



**Эдуард Базелян**, д.т.н., профессор,  
руководитель лаборатории моделирования электрофизических процессов  
Энергетического института им. Г. М. Кржижановского

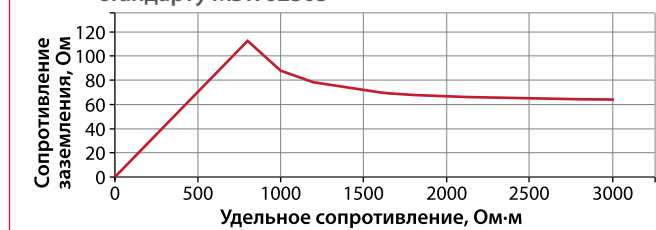
## ЗАЗЕМЛЕНИЕ МОЛНИЕОТВОДОВ

Количество статей о заземлении молниеотводов трудно подсчитать. Заземляющее устройство – необходимый элемент каждого молниеотвода. Именно оно обеспечивает отвод в землю тока молнии.

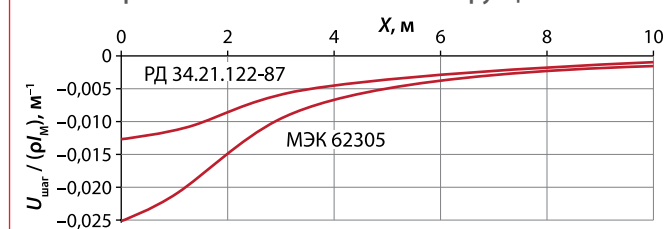
Нормативные документы по молниезащите указывают, что процесс отвода тока молнии в землю должен быть безопасным. О какой безопасности идет речь? О безопасности людей и животных или о безопасности электронной аппаратуры на защищаемом объекте? На этот вопрос в действующих документах нет ответа. Не ясен и принцип нормирования сопротивления заземления, использованный составителями этих документов. Нормируется не сопротивление заземления, а минимально допустимая длина заземляющих шин (стандарт МЭК 62305) и даже полная конструкция заземлителя (инструкция РД 34.21.122-87).

Подобное нормирование неоднозначно. Например, из предписаний МЭК для регионов с различным удельным сопротивлением грунта следует, что для II уровня защиты допускается линейный рост сопротивления заземления молниеотвода по мере увеличения удельного сопротивления грунта  $\rho$  до 800 Ом·м, а в еще более высокоомных грунтах этот параметр должен почему-то снижаться, асимптотически приближаясь к величине около 65 Ом (рис. 1). Трудно дать какое-то физическое обоснование такой зависимости, тем более что ни в лаборатории, ни в полевых условиях не удалось обнаружить связь защитного действия молниеотвода с его сопротивлением заземления, по крайней мере, вплоть до 100 Ом. Последнее легко объяснить. Точка удара молнии определяется конкурирующим развитием встречных лидеров: от молниеотвода и от защищаемого объекта. В начальной фазе этого процесса ток встречного лидера не превышает 10 А, а потеря напряжения от этого тока на сопротивлении заземления молниеотвода – приблизительно 1000 В – величина несопоставимо малая, по сравнению с тем перепадом напряжения в электрическом поле атмосферы, что питает встречные лидеры.

