

О НЕОБХОДИМОСТИ МОДИФИКАЦИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ РАССТОЯНИЕМ ПОРАЖЕНИЯ И ПИКОВЫМ ТОКОМ МОЛНИИ, РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЕВРОПЕЙСКИМ СТАНДАРТОМ EN 62305-1:2006

Стружевски П., доктор-инженер,
Польский комитет молниезащиты Общества польских инженеров электриков, Польша

В статье показано, что существующий Европейский стандарт EN 62305-1:2006 недостаточно точно отображает в электрогеометрических численных моделях оценки селективности молний – зависимости между расстоянием от места поражения и пиковым током атмосферного разряда. Автор подчеркнул, что эта зависимость получена с использованием неточного американского распределения амплитуды тока молнии АПЕЕ и проанализировал ее расхождение с другими, используемыми в настоящее время распределениями этого параметра. Автор предположил также введение обоснованной поправки в упомянутую выше стандартизованную функцию и в другие подобные зависимости. Библ. 18, табл. 2, рис. 3.

Ключевые слова: молния, атмосферный разряд, амплитуда тока.

В численных моделях оценки селективности атмосферных разрядов, разработанных для анализа эффективности молниезащиты сооружений и энергетических объектов, основную роль играет зависимость между расстоянием поражения R , с которого молния выбирает место удара (определяемом в метрах) и амплитудой тока молнии I (определяемой в килоамперах). Эту зависимость часто рассматривают упрощенно без учета полярности разряда молнии и геометрических параметров поражаемого объекта (это, например, имеет место в широко распространенном методе катящейся сферы [5]). Такой же подход будем использовать и мы в данной статье.

При подборе функции $R(I)$ мы должны быть уверены в том, что результаты вычислений, проведенных с ее использованием, и данные, которые можно получить путем наблюдений, осуществленных в естественных условиях, будут близкими. В течение длительного времени такой уверенности не было. К радикальным переменам в этой области привели сопоставления итогов оценки грозовой аварийности энергетических воздушных линий с множеством результатов упомянутых наблюдений, полученных в США при помощи установок, называемых “Паффайндэрами”, которые, будучи закрепленными на опорах линий, фиксируют последствия ударов молний [16]. С помощью “Паффайндэров” было доказано, что упомянутую выше зависимость с использованием распределения амплитуды тока молнии АПЕЕ, предложенную Г.В.Бралном и Э.Р.Лайтхэдом [1], т.е. функцию $R(I)$

$$R = 7,1I^{0,75}, \quad (1)$$

модификации которой представляют зависимости Э.Р.Лава и Э.Р.Лайтхэда, а также М.Дарвеницы и Э.Р.Лайтхэда [2]

$$R = 2I + 30[1 - \exp(-I / 6,25)], \quad R = 2I + 30[1 - \exp(-I / 6,8)], \quad (2,3)$$

обычно заменяют упрощенными формулами

$$R = 10I^{0,65}, \quad R = 10I^{0,67}. \quad (4,5)$$

Следует отметить, что результаты вычислений расстояния R согласно зависимостям (1)–(5) (представленные в табл. 1) отличаются для заданных пиковых токов атмосферных разрядов незначительно, хотя для больших токов I эти отличия более заметны, но вероятность их в распределении АПЕЕ очень маленькая.

Таблица 1

Номер формулы	I , [кА]				
	20	40	60	80	100
(1)	67,1	112,9	153,1	189,9	224,5
(2)	68,8	110	150	190	230
(3)	68,4	109,9	150	190	230
(4)	70,1	110	143,2	172,6	199,5
(5)	70	111,3	146	177,1	205,6

