

Министерство образования и науки РФ  
**Нижекамский химико-технологический институт (филиал)**  
Федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Казанский национальный исследовательский  
технологический университет»

# **МОЛНИЕЗАЩИТА**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

**Нижекамск**  
**2013**

**УДК 614.8**  
**М 75**

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

**Рецензенты:**

**Гарипов М.Г.**, кандидат технических наук, доцент;  
**Патракова Г.Р.**, кандидат географических наук, доцент.

**М 75** Молниезащита : методические указания для практических работ / сост.: Э. Г. Гарайшина. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2013. – 40 с.

Рассмотрен комплекс средств молниезащиты зданий и сооружений. Изложены методы расчета зоны защиты молниеотводов.

Подготовлены на кафедре «Процессы и аппараты химической технологии» Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Предназначены для студентов, изучающих курс «Безопасность жизнедеятельности».

**УДК 614.8**

© Гарайшина Э.Г., 2013  
© Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2013

# 1. Молниезащита

## 1.1 Общие положения

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

*Точка поражения* - точка, в которой молния соприкасается с землей, зданием или устройством молниезащиты. Удар молнии может иметь несколько точек поражения.

*Защищаемый объект* - здание или сооружение, их часть или пространство, для которых выполнена молниезащита, отвечающая требованиям настоящего норматива.

*Устройство молниезащиты* - система, позволяющая защитить здание или сооружение от воздействий молнии. Она включает в себя внешние и внутренние устройства. В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства.

*Устройства защиты от прямых ударов молнии (молниеотводы)* - комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

*Устройства защиты от вторичных воздействий молнии* - устройства, ограничивающие воздействия электрического и магнитного полей молнии.

*Устройства для выравнивания потенциалов* - элементы устройств защиты, ограничивающие разность потенциалов, обусловленную растеканием тока молнии.

*Молниеприемник* - часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молний.

*Токоотвод (спуск)* - часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

*Заземляющее устройство* - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

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

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

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

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

*Соединенная между собой металлическая арматура* - арматура железобетонных конструкций здания (сооружения), которая обеспечивает электрическую непрерывность.

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

*Безопасное расстояние* - минимальное расстояние между двумя проводящими элементами вне или внутри защищаемого объекта, при котором между ними не может произойти опасного искрения.

*Устройство защиты от перенапряжения* - устройство, предназначенное для ограничения перенапряжений между элементами защищаемого объекта (например, разрядник, нелинейный ограничитель перенапряжений или иное защитное устройство).

*Отдельно стоящий молниеотвод* - молниеотвод, молниеприемники и токоотводы которого расположены

таким образом, чтобы путь тока молнии не имел контакта с защищаемым объектом.

*Молниеотвод, установленный на защищаемом объекте* - молниеотвод, молниеприемники 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 молниеотводами.

*Надежность защиты* определяется как  $1 - P$ .

*Промышленные коммуникации* - силовые и информационные кабели, проводящие трубопроводы, непроводящие трубопроводы с внутренней проводящей средой [1].

Наиболее распространена линейная молния. Величина силы тока в канале линейной молнии составляет в среднем  $60 \dots 170 \cdot 10^3 \text{ А}$ . Средняя молния несет энергию  $250 \text{ кВт/ч}$  ( $90 \text{ МДж}$ ) [2].

*Молниеотвод* состоит из трех основных частей: молниеприемника, воспринимающего удар молнии, токовода, соединяющего молниеприемник с заземлителем, через который ток молнии стекает в землю (рисунок 1.1).

Наиболее распространены стержневые и тросовые молниеприемники. Они могут быть одиночными и групповыми.

*Молниеприемники стержневых молниеотводов* изготавливают из стали любого профиля, как правило, круглого, сечением не менее  $100 \text{ мм}^2$  и длиной не менее  $200 \text{ мм}$ .

Для защиты от коррозии их окрашивают. Молниеприемники тросовых молниеотводов изготавливают из металлических тросов диаметром около 7 мм [3].

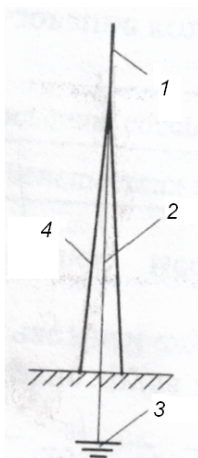


Рисунок 1.1 - Молниеотвод: 1 – молниеприемник; 2 – токовод; 3 – заземление; 4 – мачта.

*Тоководы* должны выдерживать нагрев при протекании очень больших токов разряда молнии в течение короткого промежутка времени, поэтому их делают из материалов с небольшим электрическим сопротивлением. Сечение тоководов на воздухе не должно быть менее  $48 \text{ мм}^2$ , а в земле -  $160 \text{ мм}^2$ . Если молниеотвод закреплен на крыше здания, то в качестве тоководов могут использоваться металлические конструкции и арматура здания, например металлическая лестница, расположенная с внешней стороны здания и ведущая на крышу. Тоководы должны надежно связываться (лучше с помощью сварки) с молниеприемником и заземлителем.

*Заземлители* — важнейший элемент в системе молниезащиты. В качестве заземлителя можно использовать зарытые в землю на глубину 2...2,5 м металлические трубы, плиты, мотки проволоки и сетки,

куски металлической арматуры. Место расположения заземлителя должно ограждаться для защиты людей от поражения шаговым напряжением.

