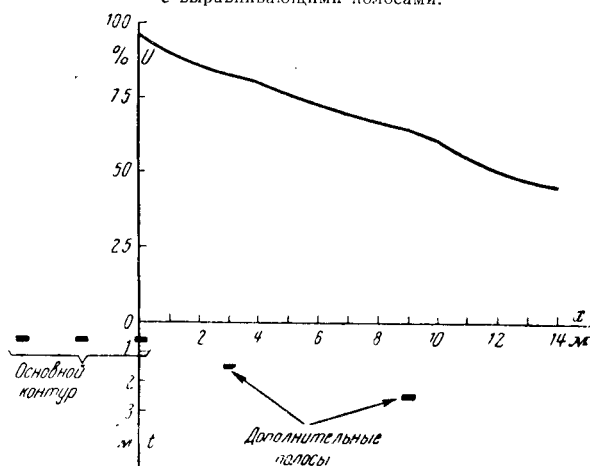


Рис. 19. Снижение шагового напряжения за пределами контура заземления с помощью дополнительных полос.

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.

Токоотводящие спуски должны быть удалены от входов в здание.

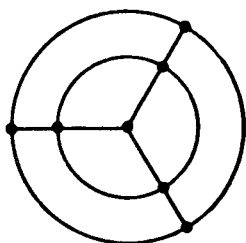
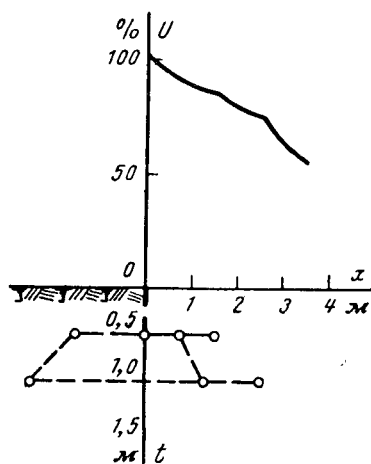


Рис. 20. Заемлитель из двух колец и примерное распределение потенциалов по его радиусу.

Уменьшение напряжений прикосновения и шагового может быть достигнуто с помощью применения специальных типов заземляющих контуров. Заземляющий контур состоит из забитых в землю стержней, соединенных полосой, или же только из полос, которые располагаются по контуру защищаемого объекта, образуя замкнутую фигуру. Если расстояние между противоположными сторонами контура заземления велико, то внутри контура дополнительно помещаются на расстоянии порядка 2 м друг от друга выравнивающие полосы, которые электрически соединяются с контуром.

Примерное распределение потенциалов по поверхности земли внутри контура без выравнивающих полос представлено на рис. 18 кривой А. Кривая В показывает распределение потенциалов при применении выравнивающих полос. В последнем случае внутри контура шаговое напряжение и напряжение прикосновения существенно снижаются.

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. 19) и шаговое напряжение снижается.

Выравнивающими распределение потенциалов свойствами обладает также кольцевой заземлитель, особенно если он состоит из двух колец разного диаметра, расположенных на различной глубине (рис. 20). Импульсное сопротивление такого заземлителя с диаметром большего кольца 5 м в глинистых или черноземных грунтах составляет примерно 5 ом, в супесчаных грунтах — 15 ом.

Благоприятными свойствами обладают также многолучевые заземлители.

5) Защита от заноса в здания опасных потенциалов по воздушным линиям

Высокие потенциалы возникают на проводах воздушных линий различного назначения (электрических, телефонных, радиотрансляционных) как при ударах молнии непосредственно в эти провода, так и в результате электромагнитной индукции при разрядах молнии в землю. Проникая по проводам в здания, высокие потенциалы вызывают разряды, представляющие опасность для людей.

Наиболее простым средством защиты в этом случае является заземление крюков (или штырей) изоляторов при вводе воздушных проводов в дом. Импульсное сопротивление заземления при этом следует делать по возможности меньше и во всяком случае не выше 20 ом. Дополнительное заземление крюков на ближайшей к дому опоре делает воздушные провода практически безопасными для людей.

Занос опасных потенциалов во взрывоопасные и пожароопасные здания может привести к тяжелым последствиям, поэтому в такого рода здания ввод воздушных линий любого назначения не допускается. Вместо них должны применяться подземные кабельные линии.

6) Защита от вторичных воздействий молнии

Защита от вторичных воздействий молнии осуществляется только во взрывоопасных зданиях и сооружениях. Для предотвращения искрения внутри таких помеще-

ний, вследствие электростатической и электромагнитной индукции разрядов молнии, необходимо заземлить все протяженные металлические конструкции (крыши, фермы, балки, каркасы), внутренние трубопроводы, металлические корпуса оборудования. Для этой цели на взрывоопасных объектах предусматривается специальное заземление защиты от вторичных воздействий молнии, которое выполняется в виде замкнутого контура, охватывающего весь защищаемый объект. Величина сопротивления заземления этого контура не нормируется. К защитному контуру допускается присоединение подземных металлических коммуникаций и защитного заземления электроустановок. Расстояние между заземлителями молниеотводов и заземлителем защиты от вторичных воздействий молнии определяется по формуле (19).

