

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И
СПОРТА УКРАИНЫ**
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

по курсу «**Основы охраны труда**»

Тема: «Защита от статического электричества»
(для студентов всех специальностей)

Донецк 2012

УДК 614. 841. 415 (075. 8)

Конспект лекций по курсу «Основы охраны труда».

Тема: «Защита от статического электричества» (для студентов всех специальностей) / сост. Бутев В. С. – Донецк, ДонНТУ, 2012. – 27 с.

Изложенный материал в сравнительно краткой форме дает представление о природе статического электричества, особенностях его возникновения и внешних проявлениях в производственных процессах, оценки опасности статического электричества, а также о некоторых способах защиты от статического электричества. Рассмотрены вопросы электрических характеристик, основные способы защиты зданий и сооружений от прямых ударов молний и особенности конструктивного исполнения устройств молниезащиты.

Составитель: В. С. Бутев, доцент, кандидат технических наук.

1. СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО: ПРИРОДА ВОЗНИКНОВЕНИЯ, ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ

Что же собой представляет статическое электричество? Электротехника рассматривает прежде всего движение и взаимодействие электрических зарядов, т.е. электрический ток. Однако значительно раньше, примерно за тысячелетие, были известны только те электрические явления, при которых электрические заряды находились в покое и оставались на одном месте. Именно такое покоящееся, неподвижное электричество является «статическим» и именно о нём пойдет речь ниже.

Было обнаружено [1], что некоторые материалы (например, янтарь, сера, стекло) странно ведут себя, если их потереть о шерсть: они притягивают мелкие предметы, пушинки, шерстяные волокна, обрезки бумаги. Позднее наблюдалось, что от такого натертого тела проскакивала искра к другому телу, если они сближались.

Эти материалы, следовательно, становились от трения «электрическими», причем название это произошло от греческого слова «электрон», обозначающего янтарь. Было также установлены существенные различия между этими материалами: при электризации трением два стеклянных стержня друг от друга отталкиваются, а стержень из смолы, наоборот, притягивает стеклянный стержень.

Эти наблюдения привели к выводу: существует «стеклянное электричество» и «электричество смолы». Позднее стали называть заряженное тело, которое вело себя как стекло, электричеством положительным, а вещество, которое проявляло себя подобно смоле, электричеством отрицательным. Сегодня же на современном этапе развития научных знаний ни у кого не вызывает сомнений справедливость установленных в те времена положений: заряды одинаковых знаков отталкиваются, а противоположных – притягиваются.

1.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СТАТИЧЕСКОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

По физико-химическому строению все вещества электрически нейтральны, т. е. обладают равным количеством положительных и отрицательных зарядов. Тело является наэлектризованным, если содержит избыток электрических зарядов одного и того же знака.

Процесс электризации заключается в том, что одно тело приобретает или отдает другому электрические заряды преимущественно одного знака. Обмен зарядами между взаимодействующими телами происходит на границе их соприкосновения.

Наиболее ярко способность к электризации проявляется у диэлектрических материалов. Диэлектриками называются такие вещества, в которых весьма мало свободных электронов, передвижение которых не происходит

под действием электрического поля подобно тому, как это имеет место в проводниках, эти материалы оказывают большое сопротивление протеканию через них электрического тока.

В процессе электризации могут участвовать и также сами электризоваться проводниковые и полупроводниковые материалы. При этом контакт двух тел сопровождается возникновением на границе их соприкосновения двойного электрического слоя, обусловленного обменом электрическими зарядами между телами. Переход зарядов с одного тела на другое возможен вследствие разности электрического состояния взаимодействующих поверхностей, например, работ выхода электронов, температур, концентрации носителей электрического заряда и др. Обмен зарядами в ходе формирования двойного электрического слоя происходит в местах контактных точек соприкасающихся поверхностей.

Из сказанного следует, что при натирании какого-либо материала шерстью увеличивается число контактных точек соприкосновения и нагревание этого материала за счет преобразования работы трения в теплоту и изменения электрического состояния взаимодействующих поверхностей, что в свою очередь приводит к их взаимной электризации и возникновению двойного электрического слоя, который условно можно представить в виде конденсатора. После разделения каждое из тел приобретает равные по величине электрические заряды противоположного знака.

Электризация отдельных тел может происходить не только за счет трения, но и при соприкосновении диэлектрика с проводником, находящимся в электрическом поле, т.е. за счет электрической индукции. Действие на тело электрического поля вызывает разделение зарядов в проводнике, и в зоне соприкосновения его с диэлектриком возникает индуцированное электрическое поле, по величине равное и направленное противоположно внешнему электрическому полю. Разъединение проводящего тела и диэлектрика в таком поле влечет их электризацию и сохранение зарядов каждого из них.

То, что электризация является следствием соприкосновения отдельных тел, а не только за счет их трения можно доказать простым опытом. Еще Вольта демонстрировал, что две идеально гладкие пластинки из разных металлов приобретают электрический заряд, если их сначала наложить друг на друга, а затем мгновенно разъединить. Если погрузить в воду закрепленный на изоляторе парафиновый шарик, а затем быстро его вынуть, то вода зарядится электрически положительно, а парафиновый шарик – отрицательно.

Закон об отталкивании друг от друга одноименных зарядов справедлив не только для различных тел. Одноименные заряды одного тела внутри него постоянно стремятся отдалиться друг от друга. Это справедливо только для проводниковых материалов, в которых электрические заряды достаточно подвижны. Отсюда следует, что в заряженном проводнике заряды постоянно расположены на поверхности проводника.

Если внести заряд в середину проводника, например, внутрь пустотелого металлического шара, то он немедленно перейдет наружу, на внешнюю

поверхность шара. Внутренняя поверхность шара окажется свободной от зарядов.

Заряды, которые находятся на внешней поверхности шара или на другом пустотелом предмете, не могут перейти внутрь. В этом состоит принцип «клетки Фарадея». Если необходимо защитить от внешнего электрического воздействия чувствительный измерительный прибор или другой аппарат, его помещают в «клетку» из жести или мелкой проволочной сетки (экранируют). Если наружная поверхность клетки наэлектризована, то, как доказано, на внутренних стенках электрический заряд отсутствует. Благодаря защитному действию экрана пассажиры железнодорожного поезда, закрытого автомобиля или кабины самолета находятся в относительной безопасности от удара молнии.

1.2. ПРОЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Поскольку заряды статического электричества, сообщенные диэлектрическим материалом в результате электризации, оказываются как бы закрепленными в отдельных точках, отличающихся весьма низкой электропроводностью, то между наэлектризованными телами или их участками возникают силовые взаимодействия. Эти взаимодействия могут иметь как положительный эффект, так и отрицательный.

Немецкий физик Отто фон Герике (1602 - 1686) построил простую «электризирующую машину». Так назывался аппарат, с помощью которого можно было посредством трения непрерывно получать электрические заряды. Его машина представляла собой большой шар из серы, который мог свободно вращаться. Когда вращали шар и одновременно касались его рукой для «производства трения», то сера заряжалась. Вскоре эта машина была усовершенствована, что позволило получать очень высокие напряжения – до сотен тысяч вольт, но количество зарядов оставалось недостаточным для возникновения технически применяемого тока на достаточно длительное время.

