

Молниезащита по-новому.

Изучаем опыт – создаем инновации



В статье подробно анализируются причины возникновения пожара во время грозы на промышленных объектах. Показано, что пожар чаще вызывается не прямым ударом молнии, а ее вторичными воздействиями. Приведен краткий обзор традиционных решений молниезащиты с их преимуществами и недостатками. Представлен изолированный молниеприемник «Бипрон – МЗ-И», способный эффективно нейтрализовать прямой удар молнии и минимизировать влияние факторов ее вторичного воздействия.

ООО «Бипрон», г. о. Солнечногорск, Московская обл.

Современная промышленность располагает достаточным количеством примеров пагубного воздействия грозовых разрядов, приведших к пожарам и разрушениям. Ежегодно предприятия несут многомиллионные убытки в результате коротких замыканий на энергообъектах, воздействий разрядов молний и статического электричества. Есть ли эффективные пути решения?

Существующие нормы и стандарты по молниезащите, например СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений и промышленных коммуникаций» и другие документы, описывают эту проблему и содержат общие правила и рекомендации, од-

нако не дают универсальных решений, которые можно использовать в любых (большинстве) ситуациях.

Рассмотрим отечественные инновационные разработки компании «Бипрон», которые появились в результате использования как советских, так и заимствованных знаний.

Причины, механизм, предпосылки

Чтобы понять потенциальную причину возникновения пожара, инициированного молнией, необходимо разобраться в механизме самой молнии как явления и ее вторичных воздействиях.

Грозовое облако индуцирует очень сильный электростатический потенциал через определенные внутренние

механизмы. Эксперты оценивают его эквивалент в 10 вольт. Известно, что конечный потенциал электростатического поля в нижней части грозового облака достигает объема в 10–30 тысяч вольт на метр. Также установлено, что это поле накапливает заряд на поверхности земли под грозовым облаком такого же потенциала, но противоположный по знаку. Результат этого взаимодействия образует «электрическую тень» грозового облака и показан на рис. 1 и 2.

По мере движения грозового облака перемещается и электрическая тень. При вхождении в зону расположения объекта облако формирует заряд на всем, что находится на пути его

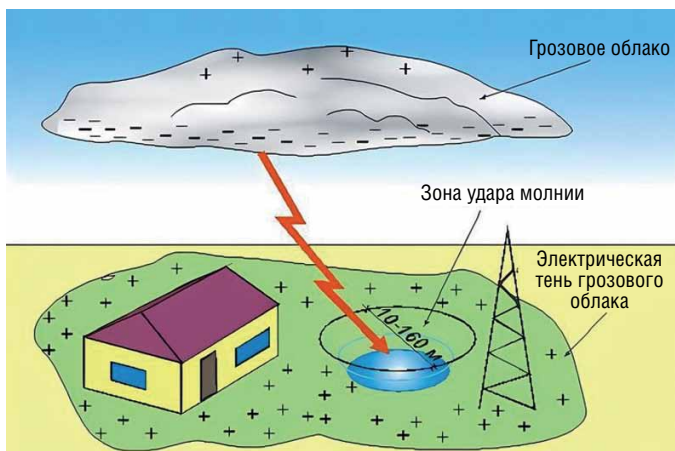


Рис. 1. Зона грозового разряда

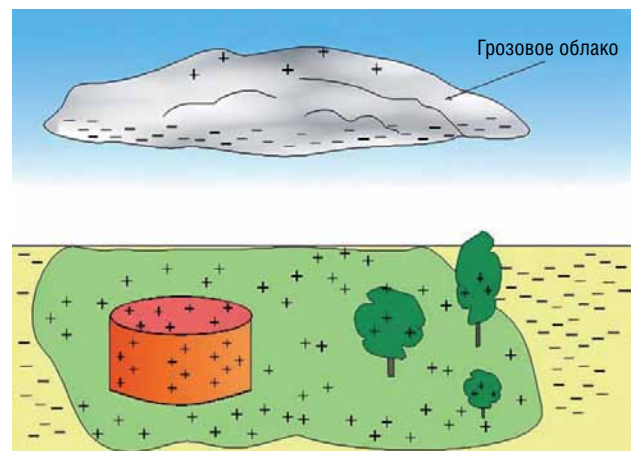


Рис. 2. Грозовой феномен: перемещение электрической тени вместе с грозовым облаком

