

зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 57 с. 3. *Петков А.А., Колиушко Д.Г., Колиушко Г.М.* Выбор оптимальных параметров одиночного стержневого молниеотвода // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2004. – № 35. – С. 64-71. 4. *Кирпич С.В., Петков А.А., Колиушко Д.Г.* Выбор оптимальных параметров одиночного тросового молниеотвода // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2005. – № 49. – С. 36-45.

Поступила в редколлегию 19.03.2008.

УДК 621.31.048.015

В.В.КНЯЗЕВ, канд.техн.наук; ***В.И.КРАВЧЕНКО***, докт.техн.наук;
И.П.ЛЕСНОЙ, ***П.Н.МЕЛЬНИКОВ***; ***С.В.ПЕСТРЕЦОВ***, студент;
А.Ю.ЧЕРНУХИН, студент; НТУ «ХПИ»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНЫХ МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ И РАССЕИВАТЕЛЕЙ

Розглянуто результати дослідження базових параметрів активних приймачів блискавки та розсіювачів заряду. Дослідження активних приймачів здійснено відповідно до методики, що міститься у стандарті Франції NF C 17-102. Розсіювачі заряду досліджено за параметрами току корони. Наведено результати стосовно дев'яти зразків різних виробників. Запропоновано підхід до оцінки якості досліджуваних зразків.

Results of a study on basic parameters of lightning active receivers and charge scatters are considered. The study of the active receivers has been performed according to French standard NF C 17-102. The charge scatters have been investigated in terms of parameters of corona current. Results for nine samples of different producers are presented. An approach to the estimation of the quality of studied samples is proposed.

Основой систем молниезащиты зданий и сооружений от прямых ударов молнии являются металлические конструкции в виде стержневых, тросовых и сеточных молниеприемников. Требования к устройству таких систем в Украине до сегодняшнего дня регламентируются РД 34.21.122-87 [1]. Этот документ явно устарел, поскольку не отражает новых знаний, содержащихся в соответствующих стандартах Международной электротехнической комиссии (МЭК), например, [2-5], гармонизированных во всех промышленно развитых государствах. В РД 34.21.122-87 [1] вопросы молниезащиты рассматриваются главным образом с точки зрения предотвращения возгорания объектов и поражения людей в результате удара молнии. В упомянутых стандартах МЭК освещаются все аспекты риска, включая повреждение электронного и

электрического оборудования. Отметим, что стандарты [3-5] включены в план Национальной стандартизации Украины на 2008 год.

В отличие от упомянутых выше систем, которые условно можно назвать «пассивными», в мире предпринимаются настойчивые попытки создания «активных» устройств, обеспечивающих существенное увеличение размеров зоны защиты, по сравнению с зоной защиты классического молниеприемника Франклина (далее для идентификации будем называть его «пассивный штыревой молниеприемник» (ПШМ)). К числу таких устройств относятся, так называемые «Early streamer emission air terminals» (ESE), которые обеспечивают более быстрое по сравнению с ПШМ создание встречного стримера, способствующего перехвату молнии. Декларируемый радиус защиты ESE молниеприемников прямо пропорционален времени опережения, и определяется по следующей формуле [6]:

$$R = \sqrt{h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)},$$

где R – радиус зоны защиты, м;

$h > 5$ – м высота молниеприемника;

D – расстояние поражения (20, 45, 60 м);

$\Delta L = V \cdot \Delta T$;

ΔT – время опережения, мкс; $V = 1$ м/мкс.

Методика определения времени опережения регламентируется стандартом Франции NF C 17-102: 1995 [6]. Поскольку этот стандарт не является легко доступным для читателей, а суть методики принципиально важна для понимания обсуждаемой темы, с ней можно ознакомиться в работе [7]. Далее, для удобства читателя, приведем лишь основные моменты этой методики.

ПШМ и ESE молниеприемник испытываются один за другим в одинаковых электрических и геометрических условиях, реализуемых в лаборатории, которые моделируют природные условия инициирования восходящего лидера (положительный восходящий лидер). Естественное электрическое поле создаваемое грозовой тучей, существующее перед ударом молнии, влияет на условия формирования короны и существующих пространственных зарядов. Поэтому, в лабораторных условиях естественное поле должно быть смоделировано: его значения выбираются в диапазоне от 10 кВ/м до 25 кВ/м.