Явления электростатики находят широкое применение в различных приборах, аппаратах, электронно-оптических приборах, ускорителях заряженных частиц и т. п. Примером таких приборов является вольтметр электростатической системы, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

На незначительном расстоянии друг от друга расположены три металлические пластины, средняя из которых подвижна и может отклоняться и перемещать стрелку или зеркальный отражатель отсчетного механизма. При подключении такого прибора к источнику напряжения средняя пластина будет отталкиваться от левой пластины и притягиваться к правой, перемещая стрелку прибора вдоль шкалы.

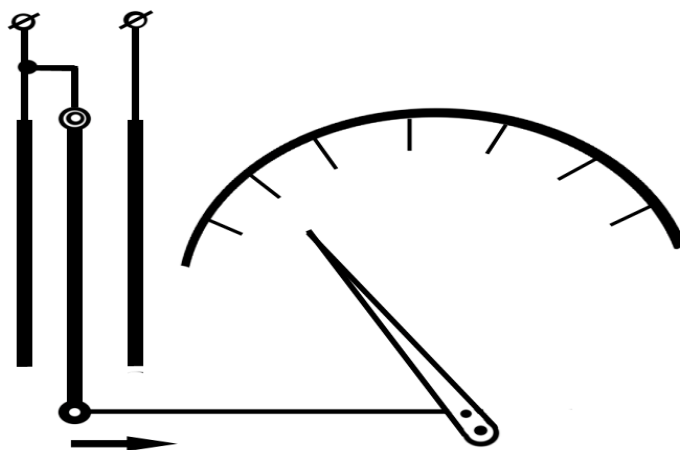


Рис.1. Схема вольтметра электростатической системы

Достоинством вольтметра электростатической системы по сравнению с вольтметрами других систем является ничтожно малое собственное потребление энергии от источника сигнала, высокое входное сопротивление, возможность использования как в цепях постоянного, так и переменного тока, широкий частотный диапазон. Чувствительность данных вольтметров, однако, относительно мала, т. к. только при напряжении около 100 В возникает достаточная сила притяжения, которая может регистрироваться прибором.

С другой стороны, заряды от трения возникают очень часто. Общеизвестно, что наши волосы и расческа при расчесывании электризуются. Вызывает неудобство тот факт, что и другие предметы склонны заряжаться. На грампластинки, компакт-диски, например, упорно оседает пыль и попытки ее стереть только ухудшают дело: пластинки от этого заряжаются еще сильнее и удерживают пыль еще крепче. Помощь в данном случае может оказать «пласток-антистатик», при вытирании пластинки которым заряд сразу снимается.

При известных обстоятельствах приводной ремень, соединяющий электродвигатель с исполнительным механизмом или машиной, заряжается до столь высокого напряжения, при котором между ремнем и заземленными частями машины могут проскакивать искры. Подобные явления могут наблюдаться на предприятиях текстильной и бумажной промышленности. Здесь эти явления очень мешают ведению технологических процессов, т. к. бумажные листы слипаются друг с другом, а нити распушиваются, притягиваются или смещаются, особенно – при обработке синтетических и шелковых материалов. Происходит это потому, что все волокна нити при прохождении через направляющий ролик электризуются.

При транспортировке непроводящих жидкостей по трубам или через сопла из изоляционных материалов может возникнуть весьма сильная электризация. Это опасно, т. к. многие непроводящие жидкости горючи (например – бензин). Именно поэтому заправщики на бензоколонках не заливают бензин в пластмассовую тару.

В современном промышленном производстве, связанном с изготовлением, обработкой и транспортированием сыпучих материалов, широко применяются такие технологические операции как просев, сушка в кипящем слое и т. п.. В этих процессах материалы, обладающие низкой электропроводностью, способны сильно электризоваться, что в ряде случаев может нарушать ход технологического процесса, а при определенных условиях создает угрозу взрыва и пожара за счет разрядов статического электричества. При некоторых операциях с нефтепродуктами происходит накопление зарядов статического электричества, которые не только препятствуют интенсификации технологических операций, но и служат источником многочисленных взрывов и пожаров на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Движение жидких углеводородов относительно твердого, жидкого или газообразного тела может привести к разделению электрических зарядов на поверхности соприкосновения. При движении жидкости по трубе слой находящийся на поверхности жидкости зарядов уносится ее потоком, а заряды противоположного знака остаются на трубе, и если металлическая труба заземлена, стекают в землю. Если трубопровод изолирован от земли или изготовлен из диэлектрических материалов, он приобретает положительный заряд, а жидкость – отрицательный.

Степень электризации нефтепродуктов зависит от состава и концентрации, содержащихся в них активных примесей, физико-химического состава нефтепродуктов, состояния внутренней поверхности трубопровода или технологического аппарата, диэлектрических свойств, вязкости и плотности жидкости, скорости движения жидкости, диаметра и длины трубопровода. Так, присутствие 0,002% механических примесей превращают инертное углеводородное топливо в электризуемое до опасных пределов. Для выяснения причин подобных последствий и определения методов предотвращения и защиты от них рассмотрим основные свойства взаимодействия электрических зарядов.

1.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Если существуют электрические заряды, то в окружающем их пространстве образуется электрическое поле, действие которого проявляется при внесении в него заряженных и нейтральных (незаряженных) предметов, как проводников, так и изоляторов.

Понятие физического поля, одного из видов материи, не следует отождествлять с математическим понятием поля некоторой функции. Термином поле вектора (скаляра) в математике обозначают область пространства, в каждой точке которого рассматриваемому вектору (скаляру) приписывается определенное значение.

В этом смысле можно говорить о поле вектора-напряженности электрического поля E , о поле скаляра-потенциала φ его отдельных точек [2].

Напряженность электрического поля E в данной точке есть векторная величина, равная отношению силы F , с которой поле действует на точечный заряд q , к величине этого заряда:

$$E = \frac{F}{q}, \text{ В/м}. \quad (1)$$

Точечным называют заряд такого тела, размеры которого весьма малы по сравнению с расстоянием от него до точки, в которой рассматривается поле. Очевидно, что плотность точечного заряда при данных условиях можно считать равной бесконечности.

А сила, действующая на заряд q может быть определена по закону Кулона:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \text{ Н}, \quad (2)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м};$$

r – расстояние между зарядами.

Напряженность электрического поля получаем подставив (2) в (1):

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \text{ В/м}. \quad (3)$$

В каждой точке электростатического поля напряженность электрического поля имеет вполне конкретное значение, определяемое конфигурацией наэлектризованного тела, его электропроводностью и характером распределения заряда по поверхности или в объеме. Графически электрическое поле зарядов изображают в виде силовых линий, густота которых пропорциональна напряженности электрического поля в данной точке пространства (рис. 2). Силовые линии зарядов всегда замкнуты и оканчиваются на зарядах противоположного знака. Если в пространстве помещен уединенный электрический заряд одного знака, то принято считать, что силовые линии создаваемого им поля замыкаются на индуцированных им зарядах противоположного знака в бесконечности. Практически за бесконечность принимают поверхность земли или заземленные предметы. Таким образом, в пространстве между наэлектризованным телом и заземленными предметами всегда имеется электрическое поле, а на поверхности заземленных предметов – индуцированные заряды противоположного знака.