## **1.2 Интенсивность грозовой деятельности**

На земном шаре ежегодно происходит до 16-ти миллионов гроз, то есть около 44 тысяч за день [4]. Формирование грозовой облачности и, следовательно, грозовая деятельность зависит от климатических условий и рельефа местности. Поэтому грозовая деятельность над различными участками земной поверхности неодинакова. Для расчета грозозащитных мероприятий необходимо знать конкретную величину, характеризующую грозовую деятельность в данной местности. Такой величиной является интенсивность грозовой деятельности, которую принято определять числом грозовых часов или грозовых дней в году, вычисляемым как среднеарифметическое значение за ряд лет наблюдений для определенного места земной поверхности.

Интенсивность грозовой деятельности в данном районе земной поверхности определяется также числом ударов молнии в год, приходящихся на 1 км<sup>2</sup> земной поверхности.

Среднее число поражений молнией 1 км<sup>2</sup> земной поверхности в год (удельная плотность ударов молнии в землю) определяется в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз и приведено в таблице 1.1.

Среднегодовая продолжительность гроз в часах в произвольном пункте определяется по карте или по средним многолетним (порядка 10 лет) данным метеостанции, ближайшей от места нахождения здания или сооружения.

Таблица 1.1 - Удельная плотность ударов молнии в землю

Среднегодовая продолжительность гроз, ч	Удельная плотность ударов молнии в землю $n$ , 1/(км <sup>2</sup> ·год)
10-20	1
20-40	2
40-60	4
60-80	5,5
80-100	7
100 и более	8,5

Подсчет ожидаемого количества  $N$  поражений молнией в год производится по формулам:

для сосредоточенных зданий и сооружений (дымовые трубы, вышки, башни)

$$N = 9 \pi \cdot h^2 n \cdot 10^{-6},$$

для зданий и сооружений прямоугольной формы

$$N = [(S + 6h)(L + 6h) - 7,7h^2] n \cdot 10^{-6},$$

где  $h$  – наибольшая высота здания или сооружения, м;  $S$ ,  $L$  – соответственно ширина и длина здания или сооружения, м;  $n$  – среднегодовое число ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения.

Для зданий и сооружений сложной конфигурации в качестве  $S$  и  $L$  рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание и сооружение в плане [2].

Если части здания имеют неодинаковую высоту (рисунок 1.2 б), то зона защиты, создаваемая высотной



частью, может охватывать всю остальную часть здания. Если зона защиты не охватывает всего здания, необходимо учесть часть здания, находящегося вне зоны защиты высотной части.

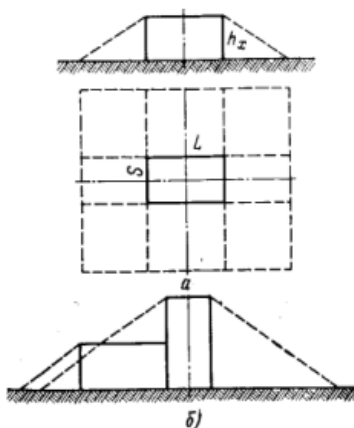


Рисунок 1.2 - Зона защиты, создаваемая сооружениями  
а - здания с одной высотой;  
б - здания, имеющие разные высоты.

Следует отметить, что значение параметра  $n$ , входящего в расчетную формулу, может в несколько раз отличаться от значений, приведенных выше. В горных районах большая часть разрядов молнии происходит между облаками, поэтому значение  $n$  может оказаться существенно меньше. Районы, где имеются слои почвы высокой проводимости, как показывают наблюдения, избирательно поражаются разрядами молнии, поэтому значение  $n$  в этих районах может оказаться существенно выше. Избирательно могут поражаться районы с плохо проводящими грунтами, в которых проложены протяженные металлические коммуникации (кабельные линии, металлические трубопроводы). Избирательно поражаются также возвышающиеся над поверхностью земли металлические предметы (вышки, дымовые трубы).

### 1.3 Классификация зданий и сооружений по устройству молниезащиты

Классификация объектов определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения.

Непосредственное опасное воздействие молнии - это пожары, механические повреждения, травмы людей и животных, а также повреждения электрического и электронного оборудования. Последствиями удара молнии могут быть взрывы и выделение опасных продуктов - радиоактивных и ядовитых химических веществ, а также бактерий и вирусов.

Удары молнии могут быть особо опасны для информационных систем, систем управления, контроля и электроснабжения. Для электронных устройств, установленных в объектах разного назначения, требуется специальная защита.

Рассматриваемые объекты могут подразделяться 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.

В таблице 1.2 даны примеры разделения объектов на четыре класса.

Таблица 1.2 - Примеры классификации объектов

<b>Объект</b>	<b>Тип объекта</b>	<b>Последствия удара молнии</b>
1	2	3
Обычный	Жилой дом	Отказ электроустановок, пожар и повреждение имущества. Обычно небольшое повреждение предметов, расположенных в месте удара молнии или задетых ее каналом
	Театр; школа; универмаг; спортивное сооружение	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий
	Банк; страховая компания; коммерческий офис	Отказ электроснабжения (например, освещения), способный вызвать панику. Отказ системы пожарной сигнализации, вызывающий задержку противопожарных мероприятий. Потери средств связи, сбой компьютеров с потерей данных
	Промышленные предприятия	Дополнительные последствия, зависящие от условий производства - от незначительных повреждений до больших ущербов из-за потерь продукции
	Музеи и археологические памятники	Невосполнимая потеря культурных ценностей
Специальный с ограничен- ной опасностью	Средства связи; электростанции; пожароопасные производства	Недопустимое нарушение коммунального обслуживания (телекоммуникаций). Косвенная опасность пожара для соседних объектов

Специальный, представляющий опасность для непосредственного окружения	Нефтеперерабатывающие предприятия; заправочные станции; производства петард и фейерверков	Пожары и взрывы внутри объекта и в непосредственной близости
Специальный, опасный для экологии	Химический завод; атомная электростанция; биохимические фабрики и лаборатории	Пожар и нарушение работы оборудования с вредными последствиями для окружающей среды

При строительстве и реконструкции для каждого класса объектов требуется определить необходимые уровни надежности защиты от прямых ударов молнии (ПУМ). Например, для обычных объектов может быть предложено четыре уровня надежности защиты, указанные в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Уровни защиты от ПУМ для обычных объектов

Уровень защиты	Надежность защиты от ПУМ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Для специальных объектов минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9-0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых

последствий от ПУМ по согласованию с органами государственного контроля.