следования, включая, разумеется, легковоспламеняющиеся материалы, в том числе топливные резервуары и другие конструкции. Конечное напряжение может достигать свыше миллиона вольт по отношению к области, лежащей вне грозового облака. Когда заряд в облаке достигает критического уровня, конечный электрический потенциал заставляет воздух ниже грозового облака ионизироваться, формируя нисходящие ионизационные каналы под названием «лидеры грозового разряда», имеющие длину от 10 до 160 метров. По мере продвижения искровых лидеров к земле переносится с ними и грозовой заряд (вольтаж) облака (рис. 1). Одновременно формируются восходящие стримеры, направляющиеся к нисходящим лидерам. В момент возникновения их первого контакта цепь замыкается и происходит нейтрализация заряда — молния. Данный механизм можно представить в виде провода, спускающегося от облака к земле. Как только он коснется первого стримера (проводника), цепь замкнется. Вне зависимости от того, является ли генерирующая стример структура естественным проводником электроэнергии или нет, показателей измеряемого потока электричества в самом стримере не существует.

Нейтрализация заряда — это процесс переноса электронов от тела с их избытком (в данном случае это грозовое облако) к другому телу с их дефицитом — в область под грозовым облаком (рис. 3).

Приблизительное время жизни молнии — 20 микросекунд, и часто в канале разряда возникает множество

всплесков напряжения. Это происходит из-за случайных центров связанного заряда, перемещающихся к каналу разряда из разных местоположений и с разного расстояния. Количество этих центров может варьироваться от 1 до 26 на один канал разряда.

Причины возгорания при грозовом разряде

Из описанного физического явления следует, что существуют как минимум две основные причины возгорания при грозовом разряде:

► *прямое попадание молнии* в объект, где присутствуют легковоспламеняющиеся материалы, которые каким-либо образом подвергаются сильному тепловому воздействию удара молнии или канала разряда;

► *вторичные воздействия молнии*, которые включают четыре явления: наведенный высокий потенциал, электромагнитный и электростатический импульсы, а также блуждающие земные токи.

Сосредоточим внимание на самых распространенных из них — это так называемый наведенный потенциал и последующая искровая дуга. Статистика показывает, что вторичные воздействия грозового разряда гораздо чаще, чем принято считать, являются основной причиной возгораний нефтехранилищ и подобных строений. Такие пожары нередко затухают сами собой после сгорания свободных или изолированных нефтяных паров. Но распознать вторичные воздействия как причину или механизм пожара непросто. Большинство из существующих источников

описывают более привычные прямые попадания молнии.

Данное утверждение сомнительно по следующей причине. Вторичные воздействия молнии возникают из-за того, что при разряде молнии на изолированных металлических конструкциях вследствие электростатической индукции возникают высокие потенциалы, а в протяженных металлических элементах (трубопроводах, кабелях и т. п.) из-за электромагнитной индукции наводятся большие напряжения, величина которых зависит от мощности электроустановок, их габаритов и конфигурации, взаимного расположения и т. д. Эти явления на практике не фиксируются, но при отсутствии факта прямого попадания молнии (который установлен) именно вторичные воздействия создают нестабильное (переходное) напряжение, являющееся причиной возгораний. Рассмотрим эти факторы подробнее.

Риск прямого удара молнии

Вероятность прямого попадания молнии в какое-либо строение может быть рассчитана по существующим методикам: из относительного количества грозовых дней в году в данной местности, периметра и высоты здания, а также других параметров, относящихся к расположению объекта. Длина лидера молнии в канале разряда является величиной случайной до того момента, пока он не достигнет предельно малого расстояния от земной поверхности (рис. 1). На этой стадии точка грозового разряда зависит от конкурирующих восходящих стримеров. Чтобы попасть под удар