**Рис. 1.** Зависимость сопротивления заземления от удельного сопротивления грунта согласно стандарту МЭК 62305



**Рис. 2.** Напряжение шага при растекании тока молнии через заземлители типовых конструкций



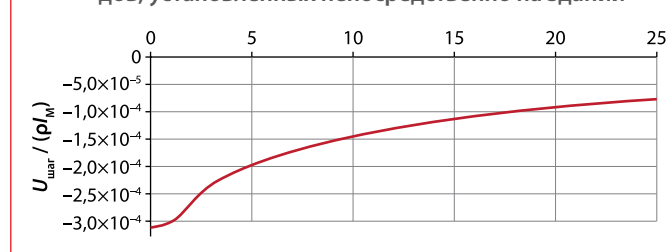
### ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ГРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Если для защитного действия молниеотвода величина его сопротивления почти не имеет значения, то при его выборе трудно опираться на что-то, кроме требования безопасности. Обсуждая безопасность человека и животных, приходится оперировать величинами напряжения шага и прикосновения. Оба эти параметра малоприспособлены для нормирования в молниезащите, поскольку опасность напряжения для живого организма в большой степени зависит от времени его воздействия. К сожалению, в отечественных нормативных документах оно не опускается ниже 0,01 с, что на 2 порядка больше длительности тока молнии, а, значит, и напряжения, обусловленного его растеканием в земле. Попытка экстраполировать опасные значения на более кратковременные воздействия, исходя из неизменности выделившейся энергии, – это первое, что представляется сколько-нибудь логичным. Тогда вместо предельно допустимого значения 600 В для воздействия в течение 0,01 с нужно ориентироваться на величину в 6000 В для 100 мкс (0,0001 с). Такой пересчет не обоснован данными физиологических исследований, но и альтернативы ему пока тоже нет.

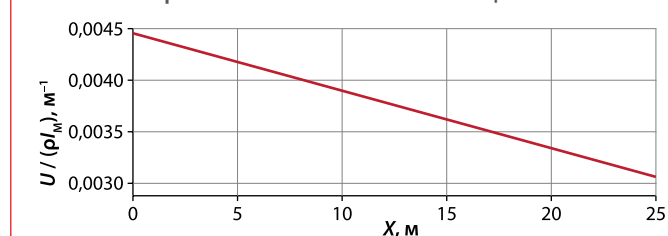
Рассмотрим типичные ситуации, связанные с растеканием тока молнии, чтобы оценить хотя бы на качественном уровне, как часто грозовые воздействия создают напряжение шага, опасное для человека. Начнем с типовых заземляющих устройств, упомянутых в РД 34.21.122-87 и в МЭК 62305. Расчеты (рис. 2) выполнены для горизонтальной шины длиной 10 м, которая предписана стандартом МЭК для грунтов с  $\rho$  до 500 Ом·м (при I уровне защиты), и для конструкции с тремя вертикальными стержнями длиной от 3 м, которая предусмотрена в РД 34.21.122-87 для любых отдельностоящих молниеотводов.

Расчетные значения напряжения шага на графике нормированы произведением  $\rho I_M$  и потому пригодны для оценки в любой линейной среде при произвольном токе молнии  $I_M$ . Картина не слишком оптимистичная. Даже при удалении от молниеотвода на 10 м нормированное расчетное значение превышает по абсолютной величине  $0,0015 \text{ м}^{-1}$ . Это значит, что при токе молнии 100 кА (III уровень защиты) напряжение шага превысит 15 кВ

**Рис. 3.** Напряжение шага при использовании молниеотводов, установленных непосредственно на здании



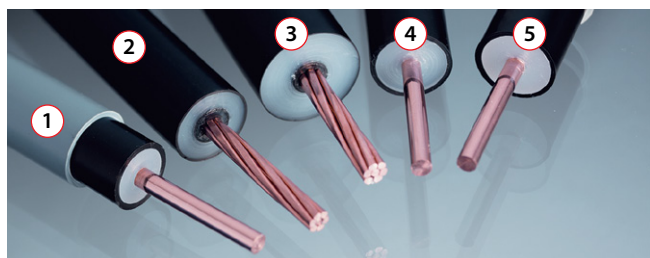
**Рис. 4.** Напряжение шага при использовании изолированной системы молниезащиты





Изолированные токоотводы серии HVI® фирмы DEHN + SÖHNE

Фото 1



1. HVI-light 2. Токоотвод HVI черный с многожильным твердым проводником 3. HVI-power 4. Токоотвод HVI черный с одножильным твердым проводником 5. Токоотвод HVI серый с одножильным твердым проводником

в грунте с  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , и 150 кВ при  $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Заметим, что на практике встречаются и более высокоомные среды. Таким образом, окрестность любого отдельностоящего молниеотвода с заземлителем, соответствующим действующим нормативам, опасна для населения и персонала защищаемого сооружения.