По желанию заказчика в проект может быть заложен уровень надежности, превышающий предельно допустимый [1].

#### **1.4. Категории устройства молниезащиты**

В зависимости от среднегодовой продолжительности гроз в месте нахождения здания, вероятности вызываемого молнией пожара, исходя из масштаба возможного разрушения и ущерба, установлены три категории устройства молниезащиты.

В зданиях и сооружениях, отнесенных к первой категории молниезащиты, длительное время возникают и сохраняются взрывоопасные смеси газа, пара и пыли с воздухом, перерабатываются и хранятся взрывчатые вещества. Взрывы в таких зданиях, как правило, сопровождаются значительными разрушениями и человеческими жертвами. Здания и сооружения первой категории должны быть защищены от прямых ударов молнии, вторичных ее воздействий и заноса высоких потенциалов через надземные, наземные и подземные металлоконструкции.

В зданиях и сооружениях, отнесенных ко второй категории молниезащиты, названные взрывоопасные смеси могут возникать только в момент производственной аварии или неисправности технологического оборудования, ВВ хранятся в специальной упаковке. Попадание молнии в такие здания сопровождаются, как правило, значительно меньшими разрушениями и человеческими жертвами. Здания и сооружения второй категории молниезащиты должны быть защищены от прямых ударов молнии, от вторичных ее воздействий и заноса высоких потенциалов только в местах средней интенсивностью грозовой деятельности  $n_{\text{ч}} \geq 10$  ч/год.

В зданиях и сооружениях третьей категории от прямого удара молнии может возникнуть пожар, механические разрушения и поражения людей. К этой категории относят общественные здания, дымовые трубы, водонапорные башни. Здания и сооружения, отнесенные к третьей категории молниезащиты, должны быть защищены от прямых ударов и заноса высоких потенциалов через надземные металлоконструкции и коммуникации в местностях с грозовой интенсивностью  $n_d \geq 20$  ч/год.

Таблица 1.4 - Типы зон защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов

Здания и сооружения	Местоположение	Тип зоны защиты при использовании стержневых и тросовых молниеотводов	Категория молниезащиты
1	2	3	4
Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов В-I и В-II	На всей территории	Зона А	I
То же классов В-Iа, В-Iб, В-IIа	В местности со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	При ожидаемом количестве поражений молнией в год здания или сооружения $N > 1$ – зона А; при $N \leq 1$ – зона Б	II
Наружные установки, создающие	На всей территории	Зона Б	II

согласно ПУЭ зону класса В-Гг			
Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам классов П-I, П-II, П-IIIа	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	Для зданий и сооружений I и II степеней огнестойкости при $0,1 < N \leq 2$ и для III-V степеней огнестойкости при $0,02 < N \leq 2$ - зона Б, при $N > 2$ - зона А	III
Наружные установки и открытые склады, создающие согласно ПУЭ зону классов П-III	В местностях со средней продолжительностью гроз 20 ч в год и более	При $0,1 < N \leq 2$ - зона Б, при $N > 2$ - зона А	III
Здания и сооружения III, IIIа, IIIб, IV, V степеней огнестойкости, в которых отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов	То же	При $0,1 < N \leq 2$ - зона Б, при $N > 2$ - зона А	III
Здания и сооружения из легких металлических конструкций со сгораемым утеплителем (IVа степени огнестойкости), в которых	В местностях со средней продолжительностью гроз 10 ч в год и более	При $0,1 < N \leq 2$ - зона Б, при $N > 2$ - зона А	III

отсутствуют помещения, относимые по ПУЭ к зонам взрыво- и пожароопасных классов			
---	--	--	--

## **2. Защита от прямых ударов молнии**

### **2.1. Комплекс средств молниезащиты**

Комплекс средств молниезащиты зданий или сооружений включает в себя устройства защиты от прямых ударов молнии (внешняя молниезащитная система - МЗС) и устройства защиты от вторичных воздействий молнии (внутренняя МЗС). В частных случаях молниезащита может содержать только внешние или только внутренние устройства. В общем случае часть токов молнии протекает по элементам внутренней молниезащиты.

Внешняя молниезащита представляет собой систему, обеспечивающую перехват молнии и отвод ее в землю. В момент прямого удара молнии в объект молниезащитное устройство должно принять на себя ток молнии и отвести его по токоотводам в систему заземления.

Внешняя МЗС может быть изолирована от сооружения (отдельно стоящие молниеотводы - стержневые или тросовые, молниеприемная сеть, а также соседние сооружения, выполняющие функции естественных молниеотводов) или может быть установлена на защищаемом сооружении и даже быть его частью.

Внутренняя молниезащита представляет собой совокупность устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП). Назначение УЗИП – защитить электрическое и электронное оборудование от



перенапряжений в сети, вызванных резистивными и индуктивными связями, возникающих под воздействием тока молнии. Выделяют перенапряжения, вызванные прямыми и косвенными ударами молнии. Первые происходят в случае попадания молнии в здание (сооружение) или в подведенные к зданию (сооружению) линии коммуникаций (линии электропередачи, коммуникационной линии). Вторые – вследствие ударов вблизи здания (сооружения) или удара молнии вблизи линий коммуникаций. В зависимости от типа попадания различаются и параметры перенапряжений.

