

## Динамический мониторинг данных параметров токов молний на территории юга европейской части России

*А.А. Аджиева, М.Н. Кокоева*

*ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокоева»*

**Аннотация.** В последние десятилетия повышается значимость проблемы атмосферного электричества. Особое внимание уделяется области защиты от негативного воздействия грозового электричества.

В данной работе представлены результаты опасных воздействий молниевых разрядов. Проведен анализ параметров грозовых электрических разрядов в атмосфере для чего выполнялась обработка данных мониторинга геофизического центра при ФГБУ «ВГИ», включающего набор датчиков автоматического грозопеленгатора LS8000. Приводятся результаты измерений параметров токов разрядов на землю и времени их нарастания, полученных за период эксплуатации.

Авторами определены статистические характеристики распределений амплитуды токов молниевых разрядов. Установлено, что характеристики разрядов для различных областей отличаются и могут меняться со временем. Это означает, что для эффективной эксплуатации систем молниезащиты и осуществления мер обеспечения безопасности жизнедеятельности при грозах требуется проведение мониторинга грозоразрядной обстановки в каждом отдельном регионе.

**Ключевые слова:** атмосферное электричество, грозовые разряды, громоотводы, меры молниезащиты, безопасность жизнедеятельности.

В каждом конкретном случае индивидуально вычисляются условия для образования молнии и трансформация ее во времени. Эти причины формируются в соответствии с расположением и размером кучево-дождевого облака, его структуры, условиями электризации, плотностью воздуха, распределением облачного напряжения на участках, где формируется канал разряда (внутри облака, между облаками, между облаком и землей при нисходящих и восходящих разрядах). Внутри облачные процессы непрерывны и случайны, поэтому, все электрические характеристики в облаках, и в частности молниевые параметры тока, подвержены статистическим разбросам, они не однозначно выявляются и носят вероятностный характер [1, 2].

Током разряда  $i(t)$ , изменяющимся во времени, определяются основные электрофизические параметры канала молнии. Газодинамические

---

возмущения атмосферного воздуха, вызванные разрядом: концентрация ионизованных частиц, ультрафиолетовое и гамма-излучение, температура, давление в канале разряда и скорость его расширения, скорость ударной волны и др. также вызваны  $i(t)$ . В среднем наблюдаемый грозовой разряд, состоит из трех–четырех электрических импульсов, с приблизительно 50 мс интервалом времени между ними. Интенсивность молниевго разряда имеет сильные зависимости от амплитуды и продолжительности вспышки. [3].

При составлении положений по грозозащите элементов инфраструктуры, энергетических и прочих объектов в особенности для регионов с высокими значениями поражаемости земли молниями требуется использование накопленных данных регистраций параметров молнии [4]. Перечень основных параметров включает полярность разрядов, амплитуду токов молний ( $I_m$ ), продолжительность главного импульса ( $\tau_n$ ), время нарастания до максимума – длительность фронта разрядов ( $\tau_\phi$ ), крутизну тока ( $I_m / \tau_\phi$ ) и удельную поражаемость за год ( $n$ ).

Величина тока разряда молнии быстро изменяется во времени. Примерная форма кривой такого тока изображена на рис. 1.

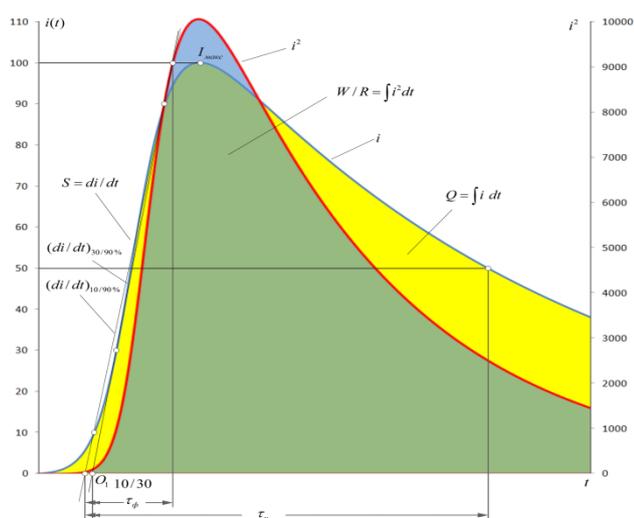


Рис. 1. - Аппроксимация импульса тока молнии и параметры определяемые при разряде облако-земля