Энергетические характеристики электрического поля определяются потенциалами точек этого поля. Потенциалом любой точки электрического поля является энергия, которую необходимо затратить для того, чтобы переместить единицу электрического заряда одного знака с зарядом, создающим электрическое поле, из бесконечности в данную точку поля. При этом потенциал бесконечно удаленных от зарядов точек принимается равным нулю.

Следует еще отметить одну особенность силовых линий электрического поля: эти линии в месте контакта с наэлектризованной поверхностью остаются всегда перпендикулярными к ней. Отсюда следует: чем меньше радиус кривизны наэлектризованной поверхности, тем выше напряженность электрического поля у такой поверхности. Это же подтверждает анализ математического выражения, определяющего напряженность электрического поля (3). Графически изменения напряженности поля выражается повышением плотности силовых линий в месте изменения кривизны поверхности заряженного тела (рис. 2, в).

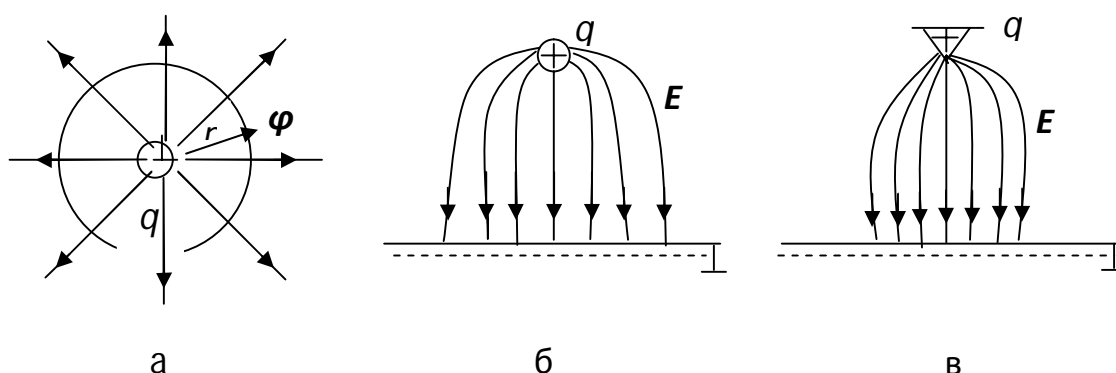


Рис. 2. Электрические поля простейших конфигураций:
 а – заряд, сосредоточенный в точке; б – заряд, расположенный над заземленной поверхностью; в – заряд тела с неодинаковой кривизной поверхности.

С другой стороны напряженность электрического поля есть не что иное, как «падение напряжения» вдоль силовой линии поля, т. е. значение напряжения, которое приходится на единицу длины силовой линии. Отсюда следует, что повышение напряжения между заряженными телами или уменьшение расстояния между ними неизменно приводит к повышению напряженности электрического поля.

Однако безграничное повышение напряженности поля невозможно в связи с тем, что при определенном значении, зависящем от материала, отделяющего заряженные тела друг от друга (чаще всего таким материалом является воздух), происходит самопроизвольное выравнивание потенциалов между зарядами в виде электрического разряда, электрических искр или молний. Значения напряженности поля, при котором происходит «пробой», имеют большое значение для электротехники, т. к. определяет, какое наивысшее напряжение может выдержать данный изоляционный материал при определенной толщине. Некоторые данные об электрической (пробивной) прочности отдельных материалов приведены в табл.1.

Приведенные данные справедливы для однородных электрических полей. В неоднородных полях эти соотношения значительно сложнее, т. к. в

них уже нет соответствия между длиной силовой линии и расстоянием между зарядами. Кроме того, силовые линии располагаются не параллельно и не одинаково плотно. Поэтому напряженность электрического поля имеет разное значение и разное направление вектора при переходе от одной точки пространства к другой в неоднородном поле.

Можно сказать, что напряженность поля больше там, где возникает наибольшая плотность силовых линий, а именно, на острых выступах, ребрах или закруглениях с малым радиусом кривизны. В этих местах возникает особая высокая напряженность электрического поля. Может возникнуть так называемое «явление острия»: в непосредственной близости от ребра или острого выступа наэлектризованной поверхности воздух становится частично электрически проводящим, и в этом месте электрический заряд начинает стекать с тела в пространство (к заземленным телам).

Таблица 1

Электрическая прочность некоторых изоляционных материалов

Материал	электрическая прочность КВ/мм	Материал	электрическая прочность КВ/мм
Воздух (при 20° С и 760 мм рт. ст.)	3,2	Фарфор электротехнический	20
Бумага	6 – 8	Парафин	30
Битум	6 – 15	Полихлорвинил (ПХВ)	50
Эбонит	25	Слюда	60 – 200

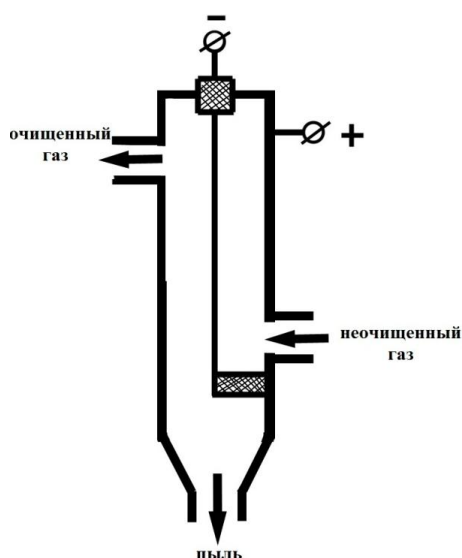


Рис. 3. Схема электрического фильтра.

Обычно это явление в технике нежелательно. Так, на высоковольтных линиях электропередач определенная доля энергии рассеивается в пространстве из-за «эффекта короны» (потерь на корону) и таким образом теряется для потребления.

Однако «эффект короны» широко используется в электрических фильтрах (рис. 3) для очистки дымовых газов от пыли. Дымовые газы проходят через металлический заземленный цилиндр. По продольной оси цилиндра натянута проволока, тщательно изолированная от стенок цилиндра. Цилиндр и проволока включаются в цепь источника высокого напряжения. В непосредственной близости от проволоки силовые линии электрического поля располагаются более плотно, чем обусловлена более высокая напряженность поля, вследствие чего из проволоки вырываются электроны. Они устремляются в радиальном направлении и при этом отрицательно заряжают пролетающие мимо частицы пыли. Стенки цилиндра, соединенные с положительным полюсом источника постоянного напряжения, притягивают эти частицы, которые, ударяясь о стенки цилиндра, отдают свой заряд и под действием сил гравитации падают вниз и удаляются из фильтра.

1.4. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СТАТИЧЕСКУЮ ЭЛЕКТРИЗАЦИЮ ДИЭЛЕКТРИКОВ

Основными характеристиками наэлектризованного тела является количество статических зарядов и характер их распределения на поверхности или в объеме диэлектрика.

На практике часто измеряют параметры электрических полей, а по величине их напряженности можно делать вывод о возможности искрообразования и вероятности воспламенения горючих смесей.

