



# DEHN защищает

Сборник статей в научно-популярных изданиях



## СОДЕРЖАНИЕ

### Журнал «Новости электротехники»

Контроль работоспособности УЗИП в силовых цепях. Базелян Э.М.

Не экономьте на токоотводах. Базелян Э.М.

Еще раз об УЗИП красной линии. Базелян Э.М.

Практика молниезащиты. Фактическая надежность молниеотводов и принципы их применения. Базелян Э.М.

Практика молниезащиты. Офисное здание как объект защиты от молнии. Базелян Э.М.

Практика молниезащиты. Экран или УЗИП? И то и другое. Базелян Э.М.

Практика молниезащиты. Напряжения прикосновения и шага при ударе молнии. Базелян Э.М.

Практика молниезащиты. Главное для УЗИП – надежность. Базелян Э.М.

### Журнал «Территория нефтегаз»

На объекты нефтегазовой отрасли молния нападает не только сверху. Базелян Э.М.

### Журнал «Экспозиция нефтегаз»

Главное не навредить! Базелян Э.М.

### Журнал «Сфера нефтегаз»

Контроль состояния УЗИП в качестве меры повышения надежности работы автоматизированных систем управления на объектах нефтегазовой отрасли. Федоров А.И.

Активные молниеотводы. Базелян Э.М.



DEHN + SÖHNE

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИИ им. Г.М. Кржижановского

## КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ УЗИП В СИЛОВЫХ ЦЕПЯХ

Термин «технический комфорт» пока не слишком популярен и чаще применяется в отношении бытовой техники, чем промышленного оборудования. Действительно, мало кто станет возражать против технических изысков, которые позволяют, например, не контролировать еженедельно уровень масла или уровень электролита в аккумуляторе автомобиля, не беспокоиться о состоянии тормозов и подгонять под себя наклон спинки сиденья. Подобные новинки ежегодно активно разрабатываются передовыми фирмами и во многом определяют стоимость автомобиля. Покупатель платит деньги за удобство, а точнее – за технический комфорт.

Простота оперативного обслуживания сложных технических систем – это не только удобство, но и вполне реальная экономия далеко не маленьких сумм. Элементарный пример пояснит сказанное. Представьте, что в постоянном контроле нуждаются какие-либо защитные элементы, установленные в монтажном шкафу. Допустим, что их состояние можно легко определить специальным тестером или визуально. Кажется, что для этого достаточно отворить распределительный шкаф, однако, сделав это, человек окажется перед открытыми клеммами силовой сборки. Эту работу уже не поручишь рядовому сотруднику – нужна специальная подготовка и допуск к работе с электроустановками высокого напряжения. Легко представить себе, во что обойдутся такие эксплуатационные расходы, если предприятие вынуждено защищать от грозовых перенапряжений многие сотни, а то и тысячи электрических цепей.

Специалисты фирмы уже писали о дистанционном автоматическом контроле УЗИП семейства BLITZDUCTOR® XT\*. Информация об их состоянии передается на единый диспетчерский пульт контроля, где дежурный оператор может вывести ее на монитор компьютера и проанализировать. Для этого набор из 10 модулей УЗИП оснащается стационарным устройством мониторинга DRC MCM XT (фото 1). Благодаря встроенному в стационарные блоки интерфейсу RS-485 удается держать под наблюдением сразу до 15 блоков и таким образом контролировать одновременно до 150 УЗИП BLITZDUCTOR, защищающих до 600 сигнальных линий.

Опытному инженеру ясно, что столь совершенная система не может быть очень дешевой и потому ее применение закономерно ориентировано на весьма многочисленные в современных технических объектах УЗИП для информационно-технического оборудования серии Yellow/line DEHN+SÖHNE.

УЗИП серии Red/line, устанавливаемые в силовых цепях, чаще рассматриваются как штучные изделия. Разработка сложной автоматизированной системы для их контроля вряд ли оправдана, поэтому еще недавно не было иного варианта, кроме проверки вручную, весьма затратной по времени и не всегда безопасной. Сегодня проблема получила простое и дешевое решение.

Дистанционный индикатор DPAN L (арт. № 910200) недавно разработан фирмой DEHN+SÖHNE для контроля УЗИП серии Red/line (фото 2). Прибор представляет собой небольшой (96x48 мм<sup>2</sup>) блок, который монтируется в прорези двери распределительного шкафа. Предельно простой монтаж и еще более простой способ использования. На табло только две индикаторные лампы. Мигающий зеленый сигнал указывает на то, что контролируемые УЗИП в полном порядке. Когда мигает красный, требуется детальная проверка УЗИП в шкафу. Наконец, погашенные лампы предупреждают о том, что нужно заменить источник питания. Впрочем, лампы гаснут очень редко, потому что в индикаторах используются современные светодиоды с большой световой отдачей, а батарей AA емкостью 3000 мАч хватает надолго.

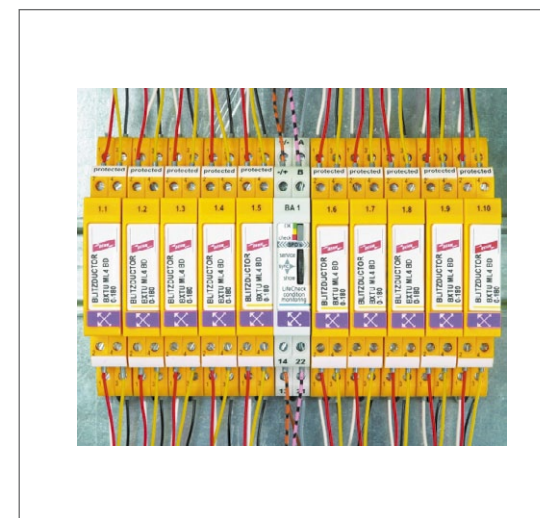
К блоку контроля подходит всего два провода сечением 1,5 мм<sup>2</sup>. Этого достаточно, чтобы контролировать до 12 УЗИП в распределительном шкафу. Все они соединяются последовательно.

Остается добавить, что система рассчитана на самое массовое применение, поскольку ее стоимость не превышает нескольких десятков процентов стоимости одного единственного УЗИП серии Red/line.

\* Федоров А. Контроль состояния УЗИП для повышения надежности АСУ// Новости ЭлектроТехники. 2012. 1(73). С. 40–41.

Блок из 10 УЗИП семейства BLITZDUCTOR® XT с устройством мониторинга DRC MCM XT

Фото 1



Дистанционный индикатор DPAN L (арт. № 910200) для контроля УЗИП серии Red/Line

Фото 2



Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN+SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.



Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИИ им. Г. М. Кржижановского

## НЕ ЭКОНОМЬТЕ НА ТОКОТВОДАХ!

О том, как заземлять молниеприемники, рассказывается в любом нормативном документе по молниезащите. Ток молнии отводится в землю как минимум по двум токоотводам из стали или цветного металла. Требуемое сечение стали (50 мм<sup>2</sup>) позволяет использовать в качестве токоотводов практически любые арматурные стержни или плоские шины. Это просто и дешево.

Тем не менее солидные фирмы, специализирующиеся на производстве средств молниезащиты, предлагают более сложные и существенно более дорогие проводники для устройства токоотводов. Так, в каталоге фирмы DEHN + SÖHNE представлены медные токоотводы с изоляцией на 100 кВ и даже изолированные токоотводы со специальным полупроводящим покрытием, которые обладают повышенной стойкостью в отношении развития скользящего разряда по поверхности и защищают людей от поражения высоким импульсным напряжением при растекании тока молнии, ударившей в здание. Попробуем разобраться, стоит ли тратить деньги на дорогие токоотводы.

### РЕАЛЬНА ЛИ ОПАСНОСТЬ?

Магнитное поле тока молнии  $I_M$  возбуждает электродвижущую силу (ЭДС) в любом проводящем контуре. Ее величина пропорциональна скорости изменения магнитного потока, который этот контур пронизывает. Все это известно еще из школьного курса физики. Непосредственно у токоотвода радиусом  $r_0$  ЭДС магнитной индукции определяется по формуле:

$$U = \frac{\mu_0 I \ln(D/r_0)}{2\pi} \cdot \frac{dI_M}{dt},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м – магнитная проницаемость вакуума, а  $l$  и  $D$  – длина и ширина контура, в котором наводится ЭДС.

Когда человек приближается к токоотводу, его тело и вытянутая рука становятся сторонами такого контура. Исходя из того, что длина тела до плеча – не более 2 м, а длина вытянутой руки – 1 м, максимальное значение ЭДС магнитной индукции можно выразить через расчетную скорость роста тока молнии  $A_1$  как  $U_{\max} \approx 1,84A_1$  [кВ], если  $A_1$  измеряется в кА/мкс. Отметим, что в российском

нормативе по молниезащите СО-153-34.21.122-2003 даже для наименее ответственных сооружений предписано ориентироваться на значение  $A_1 = 100$  кА/мкс. В случае двух токоотводов ток молнии разделится пополам, поэтому в формулу надо ввести 50 кА/мкс, что даст оценку напряжения примерно в 90 кВ.

Много это или мало? Вопрос может показаться нелепым, если вспомнить многочисленные случаи тяжелого поражения людей и животных напряжением всего 380 и даже 220 В. Однако вопрос все-таки правомерен, потому что действие ЭДС магнитной индукции очень кратковременное. Оно сопоставимо со временем фронта импульса тока в последующих компонентах молнии, приравненного в уже упомянутом нормативе к 0,25 мкс.

Графическое изображение импульса на рис. 1 построено по результатам точного компьютерного расчета тока, который протечет через тело человека, прикоснувшегося к токоотводу в неблагоприятных условиях (дождь, мокрая одежда и обувь). В этом случае сопротивление человека равно 1000 Ом, как это обычно принимают в расчетах по технике безопасности. Ток амплитудой около 500 А, безусловно, впечатляет, хотя время его воздействия лежит в пределах 0,2 мкс. Чтобы оценить последствия более обоснованно, в компьютерном расчете, помимо тока, определялась еще энергия, которая выделилась в теле пострадавшего. Она оказалась близкой к 27 Дж.

Несомненно, большинству из нас приходилось испытывать последствия электрического разряда емкости собственного тела после прогулки в синтетической обуви по синтетическому покрытию пола плохого качества. В сухую морозную погоду набирается около 50 кВ. Прикосновение к водопроводному крану оказывается вполне запоминающимся. Энергию, воздействующую при прикосновении, легко оценить: емкость человека не превышает  $C = 50$  пкФ, а энергия, накопленная ею,  $W = CU^2/2 = 0,0625$  Дж, что примерно в 400 раз меньше, чем от ЭДС тока молнии.

Понятно, что контакт с токоотводом ни к чему хорошему не ведет, поэтому затраты на изолированный токоотвод не кажутся напрасными.

### ВЫБОР ИЗОЛИРОВАННЫХ ТОКОТВОДОВ

В каталоге DEHN + SÖHNE предлагается несколько типов изолированных токоотводов различного назначения. Для случая, который здесь рассматривался, хорошо подходит СИ-проводник с изоляцией из специального сетчатого полиэтилена (рис. 2).

Изоляция толщиной 6 мм выдерживает не менее 100 кВ при испытаниях так называемым стандартным грозовым импульсом 1,2/50 мкс (цифры означают время подъема напряжения до максимума и последующего снижения до половины амплитудного значения в микросекундах). В процессе испытаний время воздействия высокого напряжения многократно превосходит те реальные доли микросекунды, о которых говорилось выше. Значит, испытания гарантируют запас прочности, обеспечивающий высокую надежность эксплуатации проводника.

При этом важно, чтобы проводник был сплошным, без разрывов изоляции в местах соединения, поэтому, заказывая его, необходимо точно указывать нужную длину токоотвода.

Еще одна важная деталь. Тонкое изоляционное покрытие может провоцировать длинные скользящие искровые разряды вдоль своей поверхности. Их могут инициировать капли дождя, если они попадут на проводник. Для защиты от таких капель проводник снабжается специальным экраном.

Полную гарантию от скользящих разрядов дает полупроводящее покрытие. В изолированном токоотводе другого типа – проводнике НВИ – оно как защитный чехол натягивается на основную полиэтиленовую изоляцию (рис. 3).

Механизм действия полупроводящего чехла подробно рассматривался в докладе на II Российской конференции по молниезащите, которая проходила в Москве в сентябре 2010 г. на базе ОАО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского». Суть дела сводится к очень сильному выравниванию электрического поля вдоль наружной поверхности, при котором нигде не может начаться ионизация окружающего воздуха.

Рис. 1  
Ток, протекающий через тело человека, и выделявшаяся энергия при прикосновении к токоотводу

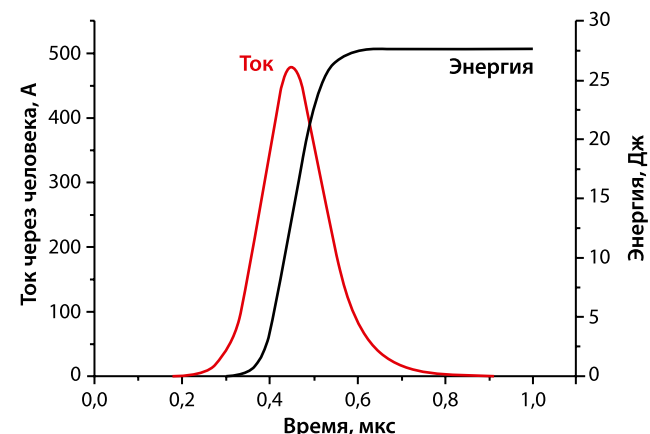


Рис. 2  
Изолированный токоотвод СИ



Рис. 3

Токоотвод НВИ с высоковольтной изоляцией и полупроводящим покрытием



Устройство изолированных токоотводов, безусловно, дороже элементарных, поэтому никто и не рекомендует их использовать повсеместно. Но вряд ли стоит рисковать здоровьем людей там, где прикосновение к токоотводу весьма вероятно, – у входных дверей, балконов и лоджий, на смотровых площадках или у стен, где часто собираются посетители здания.

Не следует забывать и про защиту дорогостоящего оборудования. Вынужденное сокращение изоляционных расстояний до токоотводов может привести к его повреждению в результате искрового пробоя. А что уж говорить о последствиях контакта возникшей искры с зоной взрывоопасного газового выброса (например, на предприятиях хранения и переработки углеводородного топлива)! Здесь экономия на токоотводах может обернуться катастрофой, когда скучному придется платить уже далеко не дважды.

Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN + SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.



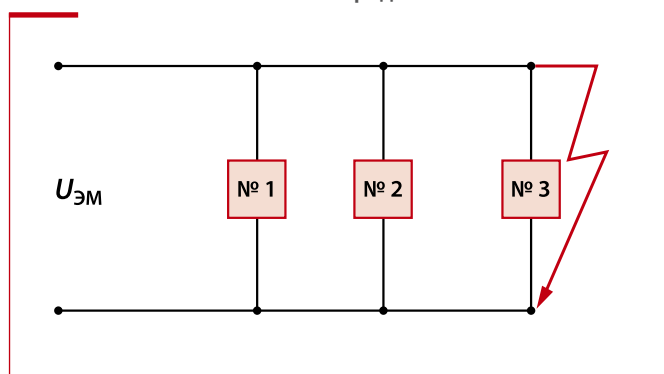
## ЕЩЕ РАЗ ОБ УЗИП КРАСНОЙ ЛИНИИ

**Эдуард Базелян**, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИИ им. Г. М. Кржижановского

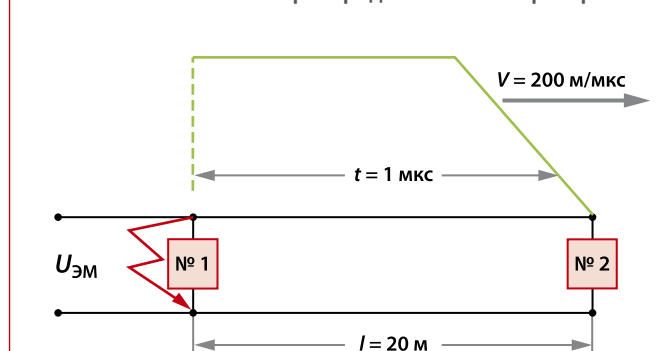
Интересно ли читать каталоги? Вспоминаю студенческий театр МЭИ 1950-х годов, в котором тогда – будущий электрик, а ныне – известный артист Илья Рутберг выступал с монологом о счастливом студенте, который остался один в комнате общежития. Студент мечтал выпить чаю с хорошей заваркой, завалиться на кровать у окна и почитать интересную книжку про консистентную смазку подшипников. Название вызывало в зрительном зале громовой хохот.