Моделирование природного явления наиболее близко к действительности, если форма импульсной волны имеет время нарастания в пределах от 100 мкс до 1000 мкс. Скорость нарастания волны должна быть между $2 \cdot 10^8$ и $2 \cdot 10^9$ В·с/м. Для создания постоянного и импульсного электрических полей используется плоский конденсатор в виде двух металлических пластин, расстояние между которыми H , должно быть более 2 м. На заземленной пластине размещается испытываемый образец молниеприемника. Расстояние (d)

от конца молниеприемника до верхней потенциальной пластины должно быть более 1 м. Значение отношения d/H должно находиться в диапазоне от 0,25 до 0,5. Размеры пластин должны быть не менее значения H . Сравнимые молниеприемники должны устанавливаться в межэлектродном промежутке идентично.

При проведении испытаний регистрируется время пробоя воздушного промежутка, которое отсчитывается от момента начала нарастания импульсного электрического поля. Для каждого образца производится одинаковое число разрядов (от 50 до 100). Критерием оценки эффективности ESE молниеприемника является среднее значение ΔT , отнесенное к базовой форме импульсного поля, представленной в стандарте в виде графика, достигающей максимального значения при 650 мкс.

Схема испытательного комплекса НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ», на котором были проведены исследования, приведена на рис. 1. а его фотография в момент пробоя воздушного промежутка на рис. 2. Технические параметры комплекса полностью соответствует требованиям стандарта [6].

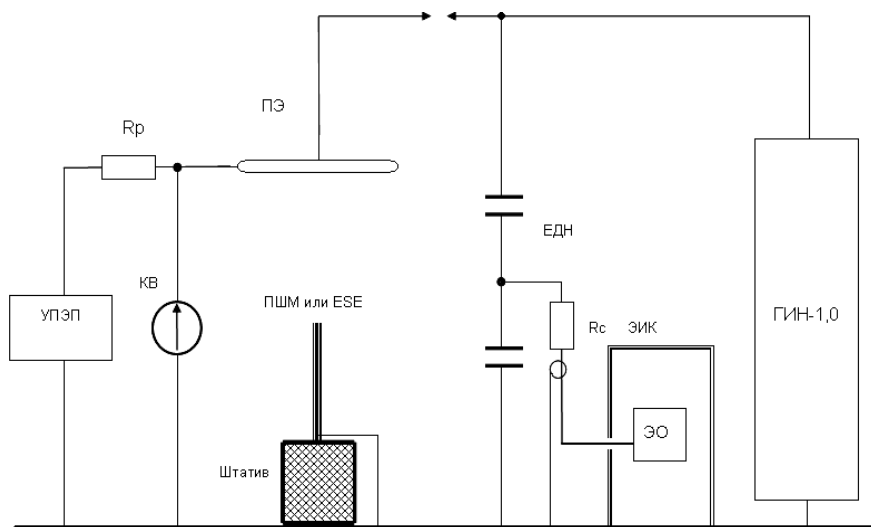


Рисунок 1 – Схема испытательного комплекса для измерения времени опережения:

УПЭП – установка постоянного электрического поля; КВ – киловольтметр; ГИН-1,0 – генератор импульсов напряжения до 1 МВ; ПЭ – полеобразующий электрод; ИЭК – измерительная экранированная кабина; ПШМ – пассивный штыревой молниеприемник; ESE – испытываемый образец ESE; ЕДН – емкостной делитель напряжения с коэффициентом деления 43000; ЭО – запоминающий цифровой осциллограф типа ТЕКТРОНИХ TDS 2024; F – отсекающий коммутатор; Rp – разделительный резистор; Rc – согласующий резистор