Практически все известные в лабораторной и практической деятельности способы измерения параметров статической электризации базируются на трех основных принципах:

1. Определение зарядов, потенциалов и напряженности поля статических зарядов бесконтактным методом через электрическую индукцию.
2. Оценка средней плотности статических зарядов измерением тока электризации в непрерывных процессах.
3. Определение избыточного заряда наэлектризованного вещества путем измерения напряжения на известной емкости.

Измерения через электрическую индукцию основаны на регистрации потенциала, индуцированного на проводящем теле – зонде, вносимом в электрическое поле зарядов наэлектризованных предметов. Типичная схема таких измерений приведена на рис. 4.

Средняя плотность электрического заряда σ определяется выражением:

$$\sigma = V_{np} \frac{C_u}{S}, \text{ Кл/м}^2, \quad (3)$$

где V_{np} – показания электрометра;
 C_u – емкость измерительной системы;
 S – площадь зонда.

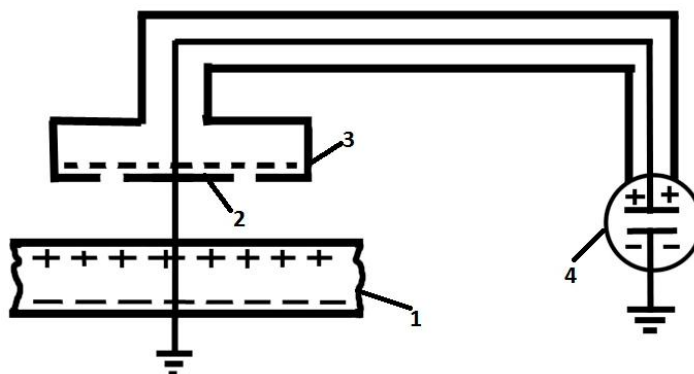


Рис. 4. Схема измерения параметров диэлектрика с помощью зонда.
 1 – диэлектрик; 2 – зонд; 3 – экран зонда и проводов; 4 – электрометр.

В качестве электрометра могут использоваться вольтметры электростатической системы С-50, СМ-2/с-95, электронные электрометры ПК-2-3А, ИСЭП-9, П2-1 и др.

Движения диэлектрической ленты вокруг металлического ролика, протекание диэлектрической жидкости в трубе или через фильтр, пневмотранспорт твердых частиц по трубам и многие другие процессы, связанные с движением диэлектрических материалов, сопровождаются с непрерывной их электризацией.

Механическое движение массы наэлектризованного диэлектрика по транспортной ленте обуславливает электризацию опорного ролика (рис. 5). И если сбегаящая с ролика лента приобретает электрический заряд, в цепи заземления ролика будет протекать ток, величина которого определяется плотностью заряда на ленте, геометрическими размерами и скоростью движения ленты. Величина этого тока I в свою очередь определяет усредненную величину плотности заряда σ на ленте:

$$\sigma = \frac{I}{bV}, \text{ Кл/м}^2, \quad (4)$$

где I – ток в цепи заземления ролика (А);
 b – ширина ролика (м);
 V – скорость движения ленты (М/с).

Аналогичным способом может быть определена и плотность заряда, который приобретает прокачиваемая по трубам неэлектропроводная жидкость. Жидкость электризуется наиболее сильно при прокачке через фильтры, причем, чем выше степень фильтрации, тем сильнее электризация. Если изоли-

рованный от трубопровода фильтр заземлить через измерительный прибор (микроамперметр), то средняя объемная плотность заряда ρ , которую приобретает жидкость в фильтре, может быть вычислена по формуле:

$$\rho = I/p, \text{ Кл/м}^2, \quad (5)$$

где p – производительность фильтра ($\text{м}^3/\text{с}$).

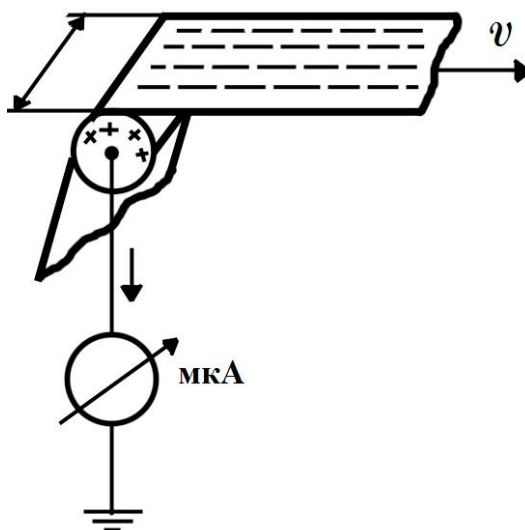


Рис. 5. Оценка плотности заряда по току электризации.

Измерения электрического заряда по напряжению на известной емкости применяется в тех случаях, когда диэлектрик электризуется за счет соударения с металлическим телом, изолированным от земли, емкость C которого заранее известна. Измерив напряжение на зажимах такой емкости V , т. е. разность потенциалов между металлическим телом и землей, можно определить и заряд диэлектрика:

$$q = C \times V, \text{ Кл.} \quad (6)$$

1.5. ЗАЩИТА ОТ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Статическое электричество породило в промышленности ряд проблем, главными из которых являются защита от пожаров и взрывов, защита от технологических помех, защита от физиологического воздействия на организм человека.

Возможность пожаров и взрывов, обусловленных статическим электричеством, возникает вследствие:

а) создания электрическими зарядами напряженности электрического поля, при которой имеет место искрообразование;

б) достижения энергии разрядов статического электричества, достаточной для воспламенения горючей смеси;

в) достижения концентрации паро-, газо- или пылевоздушной смеси, при которой возможно ее воспламенение искровыми разрядами.

Опасность воспламенения искрой паровоздушной смеси возрастает соответственно со снижением минимальной энергии воспламенения этой смеси.

Технологические помехи возникают в результате действия электростатических сил. В ходе электризации при достижении определенной плотности заряда на диэлектрике начинает сказываться силовое взаимодействие между отдельными частями перерабатываемого материала, нарушающее нормальный ход технологического процесса.

Физиологическое воздействие статического электричества на организм человека проявляется в форме электрического разряда и тока, протекающего через человека, а также электрического поля, действующего на организм человека.

Действие постоянного электрического тока на тело человека ощутимо, когда его величина не превышает 5 – 7 мА. Токи статической электризации носят ударный характер и, как правило, кратковременны. Однако эти токи, если они превышают ощутимые величины, могут представлять опасность для человека.

Искра, протекающая между телом человека и заряженным (наэлектризованным) объектом, вызывает испуг, сопровождающийся произвольными нескоординированными движениями, что может привести к различного рода травмам. Электрическое поле напряженностью 3×10^4 В/м и выше уже оказывает вредное влияние на самочувствие и состояние человека.

Способы защиты от статического электричества могут быть условно разделены на две группы. К первой из них относятся способы, использование которых предотвращает накопление статических зарядов на взаимодействующих телах. Сюда входят заземление металлических и электропроводных неметаллических элементов оборудования, увеличение поверхностей и объемной проводимости диэлектриков, а также другие способы, в том числе подбор контактных пар. Дело в том, что контактная разность потенциалов зависит от диэлектрических свойств соприкасающихся материалов, их физического состояния, величины давления, которым поверхности прижаты друг к другу, а также от влажности и температуры поверхностей и окружающей среды.