Виртуальная нулевая точка  $O_1$  используется для дальнейшего определения длительности фронта и импульса. Время полуспада характеризует импульс тока и считается как время от начала импульса до момента снижения тока до половины от максимального значения. Для него характерны величины 0,02 – 0,1 мс. Длительность фронта главного импульса тока, наиболее часто встречающаяся в разрядах молнии - составляет 0,0015 – 0,01 мс. Параметры стандартного грозового импульса имеют вид  $\tau_{\phi} = 1.2 \pm 30\%$ ,  $\tau_{и} = 50 \pm 20\%$ .

В настоящее время, для выполнения поставленных задач молниезащиты, приведенных параметров может быть недостаточно. Возможно изменение соотношения различных типов молний, в зависимости от исследуемой климатической зоны других защищаемых объектов. Для каждого региона свойственны свои распределения максимальных амплитуд токов разрядов это подтверждено, исследованиями в полевых условиях, проведенными в прошлом столетии с помощью ферромагнитных регистраторов, осциллографических, дистанционных и других методов [5]. От точности и корректности полученных показателей  $I_m$  и  $\tau_{\phi}$  в регионе напрямую зависит эффективность молниезащиты [6]. Эти параметры являются основными для разработки проектов молниезащитных сооружений.

Введение в эксплуатацию во всем мире систем грозопеленгации, измеряющих положение и характеристики разрядов, применением их данных для мониторинга грозовой активности, а также текущего и сверхкраткосрочного прогноза углубляется понимание физики молнии и грозового электричества в целом. Начинается процесс разработки информационных систем принимающих параметры разрядов в качестве основы для проектирования средств и мероприятий защиты от воздействия молний на воздушные, наземные и подземные коммуникации и объекты инфраструктуры. В статье на основе архива многолетних измерений

---

автоматизированной системы грозопеленгации выполнена обработка параметров разрядов чтобы продемонстрировать перспективы их мониторинга в решении комплекса проблем молние- и грозозащиты.

Данные грозорегистратора LS 8000 фирмы «Vaisala» Финляндия размещенного на Северном Кавказе применяются в определении амплитуды тока молнии, продолжительности разряда и его длительности, а также фронта волны тока для молний по территории юга европейской части России. Его тип - LPATS (Lightning Position And Tracking System) разностно-дальномерная система, состоит из восьми грозопеленгаторов и центрального пункта приема информации. При ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» создан геофизический центр мониторинга обстановки в его задачи входит накопление, анализ, хранение и отправка информации о разрядах молний по территории южного региона Российской Федерации потребителям. Грозопеленгатор состоит из двух сенсоров: высокочастотного (VHF) фиксирующего разряды типа Облако-Облако и низкочастотного (LF) пеленгующего разряды типа Облако-Земля [7, 8].

Результаты исследования. За период с 2009 по 2016 год было получено 56724108 регистраций разрядов. Объем исследуемой выборки для положительных и отрицательных разрядов на землю составляет 5161044 регистраций. Количество регистраций положительных разрядов на землю составило 561850, отрицательных - 4599194.

Изображение в виде функций распределения токов выглядит наиболее наглядно для измерений молниевых разрядов. В этом случае на оси абсцисс откладывают максимальное значение тока, а по оси ординат вероятность его появления [9-11]. Следует понимать, что разряды молний, имеющие значительные по величине токи, возникают очень редко. Порядка половины составляют случаи молниевых разрядов с величиной тока до 20 кА. Токи

---

более 150 кА составляют всего 0,5 % общего количества грозовых разрядов, а токи более 100 кА - 2 %.

