



УДК 539.143.539.183

*В. Е. Пониматкин, А. А. Шпилевой***АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОГО ПОРАЖЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ  
ПРИ ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ  
НА МОДЕЛИ РАЗРЯДА «ОБЛАКО – ЗЕМЛЯ»**

*Анализируется возможное поражение электрической энергией грозовой активности электротехнических устройств, в том числе бытовой техники, размещенной в районах с малоэтажной застройкой и в сельской местности.*

*The present work is devoted to analysis of the risk of impact of electric energy of thunderstorm activity on the electrical devices, including home appliances, located in areas with low-rise buildings and in rural areas.*

**Ключевые слова:** грозовая активность, модель «облако – Земля», заземлитель, разрядный канал, ближняя зона, гальваническое влияние, токи растекания.

**Key words:** storm activity, model of cloud-to-ground, earthing connection, the discharge channel, near zone, galvanic influence, current spreading.

**Введение**

Известно, что многие процессы в земной атмосфере, такие как конвекция, образование облаков, осадки и другие, приводят к частичному разделению электрических зарядов и возникновению электрических атмосферных полей [1]. Ионосфера совместно с поверхностью Земли образуют аналог сферического резонатора, обладающего явно выраженными емкостными свойствами, причем напряженность электрического поля в сферическом конденсаторе «атмосфера – Земля» составляет  $E = 120 - 130$  В/м.

В периоды грозовой активности наблюдается резкое увеличение интенсивности электрического поля, сопровождающееся грозовыми разрядами ( $t \approx 10^{-3}$  с), обладающими значительной энергией ( $\sim 10^{10}$  Дж), способными вывести из строя радиотехнические устройства и даже вызвать разрушения. Наибольшую опасность грозовая активность представляет в районах с малоэтажной застройкой и в сельской местности.

В случае прямого удара ток разряда проходит по проводящим конструкциям пораженного здания, а разогретый канал контактирует с его элементами, принявшими молнию на себя. Термические воздействия грозового разряда наиболее опасны в месте контакта высокотемпературного канала с горючими материалами [1]. Термические разрушения проводников, по которым течет ток молнии, происходят относительно редко и наиболее характерны для миниатюрных антенн и различного рода датчиков, расположенных на наружной стороне здания.

Электрическое воздействие грозовой активности на электротехнические устройства и конструкции проявляется в пробое изоляции вследствие подброса потенциала, индуцированном перенапряжении, заносе высокого потенциала и т. п. [2].

Упомянутые выше процессы грозового разряда имеют свои особенности, которые удобно рассмотреть на основе модели «облако – Земля».

Модель, используемая для исследования, представлена на рисунке 1. Основными структурными элементами модели стали облако, земная поверхность и канал разряда молнии в землю [3]. Земля представляется в данном случае как плоская проводящая среда.

64

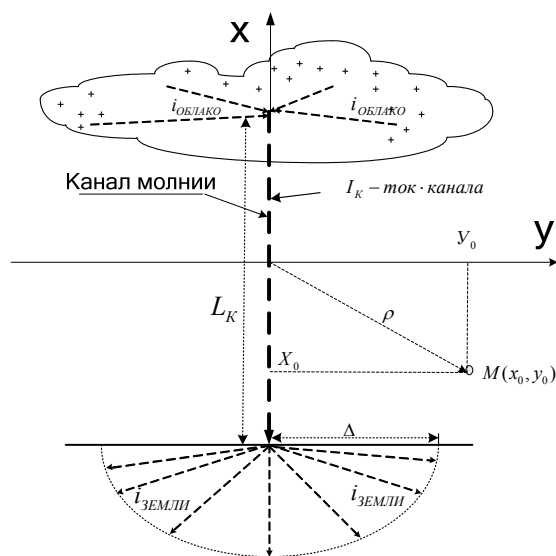


Рис. 1. Модель «облако – Земля»

В средах соответственно протекают токи: в облаке  $i_{\text{ОБЛАКО}}$ ; токи растекания в земле  $i_{\text{ЗЕМЛИ}}$ ; зона растекания тока в земле  $\Delta$ ; ток в канале молнии  $I_K$ ; длина канала разряда молнии  $L_K$ . Между облаком, имеющим положительный заряд, и землей образуется канал разряда молнии. При разряде «облако – земля» возможно воздействие на технические сооружения:

- 1) по полю за счет образования магнитной и электрической составляющих электрическим током в канале разряда  $I_K$ ;
- 2) по земле за счет значительного количества электрической энергии приложенной в точке разряда на поверхности земли.