Экспериментами установлено, что из двух соприкасающихся веществ положительно заряжается то, у которого диэлектрическая проницаемость больше. Если же вещества имеют одинаковые диэлектрические проницаемости, то разделение зарядов (электризация) не происходит.

Вторая группа способов, не исключая возможности накопления зарядов, предотвращает нежелательное или опасное их проявление. В этом случае задача решается установкой на технологическом оборудовании нейтрализаторов зарядов статического электричества, а также другими способами, в том

числе проведением технологических процессов в средах, в которых разряды статического электричества не вызывают пожаров и взрывов.

Заземление. Все проводящие элементы оборудования и электропроводные неметаллические предметы должны быть заземлены независимо от того, применяются ли другие средства защиты от статического электричества. При этом заземляющие устройства для защиты от статического электричества, как правило, объединяются с защитными заземляющими устройствами.

Увеличение поверхностной и объемной электропроводности диэлектрика. Электропроводность диэлектрика определяет его способность отводить статические заряды, поэтому повышение электропроводности является одним из эффективных средств борьбы с вредными проявлениями статического электричества.

Известен ряд способов увеличения поверхностной и объемной электропроводности для твердых и жидких диэлектриков:

- увлажнение воздуха, т. е. повышение его относительной влажности до 65 – 75 %, если это возможно по условиям технологического процесса;
- химическая обработка поверхности кислотами, электропроводные покрытия углеродом, металлами или их окислами;
- антистатические покрытия, которые способны поглощать и удерживать влагу, создавая на поверхности диэлектрика проводящую пленку;
- введение в массу твердого диэлектрика электропроводящих наполнителей (ацетиленовой сажи, алюминиевой пудры, графита, цинковой пыли), при этом механические характеристики изделий (трубы низкого давления из полиэтилена) практически не меняются. Введение ацетиленовой сажи в массу резины делают ее антистатической, что позволяет ее использовать для изготовления клиновых ремней, конвейерных лент, автомобильных шин, деталей пылесосов, напорных рукавов для перекачки топлива и растворителей.

Нейтрализация зарядов на поверхности наэлектризованного диэлектрика осуществляется путем ионизации воздуха и направленного движения ионов к поверхности диэлектрика.

Ионизация воздуха выполняется либо силовым электрическим полем, либо радиоактивным (ионизирующим) излучением, а ионизирующие воздух устройства называются нейтрализаторами статических зарядов, принцип работы которых сводится к тому, что они создают вблизи наэлектризованного диэлектрика ионы, нейтрализующего его заряды.

По принципу действия нейтрализаторы подразделяются на нейтрализаторы коронного заряда (индукционные) и высоковольтные с питанием от постороннего источника, радиоактивные, комбинированные и аэродинамические.

Индукционные нейтрализаторы статических зарядов конструктивно более просты и представляют собой металлические или диэлектрические пластины, на которых закреплены электроды (остроконечные заземленные стержни, тонкие проволоочки и т. п.).

Электрическое поле у электродов создается зарядами наэлектризованного материала, под действием которого на острие разрядного электрода происходит ударная ионизация, в результате чего образуются ионы обоих знаков (рис. 6).

Эффективность действия индукционных нейтрализаторов зависит от уменьшения радиуса кривизны разрядного электрода, их количества и оптимального (минимально возможного по условиям технологического процесса) расстояния между электродами и наэлектризованным материалом.

Индукционные нейтрализаторы не «снимают» полностью заряд с перерабатываемого материала. Остаточная поверхностная плотность заряда на материале за индукционным нейтрализатором обычно не превышает $(0,6 - 6) \times 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$, при которой технологических помех от статического электричества уже не возникает.

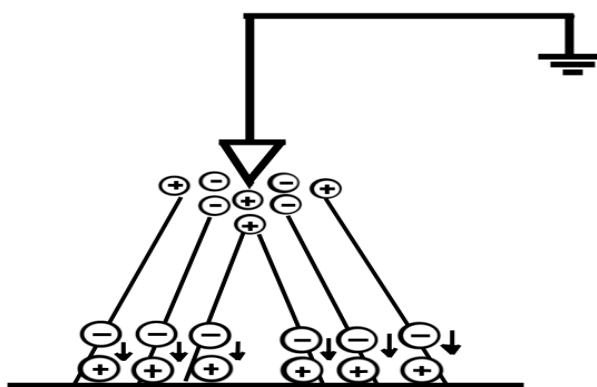


Рис. 6. Схема нейтрализации зарядов индукционным нейтрализатором.

Высоковольтные нейтрализаторы статических зарядов отличаются от индукционного источником генерации ионов – за счёт коронирования разрядных электродов под действием высокого напряжения, подаваемого на них от постороннего источника (рис. 7). Именно это отличие обеспечивает устойчивую генерацию ионов независимо от наэлектризованности материала. Это обстоятельство гарантирует достаточно высокую эффективность действия таких нейтрализаторов при любых, в том числе и малых, величинах заряда на наэлектризованной поверхности. При подаче высокого напряжения на разрядный игольчатый электрод в воздушном промежутке развивается коронный заряд, и около электрода возникают ионы обоих знаков. Ионы, имеющие знак, противоположный знаку наэлектризованного материала, под действием электрического поля движутся в направлении наэлектризованного материала и оседают на нём, нейтрализуя поверхностный заряд диэлектрика.

Если индукционный нейтрализатор работоспособен при расстояниях между материалом и разрядным электродом в 5...20 мм, то высоковольтный нейтрализатор – на расстояниях от 200 до 600 мм. Но при этом высоковольтные нейтрализаторы запрещены к использованию на взрывоопасных объектах, т.к. коронный разряд и искра могут быть причиной взрыва и пожара.

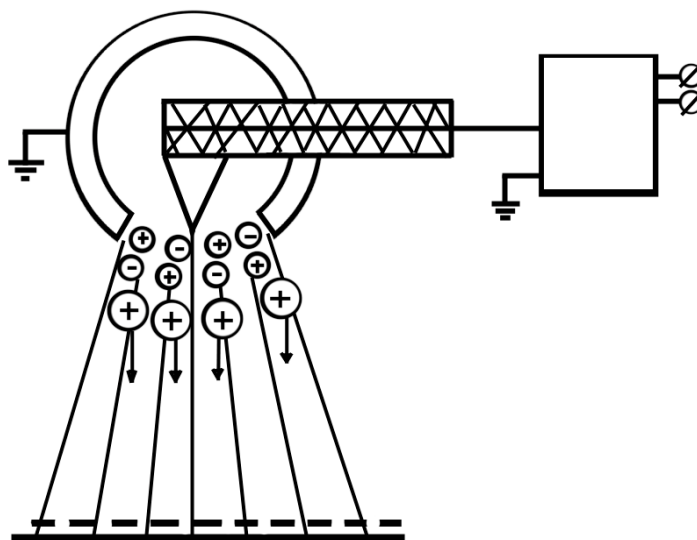


Рис.7. Схема нейтрализации зарядов высоковольтным нейтрализатором.