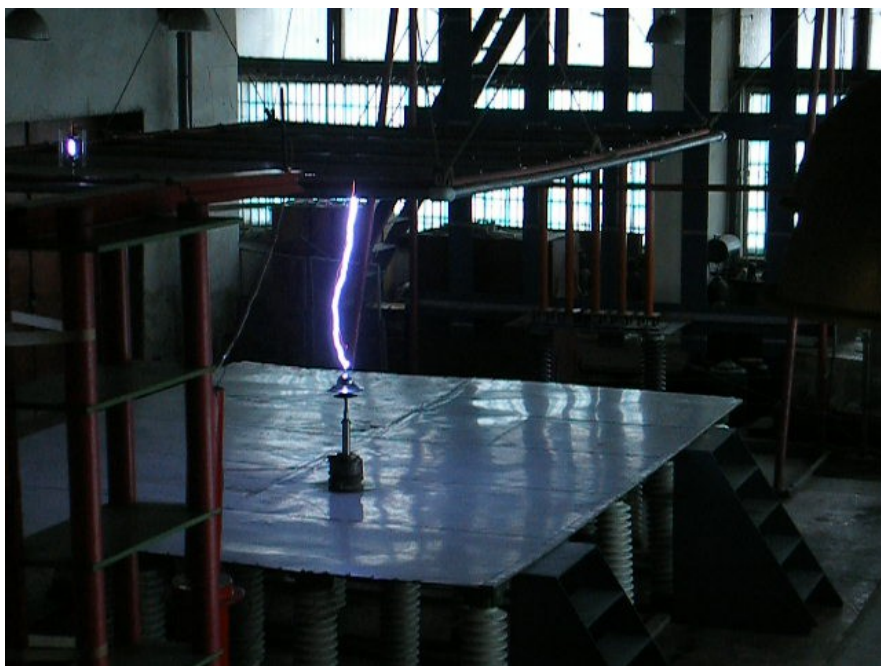


Рисунок 2 – Фотография испытательного комплекса
(пробой воздушного промежутка)

Испытательный комплекс включает в себя следующие основные части:

- генератор импульсов высокого напряжения типа ГИН-1,0 в режиме генерирования коммутационной волны;
- установка постоянного электрического поля (УПЭП), напряжение на потенциальном электроде до 100 кВ;
- схема измерения испытательных импульсов напряжения - полных и срезанных;
- металлические пластины (размер верхней 4 x 4 м, расстояние между пластинами может варьироваться от 2 м до 4 м);
- пассивный штыревой молниеприемник (диаметр 20 мм), выполненный из алюминиевого сплава Д16.

Установка позволяет сформировать импульс напряжения до 1 МВ с вариацией временных параметров (время достижения максимума, длительность полуспада) в широком интервале значений. Последние испытания молниеприемников (февраль 2008) проведены при значении времени достижения максимума 436 мкс (см. рис. 3). Осциллограммы срезанного напряжения (при пробое воздушного промежутка) имеют вид, как показано на рис. 4. Для каждого образца исследуемого молниепри-

емника регистрировалось не менее 50 таких осциллограмм. Значения времени среза импульса фиксируются, потом по ним находится среднее арифметическое (T). Аналогично определяется среднее значение времени среза для ПШМ. Эти значения переносятся на базовую кривую [6], и с ее помощью определяется ΔT . Естественно, если форма испытательного импульса совпадает с формой базовой кривой, то разница между полученными значениями T сразу дает искомое ΔT .

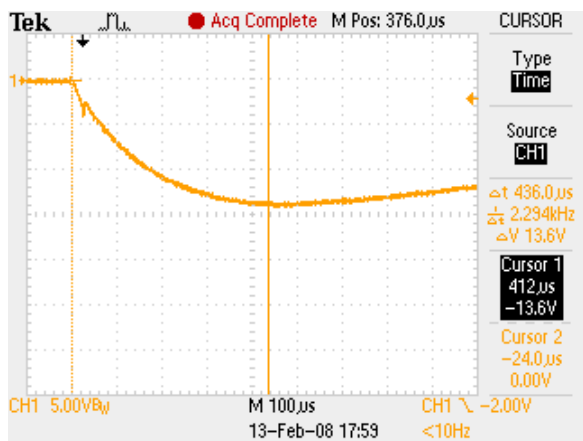


Рисунок 3 – Форма испытательного импульса (время достижения максимума 436 мкс)

На исследования были представлены:

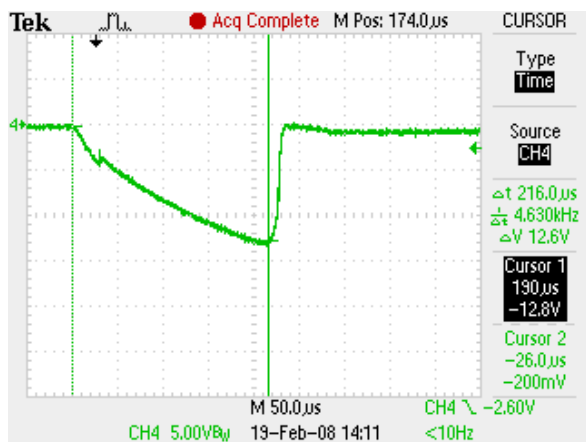
- пять типов молниеприемников;
- образцовый ПШМ – штырь диаметром 20 мм и длиной 1 м, сплав Д16;
- четыре типа рассеивателей.

