



**Эдуард Базелян**, д.т.н., профессор, руководитель лаборатории моделирования электрофизических процессов Энергетического института им. Г.М. Кржижановского  
**Алексей Федоров**, руководитель направления обучения, ООО «ДЕН РУС»

## ШАГОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЛНИИ

**Удар молнии в человека – большая редкость. Находящийся в чистом поле человек должен простоять от Рождества Христова до наших дней, прежде чем непосредственно встретиться с каналом молнии.**

Тем не менее, в печати ежегодно описываются ужасные последствия гроз с десятками пострадавших, а телевидение демонстрирует китайского бедолагу, встретившегося с молнией дважды в течение одной минуты. Журналистской недобросовестности здесь нет, как и объективного изложения фактов. Большинство этих несчастных случаев вызваны не прямым ударом молнии, а дистанционным действием ее электрического поля, которое возбуждается в земле при растекании по ней тока молнии. Факт этот хорошо известен и описан, например в [1]. Возвращаться к нему вынуждают действующие нормативные документы, в которых это явление либо отмечается вскользь, либо просто игнорируется.

### НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ О НАПРЯЖЕНИИ ШАГА

В инструкции по молниезащите РД 34.21.122-87 в п. 1.10 сказано: «На часто посещаемых открытых площадках с повышенной опасностью поражения молнией (вблизи монументов, телебашен и подобных сооружений высотой более 100 м) выравнивание потенциала выполняется присоединением токоотводов или арматуры сооружения к его железобетонному фундаменту не реже чем через 25 м по периметру основания сооружения». И еще из п. 1.8: «Искусственные заземлители следует располагать под асфальтовым покрытием или в редко посещаемых местах (на газонах, в удалении на 5 м и более от грунтовых проезжих и пешеходных дорог и т. п.)».

Фактически это всё. Но в инструкции СО-153-34.21.122-2003 нет даже такой информации, а также терминов «напряжение шага» и «напряжение прикосновения». Упущение непонятно. Известно, что грунт – посредственный проводник. Удельное сопротивление чернозема, который считается хорошо проводящим грунтом, примерно в миллиард раз выше, чем у черной стали. Ток в грунте вызывает электрическое поле напряженностью  $E = \rho \cdot J$ . При удельном сопротивлении  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и плотности тока  $J = 100 \text{ А}/\text{м}^2$  в грунте создается электрическое поле напряженностью  $10\,000 \text{ В}/\text{м}$  – именно столько вольт действует между ногами человека при длине шага, равной 1 м.

Напряжение шага в 10 кВ трудно считать пренебрежимо малой величиной. А ведь в России грунт с удельным сопротивлением 1000 и даже 3000 Ом·м не редкость. Здесь напряжение шага может измеряться уже не десятками, а сотнями киловольт.

Методика расчета электрических полей в грунте давно проработана [2]. Оценим с ее помощью практическую значимость проблемы. На рис. 1 по результатам компьютерного расчета построен график распределения напряжения шага в окрестности типового заземлителя молниеотвода, сооружение которого предписано РД 34.21.122-87 (3 вертикальных стержня по 3 м каждый размещаются вдоль горизонтальной шины длиной 10 м).

Если расчетную величину с графика  $K_U = U_{\text{шаг}}/(\rho \cdot I_M)$  умножить на удельное сопротивление грунта и на ток молнии, получится напряжение шага, а самая верхняя точка графика даст напряжение прикосновения. Оно подействует на человека, коснувшегося опоры молниеотвода или его токоотвода.

Особенно интересна точка на расстоянии 5 м от молниеотвода. Инструкция РД 34.21.122-87 считает его безопасным. Здесь  $K_U \approx 0,004$ . Даже в хорошем грунте с  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  для средней по силе молнии с током 30 кА это дает напряжение шага в 12 кВ. В песке с  $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  и при токе 100 кА (соответствует III уровню защиты) речь пойдет уже о сотнях киловольт. Рекомендация нормативного документа о безопасном удалении от молниеотвода более чем сомнительна.

Необходимо внимательно отнестись и к другим значимым условиям растекания тока молнии. У жилых, офисных и производственных зданий роль заземляющего устройства обычно выполняет железобетонный фундамент. Расчет напряжения шага с внешней стороны такого фундамента не представляет особых сложностей. Результаты компьютерного расчета на рис. 2 относятся к зданию с фундаментом 50 x 25 м. Кроме его периметра учтены продольные и поперечные перемычки, поддерживающие внутренние стены. В итоге сопротивление заземления, обеспеченное арматурой фундамента, равно  $R_3 = 0,011\rho$  (Ом).

Далее обратим внимание на напряжение шага непосредственно у фундамента, где прокладывают тротуары с покрытием из декоративной плитки. Она укладывается с разрывами, заполненными грунтом, поэтому в отличие от асфальта не является изолятором, защищающим человека. Здесь расчетная величина:

$$K_U = \frac{U_{\text{шаг}}}{\rho \cdot I_M} \approx 0,00085 \text{ м}^{-1}.$$

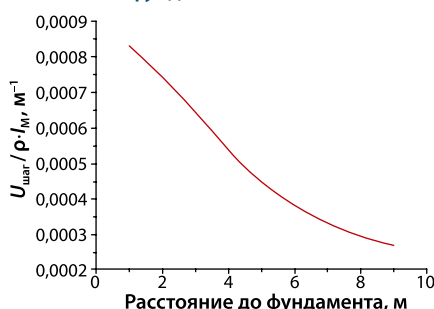
Казалось бы не так много, но в грунте с  $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  средняя по силе молния с током 30 кА создает существенное напряжение шага:

$$U_{\text{шаг}} = K_U \cdot \rho \cdot I_M = 0,00085 \cdot 1000 \cdot 30 = 25,5 \text{ кВ}.$$