Перенапряжения, вызванные прямым ударом, именуется Тип 1 и характеризуются формой волны 10/350 мкс. Они наиболее опасны, так как несут большую запасенную энергию.

Перенапряжения, вызванные косвенным ударом, именуется Тип 2 и характеризуются формой волны 8/20 мкс. Они менее опасны, запасенная энергия примерно в семнадцать раз меньше, чем у Тип 1.

Внутренние устройства молниезащиты предназначены для ограничения электромагнитных воздействий тока молнии и предотвращения искрений внутри защищаемого объекта.

Токи молнии, попадающие в молниеприемники, отводятся в заземлитель через систему токоотводов (спусков) и растекаются в земле.

## **2.2 Внешняя молниезащитная система**

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. В случае специального изготовления их материал и сечения должны удовлетворять требованиям таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

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

Примечание. Указанные значения могут быть увеличены в зависимости от повышенной коррозии или механических воздействий.

### 2.2.1 Молниеприемники

Молниеприемники могут быть специально установленными, в том числе на объекте, либо их функции выполняют конструктивные элементы защищаемого объекта; в последнем случае они называются естественными молниеприемниками.

Молниеприемники могут состоять из произвольной комбинации следующих элементов: стержней, натянутых проводов (тросов), сетчатых проводников (сеток).

Естественные молниеприемники.

Следующие конструктивные элементы зданий и сооружений могут рассматриваться как естественные молниеприемники:

а) металлические кровли защищаемых объектов при условии, что:

электрическая непрерывность между разными частями обеспечена на долгий срок;

толщина металла кровли составляет не менее величины  $t$ , приведенной в таблице 2.2, если необходимо предохранить 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;

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 таблице 2.2, и если повышение температуры с внутренней стороны объекта в точке удара молнии не представляет опасности.

Таблица 2.2 - Толщина кровли, трубы или корпуса резервуара, выполняющих функции естественного молниеприемника

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

### 2.2.2 Токоотводы

В целях снижения вероятности возникновения опасного искрения токоотводы должны располагаться таким образом, чтобы между точкой поражения и землей:

- а) ток растекался по нескольким параллельным путям;
- б) длина этих путей была ограничена до минимума.

Расположение токоотводов в устройствах молниезащиты, изолированных от защищаемого объекта.

Если молниеприемник состоит из стержней, установленных на отдельно стоящих опорах (или одной опоре), на каждую опору должен быть предусмотрен минимум один токоотвод.

Если молниеприемник состоит из отдельно стоящих горизонтальных проводов (тросов) или из одного провода (троса), на каждый конец троса требуется минимум по одному токоотводу.

Если молниеприемник представляет собой сетчатую конструкцию, подвешенную над защищаемым объектом, на каждую ее опору требуется не менее одного токоотвода. Общее количество токоотводов должно быть не менее двух.

Расположение токоотводов при неизолированных устройствах молниезащиты.

Токоотводы располагаются по периметру защищаемого объекта таким образом, чтобы среднее расстояние между ними было не меньше значений, приведенных в таблице 2.3.

Токоотводы соединяются горизонтальными поясами вблизи поверхности земли и через каждые 20 м по высоте здания.

Таблица 2.3 - Средние расстояния между токоотводами в зависимости от уровня защищенности

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

Указания по размещению токоотводов.

Желательно, чтобы токоотводы равномерно располагались по периметру защищаемого объекта. По возможности они прокладываются вблизи углов зданий.

Не изолированные от защищаемого объекта токоотводы прокладываются следующим образом:

если стена выполнена из негорючего материала, токоотводы могут быть закреплены на поверхности стены или проходить в стене;

если стена выполнена из горючего материала, токоотводы могут быть закреплены непосредственно на поверхности стены, так чтобы повышение температуры при протекании тока молнии не представляло опасности для материала стены;

если стена выполнена из горючего материала и повышение температуры токоотводов представляет для него опасность, токоотводы должны располагаться таким образом, чтобы расстояние между ними и защищаемым объектом всегда превышало 0,1 м. Металлические скобы для крепления токоотводов могут быть в контакте со стеной.

Не следует прокладывать токоотводы в водосточных трубах. Рекомендуется разрешать токоотводы на максимально возможных расстояниях от дверей и окон.

Токоотводы прокладываются по прямым и вертикальным линиям, так чтобы путь до земли был по возможности кратчайшим. Не рекомендуется прокладка токоотводов в виде петель.

Естественные элементы токоотводов.

Следующие конструктивные элементы зданий могут считаться естественными тоководами:

а) металлические конструкции при условии, что: электрическая непрерывность между разными элементами является долговечной;

они имеют не меньшие размеры, чем требуются для специально предусмотренных тоководов. Металлические конструкции могут иметь изоляционное покрытие;

б) металлический каркас здания или сооружения;

в) соединенная между собой стальная арматура здания или сооружения;

г) части фасада, профилированные элементы и опорные металлические конструкции фасада при условии, что их размеры соответствуют указаниям, относящимся к тоководам, а их толщина составляет не менее 0,5 мм.

Металлическая арматура железобетонных строений считается обеспечивающей «электрическую непрерывность», если она удовлетворяет следующим условиям:

примерно 50% соединений вертикальных и горизонтальных стержней выполнены сваркой или имеют жесткую связь (болтовое крепление, вязка проволокой);

электрическая непрерывность обеспечена между стальной арматурой различных заранее заготовленных бетонных блоков и арматурой бетонных блоков, подготовленных на месте.

В прокладке горизонтальных поясов нет необходимости, если металлические каркасы здания или стальная арматура железобетона используются как токоотводы.

