

МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Необходимость новой НТД и требования к ней

Значительно больше проектировщиков озадачивает принципиальное игнорирование в НТД как последних достижений, так и принципиально возросшего объема требований в организации молниезащиты.

О тех моментах, которые необходимо учесть при разработке нового документа, – в материале профессора Эдуарда Мееровича Базеляна.

Конечно, вряд ли можно надеяться, что, обратившись к требованиям национального нормативного документа, проектировщик найдет в нем исчерпывающие указания по защите конкретного объекта от прямых воздействий молнии и от ее электромагнитного поля. Но там должны обязательно быть как основные рекомендации по выбору защитных средств, так и методологическая основа сформированных предписаний.

К сожалению, обе действующие отечественные инструкции по молниезащите (РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» [1] и СО-153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [2]) малопригодны для этой цели. Рассмотрим эти документы подробнее.

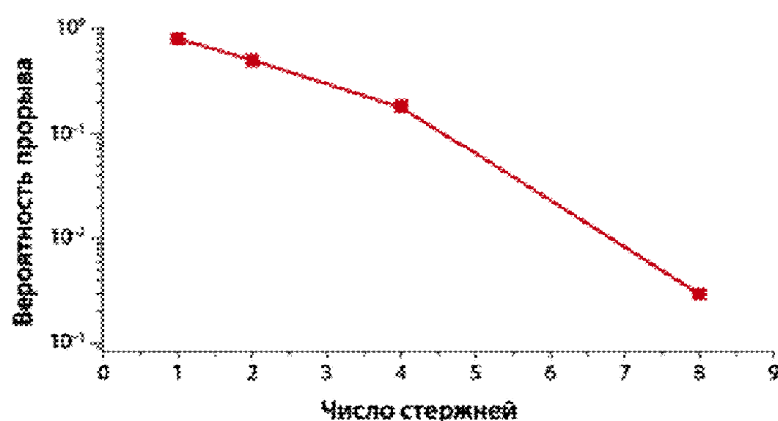
ПАРАМЕТРЫ ТОКА МОЛНИИ

Начинать приходится с параметров тока молнии, подверженных очень большому статистическому разбросу. От величины тока и скорости его изменения во времени зависит большинство опасных воздействий атмосферного электричества. Тем не менее в [1] не фигурирует даже понятие о токе молнии, а в более позднем документе [2] указаны только предельные значения тока для каждого уровня молниезащиты, по которым предлагается оценивать грозовые перенапряжения. О связи вероятности прорыва молнии к защищаемому объекту с ее током даже не упоминается, хотя именно эта связь представляет наибольший интерес для заказчика и проектировщика молниезащиты.

Невзирая на предписание [2] выполнять компьютерные расчеты эффективности молниеотводов, проектировщики, как правило, продолжают выбирать их по зонам защиты. В нормативных документах эти зоны даются только для одиночных и двойных

молниеотводов. Проектировщики не рассматривают коллективное действие большого числа молниеотводов, хотя их использование позволяет очень существенно понизить высоту молниеприемников (рис. 1). Эффективность такого подхода состоит не только в снижении стоимости молниезащиты, пусть даже весьма заметном. Несопоставимо большее значение приобретает подавление эффекта стягивания молний в направлении высотных сооружений.

Рис. 1. Эффективность защиты объекта 50х50х20 м стержневыми молниеотводами, возвышающимися на 5 м и удаленными от объекта на 10 м



Как известно, число ударов молнии в стержневой молниеотвод пропорционально квадрату его высоты. Молниеотвод установлен на защищаемом объекте или вблизи его. Значит, снижение высоты резко сокращает число близких разрядов молнии, а следовательно, и число опасных электромагнитных воздействий на коммуникации защищаемого объекта. Значимость этого обстоятельства трудно переоценить при сегодняшнем массовом внедрении микропроцессорной техники.

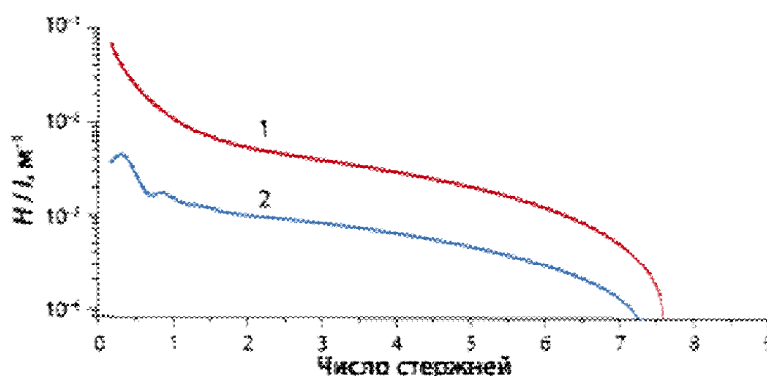
Вот почему нормативный документ по молниезащите нового поколения обязательно должен содержать апробированную методику расчета эффективности защиты от прямых ударов молнии, пригодную для системы из произвольного числа молниеотводов любого типа и высоты.