Теперь поговорим о молниеотводах, устанавливаемых на здании. Как правило, роль их заземлителя выполняет фундамент здания. Пусть будет здание с основанием  $50 \times 50 \text{ м}$ , свайный фундамент которого заглублен на 10 м (такое исполнение характерно для высотных зданий). Расчеты (рис. 3) показывают, что распределение электрического поля на земле в окрестности здания выровнено значительно больше, чем у основания отдельностоящего молниеотвода, но и здесь  $U_{\text{шага}}$  рядом с фундаментом может превысить 30 кВ, если на этом участке  $\rho$  грунта  $> 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Печальный опыт сотрудников высоковольтных лабораторий показывает, что микросекундное воздействие такого напряжения надолго остается в памяти. Без спецзащиты его трудно считать безопасным для человека. Как минимум, тротуар у стен здания следует покрывать сплошным слоем изоляционного материала (например, асфальта), но не плитками, зазоры между которыми заполнены грунтом и пропитаны влагой во время дождя.

**ИЗОЛИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОЛНИЕЗАЩИТЫ**

Надо отметить, что отдельностоящие молниеотводы наиболее опасны при их установке на различных высоких мачтах и колоннах в городах, например на обелисках, у которых возможно скопление людей. В этом случае заслуживает внимания система молниезащиты на базе токоотводов с высокопрочной изоляцией, подобных тем, что разработала и производит фирма DEHN + SÖHNE. Такая система позволяет отвести ток молнии в глубинный заземлитель, не загружая им арматуру железобетонного фундамента сооружения. В итоге распределение потенциалов по поверхности грунта будет существенно более ровным.

Расчеты (рис. 4) позволяют оценить эффект от использования бетонного основания  $30 \times 30 \text{ м}$  с смонтированной в него металлической сеткой с ячейками  $5 \times 5 \text{ м}$ ; стержневой заземлитель длиной 5 м размещен на глубине 30 м. Практически линейный закон изменения потенциала указывает на неизменность напряжения шага в окрестности защищаемого объекта. Величина  $U/(\rho I_M) \approx 6 \times 10^{-5} \text{ м}^{-1}$  означает:  $U_{\text{шаг}}$  при токе молнии 100 кА и грунте с  $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  будет находиться в пределах 6 кВ, что почти на порядок меньше, чем при использовании традиционного решения.

Изолированная система молниезащиты может быть выполнена на токоотводах HVI® (фото 1) с высоковольтной изоляцией и полупроводниковым покрытием, выравнивающим электрическое поле вдоль наружной поверхности токоотвода и предотвращающим развитие скользящих разрядов. Выпускаются токоотводы HVI® трех типов в соответствии с электрической прочностью их изоляции для применения в системах молниезащиты различного уровня. Возможно изготовление токоотводов с дополнительным покрытием, защищающим от воздействия погодных факторов и УФ-излучения. Они могут быть окрашены в цвет здания.

Более высокая стоимость изолированных систем молниезащиты по сравнению с традиционными не должна препятствовать их использованию, когда речь идет о безопасности людей, особенно в местах их большого скопления. Дело за уточнением действующих нормативных требований по молниезащите.



**HVI® power**  
безопасный токоотвод



**Токоотвод HVI® power – надежное решение для систем молниезащиты всех уровней**



Применение безопасного токоотвода HVI® power, выдерживающего протекание тока молнии до 200 кА, позволяет создавать надежные изолированные системы молниезащиты компактной конструкции в соответствии с требованиями отечественных и международных стандартов

**Технические характеристики токоотвода HVI® power**

Внешний диаметр токоотвода	27 мм
Поперечное сечение медной жилы	25 мм <sup>2</sup>
Масса	728 г/м
Эквивалентное безопасное расстояние	≤ 90 см (воздух) ≤ 180 см (твердый материал)



DEHN защищает.  
Молниезащита, защита от импульсных перенапряжений, средства электрозащиты

ООО «ДЕН РУС»  
109428, Москва, Рязанский пр-т, д. 10, стр. 18, оф. 2.9  
Тел.: +7 (495) 663-35-73, 782-23-76  
info@dehn-ru.com  
www.dehn-ru.com, молниезащита.рф