Нет, каталоги – это иное дело, особенно когда можно сравнить выпуски за несколько лет. Например, если это каталоги фирмы «Ден + Зёне (DEHN + SÖHNE)», специализирующейся на молниезащите, в глаза обязательно бросятся очень заметные ежегодные изменения номенклатуры УЗИП серии Red/line – «красной линии». В эту серию входят устройства защиты от грозовых перенапряжений цепей 220/380 В, питающих дома.

**Рис. 1.** Схема со сосредоточенными элементами



**Рис. 2.** Схема с элементами, распределенными в пространстве



### ЗАКОНОМЕРНОЕ ВНИМАНИЕ К УЗИП

Для особого внимания к УЗИП есть несколько причин. Во-первых, частота воздействия перенапряжений. Ее надо сравнивать с частотой прямого удара молнии в дом. Если высота дома или дачи в загородном поселке не превышает 10 м при площади в плане 100–150 м<sup>2</sup>, то в средней полосе России молния может ударить в такое сооружение не чаще, чем один раз за 50 лет.

Другое дело грозовые перенапряжения. Их возбуждает быстро меняющееся во времени электромагнитное поле молнии, пронизывая пространство между проводами воздушной линии, которая идет от трансформаторной подстанции к дому. Чаще всего это линия обычного исполнения с проводами, разнесенными друг от друга едва ли не на полметра. Провода создают контур площадью порядка 100 м<sup>2</sup>, потому что расстояние между домом и подстанцией вполне может составлять 200–300 м. Чем больше площадь контура, тем более высокое напряжение наводится в нем по закону электромагнитной индукции.

Элементарные оценки на основе общего курса физики показывают, что для электрической цепи дома и подключенного к ней оборудования (насосы, бытовые приборы, электроника) опасны даже совсем неблизкие молнии, например те, что удалены от воздушной линии на 200 м.

В средней полосе нашей страны на 1 км<sup>2</sup> поверхности земли ежегодно приходится 3–4 молнии. Опасная полоса будет иметь ширину около 400 м (по 200 м с каждой стороны от проводов). Вдоль линии в 300 м наберется площадь в 0,12 км<sup>2</sup>, в которую попадет ежегодно примерно 0,5 молнии. Статистические 0,5 удара молнии в год – один опасный удар за 2 года.

Никто не рискнет рекомендовать отказаться от установки молниеотводов, опираясь на среднестатистический показатель одного прямого удара молнии в дом за 50 лет, потому что нельзя предсказать, когда случится это печальное событие: в первый год после завершения строительства или на сороковом году эксплуатации. Рисковать определенно не стоит. Но в любом случае одно опасное событие в среднем через каждые 2 года, связанное с электромагнитной индукцией, – это намного серьезнее, чем прямой удар молнии за полвека. Итак, выявлен первый фактор особого внимания к УЗИП – повышенная частота электромагнитных воздействий.

Второй фактор, влияющий на отношение к УЗИП, отличается тяжестью опасного воздействия. Современный дом напичкан электрическими устройствами и микроэлектроникой, часто достаточно дорогими. Грозовое перенапряжение в электрической сети редко выводит из строя только один прибор, и вопрос этот требует пояснения. На рис. 1 условно изображены несколько параллельно включенных потребителей электроэнергии. Изоляция одного из них, скажем № 3, повреждена грозовым перенапряжением. Произошло короткое замыкание. Казалось бы, оно должно снизить до нуля напряжение на других потребителях и гарантировать им полную безопасность. К сожалению, такое возможно только при очень близком расположении приборов, когда длина проводов не имеет значения. Реальные условия почти всегда принципиально иные.



Хорошо известна конечная скорость распространения электромагнитной волны. В свободном пространстве она равна скорости света  $3 \times 10^8$  м/с, в диэлектрике с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  скорость снижается обратно пропорционально  $\sqrt{\epsilon}$ , реально – в 1,5–2 раза. Это значит, что вдоль домашней электропроводки электромагнитная волна летит со скоростью 150–200 м в микросекунду (на рис. 2 волна показана зеленой линией).

Представим, что два электроприбора удалены друг от друга на 15–20 м. Такое расстояние будет пройдено всего за 0,1 мкс. Этот миг оказывается решающим. Дело в том, что информация о коротком замыкании при перекрытии изоляции первого из приборов поступает ко второму, расположенному дальше, с запаздыванием – в нашем случае через те же 0,1 мкс. Именно столько времени пройдет до начала среза напряжения на клеммах второго прибора, и этого может вполне хватить для его повреждения.

Чем разветвленнее и протяженнее электрическая сеть дома, тем в большей степени проявляются ее волновые свойства, приводящие к повреждению многих элементов бытового оборудования. Остается оценить возможные потери. Может получиться впечатляющая цифра.

Вот почему, защищая дом молниеотводами, надо обязательно побеспокоиться о защите электрической сети от перенапряжений, дистанционно наведенных электромагнитным полем тока молнии.

УЗИП красной серии (Red/line) предназначены именно для этой цели. От эффективности их работы зависит жизнеспособность электроники дома, надежность автоматики большого современного промышленного предприятия или релейной защиты электрической станции.

Этот пример показывает, что нельзя установить одноединственное УЗИП для защиты сразу многих элементов оборудования, разнесенного в сколько-нибудь значительном пространстве. Каждый защитный элемент имеет свой радиус эффективного действия. В сложной электрической цепи приходится ставить десятки, а иногда и сотни УЗИП, поэтому передовые производители стремятся максимально увеличить надежность приборов и предельно сократить их габариты.

### DEHNventil и DEHNvenCI – НАЙДИТЕ ОТЛИЧИЯ

Насколько успешно работает фирма-разработчик УЗИП, хорошо видно по изменениям в ее каталогах, поэтому их чтение вполне может быть увлекательным.

Например, сравним параметры двух очень похожих УЗИП красной линии – традиционного DEHNventil и нового DEHNvenCI. Оба они устроены по принципу искрового разрядника с гашением дуги сопровождающего тока за счет внутреннего дутья, возникающего благодаря разложению специальных пластиковых материалов в искровой камере.

Различие приборов заключается только в размещении плавкого предохранителя, который включен в комплект УЗИП, чтобы предотвратить редкую аварийную ситуацию.

В исключительных случаях при недопустимо больших токах гашение дуги может затянуться, и тогда для устранения короткого замыкания сработает плавкий предохранитель. Обычно такие предохранители размещаются в монтажном шкафу рядом с УЗИП.

Используя УЗИП новой конструкции DEHNvenCI, о предохранителях можно не беспокоиться, потому что они встроены в корпус прибора.

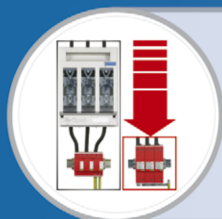
«Элементарная доработка» – скажет читатель и не встретит возражений. Совершенствование действительно на редкость простое, но результат заслуживает внимания. Объединение разрядника и плавкого предохранителя в одном корпусе более чем на 75% сократило объем, занимаемый УЗИП в монтажном шкафу, а суммарные затраты на защиту снизились на 35%. Выбор модели УЗИП – за потребителем.

Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN+SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.

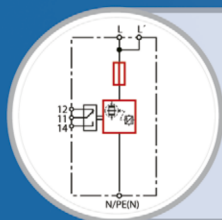
## Комбинированное УЗИП класса I со встроенным предохранителем серия Red / Line

**НОВИНКА**

### DEHNvenCI 1 255 (FM)



Экономия объема в монтажном шкафу на **75%**  
Экономия стоимости **35%**



Непрерывность электроснабжения потребителей благодаря сочетанию мощных искровых промежутков с технологией гашения сопровождающих токов RADAX-Flow и встроенного предохранителя, способного выдерживать токи молнии



DEHN + SÖHNE

*Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского*

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Фактическая надежность молниеотводов и принципы их применения

Компания DEHN+SÖHNE представляет пятую статью из цикла профессора Э.М. Базеляна по молниезащите, адресованного проектировщикам.

Предыдущие были опубликованы в 2010 г.:

в № 3 (частота прямых ударов молнии), №4 (степень опасности термического воздействия молнии), № 5 (степень опасности механического воздействия молнии) и в № 6 (оценка целесообразности защиты от воздействия молнии).

Все материалы доступны на [www.news.elteh.ru](http://www.news.elteh.ru).

Когда Б. Франклин предложил защиту зданий молниеотводами, восхищенный Ломоносов написал оду в честь этой новой победы человека над природой. По современным представлениям физическая основа молниеотвода элементарна. Молния – это гигантская электрическая искра, которая возникает в воздушном промежутке между облаком и землей. Для перекрытия такого расстояния требуется вполне определенное напряжение, и чем короче промежуток, тем оно меньше. Установка высокого молниеотвода промежуток сокращает. Значит, более вероятно, что молния пойдет по меньшему пути к молниеотводу, а не по тому, который длиннее, к защищаемому объекту. В этом состоит основная идея. Дальше речь может идти только о деталях, хотя и очень существенных. Именно они определяют фактическую надежность защитного действия молниеотводов.

#### ВЫСОТА МОЛНИЕОТВОДА

Во многих лабораториях выполнялся простой эксперимент. Высокое напряжение от источника одновременно подавалось к двум разрядным промежуткам одинаковой конфигурации, но разной длины (рис. 1). По логике пробиваться должен более короткий. На деле с вероятностью 10–15% экспериментаторы наблюдают перекрытие длинного промежутка.

Дело в том, что электрическая прочность имеет разброс тем более значительный, чем длиннее изоляционный промежуток. В условиях, характерных для молнии, стандарт разброса лежит в пределах 6–10%. Случайным образом прочность короткого промежутка при данном воздействии импульсного напряжения может вырасти, а длинного наоборот снизиться и тогда перекрывается именно он. Это означает, что молния ударит не в молниеотвод, а в объект, и защита окажется далеко не 100-процентной.

Чтобы добиться должной надежности защиты, необходимо установить молниеотвод, который будет настолько выше объекта, что нивелирует последствия разброса пробивных напряжений в промежутках между грозовым облаком и этими заземленными сооружениями. Именно так построены отечественные зоны защиты.

Взгляните, например, на типовую зону защиты одиночного стержневого молниеотвода (рис. 2). Она представлена в виде конуса, вершина которого обязательно располагается

ниже вершины стержня. Тем самым достигается необходимое превышение молниеотвода над защищаемым объектом  $\Delta h = h - h_0$ . Его значение должно быть тем больше, чем выше уровень надежности защиты, гарантированный зоной для расположенного внутри ее наземного сооружения. Согласно российской «Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО-153.21.122-2003 величина  $\Delta h$  при надежности защиты 0,9; 0,99 и 0,999 для молниеотводов высотой  $h \leq 30$  м должна составлять 0,15h, 0,2h и 0,3h соответственно.

Ничего подобного не предписывает стандарт Международной электротехнической комиссии (МЭК) IEC 62305. В частности, для молниеотводов высотой до 60 м там рекомендован метод защитного угла, по которому граница зоны защиты исходит непосредственно из вершины стержня. Это одна из главных причин того, что методики МЭК не получили распространения в отечественной практике проектирования молниезащиты.

#### НЕОДНОЗНАЧНОСТЬ ЗОН ЗАЩИТЫ

С зонами защиты связана еще одна трудно разрешимая проблема. Если объект целиком размещен во внутреннем объеме зоны, надежность его защиты от прямых ударов молнии будет не меньше той, что приписана зоне. На практике часто возникает ситуация, когда значительная часть зоны пустая, но какой-то относительно небольшой строительный фрагмент выходит за ее пределы. Ясно, что чем большая часть зоны свободна, тем надежнее защита, поэтому возникший запас вполне может компенсировать негабаритность части объекта, выступающей за границы зоны.

От всего этого совсем близко до утверждения о неоднозначности зон защиты. И это действительно так. Произвольную поверхность нельзя однозначно описать единственным параметром, в данном случае – гарантированной надежностью защиты. Поверхность в виде конуса выбрана для зоны, с одной стороны, по традиции, а с другой – из-за простоты построения. Вот почему в уже цитированном отечественном нормативе рекомендуется выбирать молниеотводы, исходя из требуемого значения надежности.

Российские специалисты готовы к такому подходу и давно разработали необходимые расчетные алгоритмы. Техническим циркуляром № 25/2009 ассоциации «Росэлектромонтаж» даже рекомендована конкретная расчетная программа, созданная в ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского» на основе статистической методики. С помощью этой программы рассчитаны, в частности, все зоны защиты для отечественных нормативов. Приходится только сожалеть, что программа все еще недоступна проектировщику, потому что до сих пор не реализована ее товарная версия, пригодная для массового потребителя.

#### ВЫБОР МОЛНИЕОТВОДА

Проектируя молниезащиту, специалисту важно помнить, что при прочих равных условиях наименее надежны одиночные стержневые молниеотводы. Причину их несовершенства легко уяснить из простой схемы (рис. 3). У молнии из точки А, налетающей на объект с фронта, явно больше шансов прорваться к объекту, чем у молнии из точки В, с тыла, со сторо-

ны молниеотвода. Получается, что стержневой молниеотвод действует односторонне, поэтому он излишне высок

Два молниеотвода, установленные с противоположных сторон объекта, окажутся эффективнее одиночного, а стержневая четверка будет эффективнее двойки, потому что теперь хотя бы один из молниеотводов встанет на пути молнии, с какой бы стороны она не надвигалась.

С увеличением числа стержней надежность защиты нарастает. В этом отношении идеальным оказывается замкнутый тросовый молниеотвод, когда он охватывает защищаемую территорию по внешнему периметру. Такое решение позволяет существенно снизить высоту молниеприемников, экономя и материалы, и деньги без снижения надежности защиты.

И все-таки экономии средств нельзя считать самым главным. Нужно помнить, что, спасая от прямого удара молнии, молниеотвод мало влияет на воздействие ее электромагнитного поля. Ток молнии, распространяясь по молниеотводу, все равно оказывается поблизости от защищаемого объекта, электрические коммуникации которого оказываются в сильном магнитном поле этого тока. Вызванные им индуцированные перенапряжения – одно из наиболее опасных воздействий грозового электричества на современные объекты с большим объемом микроэлектроники.

Представим себе производственный объект относительно малой высоты на площади радиусом, скажем, 50 м. Площадь стягивания молний оценивается здесь как  $S_{ст} = \pi r^2 \approx 8000 \text{ м}^2$ . Положим, что неудачливый проектировщик применил стержневой молниеотвод, разместив его в центре защищаемой территории. При надежности молниезащиты 0,99 высота такого молниеотвода по расчетным формулам, приведенным в СО-153.21.122-2003, должна быть не меньше 68 м. Теперь радиус стягивания будет определяться высотой установленного стержня  $S_{ст} = 9\pi h^2 \approx 130000 \text{ м}^2$  [1], от чего суммарное число ударов молнии в пределах защищаемой территории вырастет примерно в 16 раз. Неважно, что почти все они будут перехвачены молниеотводом. Путь тока все равно окажется в непосредственной близости от электрических цепей объекта.

Для сравнения отметим, что замкнутый тросовый молниеотвод при той же надежности защиты от прямых ударов молнии располагался бы на высоте не более 20 м, а кратность увеличения числа ударов молнии от его установки оказалась бы в 4–5 раз меньше.

Вывод из проведенного анализа достаточно прост: **когда защита от прямых ударов молнии необходима, желательно выполнять ее многократными молниеотводами, чтобы чрезмерно не увеличивать высоту системы наземных сооружений, влияющую на частоту ударов молнии.**

Тем самым удастся ограничить число опасных перенапряжений в электрических цепях защищаемого объекта, опасность которых может быть не меньше, чем опасность прямых ударов. Передовые европейские фирмы учитывают это достаточно простое правило. Их каталоги содержат набор молниеприемников самой различной высоты, в т.ч. и весьма малой. Их удобно крепить на крыше здания с кровлей из самых различных материалов. Например, фирма DEHN + SÖHNE серийно производит стержневые молниеотводы высотой от 1 до 14 м из алюминия, меди, оцинкованной и нержавеющей стали.

При малой высоте этих стержней их установка не требует сложных подготовительных работ. С помощью специальных держателей молниеприемники легко крепятся на коньке крыши, на плоской или наклонной части кровли, вблизи или непосредственно на технологическом оборудовании, вынесенном на крышу. Предлагаемый DEHN + SÖHNE набор комплектующих позволяет при необходимости смонтировать изолированную систему защиты от прямых ударов молнии.

**Принцип преимущественного использования многократных и тросовых молниеотводов по сравнению с одиночными стержневыми верен практически всегда и именно им в первую очередь должен руководствоваться инженер.**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Базелян Э.М. Практика молниезащиты: частота прямых ударов молнии // Новости ЭлектроТехники. 3(63). 2010. С. 50–51.