Принимая на себя ток молнии, молниеприемник никак не меняет её электромагнитного поля. Поэтому важное значение приобретает организация правильной транспортировки молниевых токов в землю. Для снижения магнитного поля в защищаемом объекте целесообразно распределять ток молнии по максимально возможному числу токоотводов – естественных

либо проложенных специально. Увеличивая число токоотводов, удается эффективно ограничивать напряженность магнитного поля внутри объекта (рис. 2) и тем самым снижать уровни электромагнитных наводок в его электрических цепях.

Рис. 2. Распределение напряженности магнитного поля по диагонали здания 45х15х60 м. Отсчет расстояния от угла к центру

- 1 – токоотводы проложены по углам здания;
- 2 – в роли токоотводов арматура стеклопакетов шириной 1,5 м



Решение задачи о распределении импульсного тока молнии по произвольной системе проводников не является проблемой. Теоретические основы расчета и типовые алгоритмы давно разработаны.

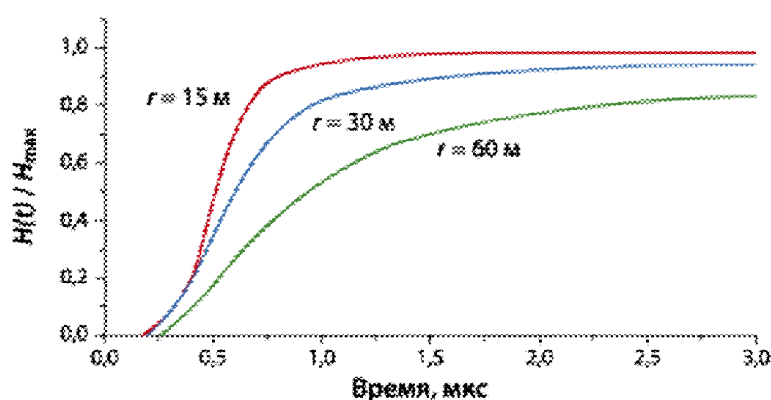
Однако в отличие от практики проектирования ВЛ и ПС высокого напряжения, для которых успешно применяются соответствующие руководящие указания, низковольтные цепи полностью обойдены вниманием директивных документов. Методических разработок здесь нет, а потому проектировщикам не остается иного пути, кроме как руководствоваться рекомендациями стандарта по молниезащите МЭК 62305 [3], по которым скорость роста напряженности магнитного поля молнии, а следовательно, и электромагнитная наводка, принимается пропорциональной крутизне фронта ее тока A_I :

$$\frac{dH}{dt} = \frac{A_I}{2\pi r} \quad (1)$$

В действительности элементарная формула (1) справедлива для бесконечно длинного проводника с одинаковым по величине током. В такой роли канал молнии можно представить далеко не

всегда. Волна тока зарождается там при контакте молнии с землей или с заземленным сооружением и распространяется вверх к облаку со скоростью $1/2-1/3$ скорости света. В результате магнитное поле молнии приобретает более длительный фронт, нежели ее ток. Различие проявляется в том большей степени, чем дальше удалена от проводника с током точка регистрации магнитного поля (рис. 3).

Рис. 3. Динамика изменения во времени напряженности магнитного поля от импульса тока молнии 0,25/100 мкс в точке на высоте 50 м над уровнем земли. Удаление точки от канала молнии указано на кривых



Второй причиной удлинения фронта импульса магнитного поля является очень заметное затухание и деформация волны тока при ее распространении по плазменному каналу молнии конечной проводимости [4]. В итоге оценки по формуле (1) могут привести к многократному превышению расчетного значения индуцированных перенапряжений, а вместе с тем к немотивированным затратам на молниезащиту. Неблагоприятную ситуацию такого рода легко устранить, если ввести в практику проектирования руководящие указания по расчету индуцированных перенапряжений в цепях низкого напряжения.