Недавно утверждённый европейский стандарт EN 62305-1:2006 [18] рекомендует для случая отрицательных разрядов распределение амплитуды тока молнии, предложенное Андэрсоном Р.Б. и Эрикссоном А.Й. для объектов, высоты которых не превышают 60 м, а в случае положительных разрядов – распределение, разработанное К.Бэргэром, Р.Б.Андерсоном и Х.Крэнингэром. Сравнение этих распределений с используемым в Польше распределением, базирующемся на измерениях С.Шпора [12,13], (представленным на рис. 1), где символ P обозначает вероятность превышения пикового тока I , даёт хорошие результаты ввиду почти идеального совпадения их с соответствующими универсальными распределениями тока I [7,12]. Одновременно следует учесть, что отличие обозначенных выше распределений и распределений АИЕЕ существенно, на что обратили внимание З.Флисовски и авторы работ [2–4]. Поэтому целью представленного ниже анализа явился выбор метода коррекции формулы (4), а также и других аналогичных, учитывая специфику выбранного нормативного документа АИЕЕ распределений амплитуды тока молнии.

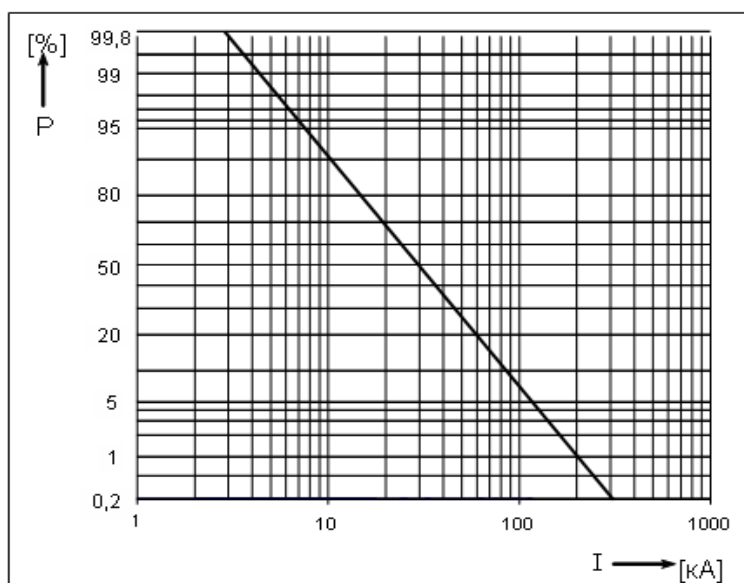


Рис. 1

при расчетах полных пиковых токов молний, что ведет к серьезному занижению измеренных амплитуд I в отношении к реальным;

В) игнорирование насыщения измерительных магнитных прутиков, что значительно занижает результаты измерений больших токов I .

То, что значения амплитуд молниевых токов в распределении АИЕЕ слишком низкие, заметили ещё создатели первой версии численной модели оценки селективности (Бралн и Лайтхэд), которые уже в ходе сделанных ими аналитических оценок высказали сомнения относительно предложенного распределения [1]. Более того, Лайтхэд при обсуждении в [14] статьи Шпора [11] заявил, что в своих последних работах он основывался на европейских стандартах распределения тока I , свободных от ошибок, содержащихся в распределении АИЕЕ.

Для исправления описанной выше ошибки А.Шпор применил численный коэффициент, увеличивающий амплитуды токов молний, равный 2 [12,13], получив при этом очень хорошее соответствие распределения АИЕЕ польскому распределению, а также упомянутым универсальным международным распределениям, которые предложили Пополаньски и Шпор. Это соответствие составляет основу для вывода, что принятый Шпором коэффициент 2 надлежащим образом исправляет все недостатки распределения АИЕЕ.

Как уже отмечалось, использование в электрогеометрической численной модели Брална-Лайтхэда распределения амплитуды тока молнии АИЕЕ ведет к количественно правильным результатам, хотя качество этого распределения, как показывают вышеприведенные рассуждения, вызывают серьезные замечания. Причиной этого явилось то, что при проведении измерений допущено много существенных ошибок, которые влияют на значения и выражения (1)–(5), не позволяя, таким образом, оценивать действительные расстояния R , которые определяют удалённость от места ударов.