Рис. 1

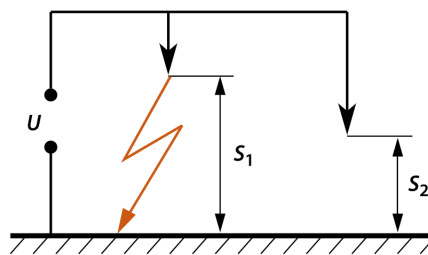


Рис. 2

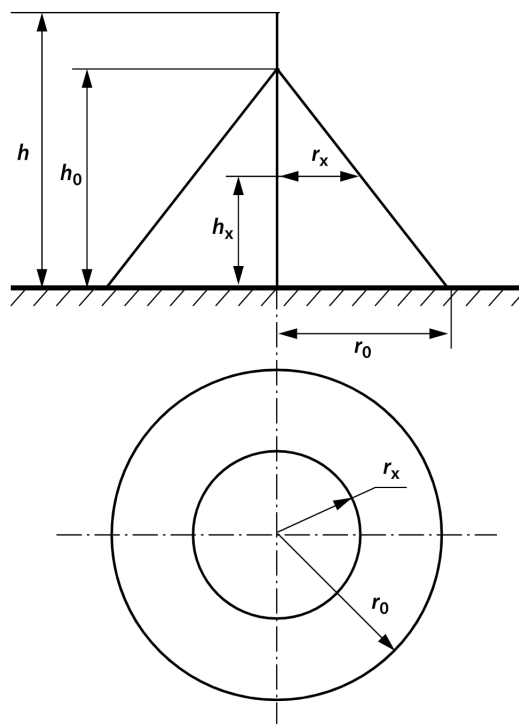
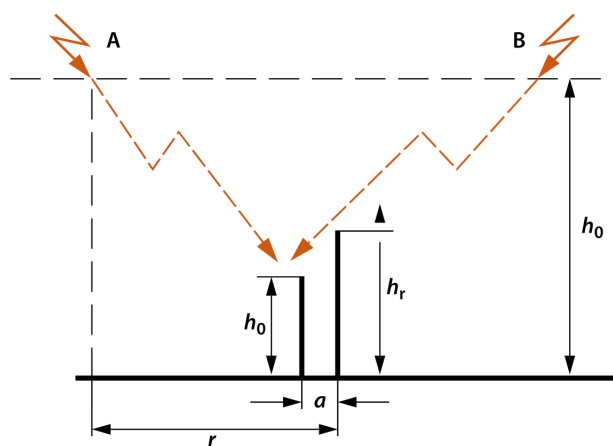


Рис. 3







DEHN + SÖHNE

*Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского*

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Офисное здание как объект защиты от молнии

Статья профессора Э.М. Базеляна – это очередная публикация из цикла «Практика молниезащиты», представленного компанией DEHN+SÖHNE и адресованного проектировщикам.

В течение года в журнале «Новости ЭлектроТехники» уже были размещены материалы по таким вопросам, как степень опасности воздействия молнии, оценка целесообразности молниезащиты, надежность молниеотводов и т.д. Все они доступны на сайте [www.news.eltehr.ru](http://www.news.eltehr.ru).

#### МОЛНИЕЗАЩИТА КРЫШИ

Процесс разработки нормативных документов заметно отстает по темпам от технического прогресса и от образа жизни современного человека. Крыша здания давно превратилась в технологическую площадку, где размещается жизненно важное оборудование, например, машины климат-контроля, вентиляционные установки, панели солнечных батарей, самые различные антенные системы. Вся эта техника стоит немалых денег, а ее повреждение молниями может полностью нарушить функционирование офиса, что происходит не так уж редко.

В средней полосе России здание высотой около 30 м примет на себя не менее 1 удара молнии за 10–15 лет эксплуатации. У серьезной фирмы с отделениями в крупных городах офисных центров может быть несколько. Здесь начинает работать закон больших чисел. Статистика заставит отнестись к проблеме молниезащиты более внимательно, иначе придется ремонтировать оборудование почти каждый грозовой сезон.

Конечно, без острой необходимости нет смысла защищать всю поверхность крыши, но об установленном там оборудовании побеспокоиться стоит. Здесь явно недостаточно предписания РД 34.21.122-87 (п. 2.1 1) о присоединении выступающих над крышей металлических элементов к проволокам молниезащитной сетки, которую рекомендуется укладывать на кровлю. Такая сетка никак не защищает смонтированное на крыше оборудование.

Чтобы избежать прямых ударов молнии в него, необходима локальная установка молниеотводов. Очень важно минимизировать их высоту. Пусть вас не соблазняет идея монтажа на крыше одиночного высокого стержневого молниеприемника, в зону защиты которого впишется сразу все установленное оборудование. Высокий молниеотвод заметно увеличит ожидаемое число ударов молнии в здание в целом, а вместе с ним и частоту опасных воздействий электромагнитного поля тока молнии (силу такого воздействия молниеотвод не ослабляет!).

Высоту молниеприемников можно существенно снизить, если ориентироваться на многократные молниеотводы, рассчитывая эффективность их защитного действия программными средствами. Например, в каталоге DEHN+SÖHNE потребителю предлагается набор стержневых молниеприемников и мачт высотой от 1 до 14 м (фото 1), предназначенных для установки на плоской кровле или на коньке крыши. Они исключительно просто монтируются, не требуют применения сварки и позволяют обойтись болтовыми зажимами для крепления токоотводов.

Достоинства конструкторских разработок DEHN+SÖHNE демонстрирует маленькая выставка, которую специалисты компании устроили на крыше одного из ее зданий. Здесь можно увидеть примеры реализации локальной защиты оборудования многократными молниеотводами, убедиться в удобстве монтажа и познакомиться с конструктивным исполнением изолированной системы молниезащиты, ориентированной на защиту от прямых ударов молнии антенн различного назначения и наружных электротехнических устройств, таких как сигнальные огни или рекламные щиты.

#### ВНУТРЕННЯЯ МОЛНИЕЗАЩИТА

Проектируя молниезащиту офисного здания, важно не забывать о его внутренней молниезащите. Сегодня практически любой офис битком набит компьютерной техникой, объеди-

Ни у кого не вызывает сомнений целесообразность молниезащиты коттеджа, особенно, если при его строительстве использовано дерево или горючие отделочные материалы. Склады жидкого или газообразного углеводородного топлива для большинства проектировщиков тоже привычный объект защиты. Но современное офисное здание – наверное, это уж слишком! Что может сделать молния с конструкцией из монолитного или сборного железобетона, особенно если на крыше железобетонные балки и те же железобетонные плиты? Бетон не горит, а повредить металлическую арматуру и ослабить ее прочность молния не может.

Все это многократно обсуждалось в специальной литературе по молниезащите. Не пробуйте возражать: в таблице 1 из РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» сказано, что жилые и общественные здания вообще не нуждаются в молниезащите, если они не возвышаются над строениями городской застройки более, чем на 25 м. Здания до десяти этажей наверняка попадают в эту категорию.

Обратимся к каталогам ведущих фирм, которые специализируются на производстве современных средств молниезащиты. Так, в подробнейших каталогах компании DEHN+SÖHNE собрано все, что нужно для устройства внешней и внутренней молниезащиты, в том числе разнообразные молниеприемники и соединительные шины для монтажа на крыше здания. Маркетологи фирмы хорошо знают рынок и наверняка комплектуют ассортимент, гарантирующий успешные продажи. Что же известно маркетологам, но ускользает от внимания составителей нормативов по молниезащите?

**Фото 1.** Примеры молниеприемников и мачт из каталога фирмы DEHN+SÖHNE



**Крепежные элементы для закрепления токоотводов на кровлях и стенах из различных материалов** Фото 2



ненной в единую сеть. В офисе хранится и постоянно перерабатывается большой объем информации, потеря которой по тяжести последствий вполне сопоставима с необратимыми повреждениями здания. Прежде чем заниматься экранированием компьютерных электрических цепей и монтажом средств ограничения перенапряжений, нужно обеспечить предельно рациональный отвод в землю тока молнии.

Вернемся к российскому нормативу РД 34.21.122-87. Пора поставить под сомнение содержащуюся в нем рекомендацию об использовании в качестве токоотводов внутренних металлоконструкций зданий (металлических опор, ферм, арматуры железобетонных колонн и т.п.). Чтобы ограничить электромагнитные наводки на цепи микропроцессорной техники, нужно стремиться предельно разгрузить от тока молнии внутренние металлоконструкции, так как все они – реальный источник опасного магнитного поля. Для этого полезно увеличивать частоту токоотводов на внешней поверхности стен, если конечно там нет металлических конструктивных элементов (например, арматуры стеклопакетов или стальных каркасов стен), пригодных для роли естественных токоотводов.

Любая современная фирма, специализирующаяся на молниезащите, готова к такому повороту событий. DEHN+SÖHNE – не исключение. В ее ассортименте не только многочисленные проводники разных форм и сечений, но и целый арсенал крепежных средств различного функционального назначения. Проектировщик обязательно подберет все необходимое для крепления токоотводов на любых стенах, фронтонах и кровлях, будь то бетон, кирпич, камень или современные отделочные материалы (фото 2).

Особо хочется отметить изолированные токоотводы. Они гарантируют защиту от импульсного напряжения, опасного для человека, а потому могут располагаться в местах, доступных для прикосновения.

**Разумное размещение естественных и специально смонтированных токоотводов может на порядок снизить уровень электромагнитных наводок во внутренних силовых цепях здания, в цепях охранной сигнализации, управления и передачи информации. Всё необходимое оборудование, чтобы успешно решить эту проблему, проектировщик может найти во втором томе каталога DEHN+SÖHNE, где представлены средства ограничения грозовых перенапряжений.**

Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN+SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.

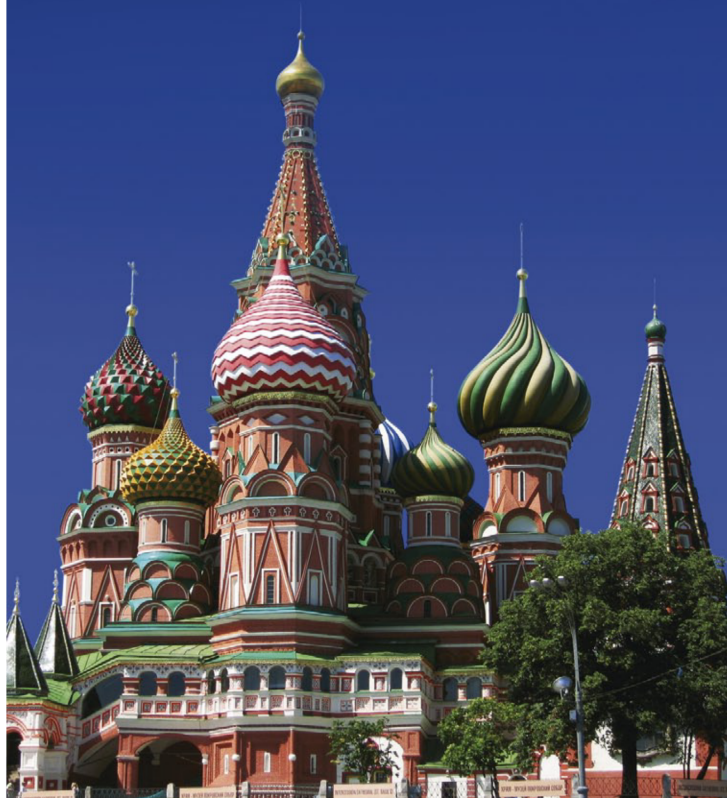
1910 2010 100



DEHN + SÖHNE

2010 год  
Храм Василия Блаженного  
Красная площадь, Москва

Под защитой  
DEHN...



## Молниезащита зданий и сооружений

- Широкий выбор компонентов для создания систем молниезащиты на кровлях различных типов
- Защита антенн и других инженерных сооружений на кровлях от прямых ударов молний
- Защита от импульсных перенапряжений
- Электрозащитные средства



DEHN + SÖHNE

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Экран или УЗИП? И то и другое.

Цикл статей профессора Э.М. Базеляна по молниезащите, представленный фирмой Dehn+Söhne, адресован в первую очередь проектировщикам.

На протяжении последнего года публикации были посвящены таким вопросам, как напряжение прикосновения и шага при ударе молнии, оценка опасности прямых ударов молнии, ее термического и механического воздействия, целесообразность молниезащиты, надежность молниеотводов, особенности защиты офисных зданий.

Все материалы доступны на сайте [www.news.elteh.ru](http://www.news.elteh.ru).

#### КОГДА ЭКРАН ЭФФЕКТИВЕН?

Всегда ли экранировка электрических цепей защищает от мощных электромагнитных наводок, вызванных, например, близкими разрядами молнии? Такой вопрос возникает не только у сельских жителей. Куда больше он волнует специалистов по автоматике и релейной защите электрических сетей, персонал, обслуживающий космические аппараты и авиалайнеры, работников, отвечающих за безопасность железнодорожного транспорта.

Электромагнитная волна практически без потерь распространяется в вакууме или изоляционной среде, например, в воздухе (на этом явлении, в частности, основана работа мобильных телефонов). В проводнике электромагнитная волна затухает, причем тем быстрее, чем ниже удельное сопротивление материала проводника. Очень важна также частота электромагнитного излучения. В технике используют понятие эквивалентной глубины проникновения  $\lambda$ , то есть такой глубины, на которой электромагнитное поле затухает в  $e = 2,71828$  раз. В меди величина  $\lambda \approx 0,07$  мм для излучения частотой 1 МГц и  $\sim 1$  см при промышленной частоте 50 Гц. Сопоставив числа, можно сделать важный практический вывод: экран – действительно хорошее средство защиты электрических цепей от электромагнитного поля, при условии что это поле высокочастотное.

Каково по частоте излучение канала из молнии? Ответ на этот вопрос связан с регистрацией ее тока. На типичной осциллографической записи (рис. 1) средняя длительность фронта (начального участка) импульса составляет около 5 мкс (осциллограммы представлены в двух временных масштабах, чтобы лучше был виден фронт).

Примерно столько же займет полная длительность ЭДС магнитной индукции в ближней зоне, где расстояние от излучающего канала до места воздействия на электрическую цепь много меньше длины канала. Чтобы убедиться в этом, достаточно вспомнить, что ЭДС магнитной индукции здесь прямо пропорциональна скорости изменения магнитного поля. Период эквивалентной частоты будет близок к 10 мкс, а сама частота – к 100 кГц. В таких условиях экран еще достаточно эффективен, поскольку эквивалентная глубина проникновения в медный экран не превысит 0,2 мм.

#### КОГДА ЭКРАН НЕЭФФЕКТИВЕН?

Предположим теперь, что проводники экранированы, но часть тока молнии попала в экран и растекается по нему. На практике такое бывает достаточно часто. Вот один из характерных примеров. Стержневой молниеотвод одновременно служит опорой для крепления осветительной люстры. Для ее питания по бетонной опоре вверх идут провода в металлической трубе. Труба выполняет роль экрана и одновременно транспортирует к заземляющему устройству ток молнии. Взгляните на схему (рис. 2): ток  $I$  входит в трубу, пробегает по ней длину  $l$  и уходит в землю.

Упрощенно падение напряжения на трубе равно  $U = R_0 I l$ , где  $R_0$  – сопротивление единицы длины трубы (его называют погонным сопротивлением). Если электрический проводник внутри как-то связан с началом трубы, а второй его конец открыт, между стенкой трубы и проводником будет действовать напряжение  $U_3 = U$  (напряжение появится и при отсутствии гальванической связи в начале; выбрано просто наиболее наглядное положение).

Рис. 1. Осциллограмма тока молнии

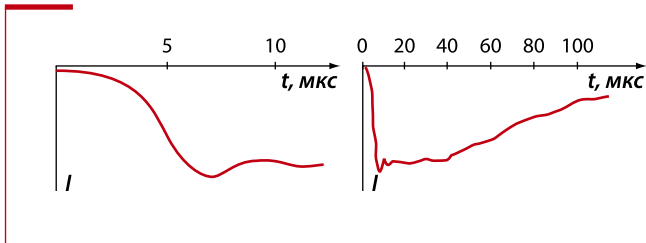


Рис. 2. Схема использования трубы в роли экрана и молниеотвода

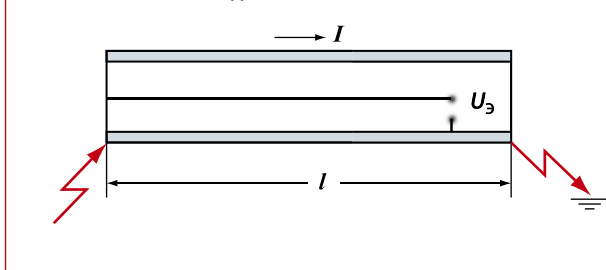
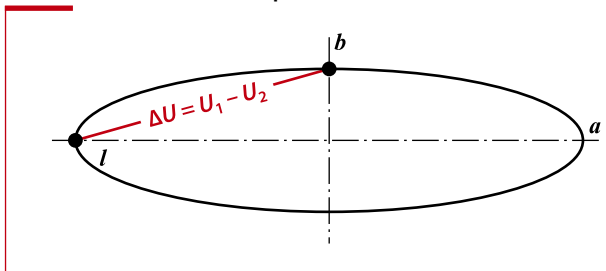


Рис. 3. Эллиптический экран



Теперь элементарная оценка. Представим тонкостенную медную трубку радиусом  $r_0 = 10$  мм и толщиной  $\Delta d = 0,2$  мм, которая равна только что оцененной эквивалентной глубине проникновения излучения. По школьной формуле  $R_0 = \rho / (2\pi r_0 \Delta d)$  с учетом удельного сопротивления меди  $\rho$  погонное сопротивление примерно равно 0,0014 Ом/м. При таком значении  $R_0$  на длине  $l = 50$  м молния с расчетным током 100 кА создаст напряжение около 7 кВ. Трудно надеяться, что изоляция осветительной сети выдержит такое перенапряжение.