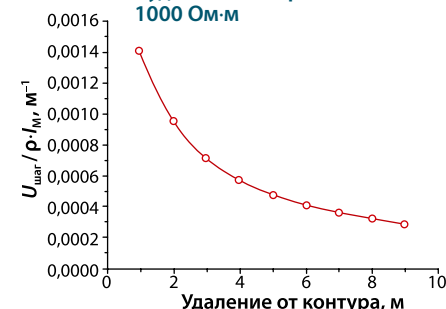
**Рис. 1** Распределение напряжения шага в окрестности типового заземлителя молниеотвода, предписанного РД 34.21.122-87



**Рис. 2** Напряжение шага с внешней стороны фундамента 50 x 25 м



**Рис. 3** Напряжение шага у контура заземления в грунте с удельным сопротивлением 1000 Ом·м





Еще опаснее следовать рекомендациям РД 34.21.122-87 по устройству заземлителя здания в условиях, когда эту роль нельзя поручить фундаменту. В этом случае п. 2.13 нормативного документа предписывает при наличии молниеприемной сетки или металлической кровли по периметру здания или сооружения прокладывать наружный контур, а в грунтах с удельным сопротивлением  $500 < \rho < 1000$  Ом·м при площади здания более  $900 \text{ м}^2$  достаточным будет контур только из горизонтальных электродов.

Горизонтальные шины такого контура имеют несопоставимо меньшую площадь контакта с проводящей средой, нежели арматура железобетонного фундамента, поэтому и сопротивление заземления, и напряжение шага оказываются почти вдвое выше представленных на рис. 2 для здания той же площади.

Как показывают компьютерные расчеты (рис. 3), напряжение шага непосредственно у контура заземления в грунте с удельным сопротивлением  $1000$  Ом·м для молнии с током  $30 \text{ кА}$  превысит  $40 \text{ кВ}$ . Сотрудники высоковольтных лабораторий хорошо знакомы с последствиями воздействия такого импульсного напряжения.

Что в этой ситуации предписывают нормативные документы по электробезопасности? Их слово должно быть решающим. На деле они фактически игнорируют импульсные грозовые воздействия. В этих документах всё ограничивается временем воздействия напряжения не менее  $0,01 \text{ с}$ , для которого предельно допустимое напряжение составляет всего  $0,6 \text{ кВ}$ . Что делать с этой цифрой, совершенно непонятно.

Конечно, можно независимо от времени воздействия напряжения ( $t$ ) ориентироваться на равенство предельно допустимой выделенной энергии, полагая, что  $W_{\text{доп}} \approx U_{\text{шаг}}^2 \cdot t = \text{const}$ . Тогда при времени воздействия тока молнии порядка  $100 \text{ мкс}$  получится, что предельно допустимое напряжения шага близко к  $6 \text{ кВ}$ . Только кто из физиологов способен подтвердить правоту выполненной оценки? В этом отношении современная молниезащита полностью обезоружена. И, похоже, надолго. Проектировщикам приходится рассчитывать лишь на себя.

### ИЗОЛИРОВАННАЯ МОЛНИЕЗАЩИТА

Самое время вспомнить об изолированной молниезащите. Конечно, совсем не просто устроить молниеприемник, изолированный от защищаемого объекта, рассчитанный на полное грозовое перенапряжение, и выполнить надежно изолированные токоотводы. Это дорогое мероприятие. На него трудно пойти без острой необходимости. Зато ток молнии не попадет в фундамент защищаемого сооружения. Он будет доставлен к заземлителю, удаленному от мест скопления людей. Там можно выполнить надежное изолирующее покрытие из мелкого щебня и сплошного изолирующего асфальтового покрытия.

Надежность самой изолированной системы молниезащиты проверена практикой и сомнений не вызывает. Например, компания DEHN + SÖHNE предлагает комплексные решения, включающие в себя молниеприемники, размещенные на изолированных опорных трубостойках, к которым подключаются специализированные токоотводы с изоляцией, рассчитанной на перенапряжения при разрядах молнии вплоть до  $720 \text{ кВ}$ . В комплект входят также все необходимые компоненты, позволяющие надежно зафиксировать молниеприемники и токоотводы на различных конструкциях.

Применяя такую систему, можно добиться полного отсутствия растекания тока молнии по конструкции здания и тем самым обеспечить безопасность при грозовых воздействиях.

Многообразие компонентов изолированной системы молниезащиты дает широкие возможности выбора для проектирования объектов самого различного назначения. Так, в линейку изолированных токоотводов HVI® входят проводники с тремя значениями электрической прочности изоляции, рассчитанные на протекание импульсных токов молнии от  $100$  до  $200 \text{ кА}$ , применение которых возможно в системах молниезащиты всех уровней: от III и IV до максимального уровня I.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Базелян Э.М. Практика молниезащиты. Напряжения прикосновения и шага при ударе молнии // Новости Электротехники. 2011. № 3(69). С. 48–49.
2. Базелян Э.М. Вопросы практической молниезащиты. М.: Буки веди, 2015. 208 с.



## HVI® power безопасный токоотвод



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



Применение безопасного токоотвода HVI® power, выдерживающего протекание тока молнии до  $200 \text{ кА}$ , 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., 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