Металлические протяженные устройства (трубопроводы, кабели и пр.) внутри взрывоопасных зданий должны быть соединены между собой в местах сближений (при расстоянии в месте сближения до 10 см) и присоединены через каждые 20—30 м к заземлению защиты от вторичных воздействий. Хорошие контакты (с сопротивлением не более 0,03 ом) должны быть созданы в местах соединения труб или других деталей протяженных устройств. При фланцевых соединениях труб хороший контакт обеспечивается нормальной затяжкой 6 болтов. В соединениях, где не может быть обеспечен надежный контакт, необходима установка перемычек, например, из стальной проволоки диаметром 5—6 мм. Все металлические устройства, образующие петлевой контур, должны быть замкнуты перемычкой на конце петли.

7) Классификация зданий и сооружений и требования к молниезащитным устройствам

В зависимости от степени опасности поражения молнией и выбора необходимых мер защиты все здания и сооружения разделяются на три категории.

К первой категории относятся здания и сооружения, в которых хранятся или перерабатываются в открытом виде взрывчатые вещества или внутри которых длительно сохраняются или систематически возникают способные взорваться от электрической искры смеси газов, паров или пыли горючих веществ с воздухом или другими окислителями. Защита таких объектов от молнии осуще-

ствляется только отдельно стоящими молниеотводами. Размещение молниеотвода на самих защищаемых объектах не допускается. Обязательно выполняется защита от вторичных воздействий молнии. Подводка воздушных проводов к зданиям и сооружениям первой категории не разрешается. Во избежание заноса потенциалов по подземным коммуникациям входящие в здание и сооружения трубопроводы, кабели и т. п. должны находиться в земле на безопасном расстоянии от заземлителей молниеотводов.

Ко второй категории относятся здания и сооружения, в которых взрывчатые или легковоспламеняющиеся вещества хранятся в прочной металлической укупорке, а взрывоопасные смеси газов, паров или пылей с воздухом могут возникать только во время аварий или неисправностей. Защита объектов второй категории осуществляется как отдельно стоящими молниеотводами (для хранилищ взрывчатых веществ), так и молниеотводами, устанавливаемыми на самом сооружении. Объекты, относящиеся ко второй категории, могут не защищаться от вторичных воздействий молнии. Подводка воздушных проводов к таким объектам допускается при наличии кабельного ввода длиной не менее 50 м.

Все прочие здания и сооружения, удар молнии в которые может вызвать пожар, механические разрушения и поражения людей и животных, относятся к третьей категории. Они могут защищаться как отдельно стоящими молниеотводами, так и молниезащитными устройствами, устанавливаемыми на самом защищаемом объекте. Защита от вторичных воздействий молнии для зданий третьей категории не требуется. Если к объекту подходят воздушные линии, то осуществляется защита от заноса высоких потенциалов.

8) Особенности молниезащиты высоких объектов

Объект высотой в сотни метров, разумеется, нельзя поместить в зону защиты еще более высокого молниеотвода. Он сам будет воспринимать разряды молнии, число которых за грозовой сезон может достигать многих и многих десятков.

В этих условиях целью защиты от молнии высоких объектов является обеспечение безопасности людей, предохранение от разрушений внешних непроводящих эле-

ментов объекта и обеспечение безаварийной работы электрооборудования.

Высокие объекты имеют, как правило, каркас из металла или железобетона, который может служить токоотводом. Следует предусмотреть только надежное соединение во время строительства стальной арматуры железобетонных деталей каркаса.

Для предотвращения разрушений керамической облицовки или каких-либо других непроводящих элементов в местах возможных поражений молнией должны быть установлены молниеприемники, соединенные с каркасом здания. В качестве таких молниеприемников могут быть использованы как конструктивные элементы здания (парапеты, перила балконов, пожарные лестницы и т. д.), так и специально проложенные стальные проводники.

Следует иметь в виду, что объекты высотой более 100 м, даже имеющие конфигурацию башен, могут поражаться молнией не только в вершину, но и в боковые выступающие части.

К каркасу объекта, являющемуся токоотводом, с целью выравнивания потенциалов по этажам, на разных горизонтальных уровнях (через каждые 10—15 м) должны быть присоединены все внутренние трубопроводы, протяженные металлические элементы (например, каркасы лифтов), а также металлические экраны электропроводки и оболочки кабелей.

Каркас объекта через каждые 20—30 м по его периметру присоединяется к заземляющему контуру.

Для защиты электрооборудования осуществляются следующие основные мероприятия: 1) все сети низкого напряжения как внутри, так и снаружи объекта прокладываются в стальных трубах, которые через каждые 10—15 м соединяются с каркасом; 2) кожухи всей электроаппаратуры, а также сердечники и нейтрали трансформаторов присоединяются к каркасу; 3) оболочки входящих в объект кабелей присоединяются в месте входа к каркасу или к заземляющему контуру.