Способ ограничения перенапряжения есть, но дешевым его не назовешь. Надо увеличивать массу металла, сделав стенку трубы толще. Так, чтобы снизить перенапряжение до 1 кВ, потребуется медная труба с толщиной стенки 1,4 мм. Если же ориентироваться на черный металл, то в тех же условиях придется оперировать трубой с толщиной стенки больше 4 мм даже при увеличении ее диаметра до 40 мм.

### ФОРМА ЭКРАНА

Человек с опытом заметит, что многие электрические цепи монтируются двухпроводными, а размещение двухпроводной цепи в металлическом экране полностью снимает вопрос о перенапряжениях на изоляции между проводами или на подключенном к ним оборудовании. С таким заявлением нельзя согласиться без очень существенной поправки. Экран действительно ликвидирует перенапряжения в двухпроводной цепи, если в роли экрана выступает труба круглого сечения.

На практике экраны могут иметь эллиптическую форму, например, из-за деформации при транспортировке. Нередко электрические цепи прокладывают в металлических коробах, форма которых даже отдаленно не напоминает круглую.

Анализ эллиптического экрана позволяет пояснить существо проблемы (рис. 3). Невзирая на однородность оболочки по толщине и материалу стенки, погонные плотности импульсного тока в точках 1 и 2 принципиально различны. Отношение их величин равно отношению осей эллипса  $a/b$ , на которых они размещены. В результате для сильно вытянутой оболочки плотности тока могут отличаться в пределах порядка величины и даже больше. Столь же различными окажутся и напряжения между проводниками и оболочкой в точках 1 и 2. Но поскольку сама оболочка эквипотенциальна, различия могут быть обусловлены только разными потенциалами проводников. В итоге приходится признать, что в положении, показанном на рис. 3, между проводниками действует напряжение, близкое к

$$U_{1-2} = R_0 I \left( 1 - \frac{b}{a} \right).$$

Эта частная оценка в качественном отношении справедлива и в самом общем случае. Для экрана с изменяющейся кривизной поверхности всегда найдутся места с повышенной кривизной, где проводники окажутся под действием существенно большей плотности тока. Вот почему коробка прямоугольного сечения – не слишком хороший выбор из-за острых углов в соединениях сторон.

### БЕЗ УЗИП НЕ ОБОЙТИСЬ

Далеко не всегда удается строго контролировать трассировку электрических цепей при монтаже. Кроме того, она может меняться и в процессе эксплуатации, когда кабельные жгуты перекалываются с места на место. По этой причине не следует забывать об ограничителях перенапряжений. При грамотной установке они надежно снижают перенапряжения до безопасного уровня, будь то силовые цепи особо ответственного оборудования, низкочастотные каналы охранной сигнализации или высокочастотные трассы передачи больших потоков информации.

Серьезные специалисты не забывают об устройствах защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) и выбирают их по каталогам наиболее надежных производителей. Так, немецкая фирма DEHN+SÖHNE предлагает УЗИП серий «Красная линия» и «Желтая линия», а также искробезопасные УЗИП.

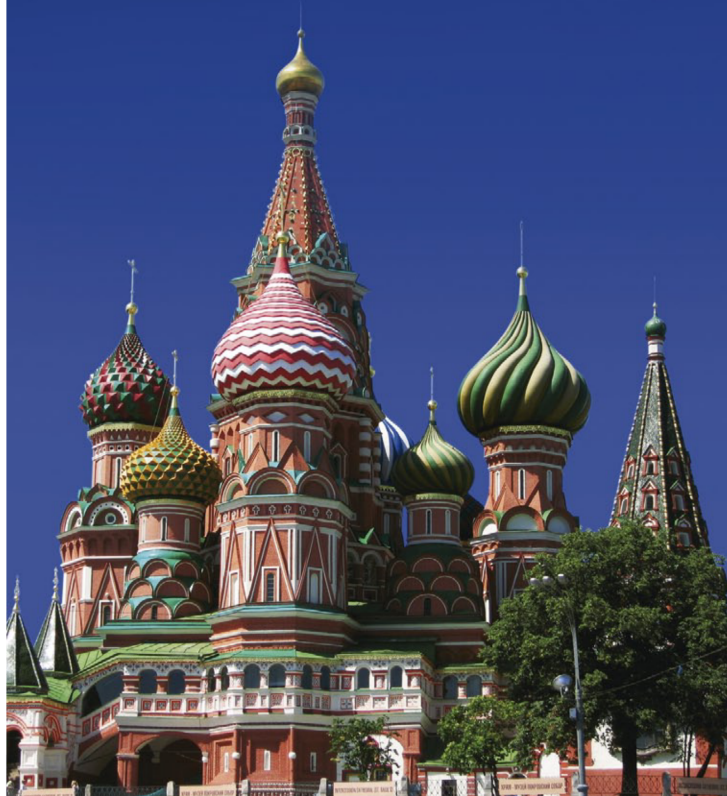
Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN+SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.



DEHN + SÖHNE

2010 год  
Храм Василия Блаженного  
Красная площадь, Москва

# Под защитой DEHN...



## Внешняя молниезащита зданий и сооружений

- Широкий выбор компонентов для создания систем молниезащиты на кровлях различных типов
- Защита антенн и других инженерных сооружений на кровлях от прямых ударов молний
- Защита от импульсных перенапряжений
- Электрозащитные средства



DEHN + SÖHNE

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Напряжения прикосновения и шага при ударе молнии

В помощь проектировщикам фирма Dehn+Söhne продолжает публиковать серию статей профессора Э.М. Базеляна по молниезащите.

Оценка опасности прямых ударов молнии, ее термического и механического воздействия, целесообразность молниезащиты, проблемы надежности молниеотводов, особенности защиты офисных зданий – эти темы уже были рассмотрены в материалах предложенного цикла. Все статьи – в свободном доступе на сайте [www.news.elteh.ru](http://www.news.elteh.ru).

Напряжения прикосновения и шаговое напряжение – опасные параметры, которые не без оснований упоминаются в практических руководствах по молниезащите любой страны. Действительно, прямой удар молнии в человека – явление исключительно редкое. Одиночный человек на открытой местности в средней полосе России будет поражен молнией не чаще, чем 1 раз за 3000 лет, а многочисленные случаи гибели группы людей на футбольном поле, пляже или у автобусной остановки – результат действия шаговых напряжений. Их природа хорошо известна и связана с растеканием в земле тока молнии.

Рис. 1. Растекание тока молнии в грунте ( $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ )

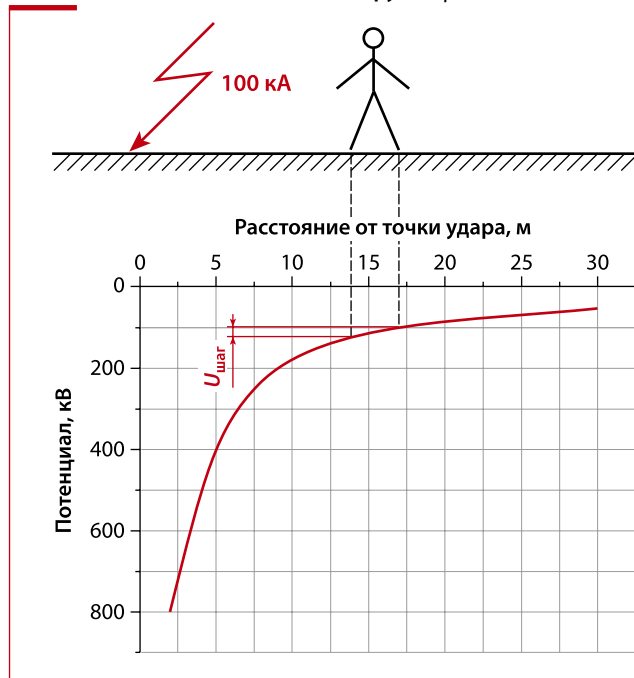
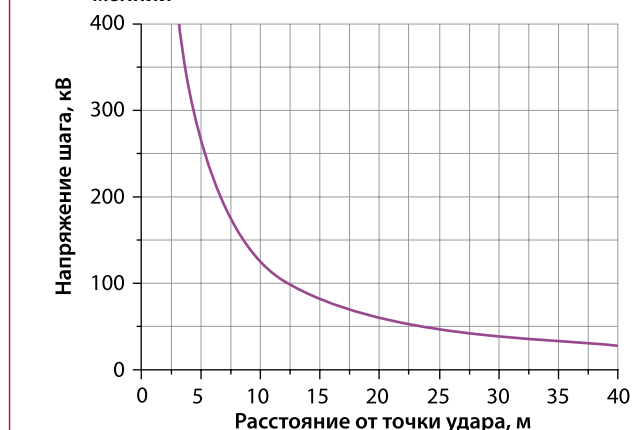


Рис. 2. Зависимость  $U_{\text{шаг}}$  от расстояния до точки удара молнии



#### ШАГОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Нельзя сказать, что грунт – очень хороший проводник. Его удельное сопротивление примерно в 100000000 раз выше удельного сопротивления стали. Когда ток молнии растекается в грунте, там в полном соответствии с законом Ома создается высокое напряжение. Наибольшим потенциалом обладает место ввода тока молнии. По мере удаления от него потенциал падает, но далеко не так быстро, как хотелось бы.

Диаграмма (рис. 1) демонстрирует, как это происходит в рядовом подмосковном суглинке с удельным сопротивлением 100 Ом·м при ударе молнии с током 100 кА. Даже на расстоянии 20 м от места удара потенциал поднялся до 100 кВ. Человек, который там находится, касается ногами земли в точках с разными потенциалами. В результате на длине шага возникает напряжение  $U_{\text{шаг}}$ , равное разности потенциалов между точками касания. Через тело протекает ток, который может быть опасным для жизни.

График зависимости величины шагового напряжения от расстояния до точки удара молнии (рис. 2) показывает, что значение  $U_{\text{шаг}}$  снижается не слишком сильно. Во всяком случае молния все еще опасна на расстоянии 20–30 м, где  $U_{\text{шаг}}$  измеряется десятками киловольт. Теперь становится понятным массовое поражение игроков на футбольном поле или пассажиров на автобусной остановке.

#### НАПРЯЖЕНИЕ ПРИКОСНОВЕНИЯ

К опасному воздействию высокого напряжения может привести любой контакт человека с точками разного потенциала. Например, можно стоять на земле и прикоснуться к какой-либо металлоконструкции здания, когда в него ударила молния. Чаще всего речь идет о токоотводе, который отводит к заземляющему устройству ток молнии. Здесь к разности потенциалов в грунте добавляется еще ЭДС магнитной индукции, наводящаяся в контуре из токоотвода, тела человека, его руки и поверхности земли. Величина этой ЭДС прямо пропорциональна площади контура (обычно  $s \sim 1 \text{ м}^2$ ) и скорости роста тока молнии в токоотводе.

По существующим нормам приходится ориентироваться на максимальную скорость  $A_1 = 2 \cdot 10^9 \text{ А/с}$  и учитывать, что токоотводов должно быть как минимум два, а потому в каждом течет только половина тока. Для оценки в случае двух токоотводов пригодна формула:

$$U_M \approx \frac{3 \cdot 10^{-7} \cdot A_1}{2} \ln \frac{l_p}{r_T},$$

где  $l_p$  – расстояние от человека до токоотвода (фактически – длина прикоснувшейся к нему руки),  $r_T$  – радиус токоотвода.

Если, например,  $I_p = 0,7$  м, а  $r_T = 0,01$  м, вычисления дают  $130\,000$  В = 130 кВ. Хотя время действия такого напряжения вряд ли превысит микросекунду, сотня киловольт представляется вполне значимой величиной, к которой нужно отнестись с должным уважением.

Формула позволяет провести оценку и при большем числе токоотводов. Для этого их фактическое число надо подставить в знаменатель формулы вместо двойки. Сразу видно, что увеличение числа токоотводов – эффективное средство снижения напряжения прикосновения. Этим широко пользуются проектировщики.

Проектировщики также стараются разместить токоотводы в труднодоступных местах, что на практике далеко не всегда удается. В этом случае безопаснее применять изолированные токоотводы. Например, фирма Dehn + Söhne предлагает токоотводы с изоляцией на 100 кВ при импульсе 1,2/50 мкс. Такой токоотвод в каталоге компании называется CUI-проводник и представлен в двух исполнениях – длиной 3,5 и 5 метров (артикулы 830208 и 830218 соответственно).

CUI-проводник (фото 1) представляет собой медный проводник сечением  $50$  мм<sup>2</sup>, покрытый изоляцией из сегчатого полиэтилена (РЕХ) толщиной примерно 6 мм. Сверху дополнительно нанесен тонкий слой полиэтилена (РЕ) для защиты от воздействия окружающей среды.

CUI-проводник подключается при помощи клеммы к спускающемуся токоотводу и вертикально по кратчайшему расстоянию соединяется с системой заземления (фото 2).

Положив руку на изолированный токоотвод, человек мало чем рискует непосредственно. Полимерная изоляция надежно защищает его от контакта с внутренним металлическим проводником. ЭДС магнитной индукции не в состоянии ее пробить.

Тем не менее опасность существует. Ее создает скользящий разряд по наружной поверхности изоляции. Он не требует большого напряжения для своего развития и может протянуться на метры от точки подключения к неизолированному токоотводу до кисти руки человека, коснувшейся изоляции. Особенно сильно этот эффект проявляется при дожде, когда вся поверхность изоляции мокрая. Специальный дополнительный экран в верхней части изолированного токоотвода эффективно устраняет такую возможность, обеспечивая сухую зону (фото 3). Это подтверждено испытаниями при воздействии капель дождя в соответствии с МЭК 60060-1 (фото 4).

### НОРМЫ И РЕШЕНИЯ

Жаль, что поверхность земли нельзя покрыть столь же прочной изоляционной пленкой, как и токоотвод. Тогда проблема шаговых напряжений была бы решена кардинально.

Отечественный норматив СО-153-34.21.122-2003 рекомендует прокладывать заземлитель по внешнему периметру здания на глубине около 0,5 м. Компьютерный расчет позволяет проследить, как меняется величина шагового напряжения по мере удаления от дома с размерами в плане, скажем, 30 на 30 метров. Удельное сопротивление грунта принято равным 500 Ом·м (песок); расчетный ток 100 кА соответствует III уровню молниезащиты.

В этом случае непосредственно у стены человек рискует попасть под напряжение почти 70 кВ. Дальше от дома напряжение меньше, но даже на расстоянии 20 м оно все еще превышает 5 кВ.

Действующий норматив РД 34.21.122-87 для защиты от шаговых напряжений рекомендует укладывать асфальтовое покрытие в местах частого нахождения людей. Толстый слой асфальта выполнит ту же роль, что и изоляция токоотвода. Такое решение возможно у общественных зданий, но вряд ли найдется хозяин, готовый устроить асфальтовую пустыню у своего коттеджа.

Не согласится он и на превращение практически всего приусадебного участка в контур заземления. Контур придется монтировать на глубине до 1 м, прокладывая горизонтальные металлические полосы с шагом до 2 м. Только тогда для рассматриваемого случая с контуром 30×30 м<sup>2</sup> шаговое напряжение упадет до 1,5 кВ, причем только в его центральной части. Ситуация на границе окажется значительно опаснее.

Здесь возникает закономерный вопрос о предельно допустимой величине напряжения. На него до сих пор нет четкого ответа.

Из самых общих соображений ясно, что опасность электротравмы при прочих равных условиях нарастает со временем действия напряжения. В руководстве по технике безопасности предельно допустимым считается 50 В при времени воздействия 1 с, 100 В при 0,5 с и 650 В при 0,01 с. Грозное перенапряжение короче на 2 порядка величины, а потому допустимое значение напряжения должно быть еще выше. Но насколько? Медики и физиологи официально не предлагают конкретных значений, а без серьезных физиологических исследований электрики не в состоянии принимать обоснованные регламентные требования.