### 2.2.3 Заземлители

Во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель молниезащиты следует совместить с заземлителями электроустановок и средств связи. Если эти заземлители должны быть разделены по каким-либо технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов.

Специально прокладываемые заземляющие электроды.

Целесообразно использовать следующие типы заземлителей: один или несколько контуров, вертикальные (или наклонные) электроды, радиально расходящиеся электроды или заземляющий контур, уложенный на дне котлована, заземляющие сетки.

Сильно заглубленные заземлители оказываются эффективными, если удельное сопротивление грунта уменьшается с глубиной и на большой глубине оказывается существенно меньше, чем на уровне обычного расположения.

Заземлитель в виде наружного контура предпочтительно прокладывать на глубине не менее 0,5 м от поверхности земли и на расстоянии не менее 1 м от стен. Заземляющие электроды должны располагаться на глубине не менее 0,5 м за пределами защищаемого объекта и быть как можно более равномерно распределенными; при этом надо стремиться свести к минимуму их взаимное экранирование.

Глубина закладки и тип заземляющих электродов выбираются из условия обеспечения минимальной коррозии, а также возможно меньшей сезонной вариации

сопротивления заземления в результате высыхания и промерзания грунта.

Естественные заземляющие электроды.

В качестве заземляющих электродов может использоваться соединенная между собой арматура железобетона или иные подземные металлические конструкции. Если арматура железобетона используется как заземляющие электроды, повышенные требования предъявляются к местам ее соединений, чтобы исключить механическое разрушение бетона. Если используется преднапряженный бетон, следует учесть возможные последствия протекания тока молнии, который может вызвать недопустимые механические нагрузки.

#### **2.2.4 Крепление и соединения элементов внешней МЗС**

Молниеприемники и токоотводы жестко закрепляются, так чтобы исключить любой разрыв или ослабление крепления проводников под действием электродинамических сил или случайных механических воздействий (например, от порыва ветра или падения пласта).

Количество соединений проводника сводится к минимальному. Соединения выполняются сваркой, пайкой, допускается также вставка в зажимной наконечник или болтовое крепление.

### **2.3 Выбор молниеотводов**

Выбор типа и высоты молниеотводов производится исходя из значений требуемой надежности  $P_3$ . Объект считается защищенным, если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает надежность защиты не менее  $P_3$ .

Во всех случаях система защиты от прямых ударов молнии выбирается так, чтобы максимально



использовались естественные молниеотводы, а если обеспечиваемая ими защищенность недостаточна - в комбинации со специально установленными молниеотводами.

В общем случае выбор молниеотводов должен производиться при помощи соответствующих компьютерных программ, способных вычислять зоны защиты или вероятность прорыва молнии в объект (группу объектов) любой конфигурации при произвольном расположении практически любого числа молниеотводов различных типов.

При прочих равных условиях высоту молниеотводов можно снизить, если вместо стержневых конструкций применять тросовые, особенно при их подвеске по внешнему периметру объекта.

Если защита объекта обеспечивается простейшими молниеотводами (одиночным стержневым, одиночным тросовым, двойным стержневым, двойным тросовым, замкнутым тросовым), размеры молниеотводов можно определять, пользуясь заданными в настоящем нормативе зонами защиты.

В случае проектирования молниезащиты для обычного объекта, возможно определение зон защиты по защитному углу или методом катящейся сферы согласно стандарту Международной электротехнической комиссии (IEC 1024) при условии, что расчетные требования Международной электротехнической комиссии оказываются более жесткими, чем требования настоящей Инструкции.

## **2.3.1 Типовые зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов**

### **2.3.1.1 Зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода**

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой  $h$  является круговой конус высотой  $h_0 < h$ , вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (рисунок 2.1). Габариты зоны определяются двумя параметрами:

Высотой конуса  $h_0$  и радиусом конуса на уровне земли  $r_0$ .

Приведенные ниже расчетные формулы (таблица 2.4) пригодны для молниеотводов высотой до 150 м. При более высоких молниеотводах следует пользоваться специальной методикой расчета.

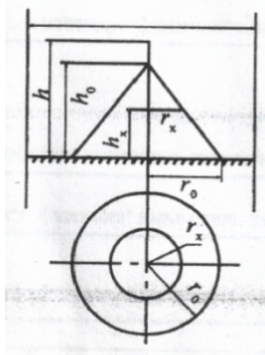


Рисунок 2.1 - Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода.

Для зоны защиты требуемой надежности (рисунок 2.1) радиус горизонтального сечения  $r_x$  на высоте  $h_x$  определяется по формуле:

$$r_x = \frac{r_0 (h_c - h_x)}{h_c} \quad (2)$$

Таблица 2.4 - Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты $P_3$	Высота молниеотвода $h$ , м	Высота конуса $h_0$ , м	Радиус конуса $r_0$ , м
0,9	От 0 до 100	0,85 h	1,2 h
	От 100 до 150	0,85 h	$[1,2 - 10^{-3}(h-100)] h$
0,99	От 0 до 30	0,8 h	0,8 h
	От 30 до 100	0,8 h	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$
	От 100 до 150	$[0,8 - 10^{-3}(h-100)] h$	0,7 h
0,999	От 0 до 30	0,7 h	0,6 h
	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	$[0,65 - 10^{-3}(h-100)] h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)] h$

### 2.3.1.2. Зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Стандартные зоны защиты одиночного тросового молниеотвода высотой  $h$  ограничены симметричными двускатными поверхностями, образующими в вертикальном сечении равнобедренный треугольник с вершиной на высоте  $h_0 < h$  и основанием на уровне земли  $2r_0$  (рисунок 2.2). Приведенные ниже расчетные формулы (таблица 2.5) пригодны для молниеотвода высотой до 150 м. При большей высоте следует пользоваться специальным программным обеспечением. Здесь и далее под  $h$  понимается минимальная высота троса над уровнем земли (с учетом провеса).