4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОЛНИЕЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Молниезащитное устройство с течением времени изнашивается: в результате коррозии изменяется сечение молниеприемников и токоотводов, нарушаются контакты

в местах соединений частей устройства, возрастает величина сопротивления заземления из-за разрушения коррозией заземляющих электродов и т. д.

Для поддержания молниезащитного устройства в состоянии исправности и надежности необходимо ежегодно перед началом грозового сезона производить его осмотр и устранять выявленные при этом неисправности.

Во время осмотра выявляются элементы молниезащитного устройства, требующие замены или ремонта вследствие нарушения их механической прочности; проверяется надежность электрических соединений между токоведущими частями устройства (мест сварки, болтовые соединений и пр.).

Помимо этого на промышленных предприятиях ежегодно проверяется соответствие молниезащитных устройств категории предприятия, измеряется (предпочтительней в летнее время) сопротивление всех заземлений. Если величина сопротивления превышает более чем на 20% расчетное значение, принимаются меры к снижению сопротивления заземлителя до требуемой величины.

Заземляющие электроды и места их соединения с токоотводящими спусками проверяются через каждые пять лет путем вскрытия одного-двух мест соединений. При вскрытии проверяются прочность соединения токопровода с заземлителем, а также глубина коррозии элементов устройства. Пораженные коррозией молниеприемники, токоотводы и заземляющие электроды должны быть заменены новыми, если площадь их поперечного сечения уменьшилась на 30% и более.

5. ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Проектирование и создание молниезащитных устройств для объектов, относящихся к 1 и 2 категориям, является весьма ответственным делом и должно выполняться специалистами.

Устройство молниезащиты жилых домов и хозяйственных построек, относящихся к 3 категории, вполне доступно каждому электромонтеру и в большинстве случаев не требует больших затрат. Часто для создания защиты от молнии могут быть использованы конструктивные элементы домов и сооружений, такие как: крыши, водостоки, водопровод, пожарные лестницы и т. д., а так-

же стальные трубы и проволока, бывшие в употреблении.

В книгах [Л. 1—3] читатель может найти многочисленные примеры выполнения молниезащиты различного рода и категории зданий и сооружений. Здесь мы ограничимся лишь примерами защиты зданий третьей категории.

1) Молниезащита жилых домов сельского типа

Дом с железной крышей, к дому подходят воздушные провода электросети (рис. 21)

Молниезащита такого дома осуществляется путем заземления крыши в двух противоположных углах дома.

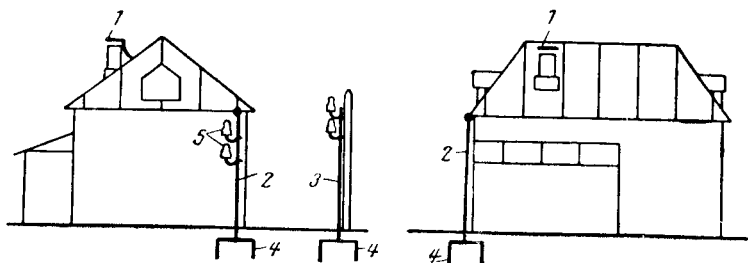


Рис. 21. Молниезащита сельского дома с железной крышей.
1 — молниеприемник для защиты кирпичной трубы; 2 — токоотводящие спуски, соединяющие крышу с заземлителями; 3 — спуск, заземляющий крюки изоляторов; 4 — заземлители; 5 — соединение крюков изоляторов с токоотводом.

Для защиты кирпичной дымовой трубы по периметру верхней ее грани прокладывается стальная проволока и присоединяется к крыше.

Токоотводы, соединяющие крышу с заземлителями, делаются из стальной проволоки диаметром 8—10 мм. Могут быть также использованы для этого водосточные трубы при условии надежного соединения их частей.

Импульсное сопротивление каждого заземлителя должно быть не больше 20 ом с тем, чтобы суммарное сопротивление обоих заземлителей было не более 10 ом.

При сопротивлении заземления такой величины практически нельзя в данном доме обеспечить необходимое расстояние [формула (18)] между молниезащитным устройством (крыша и токоотводы) и электропроводкой. Для того чтобы сделать, хотя и маловероятный, но воз-

можный пробой с молниезащитного устройства на электропроводку безопасным для деревянного дома, нужно металлической проволокой соединить с токопроводом крюки, на которых укреплены изоляторы при вводе электрических проводов в дом. В этом случае при ударе молнии в дом разряд на электропроводку произойдет по

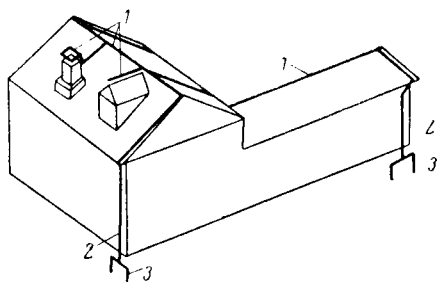
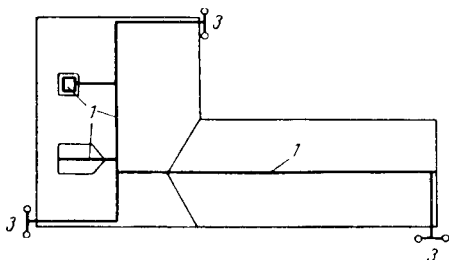


Рис. 22. Молниезащита сельского дома с неметаллической крышей.