Каждый из испытываемых образцов устанавливался так, что его вершина находилась на высоте 0,8 м над землей, а высота подвеса ПЭ составляла 2,0 м.

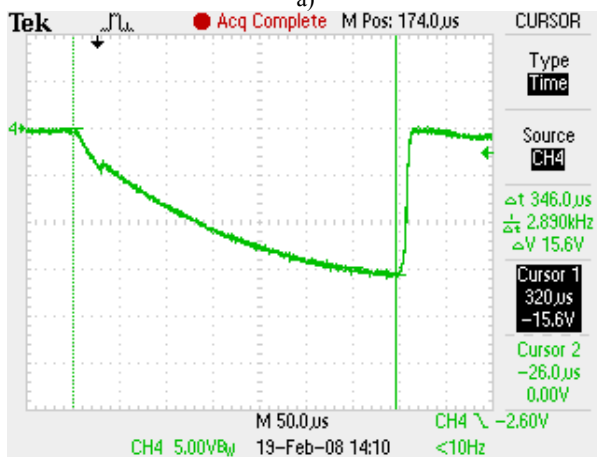
Среди испытываемых образцов представлены так называемые «рассеиватели», которые по утверждению разработчиков, обеспечивают создание зоны коронного разряда, препятствующей прорастанию встречного лидера, и тем самым как бы «отталкивая» молнию от места установки рассеивателя. Для количественного сравнения свойств рассеивателей в Миссисипском государственном университете (США) предложена методика, основанная на измерении тока короны. Эта методика реализована в НИПКИ «Молния», в соответствии со схемой, представленной на рис. 5.

Со всеми упомянутыми выше образцами проведены исследования по обеим методикам. Это позволило выявить ряд новых особенностей в исследуемых процессах. В таблице представлены результаты определения значе-

ний ΔT для ряда новых молниеприемников и рассеивателей в сравнении с уже имеющимися на рынке.



а)



б)

Рисунок 4 – Примеры срезанного напряжения, определяющего время пробоя воздушного промежутка (а) 216 мкс; б) 346 мкс)

Анализ представленных в таблице результатов показывает, что новый молниеприемник, обозначенный New-3, обеспечивает время опережения 32 мкс, несколько превосходя ESE-40, и несколько уступая LPA 2005A. Следуя указаниям стандарта [6], согласно приведенной выше формуле, можно утверждать, что при высоте установки $h = 6$ м, молниеприемник ESE-40 теоретически обеспечивает радиус зоны защиты класса I ($D = 20$ м) не менее 20 м,

что значительно превышает размеры зоны А защиты ПШМ, установленного на такой же высоте (радиус не более 6 м). Конечно, полученные цифры весьма заманчивы.

Кроме того, представленные в таблице результаты, показывают, что у рассеивателя типа TS-4 момент пробоя запаздывает по отношению к ПШМ на 90 мкс. Фактически, это означает повышение пробивного напряжения воздушного промежутка. В тоже время, TS-1 и TS-5 такими свойствами не обладают, напротив, ведут себя как активные молниеприемники. Анализ параметров токов импульсной короны, в зависимости от напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке, высоты подвеса ПЭ и ряда других факторов будет представлен в следующей статье.