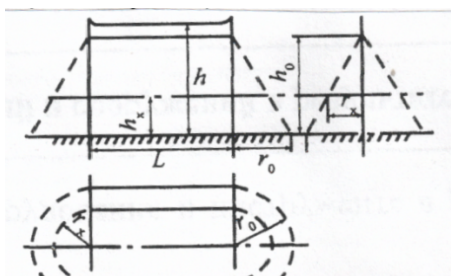


Рисунок 2.2 - Зона защиты одиночного тросового молниеотвода: L - расстояние между точками подвеса тросов

Полуширина  $r_x$  зоны защиты требуемой надежности (рисунок 2.2) на высоте  $h_x$  от поверхности земли определяется выражением:

$$r_x = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (3)$$

При необходимости расширить защищаемый объем к торцам зоны защиты собственно тросового молниеотвода могут добавляться зоны защиты несущих опор, которые рассчитываются по формулам одиночных стержневых молниеотводов, представленным в таблице 2.4. В случае больших провесов тросов, например, у воздушных линий электропередачи, рекомендуется рассчитывать обеспечиваемую вероятность прорыва молнии программными методами, поскольку построение зон защиты по минимальной высоте троса в пролете может привести к неоправданным затратам.

Таблица 2.5 - Расчет зоны защиты одиночного тросового молниеотвода

Надежность защиты $P_3$	Высота молниеотвода $h$ , м	Высота конуса $h_0$ , м	Радиус конуса $r_0$ , м
0,9	От 0 до 150	0,87 h	1,5 h
0,99	От 0 до 30	0,8 h	0,95 h
	От 30 до 100	0,8 h	$[0,95 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)] h$
	От 100 до 150	0,8 h	$[0,9 - 10^{-3}(h-100)] h$
0,999	От 0 до 30	0,75 h	0,7 h
	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	$[0,72 - 10^{-3}(h-100)] h$	$[0,6 - 10^{-3}(h-100)] h$

### 2.3.1.3 Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Молниеотвод считается двойным, когда расстояние между стержневыми молниеприемниками  $L$  не превышает предельной величины  $L_{\max}$ . В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного стержневого молниеотвода (высотой  $h$  и расстоянием  $L$  между молниеотводами) представлена на рисунке 2.3. Построение внешних областей зон двойного молниеотвода (полуконусов с габаритами  $h_0$ ,  $r_0$ ) производится по формулам таблицы 3.4 для одиночных стержневых молниеотводов. Размеры внутренних областей определяются параметрами  $h_0$  и  $h_c$ , первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у молниеотводов, а второй - минимальную высоту зоны посередине между молниеотводами. При расстоянии между молниеотводами  $L \leq L_c$  граница зоны не имеет

провеса ( $h_c = h_0$ ). Для расстояний  $L_c \leq L \leq L_{\max}$  высота  $h_c$  определяется по выражению:

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0. \quad (4)$$

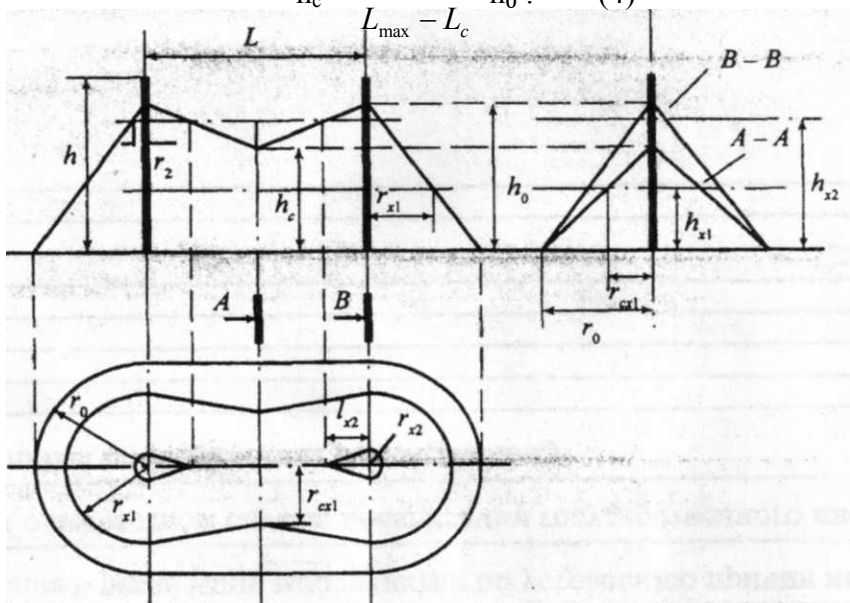


Рисунок 2.3 - Зона защиты двойного стержневого молниеотвода

Входящие в него предельные расстояния  $L_{\max}$  и  $L_c$  вычисляются по эмпирическим формулам таблицы 2.6, пригодным для молниеотводов высотой до 150 м. При большей высоте молниеотводов следует пользоваться специальным программным обеспечением.