1 — молниеприемники; 2 — токоотводы; 3 — заземлители.



поверхности изолятора и не будет представлять опасности для дома.

Заземление крюков изоляторов уменьшает опасность поражения находящихся в доме людей при возникновении на электрических проводах высоких потенциалов в результате разрядов молнии. Для большей надежности рекомендуется заземлить крюки (или штыри) на ближайшей к дому деревянной опоре электрической линии. Сопротивление заземления должно быть не больше 20 ом.

Дом с неметаллической крышей (рис. 22)

Для молниезащиты такого дома по коньку крыши дома и пристройки, а также по коньку крыши фонаря прокладывается стальная проволока диаметром 8—

10 мм, служащая молниеприемником. На противоположных углах дома и на конце пристройки молниеприемник заземляется. По периметру дымовой трубы на ее вершине прокладывается стальная проволока и присоединяется кратчайшим путем к молниезащитному устройству.

Защита от заноса высоких потенциалов по воздушным проводам (электрическим, телефонным, радиотран-

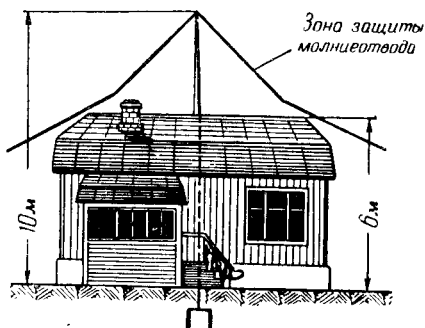


Рис. 23. Молниезащита небольшого дома с помощью стержневого молниеотвода, установленного на доме.

ляционным) и от разрядов на проводку выполняется так же, как и в предшествующем случае.

Молниезащита небольшого дома может быть осуществлена также с помощью стержневого молниеотвода. Для защиты дома, показанного на рис. 23, используется молниеотвод высотой $h=10$ м. Стойка молниеотвода

делается из дерева и крепится к стропилам крыши. По стойке прокладывается стальная проволока диаметром 8—10 мм, которая затем по крыше и наружной стороне стены идет к заземлителю. Импульсное сопротивление заземления должно быть не больше 10 ом.

Следует заметить, что если кровля выполнена из легковоспламеняющегося материала (щепа, солома), то провода молниезащитного устройства нужно прокладывать на деревянных чурбаках, обеспечивающих между кровлей и проводами расстояние порядка 15 см.

Для установки молниеотводов могут быть использованы расположенные недалеко от дома (но на расстоянии не менее 4 м) деревья (рис. 24). Сопротивление заземления молниеотвода должно быть не более 10 ом.

На рис. 25 показана молниезащита дома, расположенного на местности с большим уклоном. Характерным в этом случае является установка молниеотвода ближе к внешнему краю дома.

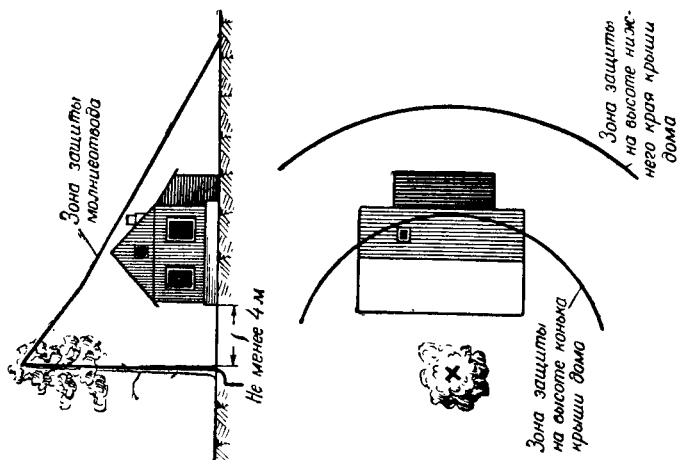


Рис. 24. Молниезащита дома с помощью молниевода, укрепленного на растущем поблизости дереве.