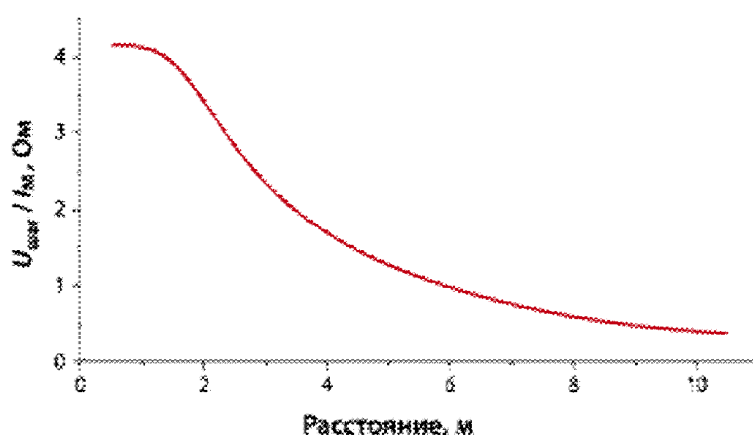
СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ МОЛНИЕОТВОДА

Все попытки обнаружить связь эффективности защитного действия молниеотвода с его сопротивлением заземления заканчивались неудачей. Молниеотвод притягивает к себе молнию практически с равной вероятностью при своем сопротивлении заземления и в 1, и в 100 Ом. Невзирая на это, сопротивление заземления обоснованно считается значимым нормируемым параметром молниезащиты.

Закономерен вопрос о цели нормирования. На величину электромагнитных наводок в электрических цепях защищаемого объекта сопротивление заземления напрямую не влияет, а перенапряжения прямого удара значимы в основном для ВЛ высокого напряжения. Поэтому целевым показателем нормирования сопротивления заземления молниеотводов следовало бы считать электробезопасность. Здесь оба документа хранят полное молчание. Исключением является только рекомендация [1] об изоляционном асфальтовом покрытии грунта в местах большого скопления людей у высоких сооружений.

Надо отчетливо понимать, что рекомендации по устройству заземлителей молниеотводов в этой инструкции не могут гарантировать безопасности людей и животных. На рис. 4 в качестве примера показаны расчетные значения напряжения шага в окрестностях фундаментной железобетонной сваи длиной 5 м и радиусом 0,2 м, которую по [1] можно использовать как заземлитель стержневого молниеотвода. Расчет проведен для грунта удельным сопротивлением 300 Ом·м, достаточно типичного для средней полосы РФ. Непосредственно у фундамента напряжение шага превышает 100 кВ даже для средней по силе молнии с током 30 кА, что вряд ли можно считать допустимым.

Рис. 4. Расчетные значения напряжения шага при растекании тока молнии I_M от вертикальной железобетонной сваи длиной 5 м в грунте с $\rho = 300$ Ом·м



Немного лучше положение у фундаментов жилых и офисных зданий даже при большом объеме заглубленных в грунт железобетонных конструкций. Непосредственно у стены здания напряжение шага способно превысить 10 кВ.

Проектировщику остается гадать, как относиться к полученной цифре. Предельно допустимое напряжение шага в отечественных нормативах по электробезопасности ограничено 650 В при минимальном времени воздействия 0,01 с. Для разряда молнии оно на 2 порядка меньше. Необходим пересчет.

Специалисты в области техники высоких напряжений вряд ли предложат нечто иное, кроме пересчета на основе равенства выделяемой энергии, что приведет к значению 6500 В. Насколько это обосновано, решать физиологам. Без их оценки нормирование заземляющих устройств, исходя из напряжения шага, оказывается невозможным, хотя именно этот вид воздействия до сих пор остается главным фактором массового поражения людей в грозовой обстановке.

В новом нормативном документе по молниезащите нормирование напряжения шага должно быть обязательным, равно как и методические указания по расчету и измерению этого параметра для заземляющих устройств произвольной конфигурации. Учитывая возможности современной вычислительной техники, пора закончить с грубыми оценками сопротивления заземления при помощи коэффициентов использования неизвестного происхождения, тем более что для вычисления напряжения шага они просто непригодны.

ОБ АКТИВНЫХ МОЛНИЕОТВОДАХ

Современная физика знает методы управления траекторией молнии, но пока не может предложить их практической молниезащите из-за дороговизны и недостаточной надежности. Свободную нишу занимают активные молниеотводы различной конструкции, но одинакового принципа действия. Все они претендуют на ускорение развития встречного лидера от молниеотвода за счет подачи высоковольтного импульса на его вершину.