Следует подчеркнуть, что радикальное изменение взглядов на проблему распределений амплитуды тока молнии возникло под влиянием научных исследований, проводимых в Европе, в частности, в Польше. Польские измерения этих амплитуд, сделанные Шпором, показали гораздо большие их значения, чем американские регистрации, являющиеся основой для распределения АИЕЕ, а также больше, чем прежние немецкие и советские регистрации. Кроме того Шпор, как первый и одновременно единственный исследователь молниевых явлений, обнаружил целый ряд ошибок, сделанных при интерпретации американских результатов регистраций, из которых особенно важными оказались следующие две [11]:

А) игнорирование частичных токов в наклонных элементах решетчатых опор

Из концепции корректировки распределения АИЕЕ, предложенной Шпором, следует, что значения амплитуды токов молний, сделанные при помощи выбранного распределения и формул (1)–(5), меньше, чем фактические, почти в два раза. В то же время при использовании других распределений тока I , в том числе тех, которые содержит стандарт EN 62305-1:2006, расстояния R следует определять не по рекомендуемой в документе [18] весьма распространенной формуле (4), а на основании выражения

$$R = 6,4I^{0,65}, \quad (6)$$

полученного путем подстановки в формулу (4) вместо символа I величины $I/2$. С использованием выражения (6) согласился также Лайтхэд. Этот исследователь поместил в работе [15] две похожие зависимости, из которых вытекает соотношение, представляющее своеобразное усреднение:

$$R = 5,3I^{0,7}. \quad (7)$$

Последние выражения дают результаты, почти идеально совпадающие с формулой (6), а также с часто используемой зависимостью, имеющей вид [10]:

$$R = 5,9I^{0,67}, \quad (8)$$

что подтверждается данными табл. 2.

Таблица 2

Номер формулы	I , [кА]				
	20	40	60	80	100
(6)	44,9	70,4	91,6	110,5	127,7
(7)	43,2	70,1	93,1	113,9	133,1
(8)	43,9	69,9	91,7	111,2	129,1

На рис. 2 показана графическая иллюстрация формулы (6) – (кривая 2) в сравнении с формулой (4) – (кривая 1), рекомендуемой не только европейским стандартом EN 62305-1:2006 и его национальными аналогами (в том числе и польским), но также и американским стандартом IEEE Std 1400TM-2004 [17], отображаемых в научных публикациях, появившихся в последнее время [5,6,8]. Упомянутое сопоставление подтверждает достоверность зависимости (6). На рис. 3 показаны графики зависимостей количества ударов молний n за год в свободно стоящий стержень высотой h , полученные на основании расчетов методом Монте Карло для периодичности ударов молний равной, $2 \text{ год}^{-1} \cdot \text{км}^{-2}$, которую можно считать типичной для Польши [10]. Помещённую на этом же рисунке кривую I автор статьи вычислил, принимая распределение амплитуды тока молнии согласно концепции Шпора и функцию $R(I)$, определённую по формуле (6); в то же время кривая 2 соответствует расчетным результатам М.А.Сарджэнта [9]. Самое существенное на рис. 3 – это сопоставление двух графиков распределения амплитуды тока молнии АИЕЕ, базирующихся на публикации [9] и функции $R(I)$, которую представили Бралн и Лайтхэд (1). Сравнение упомянутых кривых показывает их совпадение до значения $h \approx 35 \text{ м}$ и небольшое расхождение больше этой высоты стержня (вытекающие главным образом, как надо полагать, из-за мелких расхождений в распределениях расстояния R и в способах программирования генераторов расчётных параметров молнии в каждом из двух случаев). Отмеченное выше свидетельствует об удовлетворительной точности формулы (6), а также других, аналогично полученных формул, описывающих функции $R(I)$ и рекомендуемых стандартом EN 62305-1:2006.