Радиоактивные нейтрализаторы статического электричества находят всё более широкое применение во взрывоопасных производствах химической, целлюлозно-бумажной, текстильной и других отраслях промышленности, где недопустимо применение высоковольтных источников.

Эти нейтрализаторы просты в конструктивном исполнении, не требуют источников питания. Выполняются чаще всего в виде плоских длинных пластинок или маленьких дисков, одна сторона которых покрыта радиоактивным материалом, вызывающим α – или β – излучение.

Нейтрализаторы с α – излучением обладают наибольшей проникающей способностью: одна α – частица на пути в 1 см создаёт примерно 20 тыс. пар ионов. Глубина проникновения α – частиц в воздухе составляет в среднем 2,5 – 3,5 см, что делает безопасным применение таких методов нейтрализации зарядов для обслуживающего персонала.

Ионизирующая способность β – частиц примерно в 100 раз меньше, чем у α – частиц. В воздухе β – частицы обладают большей проникающей способностью, и это определяет их область применения, т. е. в установках, где перерабатываются и транспортируются мелкодисперсные вещества и гранулы полимеров, например, в псевдокипящем слое.

Комбинированные нейтрализаторы в своей конструкции объединяют как индукционные, так и радиоактивные нейтрализаторы. Промышленно выпускаются комбинированные нейтрализаторы следующих типов: ПРИ-3, НСЭ-200А, ИН-5 и др.

Аэродинамические нейтрализаторы отличаются тем, что ионы, полученные в ионизирующей камере, подаются в зону нейтрализации зарядов потоком воздуха. Эффективность нейтрализующих зарядов их значительно

выше по сравнению с рассмотренными ранее, т. к. нейтрализующая способность меньше зависит от расстояния до наэлектризованного материала, от плотности заряда, от степени запылённости среды и других факторов.

К некоторым другим способам защиты от статического электричества можно отнести:

- подбор контактных пар, когда контактирующие поверхности с целью уменьшения интенсивности генерации зарядов изготавливаются из однотипных материалов или материалов с близкими по значению диэлектрическими характеристиками;

- снижение скорости технологических процессов (снизить величину электростатических зарядов возможно при условии, если удельное электрическое сопротивление меньше $10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ [3]);

- корректировка технологических операций (исключение разбрызгивания жидкости, исключение пылеобразования и т.п.);

- проведение технологических процессов в средах, в которых электрические разряды не представляют опасности (проведение операций в атмосфере газа, не поддерживающего горение, например, азота).

Одним из наиболее эффективных методов, позволяющих устранить электризацию нефтепродуктов, – введение специальных антистатических веществ (присадок). Добавление присадок в сотых и тысячных долях процента позволяет на несколько порядков уменьшить удельное электрическое сопротивление нефтепродуктов и обезопасить операции с ними.

2. МОЛНИЕЗАЩИТА

2.1. ПРИРОДА МОЛНИИ

Природа молнии привлекала внимание исследователей достаточно давно. И первым трактатом по проблемам молнии, вышедшим на русском языке в 1753г., принадлежит отцу русской науки М.В. Ломоносову. Его «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих» являлось одной из крупнейших работ в области исследования, как молнии, так и электричества. Ломоносов совместно с известным в то время учёным Г. В. Рихманом, занимаясь изучением атмосферных явлений, производили заряд электроскопа от грозового облака, чем обосновали электростатическую природу молнии.

Молния – это электрический разряд в атмосфере между разноимённо заряженными частями облака или между облаком и землёй. До появления разряда происходит накопление и разделение электрических зарядов в облаке. Этому способствует аэродинамические и термические процессы – восходящие воздушные потоки, конденсация паров на высоте от 1 до 6 км, образования капель, их дробление и т.п. Вертикальные потоки теплого воздуха могут создаваться при усиленном местном нагреве почвы или во время вторжения

клиновидной массы холодного воздуха. Именно поэтому грозы бывают чаще всего в тёплое время года.

По теории «избирательного столкновения» образование зарядов происходит следующим образом. Нормально земля заряжена отрицательно, что обуславливает электрическое поле земли с напряжённостью E_n . Второй «обкладкой» этого громадного сферического конденсатора является положительно заряженная ионосфера. Под действием E_n , падающая капля поляризуется, в нижней её части появляется положительный заряд, в верхней – отрицательный. Движущиеся в восходящем потоке воздуха электроны притягиваются нижней частью капли, а более инерционные положительные ионы воздуха отталкиваются и уносятся, далее сосредотачиваясь вверху. В результате капли получают суммарный отрицательный заряд и наполняют нижнюю часть облака со значительной объемной плотностью, которая индуцирует на поверхности земли положительный заряд, что влечёт появление местного грозового электрического поля с напряжённостью, достигающей иногда 100 – 200 кВ/м.

Разряд облака имеет преимущественно вид линейной молнии, начинающийся в большинстве случаев из облака, носит ступенчатый характер и состоит из начального и главного этапов. Разряд обычно начинается с прорастания от облака к земле слабосветящегося канала, который окружен достаточно обширной зоной ионизированного воздуха, созданной его электрическим полем. По мере приближения этого канала к земле напряжённость электрического поля на вершине возвышающегося объекта постепенно увеличивается и может превысить критическое значение, и это приводит к развитию встречного разряда. Когда эти два канала соприкоснутся, начнётся стадия главного разряда. Этот процесс протекает со скоростью $(15-150) \times 10^6$ м/с [4] и сопровождается интенсивным свечением.

В канале главного разряда в течение малого промежутка времени (до 100 мкс) возникает весьма большой ток, разогревающий канал до температуры 20000 – 35000°С. Воздух в канале быстро расширяется и распространяется ударная волна, воспринимаемая как гром.

2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЛНИИ

Для устройства молниезащиты необходимо знать основные электрические характеристики молнии: амплитуду I_m и максимальную крутизну тока α , длину фронта τ_ϕ и длину волны тока τ_σ (рис. 8).

Амплитуда тока молнии I_m – максимальное значение тока в главном разряде. Амплитуда тока колеблется в широком диапазоне: от 50 кА до 200 – 250 кА и более, при расчётах определяется вероятностными методами, а для ответственных зданий и сооружений – принимается равной 200 кА.

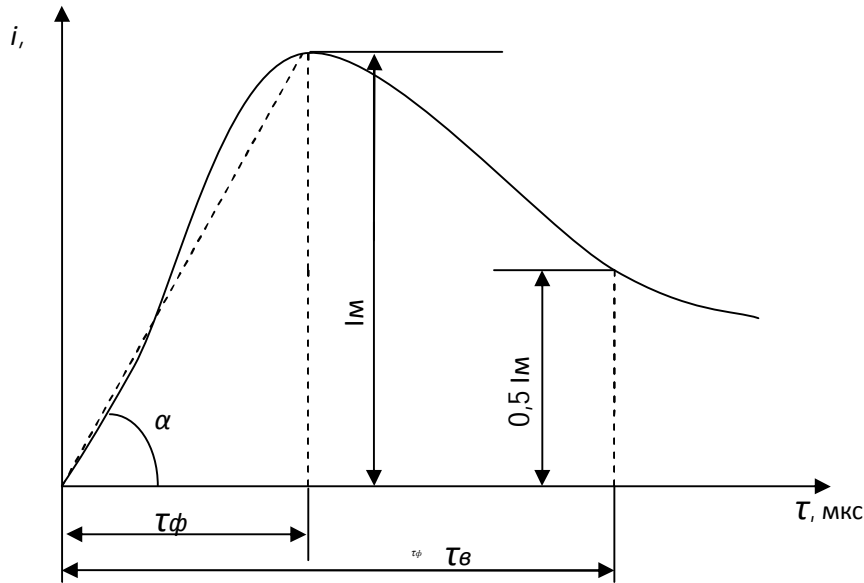


Рис.8. Изменение тока молнии i_m во времени.