### Воздействие по полю

Действующая длина разрядного канала для данного источника поля соответствует длине волны нижней части диапазона, т. е.  $\lambda_H = 15000$  м. Поэтому пятнадцатикилометровая зона от места удара



молнии является зоной ближней, и, принимая данные по структуре поля для всей ближней зоны, можно описать структуру поля в точке  $M(x_0, y_0)$  следующими выражениями:

$$E_x = j \frac{I L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)\sin^2 \phi - \kappa\rho], \quad (1)$$

$$E_y = j \frac{I L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [1 - 2\kappa\rho] \cos \phi \sin \phi. \quad (2)$$

Суммарный вектор  $\vec{E}$  по модулю в точке  $M(x_0, y_0)$  будет представлять собой сумму составляющих поля  $E = E_x + E_y$ , или с использованием выражений (1) и (2):

$$\begin{aligned} E &= j \frac{I \cdot L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)\sin^2 \phi - \kappa\rho + \cos \phi \sin \phi - 2\kappa\rho \cos \phi \sin \phi] = \\ &= j \frac{I \cdot L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)\sin^2 \phi - \kappa\rho - (2\kappa\rho - 1)\cos \phi \sin \phi] = \\ &= j \frac{I \cdot L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)(\sin \phi \sin \phi - \cos \phi \sin \phi) - \kappa\rho] = \\ &= j \frac{I \cdot L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)(\sin \phi - \cos \phi) \sin \phi - \kappa\rho]. \end{aligned}$$

Таким образом, получаем следующее выражение для расчета величины вектора  $\vec{E}$  в произвольной точке пространства ближней зоны:

$$E = j \frac{I \cdot L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)(\sin \phi - \cos \phi) \sin \phi - \kappa\rho]. \quad (3)$$

В дальней зоне выражение для величины вектора  $E$  примет вид

$$E = j \frac{I \cdot L_k}{2\pi\omega\sigma} \int_0^{L_k} \frac{dx}{\rho^3} [(2\kappa\rho - 1)(\sin \phi - \cos \phi) \sin \phi - \kappa\rho] \cdot e^{-j\kappa\rho}. \quad (4)$$

Выражения (3), (4) позволяют выполнить анализ структуры поля излучателя в виде канала молнии разрядом облако-земля с целью оценки опасного влияния на технические средства [4].

### Воздействие по земле

Второе направление воздействия разрядов грозовой активности по земле получило название *гальванического влияния* [2]. Поскольку значение тока в канале молнии лежит в пределах от 8000 до 25000 Ампер [3], зона растекания тока является опасной зоной. Определить зону растекания  $\Delta$  достаточно просто, она зависит от проводимости грунта  $\sigma$ :

$$\Delta = \sqrt{1/(\omega\mu\sigma)}.$$



Для Калининградской области  $\sigma = (0,1 \div 0,2)$  См/м, и минимальная круговая частота  $\omega = 2\pi f$  определится длительностью импульса  $\tau = 2$  мкс, т. е.  $f = 1/2 \cdot 10^3 = 500$  Гц и  $\omega = 3140$ ,  $\mu = 4\pi 10^{-9}$  Гн/м.

Таким образом, зона растекания тока определится:

$$\Delta = \sqrt{1/(3140 \cdot 4\pi 10^{-9} \cdot 0,2)} = 356 \text{ метров.}$$

Рассмотрим гальваническое влияние токов растекания энергии удара молнии, которое происходит в земле на технические устройства [5; 6]. Например, на энергосистему, обеспечивающую систему питания технических средств, в домах: телевизор, холодильник, стиральную машину и др. На рисунке 2 приведена схема электропитания на основе включения двухпроводной линии, расположенной на опорах. Токонесущие проводники линии электропередачи (ЛЭП) изолированы от опор. Один из проводников заземлен подключением проводника к заземлителю. Расстояние между проводниками на опорах достигает одного метра. Напряжение сети между проводниками  $U_{\text{СЕТИ}} = 250$  В.

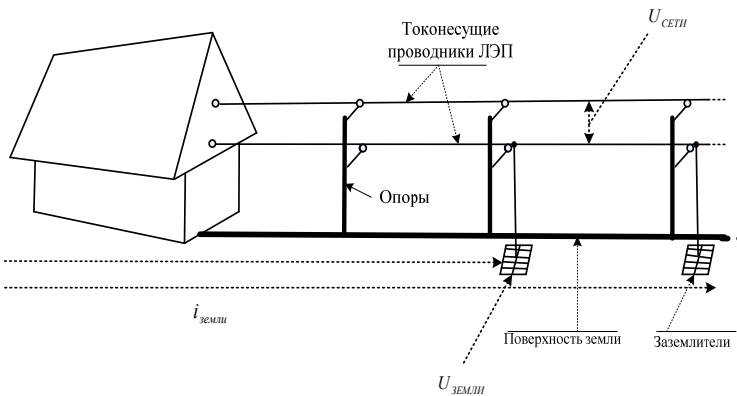


Рис. 2. Типовая схема электропитания объекта на основе включения двухпроводной линии на опорах

Расчет напряжения  $U_{\text{МОЛНИИ}}$  в точке удара молнии определяется выражением

$$U_{\text{МОЛНИИ}} = \frac{1}{\sigma} I_{\text{МОЛНИИ}} \Delta = 35 \text{ кВ.}$$

Данное напряжение приложено к заземленному проводнику. При этом второй проводник находится под потенциалом сети 250 В. Таким образом создается достаточно высокая разность потенциалов между проводниками ЛЭП. Однако из-за значительного расстояния (более одного метра) пробоя между проводниками обычно не происходит.