Принцип управляющего воздействия сомнений не вызывает. Проблему создает обеспечение требуемых амплитуды и длительности генерирующего импульса. При ограниченном объеме активного молниеотвода в нем невозможно разместить источник, способный формировать напряжение в сотни киловольт в течение 0,5–1 мс. Реальная длительность импульса оказывается примерно в 100–200 раз короче. Последствия его воздействия хорошо известны. Мощная стримерная вспышка, которую провоцирует такой импульс, не только не стимулирует

формирование встречного лидера, но и останавливает его в результате экранирующего действия объемного заряда, внедренного стримерами. Эффект получается обратным. Судя по последним полевым и стендовым испытаниям, активный молниеотвод стягивает на себя искровые каналы существенно менее эффективно, нежели обычный той же высоты [5, 6].

В подобном положении безразличное отношение нормативных документов к существующим активным молниеотводам недопустимо. Их использование на территории РФ должно быть официально запрещено.

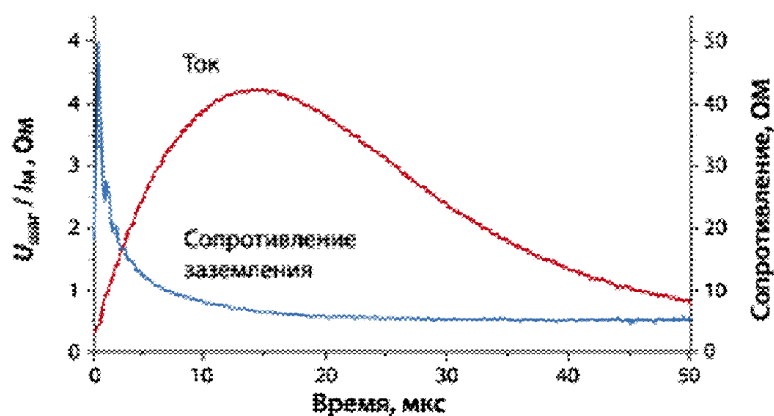
МОЛНИЕЗАЩИТА ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Собственно канал молнии не является единственным порождением атмосферного электричества. Специалистам хорошо известны по крайней мере два газоразрядных процесса, которые представляют реальную опасность для современных технических объектов с большими объемами углеводородного топлива либо каких-то иных легко воспламеняющихся или взрывчатых веществ.

Накоплено достаточно много фактов регистрации искровых каналов, скользящих от точки удара молнии вдоль поверхности грунта на расстояние в десятки метров. Такие каналы несут заметную долю тока молнии и реально опасны. Правда, считалось, что они характерны исключительно для грунтов с высоким удельным сопротивлением. Это утверждение было опровергнуто недавними исследованиями объединенного коллектива специалистов ТРИНИТИ, ОИВТ РАН и ЭНИН [7].

При помощи специально созданного мобильного генератора импульсных напряжений (ГИН) с рекордными параметрами (энергоемкость 4 МДж при выходном напряжении 2 МВ), удалось нагрузить током в 85 кА заземлитель с исходным сопротивлением около 25 Ом в грунте удельным сопротивлением всего 100 Ом·м. При этом временные параметры импульса оказались сопоставимыми с параметрами импульса тока первого компонента отрицательной молнии. При растекании такого сильного и длительного тока сопротивление заземления снизилось более чем в 5 раз (рис. 5). Анализ показал, что столь существенный эффект возможен только при развитии не менее 8 многометровых искровых каналов. Их формирование заняло около 20 мкс.

Рис. 5. Динамика изменения во времени сопротивления заземления ГИН при растекании импульсного тока амплитудой 85 кА в грунте с удельным сопротивлением 100 Ом·м



Динамика изменения сопротивления заземления при растекании больших токов молнии никак не отображена в практике молниезащиты. Необходимость ее учета сегодня очевидна, как и целесообразность нормирования средств подавления искровых каналов или управления траекториями их развития. Ничего подобного в отечественных нормативных документах нет.

НЕЗАВЕРШЕННЫЕ ИСКРОВЫЕ РАЗРЯДЫ

Другой «нетипичной» проблемой молниезащиты надо считать каналы незавершенных искровых разрядов, которые формируются от внешних обстроек сооружений с сильным локальным усилением электрического поля грозового облака. Даже при длине каналов в несколько сантиметров их появления достаточно для поджига горючих газовых смесей над дыхательными клапанами резервуаров с углеводородным топливом. Предпринимаемые попытки подавления незавершенных разрядов экранированием обстроек малого радиуса оказались бесперспективными из-за всегда остающейся возможности их случайного образования. В роли такой неоднородности может оказаться даже птица, севшая, например, на ограждение резервуара.