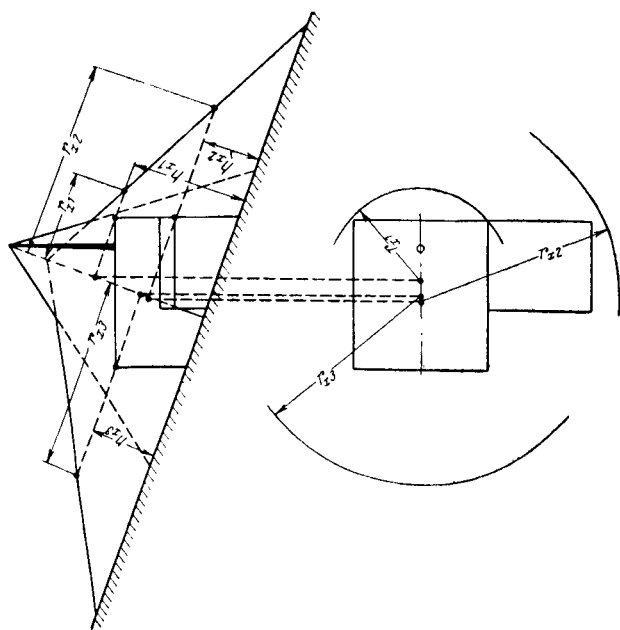


Рис. 25. Молниезащита дома, расположенного на местности с большим уклоном.

2) Расчет заземлителей

Для заземления молниеотводов часто требуется заземлитель с импульсным сопротивлением не более 10 ом. Такой заземлитель (рис. 26) может быть выполнен из двух стержней, объединенных полосой. Для стержней может быть взята угловая сталь с шириной полок 50 мм.

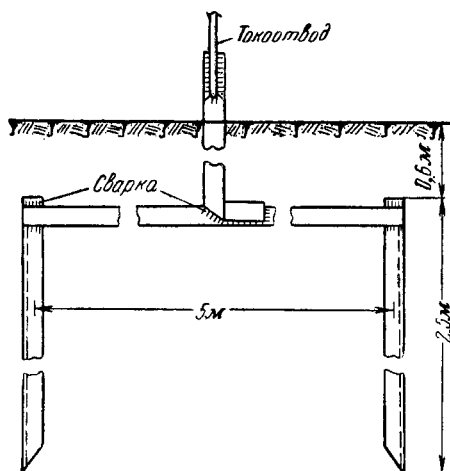


Рис. 26. Заземлитель из двух стержней, объединенных полосой.

Электроды длиной 2,5 м забиваются на расстоянии 5 м друг от друга таким образом, что их верхние концы находятся на глубине 0,6 м. Стержни соединяются на этой глубине стальной полосой сечением 40×4 мм². Токоотвод присоединяется в середине заземлителя.

Рассчитаем приближенно [формула (26)] сопротивление такого заземлителя, если грунт имеет удельное сопротивление $\rho = 100$ ом·м. По табл. 2 сопротивление одного стержня составляет 30 ом, значит, сопротивление двух параллельно соединенных стержней будет равно $30 : 2 = 15$ 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:

$$R_{з.п} \approx \frac{15 \cdot 25}{15 + 25} = 9,4 \text{ ом.}$$

Сделаем более точный расчет того же заземлителя. Сопротивление одного стержня при переменном токе по формуле (22) будет:

$$R_c = 0,37 \frac{100}{2,5} \lg \frac{4 \cdot 2,5}{0,05} = 34 \text{ ом.}$$

Для двух стержней импульсный коэффициент по табл. 3 составляет $\alpha_{и}=0,55$, а коэффициент использования по табл. 4 равен $\eta_{и}=0,75$. Импульсное сопротивление двух стержней получаем [формула (25)] равным:

$$R_{с.и} = \frac{0,55 \cdot 34}{0,75 \cdot 2} = 12,5 \text{ ом.}$$

Сопротивление полосы длиной 5 м при переменном токе составляет [формула (23)]:

$$R_{п} = 0,37 \frac{100}{5} \lg \frac{5^2}{0,6 \cdot 0,02} = 24,6 \text{ ом.}$$

Примем $\alpha_{и}=0,55$ (как и для полосы длиной 10 м). Коэффициент использования полосы в системе со стержневыми электродами равен $\eta_{и}=0,75$. Импульсное сопротивление полосы составляет:

$$R_{п.и} = \frac{0,65 \cdot 24,6}{0,75 \cdot 1} = 21,3 \text{ ом.}$$

Импульсное сопротивление заземлителя, таким образом, равно:

$$R_{з.и} = \frac{12,5 \cdot 21,3}{12,5 + 21,3} = 8 \text{ ом.}$$

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 и без стержневых электродов, а только с помощью полос. Сопротивление при переменном токе полосы, уложенной на глубине 0,6 м в грунт с $\rho=100 \text{ ом} \cdot \text{м}$, было выше найдено равным 24,6 ом. Для двух полос по табл. 3 импульсный коэффициент равен $\alpha_{и}=0,65$, а коэффициент использования по табл. 4 $\eta_{и}=1$. Таким образом, импульсное сопро-

тивление заземлителя из двух полос, расходящихся в противоположные стороны от точки присоединения токовода, составляет:

$$R_{з.и} = \frac{0,65 \cdot 24,6}{1,2} = 8 \text{ ом.}$$

Для заземления молниезащитного устройства требуются заземлители с импульсным сопротивлением 20 ом. Рассчитаем заземлитель для грунта с удельным сопротивлением 500 ом·м (супесок).