Более сложную задачу представляет оценка электромагнитной обстановки обстановка непосредственно внутри здания. Типовая схема электроснабжения внутридомовых технических средств показана на рисунке 3.

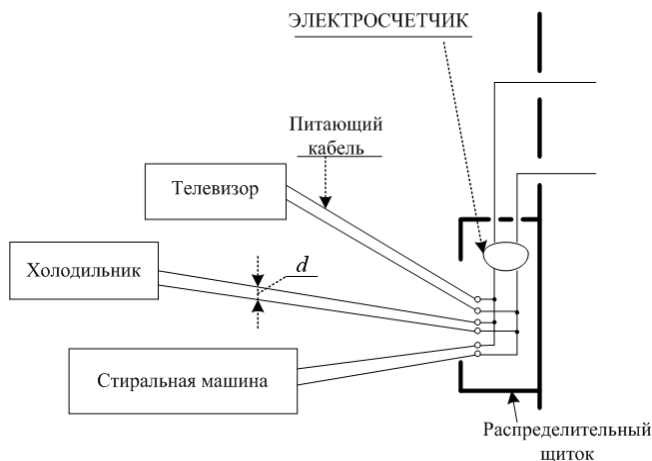


Рис. 3. Типовая схема электроснабжения внутридомовых технических средств

Питающие кабели, как правило, представляют собой двухпроводные линии с расстоянием между проводниками  $d = (1 \div 2)$  мм. Причем допустимое напряжение пробоя должно превышать удвоенное максимальное напряжение сети, или  $U_{\text{MAX}} \leq 750$  В. При этом напряжение заземленного проводника может превышать 1000 В.

Наиболее уязвимым местом, однако, являются сами технические средства, где изоляция между проводящими частями осуществляется через лакокрасочное покрытие проводников, поэтому вероятнее всего повреждение возможно именно в них.

Таким образом, при разряде молнии в непосредственной близости от построек велика вероятность возгорания электропроводящих элементов и выхода из строя технических средств и бытовой техники. Защита возможна при поддержании в исправном состоянии домашнего контура заземления, или обесточивание, путем отключения электропитания на распределительном щите.

#### Список литературы

1. Базелян Э. М., Райзер В. П. Физика молнии и молниезащиты. М., 2001.
2. Кравченко В. И. Грозозащита радиоэлектронных средств. М., 1991.
3. Лукин А. Грозовая активность и ее мониторинг для нужд электроэнергетики // Воздушные линии. 2013. № 1. С. 10.
4. Пониматкин В. Е., Шpileвой А. А., Кужелев А. А. Передающая антенная система подвижного объекта // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2015. Вып. 4. С. 61 – 67.
5. Ponomatkin V. E., Shpilevoi A. A., Shabalin A. A. About Electromagnetic Compatibility of Radio Communication Stations Antennae // Atmosphere, ionosphere, safety-2010. Kaliningrad, 2010. P. 184–186.
6. Пониматкин В. Е., Шpileвой А. А., Барсуков Д. Б., Утц В. А. Устройство защиты радиоприема от мощных электромагнитных импульсов грозовой активности : патент на полезную модель № 128951 от 10.06.2013. М., 2013.



### Об авторах

Виктор Ефимович Пониматкин — канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Андрей Алексеевич Шпилевой — канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канга, Калининград.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

68

### About the authors

Viktor Ponimatkin — PhD, Senior Research Fellow, Ass. Prof., I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: VPonimatkin@kantiana.ru

Andrey Shpilevoy — PhD, Ass. Prof., director of FTI, I. Kant Baltic Federal University, Kaliningrad.

E-mail: AShpilevoi@kantiana.ru

УДК 519.715

### А. А. Меркулов

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПАТТЕРНА ОРГАНИЗАЦИЙ VSM CENOSE

*Сегодня существует большая потребность в компьютерных системах поддержки принятия решений класса «ситуационный центр» на федеральном и региональном уровне для крупных, средних и малых предприятий. Предлагается технология автоматизации синтеза ситуационных центров для любых предметных областей, упрощающая проектирование ситуационного центров и снижение его стоимости.*

*Today there is a great need for computer systems that support decision-making class situation centre at the Federal and regional level, for large, medium and small enterprises. The technology of auto-automation of the synthesis of the situational centers for all subject areas, to simplify the design of situational centers and reducing its cost.*

**Ключевые слова:** компьютерная система поддержки принятия решений, ситуационный центр, технология автоматизации синтеза, гибридный паттерн.

**Key words:** computer system that support decision-making, situation centre, technology of auto-automation of the synthesis, hybrid pattern.