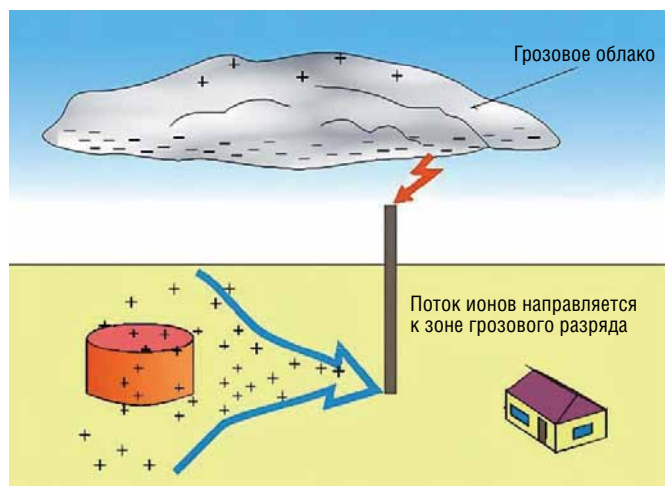


Рис. 3. Процесс нейтрализации грозового разряда

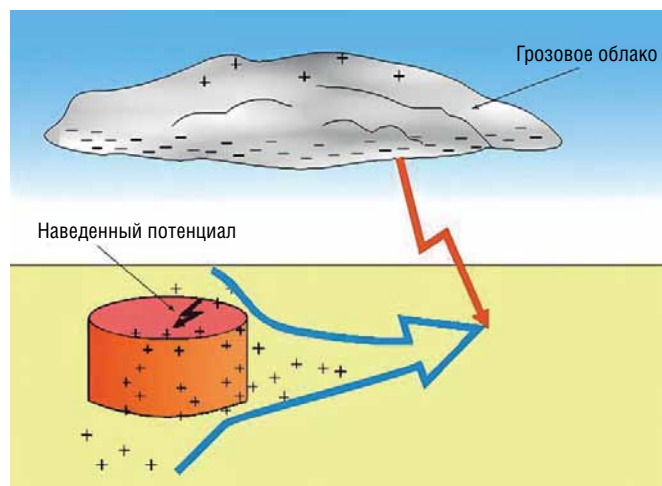


Рис. 4. Принцип возникновения связанного разряда после удара молнии

молнии, объект обязан быть внутри зоны удара, которая может быть диаметром от 10 метров. Это означает, что канал разряда будет расположен внутри этой зоны, которая и должна быть защищена.

Если прямой удар молнии не вызвал пожара, то, вероятнее всего, его вызовут вторичные проявления молнии. Искровая дуга от наведенного потенциала в незамкнутых металлических контурах является проблемой, требующей отдельного внимания.

Наведенный потенциал как результат возникновения искровой дуги в незамкнутых контурах

Как отмечалось выше, грозовые разряды несут потенциальную опасность для объектов, расположенных в зоне электрической тени грозового облака. Однако вероятность прямого попадания молнии в объект мала по сравнению с риском вторичных воздействий. Самыми распространенными из этих воздействий являются наведенный потенциал (рис. 4) и последующая искровая дуга.

Вероятный риск возможно оценить, сравнив размер площади, которая будет подвергнута воздействию одного из четырех известных вторичных факторов, с размером зоны удара при прямом попадании молнии. Например, если гроза охватывает площадь в пределах от 15 до 150 квадратных километров, то при этом грозовое облако индуцирует заряд на земной поверхности, который взаимодействует (определяется) со всеми строениями, находящимися внутри этой зоны, вне зависимости от того, являются они проводниками или нет. Выше описано, что разряд молнии ограничен каналом радиусом 10–160 метров. Также известно и то, что длина лидера и конечная величина молнии являются показателями случайными.

Данное сравнение наглядно демонстрирует: вторичные воздействия, в особенности наведенный потенциал и последующая искровая дуга, связаны с большим и более вероятным риском возникновения пожара, чем прямое попадание молнии. Точнее это может быть выражено соотношением 1000:1. Из чего следует, что возникновение пожара из-за воздействия вторичных факторов в 1000 раз больше, чем от прямого попадания молнии. Однако справедливо и то, что при пря-

мом попадании молнии вероятность возникновения пожара тоже чрезмерно высока.

Для того чтобы понимать опасность, которую несут с собой наведенный потенциал и последующая искровая дуга, необходимо знать механизмы их формирования и причины возникновения пожара при вторичной дуге. Как показано на рис. 2, грозовое облако индуцирует электрический потенциал на всем, что находится под ним. Поскольку нефтепродукты обычно хранятся в металлических резервуарах, являющихся проводником, сами резервуары и все, что находится внутри них, принимают такой же потенциал заряда, как и окружающая земная поверхность. Здесь следует отметить, что земная поверхность обычно имеет отрицательный заряд, что связано с ионосферой земли. При возникновении грозового элемента между ними индуцируется положительный потенциал емкостью гораздо выше, чем замещаемый отрицательный, как изображено на рисунке. Поэтому металлический резервуар имеет такой же потенциал, как и земля: положительный до грозового разряда и отрицательный после разряда.