Крутизна фронта тока молнии определяется скоростью нарастания её тока, т.е.

$$a = \frac{dI_m}{d\tau}, \text{ кА/мкс} \quad (7)$$

Этот параметр молнии обуславливает появление электродвижущих сил и разностей потенциалов на конструкциях, трубопроводах, проводах линий электропередач, в электросетях как внутри зданий, так и в наружных установках, даже не подвергающихся прямому удару молнии – изменяется от 5-10 кА/мкс до 80 кА/мкс. В расчётах крутизна фронта тока молнии принимается равной 60 кА/мкс.

Длина фронта тока молнии τ_ϕ определяется промежутком времени от начала нарастания тока до достижения амплитудного значения и может быть измерена непосредственно по осциллограмме тока молнии или определена из соотношения амплитуды и крутизны фронта тока.

Длина волны тока молнии τ_θ условно принимается равной времени от начала нарастания тока до достижения им величины $0,5 I_m$ на спадающей ветви тока. Значения τ_θ колеблется от 20 до 100 мкс, а в расчётах принимается равной 50 мкс.

Воздействие молнии может быть двояким. Во-первых, она может поражать здания и сооружения непосредственно и такое поражение называется прямым ударом молнии. Во-вторых, молния может оказывать вторичное воздействие, обусловленное электростатической и электромагнитной индук-

цией, вследствие чего возможны появления высоких потенциалов в наземных и подземных зданиях и сооружениях, коммуникациях и линиях электропередач.

Прямой удар молнии в незащищённое здание или сооружение, сопровождающийся протеканием через них тока молнии, может привести к значительным разрушениям, авариям, убыткам и представляет серьёзную опасность для жизни людей. Особенно опасны удары молнии во взрывоопасные здания и установки (газгольдеры, резервуары для хранения нефтепродуктов, сжиженных газов, химических продуктов). Молния может прожигать металлический лист толщиной 4 – 5 мм, арматуру железобетонных конструкций. Ток молнии вызывает резкое повышение температуры в узком канале пробоя, вследствие чего возникает высокое давление в этих зонах, происходит разрушение элементов сооружений, что может оказаться критичным и вызвать взрывы и пожары.

Поражение людей и животных происходит не только при прямом ударе молнии, но и при прикосновении их к элементам зданий или оборудования, в которых протекает ток молнии или на которых появляется высокий потенциал, при воздействии шагового напряжения, появляющегося при растекании тока молнии через заземлитель или через поражённый соседний объект на земле. Поэтому во время грозы не следует укрываться под деревьями и располагаться возле высоких объектов.

Вторичное воздействие молнии сопровождается появлением высоких потенциалов на конструкциях трубопроводов и проводах внутри помещений и сооружений, не подвергающихся непосредственному прямому удару, вследствие электростатической и электромагнитной индукции.

Накопление электрических зарядов в грозовом облаке и частичное их перемещение в канал молнии вызывает скопление зарядов противоположного знака на поверхности земли и наземных объектов. В стадии главного разряда разрушение электрического поля канала происходит настолько быстро, что могут возникнуть значительные по величине разности потенциалов между металлическими конструкциями, на которых за счёт электростатической индукции скопились заряды, и землёй. Возникающие разности потенциалов, даже при ударах молнии на расстоянии 100м от здания, могут достигать десятков киловольт и способны вызвать искры в воздушных промежутках. Несмотря на сравнительно малую энергию таких искр, они могут быть причиной взрывов горючих смесей газов, паров и пыли.

На проводах линий электропередач и связи индуцированные заряды растекаются вдоль линии в виде электромагнитной волны и создают потенциалы по отношению к земле в десятки и сотни киловольт, что может привести к разрушению электрооборудования, питающегося от этих линий.

Кроме того, разряд облака сопровождается появлением в пространстве быстро изменяющегося магнитного поля, индуцирующего (согласно закону электромагнитной индукции) электродвижущую силу в контурах, образованных из различных протяженных металлических предметов (трубопроводы,

электрические проводки и т.п.). Если контур замкнут, то эта электродвижущая сила вызывает в нём протекание электрического тока, который, в свою очередь, является причиной нагревания элементов такого контура. В местах соединения (например, во фланцах трубопроводов) электродвижущая сила может вызывать появление искрения.

Величина электродвижущей силы электромагнитной взаимоиндукции зависит от параметров тока молнии, размеров и конфигурации контура, и взаимного расположения канала молнии и самого контура (параллельно или перпендикулярно).

Максимальное значение электродвижущей силы взаимоиндукции E_m может быть определено:

$$E_m = M \frac{dI_m}{dt} = M \frac{I_m}{\tau \varphi'} \quad (8)$$

где $M = 2c \ln \frac{a+b}{c} 10^{-9}$ (Гн) – коэффициент взаимоиндукции между каналом молнии и контуром (здесь a – расстояние от канала молнии до контура, b, c – ширина и длина контура в см)

Исследования [4] показывают, что энергия искр, вызванных электромагнитной индукцией, в 5–14 раз превышает минимальную энергию, необходимую для воспламенения даже трудновоспламеняемых воздушных взрывоопасных смесей и в $10^2 – 10^5$ раз паровоздушных смесей.

2.3. ЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРЯМЫХ УДАРОВ МОЛНИИ

Здания и сооружения от прямых ударов молнии защищают молниеотводами. Любой молниеотвод состоит из 3-х основных частей: молниеприёмника, токоотвода (спуска), соединяющего молниеприёмник с заземлителем, и заземлителя, через который ток молнии стекает в землю. Вертикальная конструкция (столб или мачта) или часть сооружения для закрепления молниеприёмника и токоотвода, называется опорой молниеотвода.

Защитное действие молниеотвода основано на свойстве молнии поражать наиболее высокие и хорошо заземлённые металлические сооружения. Благодаря этому защищаемый объект не поражается молнией, если он полностью входит в зону защиты молниеотвода.

Зона защиты молниеотвода – это часть пространства, примыкающая к молниеотводу, внутри которого здания или сооружения защищены от прямых ударов молнии с определённой (0,995% – зона А и 95% – зона В) степенью надёжности.

По типу молниеприёмников молниеотводы подразделяются на стержневые, тросовые и сеточные; по количеству и общей зоне защиты – на одиночные, двоичные и многократные. Кроме того, различают молниеотводы отдельно стоящие, изолированные и неизолированные от защищаемого здания.

Наиболее часто используются стержневые молниеотводы, а в линиях электропередач – тросовые (грозозащитный трос).

При устройстве молниезащиты следует учитывать особенности защищаемого здания.