В общем случае только в окрестности средних и высоких значений выбранного параметра вероятность превышения может быть описана экспонентой [3]:

$P(I_M) = e^{-k_1 I_M}$  - вероятность того, что амплитуда тока в ударе молнии превысит заданное значение  $I_M$  в килоамперах, обычно  $k_1$  принимают равным 0,04 кА<sup>-1</sup>;

$P(S) = e^{-k_2 S}$  - вероятность превышения крутизной тока заданного значения  $S$ , кА/мкс, здесь коэффициент  $k_2$  считают равным 0,08 мкс/кА.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) на основе обобщенной независимо от географических координат местности статистики токов молнии, собранной и обработанной международным советом по большим электрическим системам высокого напряжения (CIGRE) пришла к выводу, что для приближенного описания практически всех параметров молнии следует применять логарифмически-нормальный закон [12]:

$$P(x) = 1 - \frac{1}{\sigma_{\lg x} \sqrt{2\pi}} \int_{\lg x_{\min}}^{\lg x} \exp\left(-\frac{(\lg x - \lg \bar{x})^2}{2\sigma_{\lg x}^2}\right) d(\lg x), \quad (1)$$

где  $P(x)$  – вероятность превышения рассматриваемым молниевым параметром заданной величины  $x$ ;  $\sigma_{\lg x}$  и  $(\lg x)_{\text{cp}}$  – соответственно стандартное отклонение и средняя величина логарифмов для рассматриваемого параметра, которые и определяют характер распределения.

Выполнено исследование времени  $\tau_\phi$  роста волны тока. Измерения показывают, что эта величина -  $\tau_\phi$  меняется от 0,8 до десятков микросекунд. Ее среднее у рассматриваемой территории составило 5,4 мкс. Она зависит от знака разряда молнии, например, среднее  $\tau_\phi$  отдельно для отрицательных разрядов - 5 мкс, а для положительных разрядов - 8 мкс. С помощью

осциллографов в 90-х гг получены значения  $\tau_{\phi}$  в пределах 2 - 10 мкс, а среднее  $\tau_{\phi}$  составляет 6 мкс [5]. Анализ с измерениями, проводимыми в настоящее время с применением грозорегистратора, дает удовлетворительное совпадение. При этом надо отметить, что регистратор молниевых разрядов определяет только разряды с достаточно большими длительностями фронта. В предыдущих измерениях эта величина составляла 30...40 мкс.

Измерения, с применением грозорегистратора LS 8000, хорошо согласуются с величинами  $I_m$ ,  $\tau_{\phi}$  и  $S$  полученными в данном районе. Можно сделать вывод о высокой эффективности применения автоматизированных средств регистрации и внедрения автоматического анализа данных, поступающих с них.

**Выводы.** Проведение превентивных мер в организации молниезащитных мероприятий в большинстве случаев дает возможность избежать катастрофических ситуаций или снизить их последствия.

Грозорегистратор дает возможность выявить важные особенности, такие как характеристики  $I_m$ , его распределения. Сюда входят тип объекта (сосредоточенный или протяженный), условия орографии и климата, высота над уровнем моря, подстилающая поверхность.

Скорейшее внедрение общенациональной сети грозопеленгации в РФ на основе региональных центров геофизического мониторинга и перспективных систем грозорегистрации позволит создать полноценную структуру оперативного предупреждения о грозовой опасности, вести регистрацию и учет воздействий молнии на объекты промышленности, транспорта и энергетики.