Сопротивление одной трубы длиной 3 м и диаметром 6 см в таком грунте при переменном токе составляет:

$$R_{т} = 0,37 \cdot \frac{500}{3} \lg \frac{4,3}{0,06} = 142 \text{ ом.}$$

Если использовать три трубы, то по табл. 3 и 4 найдем: $\alpha_{и} = 0,3$ и $\eta_{и} = 0,75$. Импульсное сопротивление заземлителя из трех труб равно:

$$R_{з.и} = \frac{0,3 \cdot 142}{0,75 \cdot 3} = 19 \text{ ом.}$$

Если учесть соединительные полосы, то сопротивление будет еще более низким.

Легко убедиться, что приближенный расчет по данным табл. 2 и формуле (26) в этом случае дал бы значительную ошибку. Как уже указывалось, пользоваться приближенным методом расчета можно только при низком удельном сопротивлении грунта (до 200 ом·м).

3) Молниезащита жилых зданий городского типа

Современные здания городского типа насыщены различного рода трубопроводами (водопровод, отопительная система, газопровод и т. д.), имеющими очень низкое сопротивление заземления. Молния поражает один из этих трубопроводов, и поэтому удар ее в такое здание может вызвать лишь местные сравнительно небольшие повреждения.

Для предохранения здания от повреждений металлическая крыша должна быть в нескольких точках соединена с водопроводной системой. В некоторых случаях при наличии хороших соединений в местах стыков в качестве токоотводящих спусков могут быть использованы

внутренние водостоки, непосредственно соединенные с канализационной системой.

Если крыша неметаллическая, то на ней устраивается молниеприемник в виде сетки с ячейкой $5 \times 5 \text{ м}^2$, выполненный из стальных проводов диаметром порядка 8 мм.

Все находящиеся на крыше выступающие детали снабжаются собственными молниеприемниками, соединяемыми или с металлической крышей, или со стальной сеткой на неметаллической крыше.

Коллективные телевизионные антенны устанавливаются на крыше на металлических мачтах. Средние точки вибраторов большинства многоэлементных антенн соединяются с металлической опорной стрелой, соединенной в свою очередь с мачтой. В этом случае для защиты достаточно электрически соединить мачту с заземленной крышей или сеткой.

4) Молниезащита колхозных построек

На рис. 27 показана молниезащита колхозной усадьбы четырьмя отдельно стоящими стержневыми молниеотводами. Молниеотводы расположены по углам прямо-

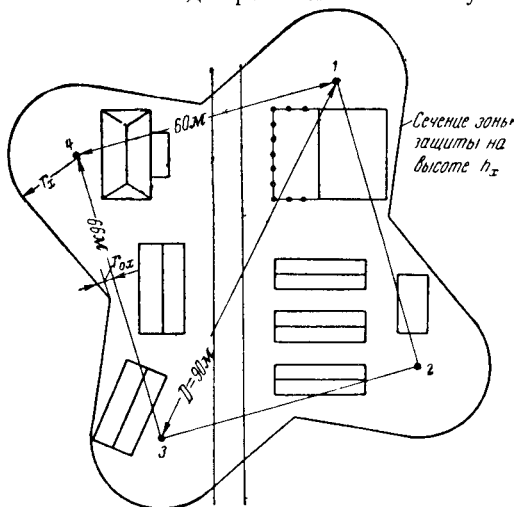


Рис. 27. Молниезащита колхозной усадьбы отдельно стоящими стержневыми молниеотводами.

угольника с диагональю $D=90$ м. Наибольшая высота защищаемых по территории строений $h_x=5$ м. По формуле (7) определяем необходимую высоту молниеотводов:

$$90 = 8(h - 5); h = \frac{90 + 40}{8} = 16,2 \text{ м.}$$

Берем высоту молниеотводов равной $h=17$ м.

Проверим защищенность строений, которые находятся вне площади прямоугольника, образованного молниеотводами. Для этого построим сечение зоны защиты на высоте $h_x=5$ м для молниеотводов 3 и 4. Пользуясь формулой (3), находим радиус зоны защиты одного из молниеотводов:

$$r_x = 1,5 \cdot 17 \left(1 - \frac{5}{0,8 \cdot 17} \right) = 16 \text{ м.}$$

По формуле (5) определяем защищаемый уровень посредине между молниеотводами 3 и 4, находящимися на расстоянии $a=66$ м друг от друга:

$$h_0 = 17 - \frac{66}{7} = 7,6 \text{ м.}$$

Находим по формуле (3) радиус зоны защиты по высоте 5 м в нулевом сечении (см. рис. 7):

$$r_{0x} = 1,5 \cdot 7,6 \left(1 - \frac{5}{0,8 \cdot 7,6} \right) = 2 \text{ м.}$$

По полученным данным строим горизонтальное сечение зоны защиты на высоте 5 м и убеждаемся, что постройки полностью входят в зону защиты. Аналогичным образом проверяется и защищенность построек, находящихся между другими парами молниеотводов.