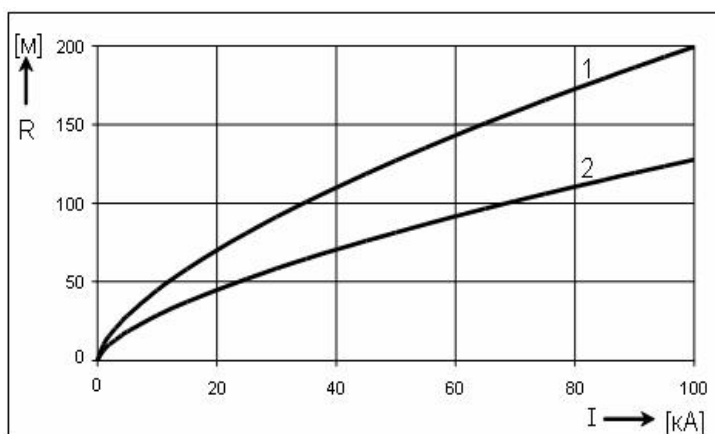


Рис. 2

В заключении следует подчеркнуть следующее:

1) формулы (1)–(5) недостаточно компенсируют существенные ошибки распределения амплитуды тока молнии АИЕЕ, не могут служить для расчета расстояний R , определяющих места ударов;

2) использование в электрогеометрических численных моделях оценки селективности молний и распределений амплитуды I , рекомендуемых в настоящее время, следует проводить с учётом функций $R(I)$ с заменой величины I на $I/2$;

3) европейская норма EN 62305-1:2006 должна быть исправлена путем замены в ней выражения (4) зависимостями (6), (7) или (8). При этом соответствующие поправки должны касаться также помещенных в обозначенном документе стандартизованных градусов катящейся сферы, являющихся результатами вычислений, выполненных согласно зависимости (4).