Проблема явно зашла в тупик и нуждается в неотложном решении, потому что конструкция заземляющих устройств в молниезащите должна обеспечивать не только допустимое значение сопротивления заземления при растекании токов молнии, но и безопасные напряжения прикосновения и шага. На практике это далеко не одно и то же и требует совершенно разных затрат металла на заземляющие электроды.

CUI-проводник фирмы Dehn+Söhne

Фото 1



Установка CUI-проводника

Фото 2



Дополнительный экран токоотвода

Фото 3



Испытания токоотвода

Фото 4





DEHN + SÖHNE

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Главное для УЗИП – надежность

Фирма DEHN+ SÖHNE продолжает публиковать цикл статей профессора Э.М. Базеляна по молниезащите, рассчитанный главным образом на проектировщиков.

Ранее темами материалов были: целесообразность молниезащиты, надежность молниеотводов, экранирование цепей, особенности защиты офисных зданий, оценка опасности прямых ударов молнии, ее термического и механического воздействия, напряжение прикосновения и шага при ударе молнии.

На сайте [www.news.elteh.ru](http://www.news.elteh.ru) все статьи размещены в свободном доступе.

Даже самая легкомысленная модница не рискнет выбрать автомобиль, руководствуясь лишь цветом кузова и материалом обивки салона, а поинтересуется скоростью машины, надежностью тормозов и безопасностью конструкции. Это естественно, ведь автомобиль – временный дом, а дому подобает быть надежным и безопасным. Старая пословица «Мой дом – моя крепость» актуальности не потеряла.

Хорошо продуманному жилищу не страшны непогода, природные катаклизмы, в том числе молнии. Молниеотвод на крыше – привычная деталь современного дома, которая, однако, уже перестала быть показателем его благоустроенности и надежности. Защищая от прямых ударов молнии, молниеотвод почти не борется с опасным воздействием ее электромагнитного поля, пагубным для электронной техники, повреждающим цепи электроснабжения, телефонную связь, антенные системы и средства внешней охраны. Не редкость, когда последствием магнитных наводок становятся пожары и взрывы с человеческими жертвами.

#### ПАРАМЕТРЫ УЗИП

Сегодня многие производители широко рекламируют такие средства защиты от электромагнитного поля молнии, как УЗИП – устройства защиты от импульсных перенапряжений.

Ведущие европейские фирмы выпускают сотни защитных приборов для силовых, слаботочных и высокочастотных электрических сетей. Откройте, например, каталог фирмы DEHN+ SÖHNE. В томе, посвященном описанию УЗИП, – 380 страниц большого формата. Каждое устройство характеризуется более чем десятком параметров. Здесь может растеряться и инженер-электрик, если он не прошел специальную подготовку.

Многочисленность образцов и разнообразие цен вынуждают заказчика решать вечную задачу о соотношении цены и ка-

чества (хотя параметр цена–надежность все-таки кажется более точным). Каталог не всегда помогает сделать правильный выбор, даже если размещенная в нем информация понятна, а главных параметров всего два – максимальное рабочее напряжение и импульсный ток молнии 10/350 мкс.

**Максимальное рабочее напряжение.** Этот параметр определяет электрическую цепь, для которой предназначено УЗИП. Прибор с напряжением 440 В нельзя ставить в сеть 220 В. Его место в линиях 380 В, где в некоторых режимах напряжение может длительно подниматься на 10–15%.

**Импульсный ток молнии 10/350 мкс.** Этот параметр указывает на то, что при ударе молнии в защищаемое здание через УЗИП обязательно пройдет часть ее тока, и прибор должен не только выдержать его без разрушения, но и защитить устройство, перед которым он установлен. (Цифры характеризуют стандартизованное время фронта импульса тока в канале молнии – 10 микросекунд, а также длительность импульса по уровню 0,5 от амплитудного значения – 350 микросекунд).

Какой импульсный ток выбрать при проектировании прибора? Статистика токов молнии обширна. С вероятностью около 50% амплитуда тока превышает 30 кА, но токи, величина которых гораздо больше, тоже вполне реальны. Максимальный надежно измеренный ток молнии близок к 200 кА. Именно он введен в отечественный норматив и в стандарт Международной электротехнической комиссии (МЭК) по молниезащите в качестве предельного для первого, самого надежного, уровня молниезащиты. Надо ли, чтобы надежное УЗИП обязательно его выдерживало? Ответ на этот вопрос отрицательный.

Молния, ударившая в здание, направляет свой ток по многим металлоконструкциям, связывающим крышу с фундаментом и далее – с контуром заземления, если он предусмотрен проектом в дополнение к металлической арматуре фундамента (через нее и насыщенный влагой бетон ток тоже стекает в землю). Ясно, что если ток молнии стекает несколькими путями, то лишь часть его пройдет непосредственно через УЗИП. Действующий национальный документ ГОСТ Р 51992-2002 предписывает вычислять ток для выбора УЗИП, оговаривая, что для этого «достаточно точно рассчитать омическое сопротивление заземлений». Рисунок, приведенный в тексте стандарта, должен показать, что расчет не является проблемой.

Рекомендацию ГОСТ нельзя рассматривать иначе, как недоразумение. Хорошо известно, что сопротивление заземления контура большой площади в импульсном режиме может в несколько раз отличаться от омического сопротивления. К тому же при большой высоте здания токовая нагрузка его токоотводов определяется не только сопротивлением заземления каждого из них, но и индуктивностями всех токовых цепей. На практике часто возникают ситуации, когда импульсный режим длится десятки микросекунд и принципиально влияет на распределение тока молнии.

Остается ухватиться за единственную спасительную нить, оставленную в нормативе. Приложение А рекомендует: «Там, где невозможна индивидуальная оценка (например, путем расчета), принимают, что 50% общего разрядного грозового тока попадает на вывод заземления систем грозозащиты».

50% от 200 кА составляют 100 кА. В соответствии с этим добросовестные производители предусматривают в перечне выпускаемой продукции УЗИП с импульсным током 10/350 мкс амплитудой 100 кА. В каталоге фирмы DEHN+ SÖHNE это устройства на базе разрядников с артикулами 951300, 951400, 951310, 951200 и 951110. Данные прибора всегда будут соответствовать требованиям отечественного норматива и стандарта МЭК.

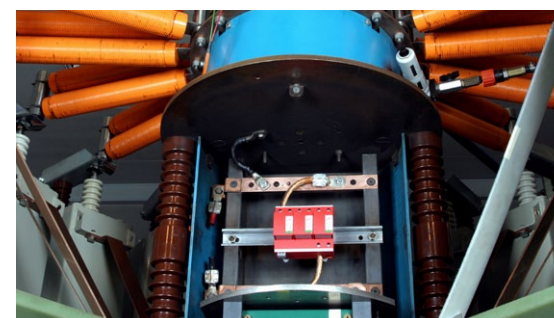
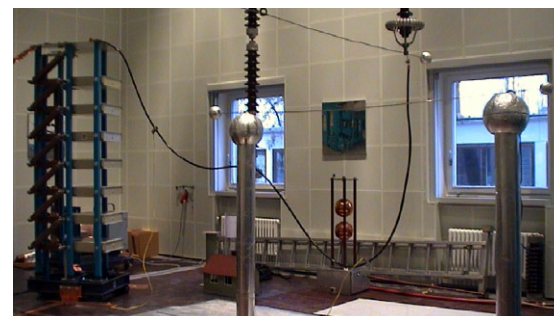
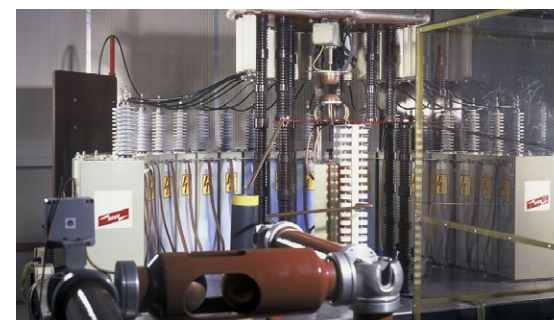
При этом серьезный проектировщик может сократить расходы на молниезащиту, если грамотно рассчитает реальную долю тока в УЗИП и выберет его тип без излишнего запаса.

#### НАДЕЖНОСТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ

Говоря об УЗИП, необходимо остановиться еще на одном существенном моменте. Выбирая автомобиль, вы обязательно обращаете внимание не только на технические данные, но и на репутацию фирмы-производителя, потому что из всех показателей наиважнейшим является надежность. Речь идет не о штучных моделях, а о серийной продукции, надежность которой должна подтверждаться испытаниями тысяч образцов. Вот почему так важно лабораторное оснащение производства, где должны выполняться детальные исследования новых приборов и выборочный контроль серийных продуктов.

Устройство современных испытательных стендов – это очень затратная и технически сложная работа. Высоковольтные стенды

#### Высоковольтные испытательные стенды компании DEHN+ SÖHNE



должны генерировать импульсы тока молнии амплитудой не менее 100 кА, импульсы разрядного тока 8/20 мкс амплитудой не менее 20–25 кА и сопровождающий ток короткого замыкания до 50 кА. Кроме того, необходим источник импульсного напряжения 1,2/50 мкс в десятки киловольт, сложная аппаратура для синхронизации источников в микросекундном диапазоне и для регистрации генерируемых импульсов с погрешностью до 3%.

Помещения высоковольтной лаборатории никогда не называют комнатами. Здесь обоснованно прижился термин «высоковольтный зал». На фотографиях видно, как выглядят высоковольтные стенды компании DEHN+ SÖHNE. Они действительно способны обеспечить полный объем необходимых испытаний всей выпускаемой продукции и подтвердить надежность ее паспортных данных.

Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN+ SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.

# КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ УЗИП В КАЧЕСТВЕ МЕРЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

**А. ФЕДОРОВ** – Руководитель направления представительства компании DEHN + SÖHNE в России

**Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) на современных крупных промышленных предприятиях нефтегазового комплекса являются важнейшим звеном в обеспечении непрерывного рабочего процесса, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по надежности.**

В частности, такие устройства должны безотказно функционировать в сложной электромагнитной обстановке, например, при воздействии мощных импульсов электромагнитного излучения, вызванных разрядами молнии. Такие мероприятия, как правильно спроектированная внешняя молниезащитная система, а также, рациональная прокладка кабелей и экранирование являются в данном случае недостаточными и, поэтому требуется установка дополнительных средств защиты от вторичных воздействий молнии. Такими средствами являются устройства защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП), назначение которых состоит в ограничении переходных перенапряжений и отведении импульсов тока. Эти устройства содержат, по крайней мере, один нелинейный элемент.

Типовая схема УЗИП для АСУ ТП, контрольно-измерительного оборудования, устройств автоматики и телемеханики разработана в соответствии с рекомендациями стандарта Международной электротехнической комиссии IEC 61643-21 и в общем случае представляет собой комбинацию мощного газонаполненного разрядника и защитного диода (супрессора), а также развязывающего элемента (сопротивления, индуктивности, емкости или их комбинации в зависимости от типа защищаемого интерфейса) для обеспечения координации срабатывания защитных элементов.

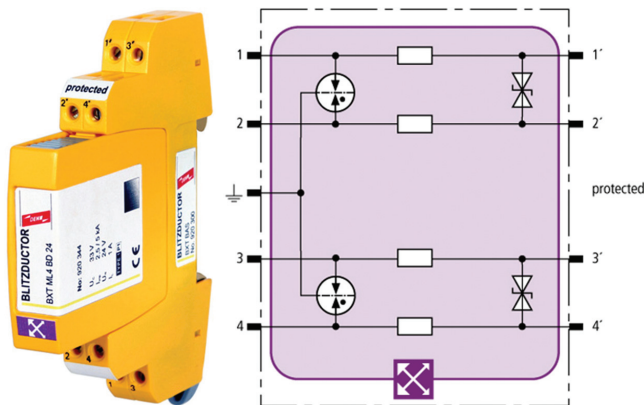


Рис. 1. УЗИП семейства BLITZDUCTOR® XT для АСУ ТП, контрольно-измерительного оборудования, систем автоматики и телемеханики и типовая схема УЗИП BLITZDUCTOR XT на примере устройства BXTU ML4 BD 24

Такое сочетание позволяет обеспечить защиту от мощных импульсных токов молнии до 2,5 кА на жилу сигнального кабеля (с формой волны 10/350 мкс) и разрядных токов до 10 кА/жилу (с формой волны 8/20 мкс) и при этом ограничить перенапряжение на очень низком уровне, оптимальном для слабого оборудования (например,  $\leq 100$  В для УЗИП, предназначенных для защиты дискретных сигнальных линий 24 В).

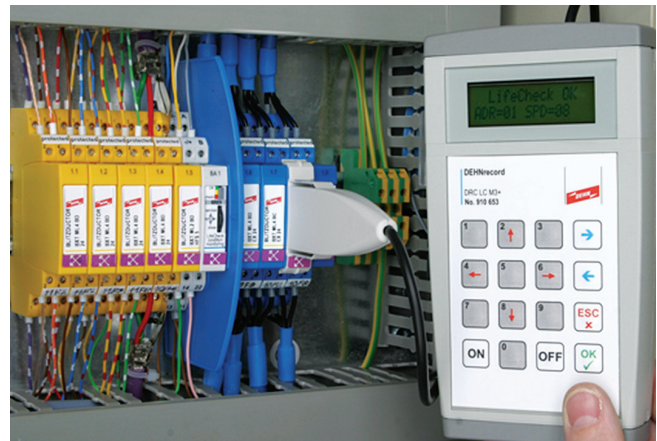


Рис. 2. Переносной тестер DRC LC M3+ и стационарный блок мониторинга DRC MCM XT для контроля состояния до 10 сменных модулей УЗИП BLITZDUCTOR XT



На рис. 1 в качестве примера показаны внешний вид и принципиальная схема одного из устройств защиты от импульсных перенапряжений семейства BLITZDUCTOR® XT компании DEHN + SÖHNE (Германия). УЗИП семейства BLITZDUCTOR® XT представляют собой комбинированные приборы для защиты самых различных интерфейсов в автоматизированных системах управления, контрольно-измерительных системах и устройствах автоматики и телемеханики.

Конструктивно УЗИП семейства BLITZDUCTOR XT состоят из универсального базового элемента и сменных защитных модулей, рассчитанных на применение в конкретных интерфейсах (например, токовых петлях 4–20 мА, цепях измерения температуры, RS-485, ADSL и т.д.). Важным преимуществом УЗИП BLITZDUCTOR XT является наличие контактов внутри базового элемента, которые замыкаются при извлечении сменного модуля (например, при проведении сервисных работ) и тем самым обеспечивают непрерывность передачи сигнала, что особенно важно для крупных промышленных объектов, где остановка рабочего процесса может привести к большим простоям и связанным с этим убыткам.

Конструкция УЗИП BLITZDUCTOR очень компактна: ширина прибора, позволяющего защитить одновременно до четырех линий, составляет всего 12 мм.

В процессе эксплуатации защитные компоненты схемы УЗИП подвергаются электрическим и тепловым воздействиям, что вызывает так называемые процессы старения, интенсивность которых зависит от величины и частоты протекания через УЗИП разрядных токов. Эти процессы приводят к постепенному ухудшению параметров защитных устройств и, в конце концов, к их выходу из строя, что предопределяет необходимость периодического контроля УЗИП на предмет работоспособности элементов защитной схемы. Особым, не имеющим аналогов, преимуществом УЗИП BLITZDUCTOR XT является возможность контроля состояния сменных модулей в режиме on-line с помощью системы мониторинга LifeCheck®. В основе работы данной системы мониторинга лежит обмен информацией посредством радиосигналов между диагностическим устройством со встроенным считывателем и ответчиком, интегрированным в сменный модуль УЗИП. Такой способ мониторинга позволяет определить не только рабочее и аварийное состояния сменного модуля, но также выявить модули, находящиеся в критическом (предаварийном) состоянии, например, в результате протекания импульсных токов, превышающих максимально допустимое для данного УЗИП значение (электрические перегрузки) или работы в температурном диапазоне, превышающем допустимый (тепловые перегрузки).

В качестве диагностического устройства может использоваться либо переносной тестер DRC LC M3+ с RFID-считывателем либо стационарный блок мониторинга DRC MCM XT (Рис. 2), позволяющий контролировать состояние одновременно нескольких сменных модулей УЗИП BLITZDUCTOR XT.