Импульсное сопротивление заземления молниеотводов должно находиться в пределах 10 ом. В целях защиты людей и животных от шаговых напряжений расстояние между заземлителями и помещениями составляет не менее 5 м. Молниеотводы удалены от проезжей дороги и основных пешеходных дорожек.

На рис. 28 показана молниезащита коровника или конюшни с помощью молниеотводов, установленных на неметаллической крыше строения. Каждый молниеприемник имеет два токоотводящих спуска, расположенных с двух сторон коровника. Молниеприемники объединены стальным проводом диаметром 6—8 мм,

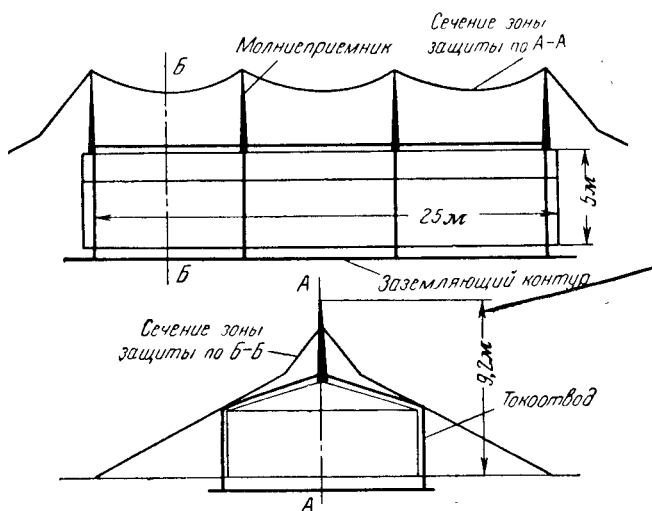


Рис. 28. Молниезащита коровника или конюшни.

проходящим по коньку крыши. Заземлитель выполнен в виде полосы, проложенной по периметру строения, и имеет импульсное сопротивление не более 10 см. Такое выполнение молниезащитного устройства обеспечивает достаточно равномерное растекание тока молнии с заземлителя, способствует выравниванию распределения потенциалов по поверхности земли и снижению шаговых напряжений.

Должны быть приняты меры по защите от заноса в помещение высоких потенциалов. С этой целью к заземлению присоединяются крюки изоляторов при входе электропроводки в строение, а также заземляются крюки изоляторов на ближайшей опоре. К заземляющему контуру присоединяются также сеть пневмодоедения, автопоилки и т. д.

5) Молниезащита промышленного сооружения с кирпичной дымовой трубой (рис. 29)

Защите подлежит прежде всего сама труба, в силу большой своей высоты чаще подверженная разрядам молнии. Для защиты на вершине ее по периметру про-

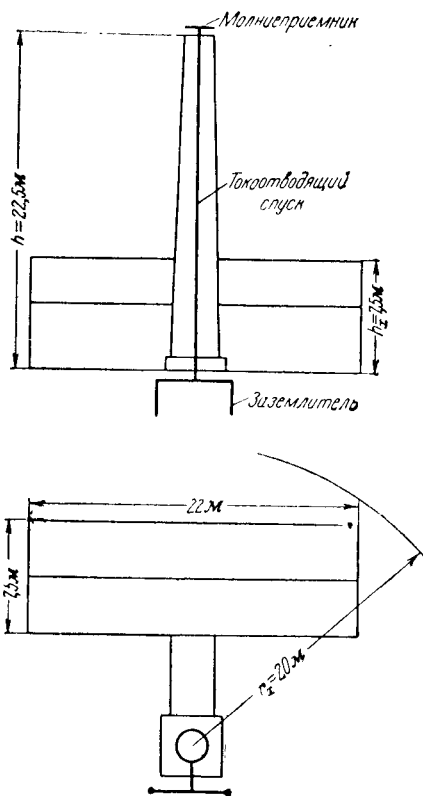


Рис. 29. Молниезащита сооружения с кирпичной дымовой трубой.

кладывается стальная полоса или прутки сечением не менее 50 мм^2 , который токоотводящим спуском соединяется с заземлением. (На трубах высотой более 50 м прокладываются два токоотвода.)

Если во время грозы маловероятно пребывание людей вблизи дымовой трубы, то сопротивление заземления молниеотвода может иметь величину до 40 ом. В про-

тивном случае импульсное сопротивление заземления должно быть не более 10 ом.

Расположенное рядом с трубой здание находится в зоне защиты молниеотвода. Если бы здание имело большие размеры и не вписывалось бы в зону защиты, то последнюю можно было бы увеличить, установив на вершине трубы вертикальный стержневой молниеприемник необходимой высоты.

6) Молниезащита мачты с осветительной установкой

Металлическая мачта является молниеотводом, ее лишь нужно заземлить. Электропроводка к осветительной установке прокладывается либо в трубах, либо кабелем. Оболочка кабеля или трубы присоединяется к заземлителю и, кроме того, в нескольких точках по высоте электрически соединяется с мачтой. Металлическая арматура светильников также присоединяется к мачте.