Электростатический и электромагнитный импульсы, как вторичные факторы, индуцируют высокие переходные напряжения в каких-либо проводниках, присутствующих внутри площади влияния грозы. Эти переходные напряжения будут причиной возникновения электрических дуг между проводами, металлическими трубами или иными токопроводящими конструкциями. И при возникновении дуги в «правильном» месте станут причиной как возгорания, так и взрыва.

Защитное заземление

В нефтегазовой индустрии существует мнение о необходимости заземления стенок резервуара, которое устанавливает хороший контакт между защищаемым объектом и землей. Надежда на то, что если резервуарный парк «хорошо» заземлен, то заземление снимет потенциал со стенок объекта, нейтрализуя тем самым последствия воздействий вторичных молниевых проявлений, является всего лишь фикцией. Так, попытка установить «лучшее» соединение резервуара с землей приведет только к тому, что объект быстрее примет наведенный

потенциал, индуцированный грозой, и высвободит его в результате близко-го разряда молнии.

Кроме того, следует отметить, что установка нескольких заземляющих электродов вблизи резервуара, расположенного на земле, является в большинстве случаев бесполезной тратой времени и средств. За исключением отдельных случаев, сама стенка резервуара уже обеспечивает наименьшее сопротивление с грунтом: ее площадь и относительная толщина создают превосходное соединение с земной поверхностью несмотря на то, что оно может происходить только с верхним почвенным слоем. В случае, когда резервуар размещен на железобетонном фундаменте, площадь его соприкосновения с землей будет еще больше. Относительное удельное сопротивление железобетона примерно 5–8 Ом·м, что гораздо ниже сопротивления большинства грунтов.

Подводя итог, можно констатировать: какое-либо заземление непосредственно стенок резервуара не способно оказать значительного влияния на величину наведенного потенциала и эффект искровой дуги, так как не предусматривает пути для снятия электрического заряда со стенок резервуара.

Краткий обзор традиционных решений молниезащиты

Молниеприемная мачта (рис. 5)

состоит из металлического или алюминиевого молниеприемника, соединяющего проводник и системы заземления. Она разработана для провозирования удара молнии и отвода тока через проводник в землю. Такая защита достаточно эффективна, относительно экономична, но имеет ограниченную функциональность. Кроме того, чем выше молниеприемная мачта, тем больше ее стоимость и площадь землеотвода для размещения.

Клетка Фарадея (рис. 6) представляет собой комбинацию нескольких сооружений электростатическим щитом, который препятствует прохождению электростатического неустановившегося поля внутрь этой области. Закрытый резервуар нефтехранилища является хорошим примером клетки Фарадея. Однако он не оказывает влияния на формирование индуцируемого грозой потенциала на своей по-