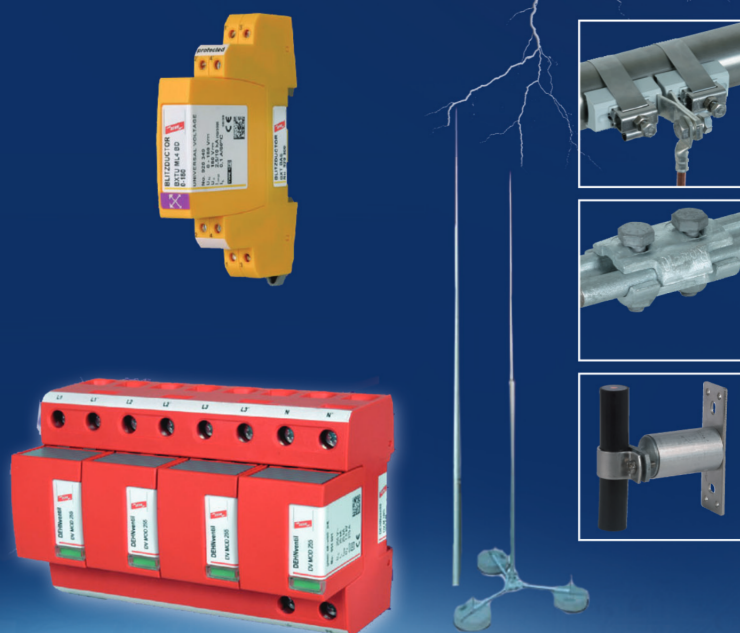
Применение тестера DRC LC M3+ позволяет персоналу, обслуживающему электроустановки, легко и быстро проверить работоспособность сменных модулей УЗИП. Для этого требуется всего лишь поднести антенну тестера со встроенным RFID-считывателем к модулю УЗИП, в результате чего на дисплее тестера в течение нескольких секунд появляется информация об одном из возможных состояний данного модуля: сигнал «ОК», говорящий о работоспособном состоянии или сообщение «Требуется замена УЗИП» в случае, если модуль поврежден или находится в предаварийном состоянии в результате электрической или тепловой перегрузки.

# DEHN

## Компетентная защита объектов нефтегазовой отрасли

**ЗАЩИТА ОТ ИМПУЛЬСНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**ВНЕШНЯЯ МОЛНИЕЗАЩИТА И ЗАЗЕМЛЕНИЕ**



Компания DEHN + SÖHNE, имеющая более чем 100-летний опыт в области молниезащиты, предлагает:

- Ассортимент продукции - около 2500 наименований
- Производство всей номенклатуры устройств для молниезащиты и защиты от перенапряжений в Германии (г. Ноймаркт, Бавария)
- Индивидуальные профессиональные технические консультации
- Руководство по установке и монтажу молниезащиты
- Широкий выбор каталогов, брошюр и других печатных материалов по продукции
- Регулярные технические семинары на предприятиях нефтегазовой отрасли в России

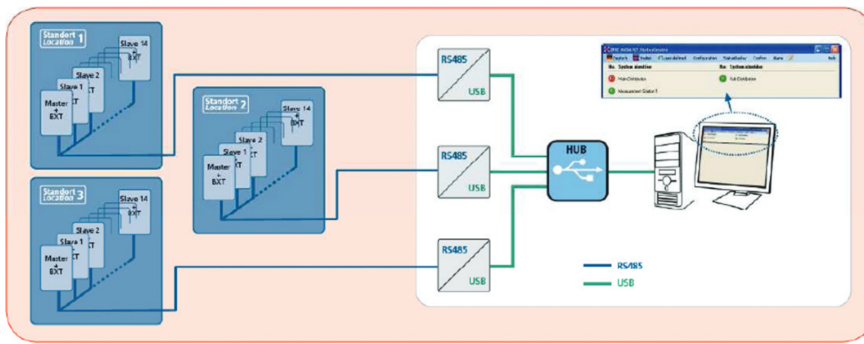


Рис. 3. Конфигурация системы контроля состояния 450 УЗИП BLITZDUCTOR XT

Результаты тестирования (включая дату, время, информацию о состоянии УЗИП) сохраняются в памяти тестера и могут быть переданы на компьютер через интерфейс USB. В комплект поставки входят зарядное устройство для аккумулятора, от которого питается тестер, программное обеспечение для возможности передачи данных на компьютер, USB-кабель и кейс для переноски прибора.

Использование стационарных блоков мониторинга DRC MCM XT позволяет проводить проверку состояния группы УЗИП BLITZDUCTOR без участия эксплуатационного персонала и осуществлять передачу информации на удаленный диспетчерский пункт. Один блок мониторинга посредством RFID-технологии может одновременно контролировать состояние до десяти сменных модулей УЗИП BLITZDUCTOR, позволяющих одновременно защищать до сорока сигнальных линий. Такой блок имеет компактные габариты, совпадающие с габаритами УЗИП BLITZDUCTOR, питается от источника постоянного тока с напряжением в диапазоне от 18 до 48 В, устанавливается на DIN-рейку и имеет встроенный трехцветный индикатор, отображающий состояние модулей в контролируемой группе.

Зеленый цвет соответствует рабочему состоянию, красный – выходу из строя, а желтый – предаварийному состоянию. С помощью специальной функции «Show» на лицевой стороне блока мониторинга можно идентифицировать поврежденный или предаварийный модуль в контролируемой группе для его скорейшей замены. Кроме того, можно передавать информацию о состоянии сменных модулей на диспетчерский пункт либо с помощью встроенных переключающих контактов (питание на постоянном и переменном токе) либо через интерфейс RS-485.

На крупных объектах нефтегазовой отрасли в шкафы автоматики приходят до нескольких сотен и даже тысяч сигнальных линий, а учитывая особую ответственность таких объектов, контроль состояния сменных модулей УЗИП, защищающих эти сигнальные линии, имеет очень важное значение. И решение подобной задачи может быть найдено с использованием системы мониторинга состояния сменных модулей УЗИП BLITZDUCTOR XT LifeCheck®. За счет встроенного в стационарные блоки мониторинга DRC MCM XT интерфейса RS-485 можно синхронизировать до 15 блоков мониторинга и контролировать одновременно до 150 УЗИП BLITZDUCTOR (защищающих одновременно до 600 сигнальных линий). Стандартное программное обеспечение «Status Display and Service Console», входящее в комплект поставки блока мониторинга позволяет отображать состояние каждого из контролируемых модулей УЗИП на экране удаленного компьютера, например, на диспетчерском пульте. С помощью функции «Service Console» оператор сможет легко и быстро присвоить контролируемым модулям адреса, индивидуальные обозначения, а также при необходимости выполнить сброс настроек. Для установки ПО на стандартный компьютер требуется преобразователь интерфейсов RS485/USB, предлагающийся в качестве опции.

Наконец, при необходимости одновременного контроля состояния более чем 150 УЗИП BLITZDUCTOR XT предлагается специальное программное обеспечение SWP MCM ST CENTER, предназначенное для сбора информации и вывода на экран компьютера данных от двадцати совместно работающих приложений Status Display, т.е. с помощью данного ПО можно одновременно контролировать работоспособность до 3000 УЗИП (защищающих до 12000 сигнальных линий).

Пример конфигурации системы для контроля состояния 450 модулей УЗИП BLITZDUCTOR XT приведен на рис. 3.

В каждом из трех шкафов автоматики установлены по 150 УЗИП. Для контроля работоспособности их сменных модулей в каждом шкафу используются по 10 стационарных блоков мониторинга DRC MCM XT, объединенных между собой через интерфейс RS-485. Для отображения на экране монитора информации о состоянии модулей сигнал RS-485 преобразуется в USB с помощью преобразователей интерфейсов USB NANO 485, далее, в целях сокращения количества используемых USB-портов, три сигнала заводятся в концентратор (HUB), откуда уже приходят на вход компьютера в помещении диспетчерского пульта. При переходе в предаварийное состояние или выходе из строя хотя бы одного из контролируемых 450 модулей, раздается звуковой сигнал и на дисплее компьютера появляется информация о том, какой из модулей необходимо как можно скорее заменить.

Системы мониторинга состояния УЗИП LifeCheck® находят широкое применение на предприятиях нефтегазовой отрасли в Европейских странах, также они начинают применяться и в России. Примером может служить компрессорная станция «Ставропольская» ООО «Газпром трансгаз Ставрополь».



Таким образом, применение в автоматизированных системах управления крупных промышленных предприятий нефтегазового комплекса УЗИП BLITZDUCTOR® XT с возможностью контроля состояния сменных модулей в режиме on-line позволяет существенно увеличить надежность работы таких систем в условиях воздействия мощных электромагнитных импульсов, вызванных разрядами молнии, и тем самым предотвратить возможные угрозы обеспечения безопасности и крупные экономические ущербы. ■



# Главное — не навредить!

**Э.М. Базелян (Москва, Россия)**

bazelyan@eninnet.ru

автор многочисленных книг, д.т.н., профессор, руководитель лаборатории моделирования электрофизических процессов Энергетического института им. Г. М. Кржижановского

**Рассмотрена специфика работы ограничителей перенапряжений в электрических цепях современных технических объектов. Подробно анализируется новый тип «ввинчиваемого» УЗИП, который можно использовать для защиты от молнии оборудования в герметизированном объеме, в т.ч. загазованном.**

## Материалы и методы

каталоги и техническая документация компании DEHN + SÖHNE

## Ключевые слова

защита от перенапряжений, надежность, ограничитель перенапряжений, герметизированный объем, взрывоопасность

The main thing is not to do harm!

## Authors

Edward M. Bazelyan (Moscow, Russia)

author of numerous books, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the laboratory simulation of electrophysical processes of the Krzhizhanovsky Power Engineering Institute

## Abstract

Specificity of work of terminators of repressure in electric chains of modern technical objects is considered. The new type "screwed in" SPD which can be used for protection against an equipment lightning in the pressurized volume, including gas polluted is in detail analyzed.

## Materials and methods

catalogs and engineering specifications provided by DEHN + SÖHNE

## Conclusions

Traditionally let out limiters of retention in plastic cases are a little suitable for protection against storm retention of the external electrotechnical installations subject to climatological influences. The firm to DEHN + SÖHNE solved a problem, having created the protection device in the case from the stainless steel, allowing it to screw in a metal wall of the device without sealing violation.

Жаль, что в молниезащите пока не действует первая заповедь врача: не навреди! Заповедь трудно исполнимая, особенно в наше коммерциализированное время. Интернет и телевидение буквально забиты рекламой чудодейственных снадобий. Хорошо еще, если они просто не помогают. А бывает, что вредят и вредят со смертельным исходом. Молниезащита тоже стала коммерческим предприятием. Для технической отрасли такое вполне нормально, если принцип «не навреди» все-таки сохраняет свое руководящее действие. Противных примеров сколько угодно. Достаточно вспомнить, например, об активных молниеотводах. Поверить рекламе и фактически оставить без защиты пространство во многие сотни квадратных метров — это почти та же преступная халатность (хорошо, если не злой умысел), что и скармливание смертельно больному знахарских пилюль неизвестного состава.

Вред можно нанести и неосознанно, например, из-за слабого знания основ молниезащиты. Специалистам не раз встречались проекты, где защита объекта большой площади возлагалась на высокий одиночный молниеотвод. Свою функцию такой молниеотвод выполняет, но его «побочное действие» оказывается весьма нежелательным. Вследствие большой высоты молниеотвод многократно увеличит число близких ударов молнии, возбуждающих грозовые перенапряжения во внутренних цепях. Они могут быть гораздо опаснее молниевых повреждений кровельного материала на незащищенной крыше. Самое досадное, что подобная задача имеет достаточно простое решение: защита кровли и установленного на ней оборудования легко решается при помощи многократных молниеотводов малого превышения, методика их выбора давно отработана, в том числе и в России, но плохо известна проектировщикам. Для этого серийно выпускается исключительно широкий ассортимент молниеприемников, токоотводов и узлов их крепления к современным строительным материалам (рис. 1).



Рис. 1 — Примеры молниеприемников, крепежных и соединительных компонентов для систем молниезащиты фирмы DEHN + SÖHNE

Пожар на резервуарном парке с углеводородным топливом или на складе взрывчатых веществ относят к разряду катастроф. Средства массовой информации подробно демонстрируют их последствия, не забывая объявить причиной пожара молнию. Информационной уткой такое объявление оказывается далеко не всегда. Специалисты знают почти все об опасных проявлениях грозового разряда, но не все они упомянуты в нормативных документах по молниезащите и поэтому иногда ускользают от внимания проектировщиков. Потом при детальном разборе условий развития аварии подчас приходится досадовать по поводу низкой надежности систем автоматики, которые, например, не только не включили систему пожаротушения, но даже не подали сигнала о возгорании.

Автоматику ругают зря. Отказала не сама автоматика, а датчики и электрические цепи, транспортирующие сигналы к исполнительной аппаратуре. Эти цепи, проложенные открытым способом, забыли защитить от индуктированных перенапряжений. Чувствительные элементы цепей вышли из строя в несколько первых микросекунд воздействия электромагнитного поля тока молнии. Автоматика пожаротушения не сработала, потому что к моменту возникновения пожара уже никому было подать сигнал об опасности.

Защита цепей автоматики и управления в полевых условиях требует защитных средств особого исполнения. Не всегда их удается разместить в монтажных шкафах, надежно защищенных от климатических воздействий. Такие шкафы могут быть просто не предусмотрены проектом и даже несовместимы с технологическими особенностями объекта. Защита цепей автоматики и управления в полевых условиях требует устройств ограничения перенапряжений (УЗИП) особого исполнения. В российских климатических условиях УЗИП в пластиковом корпусе на открытом воздухе выглядит не слишком привлекательно. Здесь нужны материалы повышенной стойкости к атмосферным воздействиям.

Технические требования к защитным аппаратам ужесточаются в еще большей степени, когда защищаемый элемент оборудования или датчик располагаются внутри объема при высоком давлении, например, внутри трубопровода. Можно, конечно, изначально спроектировать рабочий агрегат со встроенным УЗИП, но такое решение почти всегда окажется неконструктивным. УЗИП требует постоянного контроля, а иногда и замены без перерыва рабочего цикла защищаемого агрегата. Сброс давления и разгерметизация системы представляются здесь неоправданно сложными операциями. Фирма DEHN + SÖHNE нашла более простое решение, предложив серию герметизированных ограничителей перенапряжений наружной установки.

УЗИП серии DEHNpire (рис. 2) выполнены из высококачественной нержавеющей стали с высокими антикоррозионными свойствами, что позволяет им успешно работать на открытом воздухе при температуре  $-40 \div +80$  °С. К названию приборов добавлен

термин «ввинчиваемые». Это значит, что один из концов устройства оснащен резьбой (метрической или дюймовой, внешней или внутренней), что позволяет его ввинчивать вместо гермоввода полевого оборудования. Тем самым УЗИП присоединяется к внутренней защищаемой электрической цепи, не нарушая герметичности. Защитные элементы DEHNpipe разработаны для двухпроводного измерительного датчика с интерфейсом 4–20 мА; они могут также применяться для установок, позволяющих выполнить только одно подключение к клеммам полевых технологических устройств или снабженных единственной клеммой для гермоввода. В соответствии с технологическим назначением гермоввода корпус УЗИП может иметь прямое или не прямое заземление, а при необходимости может вообще не заземляться. Защитные свойства УЗИП серии DEHNpipe принципиально не отличаются от аналогичных устройств традиционного исполнения.

Фирма разработала и серийно выпускает ввинчиваемые УЗИП для работы с несимметричными интерфейсами. Но самое главное достижение в этой области — разработка прибора DEHNpipe MD Ex(i) для установки во взрывоопасных зонах (рис. 3). Тем самым решена проблема защиты элементов автоматики и дистанционного управления в загазованных зонах, в трубах с потоками углеводородного топлива, в аппаратуре, непосредственно связанной с резервуарами большой емкости. Принцип «защищая, не навредить» соблюдается здесь в полной мере.

#### Выводы

Традиционно выпускаемые ограничители перенапряжений в пластиковых корпусах мало пригодны для защиты от грозовых перенапряжений внешних электротехнических установок, подверженных климатологиче-



Рис. 2 — Ввинчиваемые УЗИП серии DEHNpipe



Рис. 3 — УЗИП DEHNpipe для применения во взрывоопасных зонах



DEHN + SÖHNE

## DEHN компетентная защита объектов нефтегазовой отрасли

ВНЕШНЯЯ МОЛНИЕЗАЩИТА





**Компания DEHN + SÖHNE,**  
имеющая более чем 100-летний опыт  
в области молниезащиты, предлагает:

- Ассортимент продукции – более 2500 наименований
- Производство всей номенклатуры устройств для молниезащиты и защиты от перенапряжений в Германии (г. Ноймаркт, Бавария)
- Индивидуальные профессиональные технические консультации
- Руководство по установке и монтажу молниезащиты
- Широкий выбор каталогов, брошюр и других печатных материалов по продукции
- Регулярные технические семинары на предприятиях нефтегазовой отрасли

ским воздействиям. Фирма Ден+Зёне решила проблему, создав защитное устройство в корпусе из нержавеющей стали, позволяющем его ввинчивать в металлическую стенку аппарата без нарушения герметизации.