7) Молниезащита пионерских лагерей

Если пионерский лагерь расположен в деревянных домах сельского типа, как это часто бывает, то молниезащита его осуществляется так же, как это было показано в примере 1. Если же пионеры размещаются в палатках, то расположение лагерных палаток должно быть защищено от ударов молнии отдельно стоящими молниеотводами. Необходимая высота молниеотводов определяется по формуле (7).

Для установки молниеотводов следует использовать высокие деревья, удаленные от палаток не менее чем на 10 м. При этом сопротивление заземления молниеотводов должно быть не более 20 ом. С целью уменьшения шаговых напряжений лучше применять многолучевые

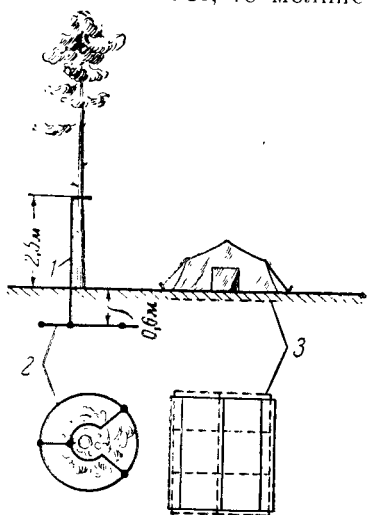


Рис. 30. Защитные меры для палаток, расположенных вблизи высоких деревьев.

1 — токоотвод; 2 — кольцевой заземлитель; 3 — защитная сетка.

заземлители или кольцевые. Импульсное сопротивление до 20 ом можно получить в грунтах с $\rho = 100 \div 500 \text{ ом} \cdot \text{м}$, уложив стальную полосу по окружности на глубине порядка 0,6 м.

Деревья, расположенные от палаток на расстоянии ближе 10 м, использовать для устройства молниеотводов не следует.

Если в непосредственной близости от палаток имеются отдельные деревья, очень высокие по сравнению со всеми соседними деревьями, то вероятность поражения их молнией выше, чем других деревьев. В целях предотвращения возможного перехода молнии, поразившей такое дерево, на палатки можно сделать заземленные спуски из проволоки диаметром 6—8 мм, проложенные, как это показано на рис. 30, по дереву до высоты 2,5 м. Заземление спусков должно иметь сопротивление не больше 50 ом и выполнено кольцевым с целью снижения шаговых напряжений. Кроме того, для этой же цели под палатками можно сделать металлическую сетку из проволоки диаметром 5—6 мм с ячейками порядка $1,5 \times 1,5 \text{ м}^2$. Сетка прокладывается на глубине 10—15 см.

Во время грозы пионеры не должны находиться вблизи заземляющих устройств молниеотводов и спусков.

Крюки изоляторов проходящей по территории лагеря воздушной электропроводки (или проводки другого назначения) должны быть заземлены (сопротивление заземления не больше 20 ом). Во время грозы нужно быть особенно осторожным и не прикасаться к электропроводке, выключателям, розеткам, репродукторам и т. д.



СОДЕРЖАНИЕ

1. Молния и ее характеристики	3
2. Воздействия молнии	10
3. Защита зданий и сооружений от молнии	12
1) Молниеотводы и их зоны защиты	12
2) Особенности конструктивного выполнения мол- ниеприемников и токоотводов	21
3) Допустимые расстояния между молниеотводом и защищаемым объектом	24
4) Заземление молниеотводов	28
5) Защита от заноса в здания опасных потенциа- лов по воздушным линиям	37
6) Защита от вторичных воздействий молнии	37
7) Классификация зданий и сооружений и требо- вания к молниезащитным устройствам	38
8) Особенности молниезащиты высоких объектов	39
4. Эксплуатация молниезащитных устройств	40
5. Примеры выполнения молниезащиты	41
1) Молниезащита жилых домов сельского типа	42
2) Расчет заземлителей	46
3) Молниезащита жилых зданий городского типа	48
4) Молниезащита колхозных построек	49
5) Молниезащита промышленного сооружения с кирпичной дымовой трубой (рис. 29)	52
6) Молниезащита мачты с осветительной уста- новкой	53
7) Молниезащита пионерских лагерей	53
Литература	55

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные указания по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений (СН-305-65), Стройиздат, 1965.
2. Указания по грозозащите зданий и сооружений и защите от статического электричества. Воениздат, 1958.
3. Черкасов В. Н., Защита взрывоопасных сооружений от молнии и статического электричества, Стройиздат, 1965.
4. Стекольников И. С. и др., Грозозащита зданий и сооружений в сельской местности, Изд-во МКХ РСФСР, 1956.
5. Стекольников И. С., Изучение молнии и грозозащиты (научно-популярная серия), Изд-во АН СССР, 1955.
6. Стекольников И. С. и др., Грозозащита промышленных сооружений и зданий, Изд-во АН СССР, 1951.



Цена 10 коп.