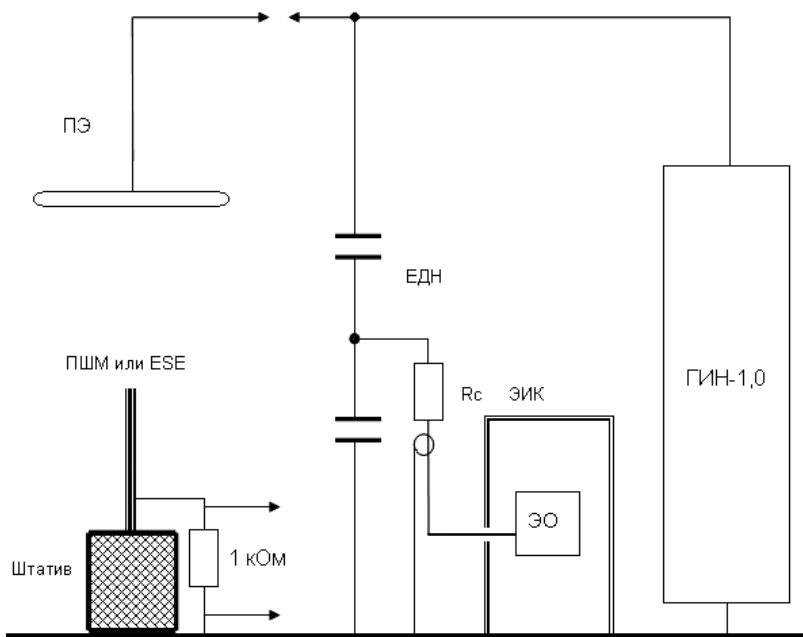


Рисунок 5 – Схема испытательного комплекса для измерения тока короны
 ГИН-1,0 – генератор импульсов напряжения до 1 МВ; ПЭ – полеобразующий электрод; ИЭК – измерительная экранированная кабина; ПШМ – пассивный штыревой молниеприемник; ESE – испытываемый образец рассеивателя; ЕДН – емкостной делитель напряжения с коэффициентом деления 43000; ЭО – запоминающий цифровой осциллограф типа ТЕКТРОНИХ TDS 2024; Rс – согласующий резистор

Для интерпретации свойств молниеприемников в работе [7] предложено результаты исследований представлять в виде гистограмм вероятности на-

хождения времени пробоя в заданных временных интервалах. Такая гистограмма позволяет визуализировать качество конкретного молниеприемника. Для примера, такая гистограмма представлена на рис. 6.

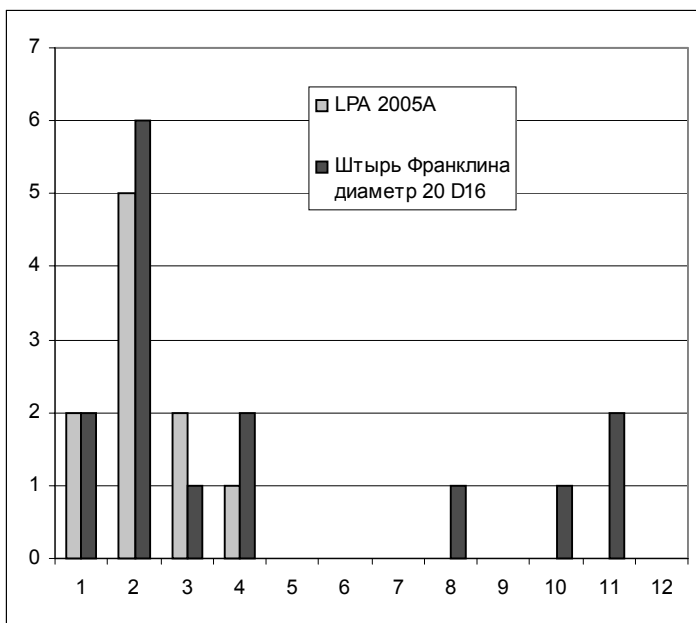


Рисунок 6 – Гистограмма вероятности нахождения времени пробоя в заданном временном интервале (по оси ординат – вероятность в процентах)

Признание полученных результатов, в качестве таковых, на основании которых можно проектировать систему молниезащиты в Украине на сегодняшний день неправомерно. Причина заключается в отсутствии нормативного документа, аналогичного стандарту Франции [6]. Прямая гармонизация этого стандарта в Украине возможна, однако, на этом пути есть принципиальные трудности. Эти трудности состоят в том, что физические принципы и численные значения величин, положенные в основу стандарта Франции, вызывают критику со стороны значительной части ученых, работающих в области высоких напряжений. Объем этой критики настолько велик, а возражения настолько убедительны, что международное научное сообщество приняло решение не принимать доклады об ESE молниеприемниках на научных конференции, например на ICLP (International Conference on Lightning Protection). Попытки сторонников Французского стандарта придать ему статус международного под эгидой МЭК, также не увенчались успехом. В качестве примеров последних публикаций с критикой можно указать работы [8,9].