#### Список использованной литературы

1. Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер Физика молнии и молниезащиты. М: Физматлит. 2001 г. 320 с.

#### Keywords

protection against repressure, reliability, terminator of the repressure, pressurized volume, explosion hazard

#### References

1. E. Bazelyan and Y. Paizer. Lightning Physics and Lightning Protection. IOP Publishing. 2001

## Активные молниеотводы

В последние десятилетия специалисты по молниезащите были вынуждены пересмотреть свое отношение к молнии. Еще недавно считалось, что главную опасность представляет ее высокотемпературный канал, контакт с которым приводит к взрывам и пожарам. Сегодня наиболее сильным оружием грозового электричества заслуженно считают электромагнитное поле. При ударе в землю или в наземный объект скорость роста тока молнии способна превысить  $10^{11}$  А/с [1], вызывая в ближней зоне быстро меняющееся магнитное поле. ЭДС, которую оно наводит, становится причиной повреждения электрических цепей самого разного напряжения, но особенно сильно страдают низковольтные коммуникации микропроцессорной техники, цепи управления и автоматики.

Впрочем, дистанционное воздействие электромагнитного поля может стать и причиной взрыва сооружения, заполненного взрывоопасной газовой или пылевой смесью. К этому приведет все та же ЭДС магнитной индукции. При скорости роста тока молнии  $di_m/dt \sim 10^{11}$  А/с наведенное напряжение в контуре площадью  $S \sim 1 \text{ м}^2$ , оцениваемое как

$$U_i \approx \frac{\mu_0 S}{2\pi r} \frac{di_i}{dt},$$

составляет около 2 кВ, даже если контур находится на расстоянии  $\sim 10$  м от молниевых канала, что считается допустимым по требованиям ПУЭ [2] и норматива РД 34.21.122-87 [3] для отдельно стоящих молниеотводов. Искра от такого напряжения в случайном малом зазоре будет несопоставимо эффективнее бытовой пьезозажигалки и спровоцирует взрыв.

Вполне ясно, что молниеотвод на крыше защищаемого объекта или в непосредственной близости от него не спасет от воздействия электромагнитного поля молнии. Перехваченная близко стоящим молниеотводом, она практически не изменит своего электромагнитного поля. Вот почему специалисты стремятся увеличивать радиус действия молниеотводов и размещать их на возможно более далеком расстоянии от защищаемого сооружения. При традиционном исполнении это дается дорогой ценой. Даже на уровне земли радиус зоны защиты  $R_0$  сопоставим с высотой молниеотвода  $h$ , причем отношение  $R_0/h$  тем меньше, чем выше молниеотвод [4]. Использование высотных башен в качестве молниеотводов вряд ли можно назвать конструктивным решением, а иного способа увеличения зоны защиты наукой не предлагалось.

Сказанного достаточно, чтобы оправдать попытки увеличения эффективности действия молниеотводов нетрадиционными методами. Ниже будут рассмотрены возможные механизмы воздействия на траекторию молнии и перспективы их использования в молниезащите.

### 1. Процесс ориентировки молнии

Лидер нисходящей молнии, рожденной в грозовом облаке на высоте в несколько километров над поверхностью земли, в начале пути движется по непрогнозируемой траектории, претерпевая многочисленные отклонения от вектора напряженности внешнего электрического поля атмосферы. Это происходит потому, что поле в окрестности лидерной головки, где ионизируется воздух и рождается новый участок плазменного канала, по крайней мере на 2 порядка больше внешнего [5]. Оно создается собственным зарядом лидера, который размещен на поверхности канала и в чехле, сформированном стримерной зоной перед головкой. Неоднократно наблюдались участки, где лидер продвигался поперек внешнего поля и даже в обратном направлении (рис. 1).

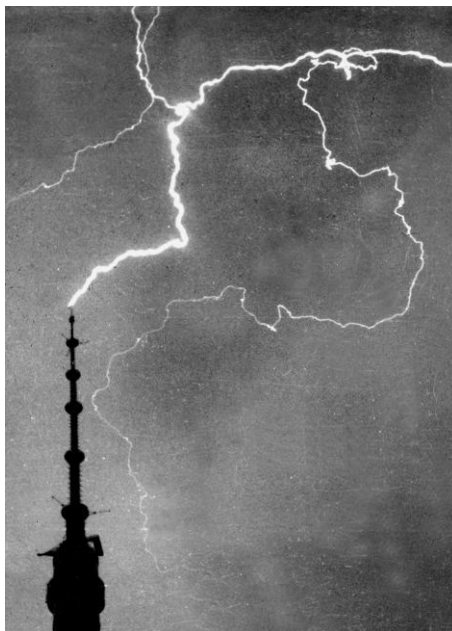


Рис. 1  
Причудливость траектории молнии

Нечто подобное удавалось фиксировать и в длинных лабораторных воздушных промежутках. Все такие отклонения варьировали от разряда к разряду случайным образом. Если в лабораторном эксперименте сфотографировать сотни траекторий и построить по ним усредненную, то случайные отклонения нивелируются и среднестатистический канал пойдет строго по вектору внешнего поля (рис. 2) [5]. В осесимметричном промежутке стержень-плоскость это будет вертикальный канал.

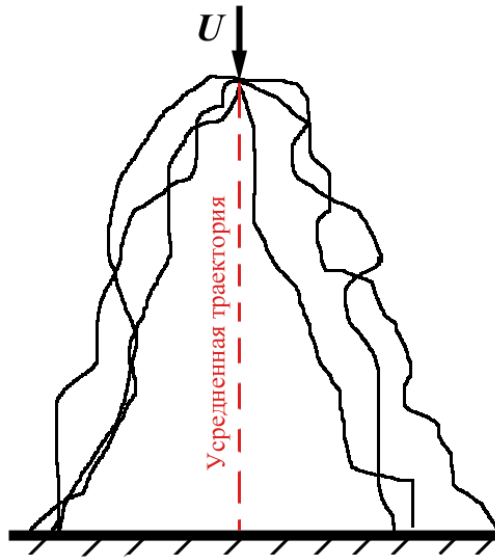


Рис.2  
Усредненная траектория длинной искры в симметричном промежутке

Нарушим симметрию, разместив на заземленной плоскости электрод, имитирующий наземный объект, и снова построим усредненную траекторию для многих разрядов. Теперь средневзвешенный канал пройдет вертикально только до некоторой высоты, а затем отклонится в направлении наземного объекта (рис. 3). Высоту, на которой начинается такое целенаправленное отклонение, можно назвать высотой ориентировки  $H_0$ . Она тем больше, чем выше объект  $h$ .

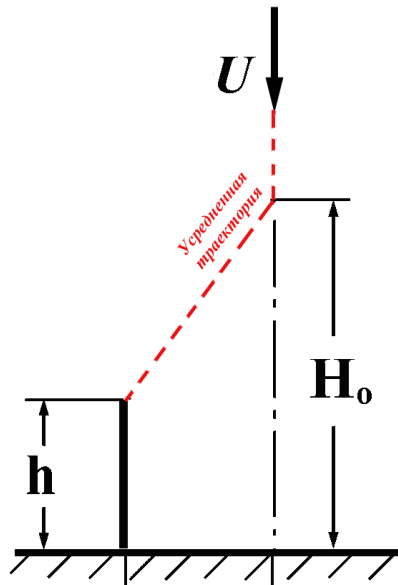


Рис. 3  
Усредненная траектория в промежутке с заземленным электродом

Сегодня механизм ориентировки молнии ясен не до конца. Проще всего было бы посчитать причиной ориентировки то искажение электрического поля, которое вызывают электрические заряды, индуцированные на поверхности объекта. Однако, по результатам численных расчетов их эффект оказывается слишком слабым. Достовернее связывать ориентировку с развитием так называемого встречного лидера. Он всегда стартует от вершины

объекта и направляется навстречу (отсюда и название) лидеру молнии. Контакт лидеров завершает процесс их развития (рис. 4). Чем длиннее встречный лидер, тем на более дальних подступах он перехватывает молнию.



Рис. 4

Встречный лидер от заземленного электрода в лабораторном промежутке

Теперь можно сформулировать программу действия, - чтобы увеличить эффективность молниеотвода надо по возможности раньше возбудить встречный лидер и заставить его расти с максимально возможной скоростью. В сказанном нет ничего противоречащего физике электрического разряда. Требования вполне конкретны и в целом технически реализуемы. Вопрос лишь в том, пригодны ли известные средства их реализации для массового применения. Именно здесь желаемое чаще всего выдается за действительное, а ничем не подкрепленная гипотеза - за строгое знание физики дела.

## 2. Радиоактивные молниеотводы

Их изобрели во Франции почти в середине прошлого века. Идея показалась более чем соблазнительной – разместить на вершине молниеотвода капсулу с радиоактивным веществом. Его излучение ионизует воздух в окрестности капсулы, что стимулирует электрический разряд. Приходится удивляться, что подобная идея родилась в стране, где в самом начале 20-го века проводили серьезные эксперименты по оценке влияния радиоактивности на развитие длинной искры. Эффект оказался нулевым но, как видим, хорошо забытым. Радиоактивные молниеотводы увидели свет, хотя и выпускались очень недолго.

Легко объяснить причину неудачи. Мощного источника излучения на молниеотводе не разместить – пострадают люди, а слабый источник ионизации у вершины молниеотвода существует и без радиоактивной насадки. Воздух там ионизируется благодаря короне. Она возникает в грозовой обстановке под действием электрического поля грозового облака. У земли заряд грозовой ячейки может поднять поле до  $E_0 = 10 - 20$  кВ/м. На молниеотводе типичной высоты  $h = 10 - 20$  м набирается напряжение  $U = E_0 h = 100 - 400$  кВ. Электростатическое поле вытесняется из металлического стержня и сосредотачивается у его вершины малого радиуса  $r_0$ , где напряженность  $E(r_0) \sim U/r_0 = E_0 h/r_0$  легко превышает порог ионизации воздуха, близкий к  $E_{cor} = 3000$  кВ/м. Проку от такого разряда мало. Проводящего плазменного канала он не рождает. Все ограничивается только тонкой зоной ионизации миллиметровой длины, что окружает вершину. Ничего принципиально более мощного радиоактивная капсула к этому добавить не может.

Проверка в лаборатории показала, что даже не слишком длинная искра в 5 – 6 м не реагирует на радиоактивное излучение из заземленного электрода. Ситуация с молнией еще более безнадёжная.

### 3. Можно ли управлять стартом встречного лидера?

Ответ на этот вопрос необходим, чтобы трезво оценивать перспективы создания активных молниеотводов различного исполнения. В научном отношении поставленная задача достаточно сложна. Даже качественный ее анализ требует определенных представлений о механизме искрового разряда. Полагаем, все здесь изложенное будет полезно специалисту по практической молниезащите, вооружит его знаниями для количественной оценки эффективности молниеотводов, предлагаемых на современном рынке. Тем не менее, при острой нехватке времени этот раздел можно пропустить, ограничившись знакомством с его основными заключениями.

Не вызывает сомнения, что любая форма электрического разряда в газе изменяет свои характеристики в зависимости от напряжения на промежутке, структуры электрического поля, температуры и состава газовой среды, а потому все они доступны для управляющих воздействий. В этом отношении встречный лидер исключением не является. Вопрос здесь не в принципе, а в материальных затратах на создание систем активного управления. Система обязательно должна быть надежной, дешевой и эффективной – только тогда она будет реально внедрена в молниезащиту. Дешевизна же непосредственно связана с требуемым уровнем управляющих воздействий, которые должны быть возможно более слабыми. Это значит, что точкой приложения сил должен стать только что зарождающийся встречный лидер, пока он не сформировал собственное сильное электрическое поле, с которым трудно конкурировать.

Известно, что плазменный высоко проводящий канал лидера может прорасти от вершины молниеотвода только в том случае, когда газ в канале нагрет до высокой температуры [6]. Окажись воздух холодным, электроны, рожденные в сильном поле у головки канала, за время порядка 1 мкс прилипли бы к молекулам кислорода и воды, образовав малоподвижные отрицательные ионы и снизив тем самым проводимость плазмы примерно на 3 порядка величины. Только при газовой температуре около 5000 К и выше электроны могут существовать практически неограниченно долго (во временном масштабе молнии ~ 1 мс), обеспечивая рост встречного лидера. Слабой по мощности короне неоткуда взять энергию для столь интенсивного нагрева. На это способна только стримерная вспышка.

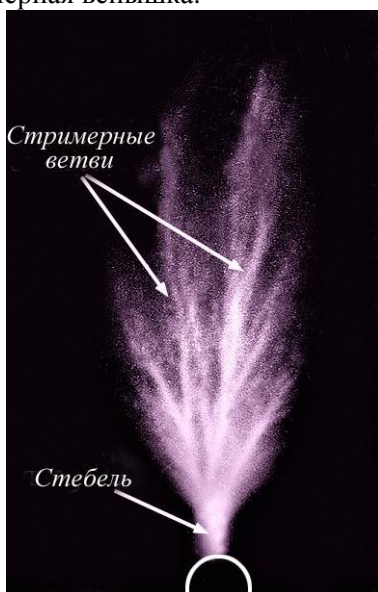


Рис. 5

#### Стримерная вспышка от заземленного электрода

В лабораторном эксперименте видно, как при определенном токе короны электрический разряд резко меняет свою форму. Вместо тонкой зоны ионизации, “прилепившейся” к вершине электрода, от него стартует ветвь из многих светящихся каналов длиной порядка метров (рис. 5). Это стримеры. Каждый из них представляет собой след волны ионизации, которая может двигаться от электрода со скоростью вплоть до  $10^9$  см/с. Стримеры хорошо ионизованы. Начальная плотность электронов в их каналах достигает  $10^{14}$  см<sup>-3</sup> [5,6]. К сожалению, она очень быстро падает, потому что воздух в стримере остается холодным. Каждый стример в отдельности не в состоянии нагреть самое себя. Зато вся совокупность стримеров объединенным током стримерной ветви разогревает ее основание. Здесь в так называемом стебле и может зародиться встречный лидер. Условия его рождения известны.



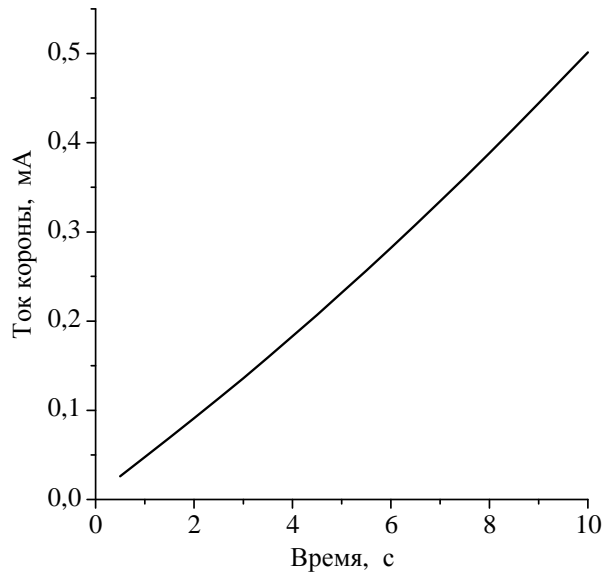


Рис. 6

Ток короны от вершины молниеотвода высотой 100 м, радиус вершины – 2 см.  
Поле грозового облака линейно нарастает до 20 кВ/м за 10 с

Во-первых, ток короны должен превысить некоторое критическое значение порядка 10 мА, при котором рождается стримерная вспышка [7]. В медленно (за десятки секунд) нарастающем поле грозового такое исключено даже при очень большой высоте молниеотвода. Для иллюстрации на рис. 6 по результатам компьютерного моделирования показана динамика изменения тока короны от стержневого молниеотвода высотой 100 м в грозовом электрическом поле, линейно нарастающем до 20 кВ/м за 10 с. Видно, что даже для такого высотного сооружения ток короны примерно в 20 раз меньше критического.