Единственным конструктивным средством борьбы с пожарами, спровоцированными вспышкой горючей газовой смеси над дыхательным клапаном, нужно считать высоконадежную систему огнепреграждения, исключающую проникновение пламени во внутренний объем резервуара за время горения газового выброса. Это еще одна задача, решение которой остро

необходимо, но поиск этого решения – вне компетенции специалистов по грозовому электричеству.

Создание эффективных огнепреградителей позволит полностью отказаться от внешней молниезащиты резервуарных парков с углеводородным топливом, поскольку стальная стенка современных резервуаров толщиной более 4 мм делает возможным ее использование в качестве молниеприемника. Беспокоиться придется только о внутренней молниезащите, решающей проблему ограничения грозовых перенапряжений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электрические цепи современных объектов сложны сами по себе. Нормативный документ нового поколения должен рассматривать внешнюю и внутреннюю молниезащиту как единый комплекс взаимосвязанных технических мероприятий. Правильная организация защиты от прямых ударов молнии, оптимизация системы транспортировки тока к заземлителям, рациональное устройство и расположение заземляющих электродов в совокупности могут существенно ослабить электромагнитное поле молнии в защищаемом объекте и снизить грозовые перенапряжения вплоть до безопасного уровня.

Столь же эффективной может быть правильная трассировка электрических цепей защищаемого объекта и их экранирование. В подобной ситуации применение УЗИП может быть существенно ограничено, и они должны рассматриваться как крайняя мера.

Для правильного выбора УЗИП вряд ли потребуются зонная концепция. В дополнение к ней (а быть может, и вместо нее) целесообразно ввести в новый нормативный документ не только достоверную методику расчета грозовых перенапряжений в низковольтных электрических цепях от многокомпонентных молний, но и универсальные методы расчета токовой нагрузки УЗИП, а также алгоритмы оценки их дееспособности в типовых условиях.

Хочется еще раз напомнить, что научные основы всех необходимых методологических разработок известны и они готовы к практическому применению. Проблема заключается не в научных исследованиях, а в организации дееспособной кооперации основных отраслей отечественной промышленности, способной финансировать создание совершенного нормативного документа по молниезащите нового поколения,

ориентированного на использование в системах автоматизированного проектирования и оснащенного методическими указаниями, типовыми проектными решениями, а главное, необходимым комплектом типового программного обеспечения.

2. МОЛНИЕЗАЩИТА В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ



Необходимость молниезащиты становится все более понятной отечественному строителю. Правда, преимущественно представителям общестроительных организаций и, чаще всего, уже на завершающей стадии строительства. В целях организации диалога между представителями проектных и подрядных организаций журнал «Кровли» в период с 19 по 30 июля 2009 г. предоставил возможность всем желающим задать вопросы специалистам по устройству систем молниезащиты на портале www.krovlirussia.ru в режиме интернет-интервью. На вопросы отвечают заведующий лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского Эдуард Меерович Базелян и глава московского представительства компании DEHN+SOHNE Сергей Сергеевич Тикунов.

Эдуард Меерович Базелян – профессор, докт. техн. наук, заведующий лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского. Автор целого ряда научных книг и статей по вопросам молниезащиты зданий и сооружений, в том числе «Физика молнии и молниезащиты», «Искровой разряд» и др.

Сергей Сергеевич Тикунов — глава московского представительства компании DEHN+SOHNE – одного из лидеров в области молниезащиты, защиты от импульсных перенапряжений и обеспечения безопасности персонала. Компания не только является производителем

высококачественной продукции, но и обеспечивает консультативную техническую и маркетинговую поддержку клиентов. Филиалы DEHN+SOHNE имеются более чем в 70 странах по всему миру

Андрей, Екатеринбург

1. Какая кровля больше «притягивает» молнии? Есть ли повышенные требования к молниезащите кровли из металла по отношению к кровле из битумной черепицы?

2. Какие существуют особенности системы молниеотвода для кровли из гибкой черепицы?

Э.М. Базелян: Вопрос не так прост, как может показаться, и потому ответ на него не будет коротким.