## Литература

1. Аджиева А.А., Шаповалов В.А. Кластерный анализ в автоматическом выявлении и сопровождении грозовых очагов по данным грозопеленгационной сети // Инженерный вестник Дона, 2016, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3559/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3559/).
2. Лифанов В.Н. Электроизоляция и перенапряжения: / Учеб. пособие. Вл-к.: ДВГТУ, 2003. – 126 с.
3. Богатенков И.М., Бочаров Ю.Н., Гумерова Н.И., Иманов Г.М. и др. Техника высоких напряжений; под ред. Г. С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, 2003. – 608 с.
4. Аджиев А.Х., Аджиева А.А. Пространственные и временные вариации грозовой активности над Северным Кавказом // Метеорология и гидрология . 2009. №12 . С. 25-31.
5. Научно-технический отчет о выполнении 2 этапа Государственного контракта № П782 от 24 мая 2010 г. - 73 с.
6. Аджиева А.А., Шаповалов В.А., Машуков И.Х., Скорбеж Н.Н., Шаповалов М.А. Обнаружение и распознавание опасных конвективных процессов радиотехническими средствами // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 1 (179). С. 59-62.
7. Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А. Напряженность электрического поля атмосферы и грозовые явления на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2016. №3. С. 46-54.
8. Колыхан Н.В., Тюрязев В.С. Информационные технологии статистической обработки данных выборок ограниченного объема // Инженерный вестник Дона. 2007. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/21](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/21).

9. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Рейхердт А.А. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них. - Новосибирск, изд-во НГТУ, 2004. – 368 с.
10. Verbanov, V.D. Stochastic effects and uncertainties in assessing electromagnetic interactions with control systems. PhD Thesis, Université of Magdeburg, Bulgaria, 2005 - 178 p.
11. Holle R. L. Lightning-caused deaths and injuries related to agriculture // Preprints of the 33rd international conference on lightning protection, Estoril. – 2016. – P. 25-30.
12. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. - М: Физматлит, 2001. - 320 с.

#### References

1. Adzhieva A.A., Shapovalov V.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3559/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2016/3559/).
2. Lifanov V.N. Elektroizoliatsiia i perenapriazheniia [Electrical Insulation and Surge]. Ucheb. posobie. VI-k.: DVG TU, 2003. 126 p.
3. Bogatenkov I.M., Bocharov Iu.N., Gumerova N.I., Imanov G.M. i dr. Tekhnika vysokikh napriazhenii [High voltage technique]; pod red. G. S. Kuchinskogo. SPb.: Energoatomizdat, 2003. 608 p.
4. Adzhiev A.Kh., Adzhieva A.A. Meteorologiya i gidrologiya (Meteorology and Hydrology), 2009, № 12. pp. 25-31.
5. Nauchno-tehnicheskii otchet o vypolnenii 2 etapa Gosudarstvennogo kontrakta № P782 ot 24 maia 2010 g. [Scientific and Technical Report on the implementation of Stage 2 of the State Contract No. P782 of May 24, 2010], 2010. 73 p.



6. Adzhieva A.A., Shapovalov V.A., Mashukov I.H., Skorbezh N.N., Shapovalov M.A. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki. 2014. № 1 (179). pp. 59-62.
7. Adzhiev A.Kh., Stasenko V.N., Shapovalov A.V., Shapovalov V.A. Meteorologija i gidrologija (Meteorology and Hydrology), 2016, №3. pp. 46-54.
8. Kolykhan N.V., Tyuryaev V.S. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2007, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/21](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2007/21).
9. Kadomskaia K.P., Lavrov Iu.A., Reikherdt A.A. Perenapriazheniia v elektricheskikh setiakh razlichnogo naznacheniiia i zashchita ot nikh [Overvoltage in electrical networks for various purposes and protection against them]. Novosibirsk, izd-vo NGTU, 2004. 368 p.
10. Verbanov, V.D. Stochastic effects and uncertainties in assessing electromagnetic interactions with control systems. PhD Thesis, Universite of Magdeburg, Bulgaria, 2005. 178 p.
11. Holle R. L. Preprints of the 33rd international conference on lightning protection, Estoril. 2016. pp. 25-30.
12. Bazelian E.M., Raizer Iu.P. Fizika molnii i molniezashchity [Physics of lightning and lightning protection]. M.: Fizmatlit, 2001. 320 p.