Основные возражения, которые отмечают противники стандарта, следующие:

- Нет научного обоснования экстраполяции результатов лабораторных испытаний на реальные условия.
- Скорость восходящего лидера по мере удлинения канала увеличивается от 0,12 до 0,65 м/мкс, но не достигает значения 1 м/мкс.
- Нет аргументов в пользу выбранного значения стандартной длительности фронта импульса 650 мкс.
- Начальные коронные процессы практически не влияют на значение разрядного напряжения в длинных воздушных промежутках.
- Нет научно организованных натуральных испытаний, подтверждающих правоту сторонников ESE.

Подробную информацию о механизмах пробоя длинных воздушных промежутков и всех базовых значениях параметров можно найти в уже ставших классическими трудах Ю.П.Райзера и Э.М.Базеляна [10, 11].

Кроме того, есть еще один аспект, который проявился при обработке результатов испытаний, проведенных в нашем институте [7]. Речь идет о сравнительных гистограммах распределения времени пробоя ESE и ПШМ. Пример гистограммы для ESE типа LPA 2005A, имеющего параметры лучшие из всех исследованных образцов, представлен на рисунке 6. Напомним, что для этого молниеприемника установлено (см. таблицу) среднее время пробоя 213 мкс, а время опережения 39 мкс. Анализ гистограммы показывает, что в диапазон 205-220 мкс попадает 14 % всех разрядов в ПШМ и 20 % ударов в LPA 2005A. Таким образом, в этом наиболее важном с точки зрения обеспечения защиты объекта диапазоне параметры упомянутых выше образцов практически одинаковы.

Образец	Среднее время пробоя, мкс	Время опережения ΔT , мкс
ESE-40	225	30
New 1	235	15
New 2	238	8
New 3	222	32
LPA 2005A	213	39
ПШМ	247	0
IPG	271	- 32
New TS-4	305	- 90
New TS-1	235	15
New TS-5	228	23

Выводы

Из всего сказанного выше вытекают следующие выводы:

- 1 Экспериментальные исследования в лабораторных условиях (при

длинах промежутка до 10 м) подтверждают, что существуют конструкции ESE молниеприемников, которые обеспечивают более быстрое время пробоя воздушного промежутка, то есть фактически, уменьшают пробивную прочность это промежутка.

2. Необходимо создать такой образец ESE, который будет иметь гистограмму, сдвинутую влево (в сторону меньших времен) настолько, что ни один разряд в ПШМ не будет попадать в диапазон этой гистограммы.
3. Необходимо провести натурные испытания с образцами, удовлетворяющими п.2, для определения реальных размеров зоны защиты.
4. Разработать теорию этого процесса, позволяющую определять размеры зоны защиты на основании результатов исследований в лабораторных условиях.

Только после этого, можно создать стандарт, на основании которого проводить государственную сертификацию молниеприемников.

Авторы данной статьи выражают благодарность всем сотрудникам Научно-исследовательского отдела № 2 НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ», принимавшим участие в поведении исследований. Особо отмечаем вклад Лантушко Б.Н., Немченко Ю.С. и Сомхиева С.Б.

Список литературы: 1. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. 2. IEC 61024-1-2:1998. Protection of structures against lightning – Part 1-2: General principles – Guide B – Design, installation, maintenance and inspection of lightning protection systems. 3. IEC 62305-1: 2006. Protection against Lightning – Part 1: General Principles. 4. IEC 62305-3: 2006. Protection against Lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard. 5. IEC 62305-4: 2006. Protection against Lightning – Part 4: Electrical and electronic system within structures. 6. NF C 17-102: 1995. Lightning protection. Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals. 7. Князев В.В., Кравченко В.И. Лесной И.П. Тестирование активных молниеприемников // Сб. научных трудов НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Электроэнергетика и преобразовательная техника» – № 1, т.1. – 2003. – С. 80-88. 8. Marley Becerra and Vemon Cooray. "Laboratory experiments cannot be utilized to justify the action of early streamer emission terminals" Journal of Physics D: Applied Physics. v.41, 2008. 9. Корявин А.Р., Волкова О.В. К вопросу об эффективности действия активных молниеприемников // Электротехника. – №2/04 (Россия). – С. 1-6. 10. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – 2-е изд. – М.: Наука, 1992. – 590 с. 11. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Искровой разряд. – М.: «МФТИ», 1997. – 320 с.

Поступила в редколлегию 18.05.2008