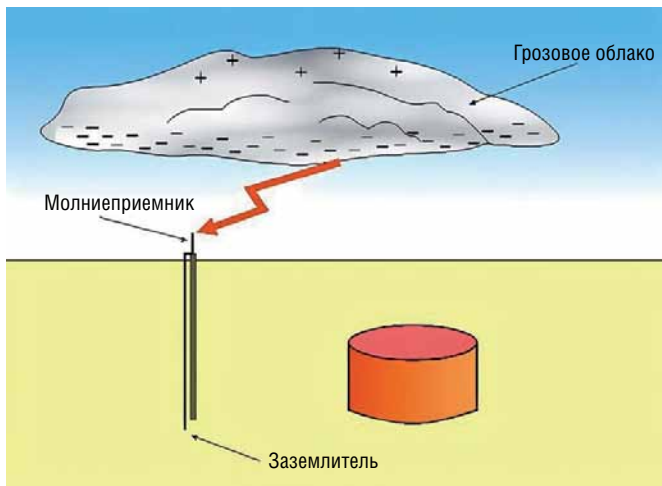


Рис. 5. Традиционный молниеприемник с заземлением

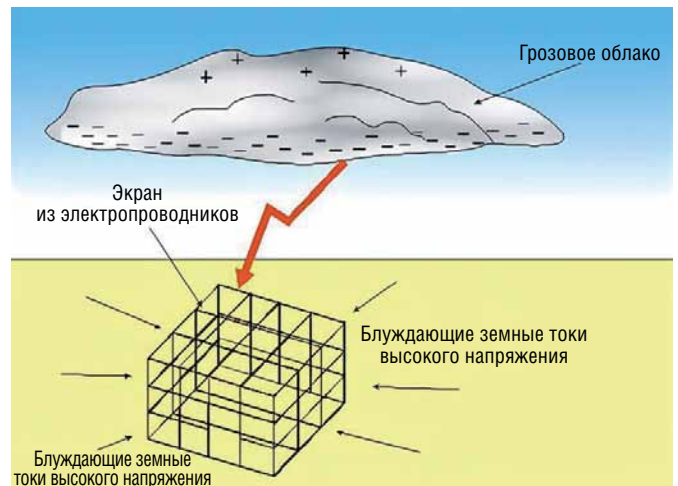


Рис. 6. Грозозащита по принципу клетки Фарадея

верхности, поэтому является объектом риска воздействия связанного заряда.

Отвод канала грозового заряда от стенок защищаемого объекта на безопасное расстояние – действенная защита против возгорания

Очевидное решение проблемы сводится к утверждению: «Нет молнии – нет пожара». Также справедливо, но менее очевидно: «Нет связанного заряда – нет пожара». Поэтому, основываясь на изучении и анализе мирового опыта, специалисты группы компаний «Бипрон» разработали собственную систему молниезащиты, способную эффективно нейтрализовать прямой удар молнии и минимизировать влияние факторов ее вторичного воздействия, обеспечив тем самым надежную защиту.

Изолированный молниеприемник «Бипрон – МЗ-И»

Изолированный молниеприемник (рис. 7) предполагает крепление молниеприемника с неизолированным токоотводом на специальных диэлектрических держателях А и В из усиленного композитного стеклопластика. В этом случае безопасное расстояние обеспечивается за счет изоляционных свойств стеклопластика. Во избежание образования ползучих разрядов по поверхности опорной трубки на нее нанесен особый слабопроводящий слой, имеющий омическую/нелинейную электропроводность. На одном из концов изолированная вставка имеет клеммный зажим под молниеприемник $\varnothing 16$ мм или токоотвод $\varnothing 7-10$ мм, на другом – крепежный

элемент Г для монтажа в различных вариантах (например, на плоскую поверхность или трубостойку). Ток молнии через молниеприемник Б и соединительную головку распределяется по одному или нескольким изолированным токоотводам, которые безопасно отводят его в контур заземления.

Заземляющее устройство (ЗУ) из электродов заземляющих комплектов (ЭЗК) «Бипрон» эффективно нейтрализует ток грозового разряда (импульсные токи).

Внимание! ЭЗК «Бипрон» являются единственным в России продуктом электролитического (активного, солевого, химического) заземления, име-

ющим с 2015 года подтвержденные характеристики растекания импульсных токов (удара молнии), что предусмотрено нормативными требованиями¹.

Соединительные кабели (прутки) выполняют необходимую транспортную функцию между молниеприемником и ЗУ, обеспечивая наиболее эффективный путь для протекания заряда, так чтобы эту функцию не выполняли стенки цистерны или иного защищаемого сооружения.

Эта система молниезащиты и заземления может быть использована и при строительстве любых современных промышленных зданий, где часто на крыше размещают различное техническое оборудование, такое как системы вентиляции и кондиционирования или антенные установки, через металлические части которых наведенные импульсы от грозовых разрядов могут заноситься внутрь сооружений.

В связи с изложенным желаем вам правильного выбора на всех стадиях реализации проекта.

Всем обоюдовыгодного сотрудничества во благо нашей Родины!

А. С. Грибанов, технический директор,
Д. А. Белов, коммерческий директор,
ООО «Бипрон», г. о. Солнечногорск,
Московская обл.,
тел.: +7 (495) 988-1916,
e-mail: info@bipron.com,
сайт: www.bipron.com

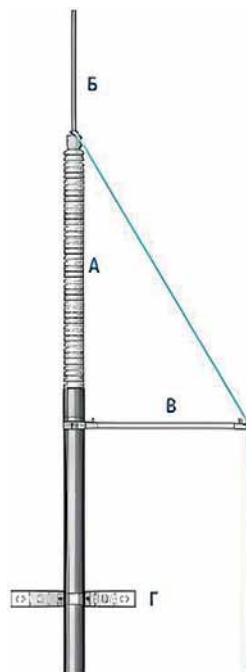


Рис. 7. Изолированный молниеприемник «Бипрон – МЗ-И»

¹ См. РАО «ЕЭС России»: РД 153-34.0-20.525-00 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок», п. 2.4.2.