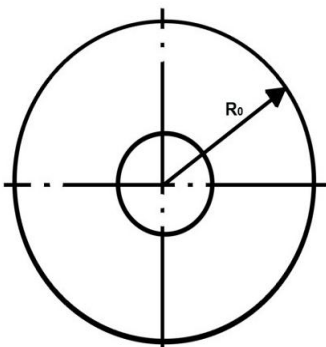
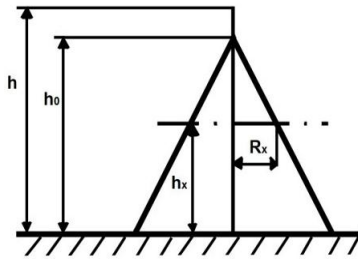


Рис. 9. Зона защиты стержневого молниеотвода.

Одиночный стержневой молниеотвод.

Его зона защиты при высоте $h \leq 150$ м представляет собой конус (рис. 9). Вершина конуса находится на высоте $h_0 < h$. На уровне земли зона защиты образует круг радиусом R_0 . Горизонтальное сечение зоны защиты по высоте защитного уровня сооружения h_x представляет собой круг радиуса R_x . Эти величины определяются из следующих соотношений:

Зона типа А:

$$h_0 = 0,85 h; \quad (9)$$

$$R_0 = (1,1 - 0,002h)h; \quad (10)$$

$$R_x = (1,1 - 0,002h)\left(h - \frac{h_x}{0,92}\right). \quad (11)$$

Зона типа В:

$$h_0 = 0,92h; \quad (12)$$

$$R_0 = 1,5h; \quad (13)$$

$$R_x = 1,5\left(h - \frac{h_x}{0,92}\right). \quad (14)$$

Для зоны типа В высота молниеотвода при известных величинах h_x и R_x может быть определена:

$$h = \frac{R_x + 1,63h_x}{1,5}. \quad (15)$$

Защита тросом или тросовым молниеотводом обычно применяется для предотвращения и ограничения перенапряжений в линиях электропередач при прямом ударе молнии, которое может достигать значений 300-400 кВ.

Защитный трос располагается над проводами линии электропередач, кренится к её опорам и заземляется во многих точках. Зона защиты троса показана на рис. 10. При высоте подвеса троса $h \leq 30$ м [5]:

$$R_x = 0,8h \frac{h-h_x}{h+h_x}, \quad (16)$$

где h – высота подвеса троса;

h_x – высота подвеса защищаемых проводов.

Зона защиты представляет собой полосу, шириной $2R_x$

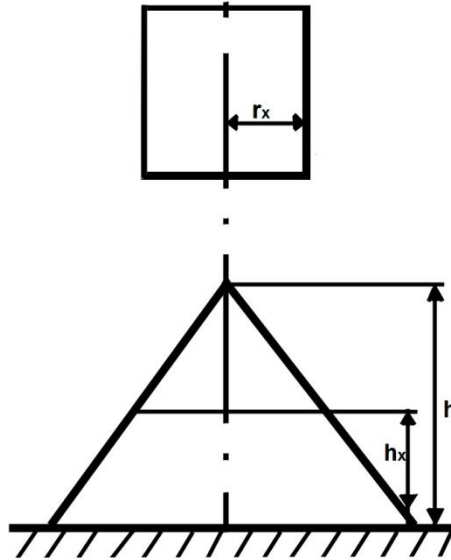


Рис.10. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода.

Устройство грозозащитного троса не обеспечивает на должном уровне защиту от перенапряжений в линиях электропередач. Для ограничений таких перенапряжений и защиты изоляции электроустановок от пробоя используются специальные аппараты, называемые разрядниками, которые подразделяются на вентильные и трубчатые. Разрядник разряжает волну перенапряжения на землю с последующим (в первый же полупериод, при переходе питающего напряжения через нулевое значение) немедленным восстановлением изоляции сети по отношению к земле.

2.4. Конструктивное выполнение молниезащиты

Молниеприёмники стержневых молниеотводов изготавливаются из покрытой антикоррозийной защитой (оцинкование, лужение, покраска) полосовой, круглой или угловой стали либо из некондиционных водогазопроводных труб. Наименьшее сечение молниеприёмника должно быть 100 мм^2 , что позволяет выдержать чрезвычайно большие токи молнии.

Токоотводы изготавливают из стали любого профиля. Они также должны быть оцинкованы или окрашены для предохранения от коррозии. Наименьшее сечение токоотводов из угловой или полосовой стали, расположенных вне сооружения на воздухе, должно быть не меньше 48 мм^2 . Токоотводами могут использоваться металлические элементы сооружений, пожарные лест-

ницы, колонны, электрически надёжно связанные по всей длине, т.е. должны быть сварными (внахлест).

Токоотводы от молниеприёмников прокладываются к заземлителю кратчайшим путём. От входов в здания их нужно располагать так, чтобы с ними не могли соприкоснуться люди.

Заземлители молниеотводов практически ничем не отличаются от соответствующих элементов защитного заземления. Важной характеристикой заземлителей молниеотводов является сопротивление растеканию тока молнии r_u – импульсное сопротивление заземлителя, причём это сопротивление может существенно отличаться от сопротивления растеканию тока промышленной частоты r_z . Эти сопротивления связаны соотношением:

$$r_u = \alpha_u r_z \quad (17)$$

где α_u – импульсный коэффициент.

Различие между r_u и r_z определяется параметрами тока молнии (большой крутизной фронта, амплитудой и кратковременностью), а также электрическими процессами в грунте. Так как плотность тока молнии велика, то вокруг заземлителя напряженность электрического поля достигает значений пробивной напряжённости для грунта. Пробой грунта увеличивает площадь заземлителя, что влечёт снижение его сопротивления. Данный эффект учитывается импульсным коэффициентом α_u , величина которого тем меньше, чем выше удельное сопротивление грунта. Это благоприятное явление особенно проявляется у вертикальных и горизонтальных заземлителей длиной до 10 м, для которых $\alpha_u \leq 1$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конрад В. Электротехника кратко и наглядно. – Л.: Энергия, 1980. – 200 с.
2. Нейман Л. Р., Демирчан К. С. Теоретические основы электротехники. Том 2. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
3. Максимов Б. К., Обух А. А. Статическое электричество в промышленности и защита от него. – М.: Энергия, 1978. – 80 с.
4. Черкасов В. Н. Защита взрывоопасных сооружений от молний и статического электричества. – М.: Стройиздат, 1973 – 62 с.
5. Князевский Б. А., Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Высшая школа, 1969. – 512 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Статическое электричество: природа возникновения, основные свойства и средства защиты.....	3
1.1 Основные сведения о статическом электричестве.....	3
1.2 Проявление электрических явлений.....	5
1.3 Электрическое поле.....	7
1.4 Измерение параметров, характеризующих статическую электризацию диэлектриков.....	11
1.5 Защита от статического электричества.....	13
2 Молниезащита.....	18
2.1 Природа молнии	18
2.2 Электрические характеристики молнии.....	19
2.3 Защита зданий и сооружений от прямых молний.....	22
2.4 Конструктивное выполнение молниезащиты.....	24
Список использованной литературы... ..	26