Известно, что молния никогда не ударяет в наземные объекты. Если выполнить скоростную съемку, можно увидеть, что навстречу каналу молнии, формирующемуся от грозового облака, прорастает плазменный канал от какой-то точки наземного объекта. Его называют встречным лидером. Встреча каналов в воздухе над объектом, иногда на расстоянии в десятки метров от него, — это и есть удар молнии. Рост встречного лидера требует электрической энергии. Она нужна для ионизации и разогрева газа в объеме канала. В конечном итоге эта энергия поставляется за счет электрического тока, который протекает по самому каналу, потом по проводящим конструкциям объекта и, в конце концов, по земле.

Вполне закономерно предположение: чем ниже сопротивление конструктивных элементов здания, тем больший ток может по ним протекать, и тем быстрее будет расти встречный лидер. Естественно, что более длинный встречный лидер должен перехватывать более далекие молнии. Исследователи не раз пытались подтвердить эту гипотезу, но без практически значимых результатов. На деле, сопротивление связи объекта с землей (сопротивление заземления) всегда достаточно низкое (скажем, порядка 1000 Ом) и обеспечивает полноценный рост встречного лидера.

Представьте, что Вы без единого гвоздя смонтировали пластиковый купол. Вот такой молния действительно не заметит, ибо его изоляция будет очень совершенной. Правда, и здесь надо сделать оговорку. Материал купола не должен впитывать влагу. Иначе необходимое сопротивление заземления обеспечит мокрая ткань.

Теперь можно понять, почему материал кровельного покрытия не имеет особого значения. Пусть использована черепица. Сама

по себе она хороший изолятор. Но при том высоком напряжении, которым оперирует молния, тонкая черепица будет перекрыта немедленно (еще быстрее будет перекрыт воздух в зазорах между наложенными друг на друга черепицами). Теперь для встречного лидера открыта свободная дорога вверх. А место старта найти нетрудно. При современном строительстве используется масса металлоконструкций. Нужная обязательно найдется на чердаке дома (трубы водо- и теплоснабжения, провода электрической сети, металлические фермы и балки). Замена металла на пластик ситуацию меняет слабо.

Теперь об особенностях молниезащиты. По современным требованиям металлическое покрытие толщиной от 0,5 мм на кровельном материале можно использовать в качестве молниеприемника. Для этой цели его требуется заземлить как минимум в двух точках. Однако есть одно серьезное ограничение. Под тонкой металлической кровлей не должно быть горючих строительных деталей (стропила, обрешетка и т.п.). Причина ограничения очевидна. В месте контакта металл будет проплавлен, а плитка разбита ударной волной. Сама молния на чердак не проникнет, но капля расплавленного металла упадет туда обязательно. Проследите за ее судьбой сами.

Наверное, Вы слышали, что для защиты крыши рекомендуется проволоочная сетка с шагом ячеек 6х6 или 12х12 мм. Укладывать такую сетку на любой металл совершенно бессмысленно. Молния не заметит сетки. Чтобы не допустить удара молнии в кровлю, надо использовать стержневые или тросовые молниеотводы, правильно выбрав их высоту и место расположения.

Сетка на диэлектрической кровле безусловно полезна. Она с большей или меньшей надежностью защитит металлоконструкции и связанное с землей оборудование, что расположено на чердаке или на верхнем этаже здания. Обратите внимание на очень нечеткую формулировку в предыдущей фразе. Дело в том, что сетка стандартных размеров эффективна далеко не всегда. Обратитесь за консультацией к специалистам, чтобы быть уверенным в успехе. Еще одно замечание. Не так просто закрепить молниеприемники на крыше, покрытой современными кровельными материалами.

Загляните в каталоги известных фирм. Там есть номенклатура элементов для установки молниеприемников без повреждения кровли и без использования сварочных работ. Но иной раз советуют не вполне современные технологии.

Евгений, Москва

Расскажите, пожалуйста, чем оборудование DEHN + SOHNE отличается от оборудования Obo Betterman? И возможно ли делать контур (сетку) молниезащиты под кровельным покрытием, например — черепицей?



Э.М. Базелян: Согласно предписаниям «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87» (п. 2.11), молниезащитная сетка может укладываться под несгораемое или трудно сгораемое покрытие. Поскольку к категории таких покрытий относится и черепица, укладка под нее сетки принципиально возможна. Однако следует иметь в виду, что прорыв канала молнии сквозь черепицу к сетке будет сопровождаться воздействием ударной волны, которая, скорее всего, расколется несколько плиток в месте удара. Значительно надежнее разместить молниезащитную сетку поверх черепицы. Для ее крепления на диэлектрическом покрытии предлагаются очень удобные зажимы и держатели, которые никак не повредят черепицы.