Размеры горизонтальных сечений зоны вычисляются по следующим формулам, общим для всех уровней надежности защиты:

максимальная полуширина зоны  $r_x$  в горизонтальном сечении на высоте  $h_x$ :

$$r_x = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (5)$$

длина горизонтального сечения  $L_x$  на высоте  $h_x \geq h_c$ :

$$r_x = \frac{L(h_0 - h_\delta)}{2(h_0 - h_c)} \quad (6)$$

причем при  $h_x < h_c$   $L_x = L/2$ ;

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

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} \quad (7)$$

Таблица 2.6 - Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода

Надежность защиты $P_3$	Высота молниеотвода, м	$L_{max}$ , м	$L_0$ , м
0,9	От 0 до 30	5,75 h	2,5 h
	От 30 до 100	$[5,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)] h$	2,5 h
	От 100 до 150	5,5 h	2,5 h
0,99	От 0 до 30	4,75 h	2,25 h
	От 30 до 100	$[4,75 - 3,57 \cdot 10^{-3}(h - 30)] h$	$[2,25 - 0,01007(h - 30)] h$
	От 100 до 150	4,5 h	1,5 h
0,999	От 0 до 30	4,25 h	2,25 h

	От 30 до 100	$[4,25-3,57 \cdot 10^{-3}(h-30)] h$	$[2,25-0,01007(h-30)] h$
	От 100 до 150	$4,0 h$	$1,5 h$

### 2.3.1.4 Зоны защиты двойного тросового молниеотвода

Молниеотвод считается двойным, когда расстояние между тросами  $L$  не превышает предельной величины  $L_{\max}$ . В противном случае оба молниеотвода рассматриваются как одиночные.

Конфигурация вертикальных и горизонтальных сечений стандартных зон защиты двойного тросового молниеотвода (высотой  $h$  и расстоянием между тросами  $L$ ) представлена на рисунке 2.4. Построение внешних областей зон (двух односкатных поверхностей с габаритами  $h_0, r_0$ ) производится по формулам таблицы 2.5 для одиночных тросовых молниеотводов.

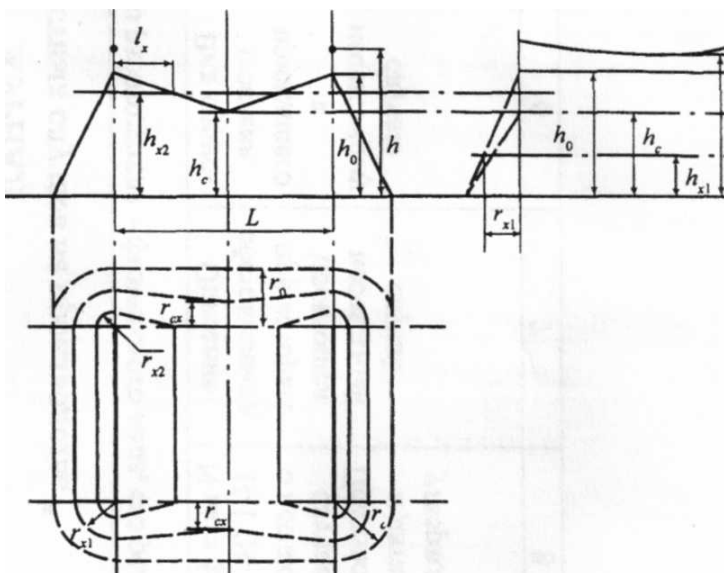


Рисунок 2.4 - Зона защиты двойного тросового молниеотвода



Размеры внутренних областей определяются параметрами  $h_0$  и  $h_c$ , первый из которых задает максимальную высоту зоны непосредственно у тросов, а второй - минимальную высоту зоны посередине между тросами. При расстоянии между тросами  $L \leq L_c$  граница зоны не имеет провеса ( $h_c = h_0$ ). Для расстояний  $L_c \leq L \leq L_{\max}$  высота  $h_c$  определяется по выражению

$$h_c = \frac{L_{\max} - L}{L_{\max} - L_c} h_0 \quad (8)$$

Входящие в него предельные расстояния  $L_{\max}$  и  $L_c$  вычисляются по эмпирическим формулам таблицы 2.7, пригодным для тросов с высотой подвеса до 150 м. Длина горизонтального сечения зоны защиты на высоте  $h_x$  определяется по формулам:

$$l_x = L/2 \text{ при } h_c \geq h_x \quad (9)$$

$$l_\delta = \frac{L(h_0 - h_\delta)}{2(h_0 - h_c)} \text{ при } 0 < h_c < h_x$$

Для расширения защищаемого объема на зону двойного тросового молниеотвода может быть наложена зона защиты опор, несущих тросы, которая строится как зона двойного стержневого молниеотвода, если расстояние  $L$  между опорами меньше  $L_{\max}$ , вычисленного по формулам таблицы 2.6. В противном случае опоры должны рассматриваться как одиночные стержневые молниеотводы.

Когда тросы не параллельны или разновысоки, либо их высота изменяется по длине пролета, для оценки надежности их защиты следует воспользоваться

специальным программным обеспечением. Также рекомендуется поступать при больших провесах тросов в пролете, чтобы избежать излишних запасов по надежности защиты.

Таблица 2.7 - 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	6,0 h	3,0 h
0,99	от 0 до 30	5,0 h	2,5 h
	от 30 до 100	5,0 h	$[2,5-7,14 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	от 100 до 150	$[5,0-510^{-3}(h-100)] h$	$[2,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$
0,999	от 0 до 30	4,75 h	2,25 h
	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	$[4,5-5 \cdot 10^{-3}(h-100)] h$	$[2,0-5 \cdot 10^{-3}(h-100)] h$

### 2.3.1.5 Зоны защиты замкнутого тросового молниеотвода

Расчетные формулы п. 2.3.1.5 могут использоваться для определения высоты подвеса замкнутого тросового молниеотвода, предназначенного для защиты с требуемой надежностью объектов высотой  $h_0 < 30$  м, размещенных на прямоугольной площадке площадью  $S_0$  во внутреннем объеме зоны при минимальном горизонтальном смещении между молниеотводом и объектом, равном  $D$  (рисунок 2.5). Под высотой подвеса троса подразумевается минимальное расстояние от троса до поверхности земли с учетом возможных провесов в летний сезон.