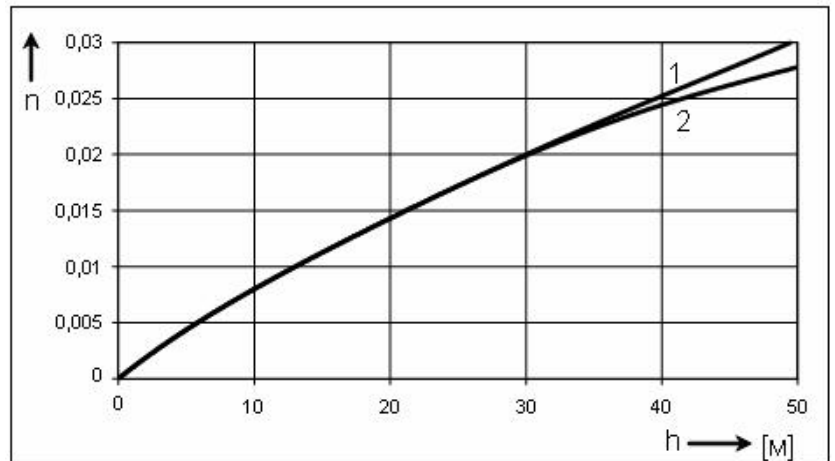


Рис. 3

1. Brown G.W., Whitehead E.R. Field and analytical studies of transmission line shielding – Part II, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1969. – No. 5. – 617 p.
2. Flisowski Z. Trendy rozwojowe ochrony odgromowej budowli, część 1, PWN, Warszawa, 1986.
3. Flisowski Z., Strużewski P. Analiza skuteczności zwodów pionowych przy wykorzystaniu modelowania cyfrowego // Przegląd Elektrotechniczny. – 1979. – No. 2. – 93 p.
4. Flisowski Z., Strużewski P. Die Beurteilung der Häufigkeit von Blitzeinschlägen an die Objekte von verschiedenen Abmessungen, 14. Internationale Blitzschutzkonferenz (IBK), Gdańsk, 1978, Referat No. 2.07.
5. Heidler F. and co-authors. Parameters of lightning currents given in IEC 62305 – Background, experience and outlook, 29. International Conference on Lightning Protection (ICLP), Uppsala 2008, invited lecture. – No. 3.
6. Mikropulos P.N., Tsovilis T.E. Interception probability and shielding against lightning, IEEE Transactions on Power Delivery. – 2009. – No. 2. – 863 p.
7. Popolanský F. Frequency distribution of amplitudes of lightning currents // Electra. – 1972. – No.22. – 139 p.
8. Sachs H.K., Novak T. A method for estimating the probability of lightning causing a methane ignition in an underground mine, IEEE Transactions on Industry Applications. – 2008. – No. 2. – 418 p.
9. Sargent M.A. The frequency distribution of current magnitudes of lightning strokes to tall structures, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1972. – No. 5. – 2224 p.
10. Strużewski P. Optimization of air termination system by digital modelling method / Відбір і обробка інформації. – 2009. – No.30. – 52 p.
11. Szpor S. Comparison of Polish versus American lightning records, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. – 1969. – No. 5. – 646 p.
12. Szpor S. Ochrona odgromowa, tom 1, WNT, Warszawa, 1973.
13. Szpor S., Samuła J. Ochrona odgromowa, tom 1, WNT, Warszawa, 1983.
14. Whitehead E.R. Discussion of article 25. – 652 p.
15. Whitehead E.R. Discussion of article worked out by A.J Eriksson, entitled "An improved electrogeometric model for transmission line shielding analysis", IEEE Transactions on Power Delivery. – 1987. – No. 3. – 881 p.
16. Whitehead E.R. Protection of transmission lines, chapter No. 22 in collective work "Lightning", V. 2, Academic Press, London – New York – San Francisco, 1977.
17. IEEE Std 1410TM - 2004, IEEE Guide for improving the lightning performance of electric power overhead distribution lines.
18. EN 62305-1:2006. Protection against lightning – Part 1: General principles (corrected by EN 62305-1:2006/AC:2006).

УДК 621

Стружевски П., доктор-інженер

Польський комітет захисту від блискавки польських інженерів-електриків, (Польща).

Про необхідність модифікації залежності між відстанню ураження та піковим струмом блискавки, що рекомендується європейським стандартом EN 62305-1:2006

В статті показано, що діючий Європейський стандарт EN 62305-1:2006 недостатньо точно відображає у електрогеометричних числових моделях оцінки селективності блискавок – залежності між відстанню ураження і піковим струмом атмосферного розряду. Автор відзначив, що ця залежність розроблена з використанням американського розподілу амплітуди струму блискавки AIEE і є неточною та проаналізував відповідну похибку стосовно інших відомих сьогодні розподілів цього параметру. Автор запропонував модифіковану модель, обґрунтувавши поправки до згадуваної вище стандартизованої функції та її подібних. Бібл. 18, табл. 2, рис. 3.

Ключові слова: блискавка, атмосферний розряд, амплітуда струму.

Struzhevski P.

Polish Committee on Lightning Protection of SEP Polish Electrical Engineers, Polish

About the necessity of relation's modification between striking distance and lightning peak current recommended by European Standard EN 62305-1:2006

In the article it has been shown that existing European Standard EN 62305-1:2006 does not represent accurately the relation between striking distance and peak current of atmospheric discharge in electrogeometric numerical models of lightning selectivity estimation. The author has stressed that this relation was obtained using faulty distribution of lightning current amplitude AIEE. He has analyzed its divergence with other distributions of this parameter that are used at present. The author has also proposed to introduce the justified correction into the mentioned above standardized function and into other similar relations. References 18, tables 2, figures 3.

Key words: lightning, atmospheric discharge, current amplitude.

Надійшла 24.06.2009

Received 24.06.2009