С.С. Тикунов: Компания DEHN+SOHNE представляет на российском рынке самый широкий ассортимент продукции в этой области. Помимо стандартных элементов, предлагаются готовые к монтажу молниеприемные мачты высотой от 4 до 21,5 м с различными возможностями монтажа, изолированный токоотвод CUI, предназначенный для применения в местах с возможным скоплением людей, безопасный токоотвод HVI, предназначенный для монтажа непосредственно по защищаемой конструкции. Кроме того, DEHN+SOHNE предлагает уникальное, не имеющее аналогов, комбинированное устройство защиты от импульсных перенапряжений DEHNventil для сетей питания, при срабатывании которого не происходит перегорания предохранителей во входной цепи за счет быстрого и глубокого ограничения сопровождающего тока. Другая инновационная разработка компании DEHN+SOHNE – УЗИП BLITZDUCTOR® XTU для сигнальных линий с номинальным напряжением от 5 до 180 В. Устройство само определяет уровень напряжения сигнальной

линии и автоматически подстраивает свои параметры под это напряжение. Еще одно уникальное решение – система непрерывного контроля состояния УЗИП BLITZDUCTOR для информационно-технических систем, позволяющая контролировать состояние защитных модулей в режиме on-line.

Мария, Москва

Какая молниезащита ставится на медную кровлю?



Э.М. Базелян: Сорт металла металлической кровли не влияет на защитное действие молниеотводов, поэтому для медной кровли можно применять те же молниезащитные средства, что и для любой другой. Начинать надо с решения вопроса о возможности использования кровли в качестве молниеприемника. Четкие указания на этот счет содержатся в нормативном документе РФ «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» (п. 3.2.1.2). Если удар в медную кровлю не допускается, для ее защиты надо использовать стержневые и (или) тросовые молниеотводы. Правила расчета их зон защиты представлены в п. 3.3 указанной выше инструкции. Ни в коем случае не следует укладывать на медную кровлю молниезащитную сетку. В таком исполнении сетка практически не обладает защитным действием.

Учитывать сорт металла приходится при проектировании системы присоединения кровли к земле и при выборе арматуры для крепления на крыше каких-либо других элементов молниезащиты. Намеченные к использованию металлы должны быть совместимыми в электрохимическом отношении и не провоцировать интенсивную коррозию. Желательно ориентироваться на однотипный металл.

Юрий, Казахстан

У нас в Казахстане вышли новые нормы проектирования молниезащиты. Она (молниезащита) должна быть активной и производства Франции. Что-нибудь у вас в России про это было? Вроде попытались в 2003-м ввести приказом Минэнерго России 30.06.2003 г. № 280 СО-153-34.2I.122-2003. Насколько, на Ваш взгляд, эффективна активная молниезащита?

Э.М. Базелян: Неэтично вмешиваться в техническую политику суверенного государства и критиковать директивы его контролирующих органов. Поэтому я не берусь обсуждать ваши

нормы по молниезащите. Полагаю, они в какой-то степени дублируют французский норматив, где рекомендуются активные молниеотводы. В этом отношении Франция одинока. Ни в российских нормативах, ни в стандарте МЭК IEC 62305, ни в нормах США применение активных молниеотводов не допускается. Точнее – они могут использоваться, но без расширения зоны защиты, т.е. как обычный стержень заданной высоты. Причина столь скептического отношения проста. Ни численное моделирование, ни натурные полевые исследования, ни лабораторные эксперименты не подтвердили эффективности воздействия на молнию активных молниеотводов. Подробную статью об активных молниеотводах можно найти на сайте российской фирмы «Амнис», которая специализируется в практической молниезащите. Можно также порекомендовать статью: Александров Н.Л., Базелян Э.М., Райзер Ю.П. «Роль коронного разряда в ориентировке молнии» (журнал «Физика плазмы», 2005, т. 31, № 1).

В заключение скажу, что мне не известен ни один серьезный специалист по физике молнии, который бы одобрил идею сегодняшних активных молниеотводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87. М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М.: Изд-во МЭИ, 2004.
3. International Standard IEC 62305. Protection against lightning.
4. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М.: Физматлит, 2001.
5. Rison W. Experimental Validation of Conventional and Non-Conventional Lightning Protection Systems / IEEE Power Engineering Society General Meeting. Toronto. 13–17 July 2003.
6. Куприенко В.М., Акамелков Г.А., Романцов В.Н. и др. Методика и результаты испытаний защитного действия активного молниеотвода / IV Международная конф. по молниезащите. 27–29 мая 2014: Сборник докладов. СПб.: 2014.
7. Смирнов В.П., Фортов В.Е., Быков Ю.А. и др. Распространение тока с амплитудой до 85 кА в грунте на расстояние в десятки метров // Физика плазмы. 2016. Т. 42. № 2.