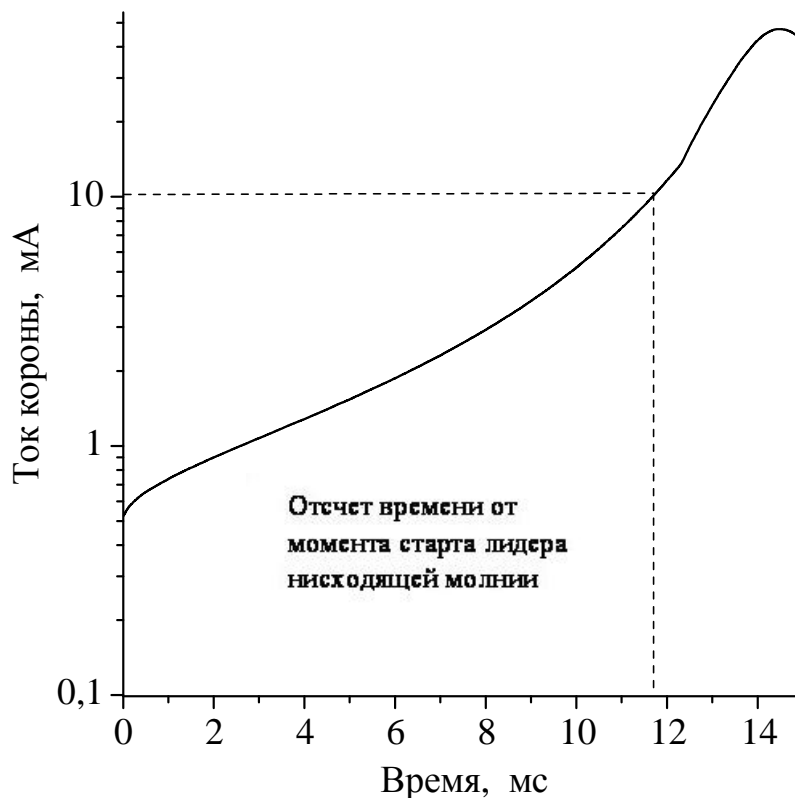


Рис. 7

Рост коронного тока от вершины молниеотвода во время развития лидера нисходящей молнии. Параметры молниеотвода те же, что указаны на рис. 6. Лидер молнии стартовал на высоте 3000 м с радиальным смещением 300 м; скорость лидера -  $2 \times 10^5$  м/с, погонный заряд – 0,5 мКл/м

Ситуация меняется принципиально, когда на поле грозового облака накладывается поле заряда приближающегося лидера нисходящей молнии. Последнее быстро нарастает, потому что полет молнии от облака до земли занимает всего 15 – 20 мс. Корона реагирует на быстрое изменение поля интенсивным ростом своего тока. Из расчетных данных на рис. 7 видно, как это происходит при типичной скорости движения лидера нисходящей молнии  $2 \cdot 10^5$  м/с. Предполагалось, что молния стартовала на высоте 3000 м и ее лидер опускался вертикально с боковым смещением 300 м относительно оси стержневого молниеотвода. Примерно через 11,8 мс после старта ток короны вырос до 10 мА и приблизился к критическому, при котором возможен старт встречного лидера. При этом электрическое поле у земли выросло всего 1,5 раза. Значит, действующим фактором оказалась не только величина напряженности поля атмосферы  $E_0$ , но и скорость ее роста  $E_0/dt$ .

Последнее заключение представляется очень соблазнительным. Действительно, лидер молнии, “работая” в миллисекундном диапазоне, довел ток короны до критического значения усилением поля в атмосфере всего на  $\Delta E_0 \approx 10$  кВ/м, затратив на это напряжение  $\Delta U_0 = \Delta E_0 h \approx 1000$  кВ, распределенное на длине молниеотвода  $h$ . Теория говорит, что у нестационарной короны в электрическом поле атмосферы коронный ток пропорционален  $E_0(dE_0/dt)^{1/2}$ . Значит, без потери эффекта можно ослабить управляющее воздействие, скажем в 50 раз (20 кВ вместо 1000 кВ), если увеличить скорость его нарастания в  $50^2 = 2500$  раз. С этой целью на вершину молниеотвода надо подать управляющий импульс напряжения  $\sim 20$  кВ с фронтом микросекундной длительности. Подобное устройство легко реализуемо на современной элементной базе и потому перевод разряда на вершине молниеотвода в стримерную форму не создает проблем. Иное дело – зарождение встречного лидера. Далек не каждая стримерная вспышка способна родить лидер в объеме своего стебля. Для этого требуется вполне определенный вклад энергии. Эксперименты в лаборатории подтверждают теоретическую оценку, согласно которой для зарождения лидера требуется стримерная вспышка с длиной ветвей  $\sim 1$  м. Если грозовое облако заряжено отрицательно, а встречный разряд от заземленного электрода соответственно положительный (так бывает примерно у 90% молний), на стримерную ветвь длиной 1 м при нормальных атмосферных условиях должно ложиться напряжение  $\Delta U_{0max} \approx 400 - 500$  кВ [6]. Эту величину можно рассматривать как критерий рождения встречного лидера в объеме стебля стримерной вспышки.

Когда стримерная вспышка рождается естественным путем, за счет усиления поля зарядом лидера нисходящей молнии, распределение напряжения в приэлектродной зоне обеспечивает выполнение лидерного критерия. По данным рис. 8 (красная кривая) напряжение на длине 1 м здесь заведомо больше, чем  $\Delta U_{0max}$ . Если же попытаться стимулировать рождение стримерной вспышки наложением на вершину электрода крутого импульса напряжения малой амплитуды (величиной 20 кВ, как в только что рассмотренном примере), то желаемый эффект не будет достигнут. Стримерная вспышка возникнет и здесь, но напряжение на длине 1 м едва поднимается до 200 кВ (синяя кривая). До порогового значения  $\Delta U_{0max}$  еще очень далеко, а потому встречный лидер не сможет зародиться. Наше воздействие на процесс оказывается безрезультатным.

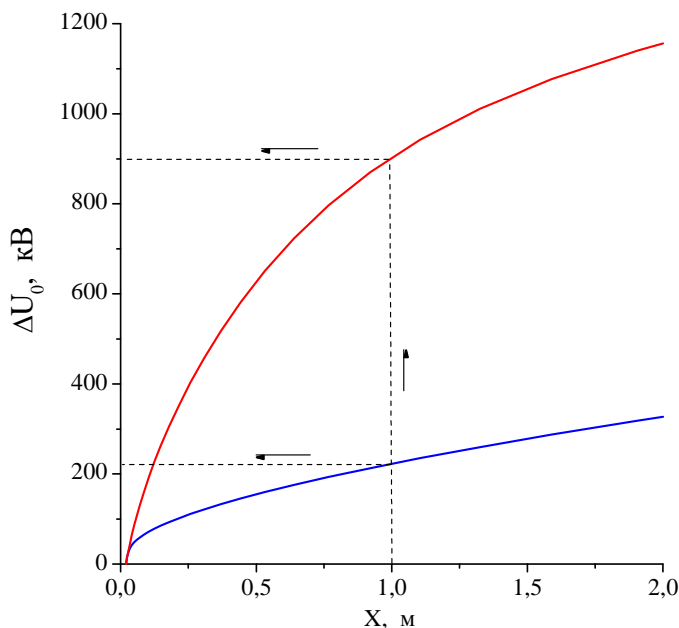


Рис. 8

Распределение напряжения у вершины молниеотвода высотой 100 м в момент старта стримерной вспышки за счет усиления поля нисходящим лидером (красная кривая) и набросом крутого импульса 20 кВ (синяя кривая)

Понятно и другое. Чтобы добиться успеха, управляющее воздействие должно быть соизмеримо по величине с  $\Delta U_{0\max}$ . Значит десятками киловольт обойтись не удастся. Приходится оперировать сотнями киловольт. А это уже совсем другая техническая конструкция и другие деньги.

#### 4. ESE – молниеотводы

Под таким названием выпускаются современные активные молниеотводы. Аббревиатура образована английскими словами “ранняя стримерная эмиссии”. Предполагается, что конструкция молниеотвода обеспечивает исключительно раннее развитие встречного разряда, от чего, якобы, вырастает длинный встречный лидер, перехватывающий молнию на в 5 - 6 раз более далеком расстоянии. Молниеотвод отличается обоюдоострой конической вершиной, на которую подается импульс высокого напряжения от встроенного источника. Источник – “known-how” фирмы. Вероятно, его накопитель энергии заряжается от тока короны в электрическом поле грозового облака. Изолирующая прокладка между вершиной молниеотвода и его основанием толщиной в несколько миллиметров позволяет оценить предельную величину напряжения, которое может быть подана на вершину. Не при каких обстоятельствах оно не выше 20 – 30 кВ. Из сказанного в разделе 3 ясно, что столь низким напряжением встречный лидер не стимулировать. Остается только радиус вершины. Его влияние подробно анализировалось с помощью численного моделирования [8]. На рис. 9 показано при какой высоте нисходящего лидера молнии может стартовать стримерная вспышка от стержневого молниеотвода высотой 50 м с вершиной различного радиуса. Здесь влияние радиуса налицо. Но для успешной работы молниеотвода важна не стримерная вспышка, а активно растущий встречный лидер. К сожалению, в диапазоне малых (< 1 см) радиусов вершины влияние этого параметра на возникновение активно растущего встречного лидера пренебрежимо слабое (рис. 9).

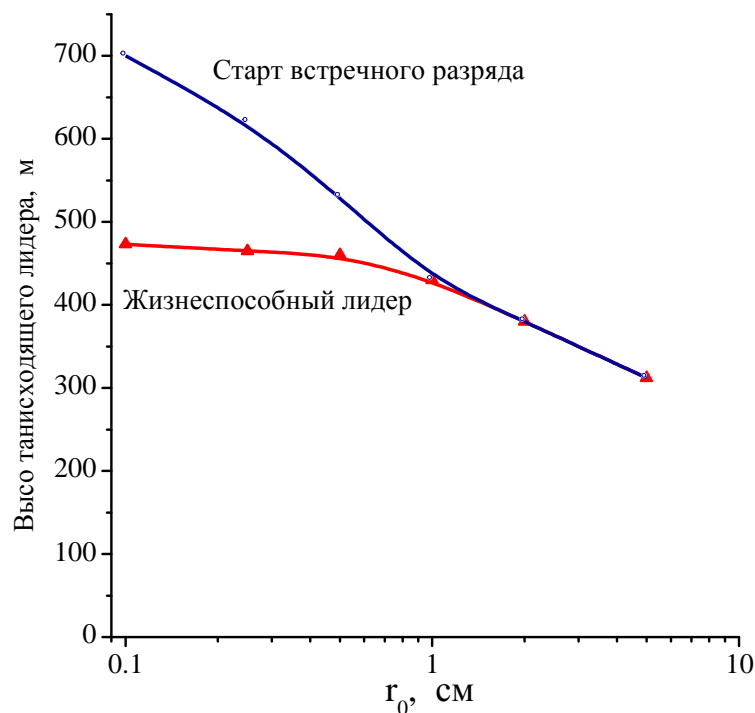


Рис. 9

Влияние радиуса вершины молниеотвода на условия старта стримерной вспышки и активно растущего встречного лидера

Как итог можно заключить, что использование ESE-молниеотводов вместо традиционных аналогичной высоты не должно привести к расширению зоны защиты.

Аналогичные результаты был получены из сравнительного опыта эксплуатации ESE и обычных молниеотводов специалистами университета Нью-Мехико [9,10]. Они не выявили никаких преимуществ “активных” молниеотводов. Научная сессия IEEE в 2003 г в Торонто подвела итог дискуссии по активным молниеотводам. Аргументов в их пользу специалисты не увидели.

Тем не менее, выпуск ESE-молниеотводов продолжается. Рекламная компания фирм-производителей усиленно навязывает их потребителям далеко не во всем честными методами. Например, демонстрируются протоколы испытаний молниеотводов на высоковольтных стендах. Такие испытания в промежутках длиной около 10 м действительно проводились в некоторых

странах, в том числе и в России. Их результаты никак не могли претендовать на оценку эффективности молниеотводов. Эксперимент в лабораторном промежутке принципиально нельзя переносить на молнию с в сотни раз большей длиной канала, поскольку все основные параметры длинной искры резко нелинейные, а процесс ее развития не подчиняется законам подобия. В лучшем случае в лаборатории подтверждалось вполне очевидное и мало значащее для сути дела предположение о более раннем возбуждении стримерной вспышки от электрода меньшего радиуса. И это все.

Важно отметить, что ни в одном отечественном нормативном документе по молниеозащите (как, например, и в нормативах США) нет никаких указаний на возможность использования в практике проектирования ESE – молниеотводов. Все включенные в них предписания касаются только молниеотводов традиционного исполнения. И только эти предписания являются юридическим основанием для последующей проверки законности применения избранных средств защиты от прямых ударов молнии. В этой связи вызывают недоумение действие некоторых руководителей государственных инспекций, имеющих собственные мнения относительно использования активных молниеотводов. Так, заместитель руководителя Ростехнадзора по Уральскому региональному округу Ю.И. Юдин разрешил применение отечественных активных молниеотводов “Громостар” в своем округе. Он руководствовался заключением № 1-М от 31.08.06 “Центра лабораторного анализа и технических измерений УрФО”, не имеющего никакого отношения к теории и практике молниезащиты. Еще дальше пошло Управление государственного энергетического контроля в лице заместителя начальника А.В. Цапенко. Есть смысл привести копию его информационного (а на деле сугубо рекламного) письма полностью. К письму остается добавить, что рекламная деятельность не входит в функции Управления. Что же касается самого заключения о молниеотводе “FOREND EU”, разработанного в Турции, то оно основано на экспертном заключении ООО “Энергоаудит” № 05/07-39 от 14.11.07. На сайте этой организации [www.enaudit.ru](http://www.enaudit.ru) помещена статья, претендующая на пояснение физических принципов работы молниеотвода. Из нее следует, что специалисты “Энергоаудит” так мало знакомы с проблемой активных воздействий на молнию, что перепутали результаты лабораторных испытаний стойкости молниеотвода к воздействию тока молнии с испытаниями, которые

УПРАВЛЕНИЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАДЗОРА

123053, Москва, ул. Красина, д.27, стр.1  
Телефон/факс: 254-99-68  
E-mail: rostehnadzor@list.ru

№ 22.11.04 № 10-04/303/12  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
О применении молниезащитного  
устройства фирмы «FOREND»

Информационное письмо

Управление государственного энергетического надзора Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору доводит до Вашего сведения, что им согласовано применение на территории Российской Федерации молниезащитного устройства фирмы «FOREND».

Данное устройство признано соответствующим требованиям и условиям действующих нормативных документов, имеет сертификат соответствия № РОССТР.МЦ01.В00445, выданный органом по сертификации «ТехноСерт».

Управление государственного энергетического надзора не возражает против применения данного молниезащитного устройства при решении вопросов защиты объектов от прямых ударов молнии.

Прошу Вас данную информацию довести до сведения проектных, строительно-монтажных организаций и потребителей электрической энергии.

По вопросам технических характеристик и описания молниезащитного устройства фирмы «FOREND» обращаться по тел. 8(495) 229-00-12, 229-99-21.

Заместитель начальника



А.В.Цапенко

Рис. 10

Копия письма, разрешающего применять активные молниеотводы фирмы «FOREND»

обязаны были подтвердить эффективность предложенных фирмой управляющих воздействий на встречный лидер.

Приходится еще раз повторить, что методика расчета зон защиты молниеотводов в отечественных нормативных документах по молниезащите сознательно не принимает во внимание все рекламируемые управляющие воздействия, поскольку они противоречат современным представлениям о процессах ориентировки молнии, а приписываемый им положительный эффект не подтвержден ни полномасштабными испытаниями, ни опытом эксплуатации. Норматив не может запретить Вам тратить деньги на активные молниеотводы, но приобретая их, надо помнить, что Вы должны выбирать высоту, число и место расположения молниеприемников, исходя из требований национальных нормативных документов, а не рекламных инструкций, составленных фирмами-изготовителями. Разрешительные письма, подобные здесь приведенным, не будут приняты в качестве индульгенции при расследовании очередной грозовой аварии.

**Литература**

1. V. Rakov, M. Uman. Lightning. Physics and effects. 2003. Cambridge University Press. 687 p.
2. Правила устройства электроустановок. ПУЭ. Издание 7. 2002.
3. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87. М.: Энергоатомиздат. 1991.

4. Э.М. Базелян . Молниезащита высоких сооружений. Изв. РАН, Энергетика. 2005, № 3, С. 35-74.
5. Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер Физика молнии и молниезащиты М: Физматлит, 2001. 320 с.
6. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд. М: Из-во МФТИ, 1997. 320 с.
7. Aleksandrov N.L., Bazelyan E.M., Carpenter R.B., Jr., Drabkin M.M., Raizer Yu.P. The effect of coroneae on leader initiation and development under thunderstorm conditions and in long air gaps/ J. Phys. D: Appl. Phys. 2001, V. 34, p. 3256-3266.
8. N.L. Aleksandrov, E.M. Bazelyan, F.D'Alesandro and Yu.P. Raizer. Dependence of lightning rod efficacy on its geometric dimension – computer simulation/ J. Phys. D: Appl. Phys. 2005, V. 38, p. 1-14.
9. W. Rison. Experimental validation of conventional and non-conventional lightning protection systems. 2003. Report on Conf. IEEE. Toronto, Canada.
10. C. Moore, G. Aulich and W. Rison. Measurement of lightning rod responses to nearby strikes. / Geophys. Res. Let. 2000, 27,P. 3201-3204.

Д.т.н., проф.

Э. Базелян