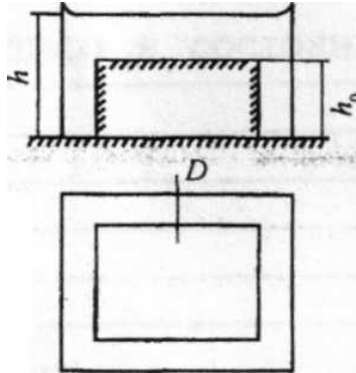


Рисунок 2.5 - Зона замкнутого тросового молниеотвода

Для расчета  $h$  используется выражение:

$$h = A + Bh_0, \quad (10)$$

в котором константы  $A$  и  $B$  определяются в зависимости от уровня надежности защиты по следующим формулам:

а) надежность защиты  $P_3 = 0,99$

$$A = -0,14 + 0,252(D - 5) + [0,127 + 6,4 \cdot 10^{-4}(D - 5)]\sqrt{S^0} \quad (11)$$

$$B = 1,05 - 9,08 \cdot 10^{-3}(D-5) + [-3,44 \cdot 10^{-3} + 5,87 \cdot 10^{-5}(D-5)] \sqrt{S^0} \quad (12)$$

б) надежность защиты  $P_3 = 0,999$

$$A = -0,08 + 0,324(D - 5) + [0,161 + 2,41 \cdot 10^{-4}(D - 5)] \sqrt{S^0}; \quad (13)$$

$$B = 1,1 - 0,0115(D - 5) + [-4,24 \cdot 10^{-3} + 1,25 \cdot 10^{-4}(D - 5)] \sqrt{S^0} \quad (14)$$

Расчетные соотношения справедливы, когда  $D > 5$  м. Работа с меньшими горизонтальными смещениями троса нецелесообразна из-за высокой вероятности обратных перекрытий молнии с троса на защищаемый объект. По экономическим соображениям замкнутые тросовые молниеотводы не рекомендуются, когда требуемая надежность защиты меньше 0,99.

Если высота объекта превышает 30 м, высота замкнутого тросового молниеотвода определяется с помощью программного обеспечения. Также следует поступать для замкнутого контура сложной формы.

После выбора высоты молниеотводов по их зонам защиты рекомендуется проверить фактическую вероятность прорыва компьютерными средствами, а в случае большого запаса по надежности провести корректировку, задавая меньшую высоту молниеотводов [1].

### 3. Практическая часть

#### Задание 1

Определить высоту одиночного стержневого молниеотвода для производственного здания, помещения которого по ПУЭ имеют взрывоопасную зону класса В-1а.

Исходные данные: размеры здания  $S_x L_x h$ , м; грозовая деятельность за год, ч.

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры здания, м	S - длина	60	50	80	30	40	100	150	90	65	180
	L - ширина	25	40	15	20	50	40	30	35	40	40
	h - высота	25	15	20	10	15	30	25	20	15	30
Грозовая деятельность за год, ч		30	50	70	90	120	40	65	85	110	75

### Методические указания к решению задачи

1. Определить тип зоны защиты и категорию здания по устройству молниезащиты в соответствии с СО 153.34.21.122-2003.
2. Составить эскиз промышленного здания с указанием зоны защиты стержневого молниеотвода.
3. Определить ожидаемое количество поражений молнией в год зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой.
4. Определить высоту молниеприемника, обеспечивающего требуемую надежность (объект должен полностью вписываться в границы зоны защиты).

### Задание 2

Определить высоту подвеса замкнутого тросового молниеотвода, предназначенного для защиты с надежностью  $P_3$  объекта с высотой  $h_0$ , размещенного на прямоугольной площадке площадью  $S_0$  во внутреннем

объеме зоны при минимальном горизонтальном смещении между молниеотводом и объектом, равном  $D$ .

Исходные данные:

Вариант	Надежность защиты, $P_3$	Высота объекта $h_0$ , м	Площадь $S_3$ , м <sup>2</sup>	Минимальное горизонтальное смещение $D$ , м
1	0,99	6	100	5,0
2	0,99	12	121	5,5
3	0,99	15	144	6,0
4	0,99	18	169	6,5
5	0,99	24	206	7,0
6	0,999	6	100	5,0
7	0,999	12	121	5,5
8	0,999	15	144	6,0
9	0,999	18	169	6,5
10	0,999	24	206	7,0

#### Методические указания к решению задачи

1. В зависимости от уровня надежности  $P_3$  определить константы  $A$  и  $B$  по формулам (11-14).
2. Составить эскиз промышленного здания с указанием зоны замкнутого тросового молниеотвода.
3. Определить высоту подвеса замкнутого тросового молниеотвода, обеспечивающего требуемую надежность (объект должен полностью вписываться в границы зоны защиты).

## Литература

1. СО 153.34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.
2. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
3. Девясилов, В.А. Охрана труда : учебник / В.А. Девясилов. - М. : ФОРУМ, 2009. – 496 с.
4. Молниезащита. Российская энциклопедия по охране труда.
5. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы.

6. ГОСТ МЭК 62305-2-2010 Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 2. Оценка риска.

**Учебное издание**

**Гарайшина Э.Г.**

кандидат педагогических наук

# **МОЛНИЕЗАЩИТА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**



# ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Корректор Габдурахимова Т.М.  
Худ.редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 3.10.2013  
Подписано в печать 15.11.2013  
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.  
Усл.печ.л. 2,5. Тираж 100.  
Заказ №51.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ»,  
г. Нижнекамск, 423570, ул.30 лет Победы, д.5а.