3. Величины расчетного электрического удельного сопротивления грунта (таблица)

Грунт	Удельное сопротивление, среднее значение (Ом*М)	Сопротивление заземления для комплекта ZZ-000-015 , Ом	Сопротивление заземления для комплекта ZZ-000-030 , Ом	Сопротивление заземления для комплекта ZZ-100-102 , Ом
Асфальт	200 - 3 200	17 - 277	9,4 - 151	8,3 - 132
Базальт	2 000	Требуется специальные мероприятия (замена грунта)		
Бентонит (сорт глины)	2 - 10	0,17 - 0,87	0,09 - 0,47	0,08 - 0,41
Бетон	40 - 1 000	3,5 - 87	2 - 47	1,5 - 41
Вода				
Вода морская	0,2	0	0	0
Вода прудовая	40	3,5	2	1,7
Вода равнинной реки	50	4	2,5	2
Вода грунтовая	20 - 60	1,7 - 5	1 - 3	1 - 2,5
Вечномерзлый грунт (многолетнемерзлый грунт)				
Вечномерзлый грунт - талый слой (у поверхности летом)	500 - 1000	-	-	20 - 41
Вечномерзлый грунт (суглинок)	20 000	Требуется специальные мероприятия (замена грунта)		
Вечномерзлый грунт (песок)	50 000	Требуется специальные мероприятия (замена грунта)		
Глина				
Глина влажная	20	1,7	1	0,8
Глина полутвёрдая	60	5	3	2,5
Гнейс разложившийся	275	24	12	11,5
Гравий				
Гравий глинистый, неоднородный	300	26	14	12,5
Гравий однородный	800	69	38	33
Гранит	1 100 - 22 000	Требуется специальные мероприятия (замена грунта)		
Гранитный гравий	14 500	Требуется специальные мероприятия (замена грунта)		
Графитовая крошка	0,1 - 2	0	0	0
Дресва (мелкий щебень/крупный песок)	5 500	477	260	228
Зола, пепел	40	3,5	2	1,7
Известняк (поверхность)	100 - 10 000	8,7 - 868	4,7 - 472	4,1 - 414
Известняк (внутри)	5 - 4 000	0,43 - 347	0,24 - 189	0,21 - 166
Ил	30	2,6	1,5	1
Каменный уголь	150	13	7	6
Кварц	15 000	Требуется специальные мероприятия (замена грунта)		
Кокс	2,5	0,2	0,1	0,1

Лёсс (желтозем)	250	22	12	10
Мел	60	5	3	2,5
Мергель				
Мергель обычный	150	14	7	6
Мергель глинистый (50 - 75% глинистых частиц)	50	4	2	2
Песок				
Песок, сильно увлажненный грунтовыми водами	10 - 60	0,9 - 5	0,5 - 3	0,4 - 2,5
Песок, умеренно увлажненный	60 - 130	5 - 11	3 - 6	2,5 - 5,5
Песок влажный	130 - 400	10 - 35	6 - 19	5 - 17
Песок слегка влажный	400 - 1 500	35 - 130	19 - 71	17 - 62
Песок сухой	1 500 - 4 200	130 - 364	71 - 198	62 - 174
Супесь (супесок)	150	13	7	6
Песчаник	1 000	87	47	41
Садовая земля	40	3,5	2	1,7
Солончак	20	1,7	1	0,8
Суглинок				
Суглинок, сильно увлажненный грунтовыми водами	10 - 60	0,9 - 5	0,5 - 3	0,4 - 2,5
Суглинок полутвердый, лесовидный	100	9	5	4
Суглинок при температуре минус 5 С°	150	-	-	6
Супесь (супесок)	150	13	7	6
Сланец	10 - 100			
Сланец графитовый	55	5	2,5	2,3
Супесь (супесок)	150	13	7	6
Торф				
Торф при температуре 10°	25	2	1	1
Торф при температуре 0 С°	50	4	2,5	2
Чернозём	60	5	3	2,5
Щебень				
Щебень мокрый	3 000	260	142	124
Щебень сухой	5 000	434	236	207

Сопротивление заземления для комплектов, указанное в таблице, может использоваться при различных конфигурациях заземлителя - и точечной, и многоэлектродной.