

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Жекул Василий Григорьевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины (ИИПТ НАНУ), Николаев, e-mail: v\_zhekul@mail.ru

**Zhekul Vasilii Grigoryevich** – Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Institute of Pulse Processes and Technologies under the National Academy of Science of Ukraine (IPPT, NASU), Mykolayiv, e-mail: v\_zhekul@mail.ru

**Поклонов Сергей Георгиевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины (ИИПТ НАНУ), Николаев, e-mail: sergeypoklonov@mail.ru

**Poklonov Sergey Georgievich** – Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Institute of Pulse Processes and Technologies under the National Academy of Science of Ukraine (IPPT, NASU), Mykolayiv, e-mail: sergeypoklonov@mail.ru

**Смирнов Алексей Петрович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины (ИИПТ НАНУ), Николаев, e-mail: aps-78@mail.ru

**Smirnov Oleksiy Petrovych** – Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Institute of Pulse Processes and Technologies under the National Academy of Science of Ukraine (IPPT, NASU), Mykolayiv, e-mail: aps-78@mail.ru

**Макаренко Владимир Сергеевич** – инженер 2 категории, Институт импульсных процессов и технологий Национальной академии наук Украины (ИИПТ НАНУ), Николаев, e-mail: vladimir.makarenko17@gmail.com

**Makarenko Volodymyr Sergijovich** – Engineer II cat., Institute of Pulse Processes and Technologies under the National Academy of Science of Ukraine (IPPT, NASU), Mykolayiv, e-mail: vladimir.makarenko17@gmail.com

УДК 621.317.3

**В. В. КНЯЗЕВ, И. А. ПОСТЕЛЬНИК**

### РЕАЛИЗАЦИЯ ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ГРОЗОВОЙ ОПАСНОСТИ

Представлены результаты разработки локальной системы предупреждения о грозовой опасности, которая осуществляется по схеме «снизу-вверх». Такая схема имеет существенные преимущества по сравнению с аналогичными системами, которые функционируют в странах G20. Преимущество достигается за счет установки большого числа простых и дешевых локальных элементов, которые объединяются в многоуровневую сеть посредством передачи данных через сотовые сети и Интернет. Только такая концепция построения обеспечивает возможность создания системы оперативного предупреждения. Действительно, число пользователей, которые за свои средства устанавливают элементы локальной системы предупреждения о грозовой опасности, может достаточно быстро (в течении нескольких лет) превысить 1% от числа жителей в тех местах, где проблема молниезащиты актуальна. Описано устройство автономного индикатора грозовой опасности ИКС-1, функционирующего на эффекте коронного разряда со стержневых молниеприемников.

**Ключевые слова:** грозовая опасность, локальная система предупреждения, индикатор грозовой опасности.

**Введение.** Линейные молнии «облако-земля» явление достаточно частое. Однако, число ( $N_g$ ) таких разрядов молнии в год на квадратный километр весьма неравномерно распределено по районам Земли. Наибольшая молниевая активность  $N_g \approx 100$  [1] наблюдается в центральных районах Азии, Африки и Южной Америки. В большинстве из этих районов находятся страны третьего мира. В связи с этим, общее число человеческих жертв ежегодно растет. Например, на Украине при среднем числе  $N_g \approx 4$ , ежегодно от прямых ударов и косвенных воздействий молнии гибнут и получают травмы до 50 человек. Как правило, это происходит на открытых пространствах вблизи водоемов, игровых площадках и т.п.

В настоящее время в Украине отсутствует инфраструктура, обеспечивающая регистрацию параметров молний и позволяющая осуществить преду-

предление людей об атмосферных процессах, которые с высокой вероятностью могут привести к появлению молнии в конкретном районе.

В большинстве стран, относящихся к группе G20, существуют национальные сети регистрации молний, обеспечивающие прогноз динамики грозовой активности. Наиболее развита такая инфраструктура в США, где функционирует несколько независимых сетей. Основной сетью является National Lightning Detection Network (NLDN), которая имеет более 100 стационарных станций, расположенных по всей территории США, и ряд спутников на геостационарных орбитах, обеспечивающих визуальное наблюдение. Каждая станция оснащена разнообразными средствами измерения электромагнитных эффектов, сопровождающих молнию. Разработчики NLDN утверждают, что обеспечивается фиксация не менее 95 % всех раз-

рядов молний «облако-земля» ток которых превышает 5 кА. Погрешность локализации места попадания не превышает 500 м. Примером реализации такой системы в России является система комплексного мониторинга грозовой обстановки и грозовых событий Национального агентства по мониторингу окружающей среды НАМОС [2].

Однако, даже в этих странах нет широкой практики применения локальных систем предупреждения о грозовой опасности в конкретном уединенном месте.

**Цель работы.** Разработать вариант локальной системы предупреждения о грозовой опасности обеспечивающей высокую степень достоверности, имеющей открытую архитектуру, позволяющую объединять локальные системы в национальную систему посредством сотовой связи и сети Интернет.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Сравнительный анализ используемых методов регистрации, на которых основаны существующие в мире национальные сети регистрации молний, представлен в работе [3]. Результаты анализа однозначно показывают, что все имеющиеся национальные сети обладают существенными недостатками, с точки зрения поставленной нами цели. Такие системы требуют значительных финансовых вложений и постоянного обслуживающего персонала, при этом не обеспечивают главного – оперативного предупреждения людей в конкретном месте. В настоящее время некоторыми фирмами для оперативного предупреждения о грозовой опасности предлагается использовать сенсоры электростатического поля, реагирующие на достижение определенного уровня напряженности поля. Известен сенсор роторного типа EFM-100 Atmospheric Electric Field Monitor компании BOLTEK CORPORATION. Сенсоры такого типа имеют быстро вращающиеся пластины (частота вращения достигает 10 тысяч оборотов в минуту), что требует значительной мощности электрического питания и создает значительные проблемы в обслуживании. Испанская компания Aplicaciones Tecnologicas рекламирует локальную систему, в которой используется сенсор, изготовленный по технологии SECC Technology (controlled field electrometric sensor) без использования механических элементов. Описание принципа действия такого сенсора нам не удалось найти. Очевидным недостатком системы является наличие гальванической связи с устройством обработки информации, что следует из рывководства по монтажу.

Кроме отмеченных выше очевидных недостатков предлагаемых локальных систем, следует отметить и такой. Степень достоверности грозовой опасности, как показано в работах Э.М. Базеляна, например, [4-6] определяется корреляцией уровня напряженности электрического поля и скоростью его нарастания. Следовательно, можно предположить, что предлагаемые на рынке локальные системы не обеспечивают максимально возможной степени достоверности предупреждения о грозовой опасности. Значительное число ложных срабатываний может способствовать тому, что люди перестанут воспринимать сигнал об

опасности серьезно, и просто не станут реагировать на него. Особенно, этот субъективный фактор важен в местах отдыха.

**Прототип локальной системы.** Известна система комплексного мониторинга и грозовых событий НАМОС [2]. Система позволяет в реальном времени получать в двухмерном отображении информацию о месте и времени грозового разряда. В свою очередь, это позволяет учитывать грозовую активность в регионах при проектировании протяженных объектов, в частности, трубопроводов, линий электропередачи, железнодорожных магистралей и др. Непосредственная регистрация грозовых явлений осуществляется при помощи трех различных систем прямого измерения [2]:

Системы мониторинга грозовых разрядов на ВЛ, которая состоит из двух регистраторов грозовых перенапряжений (РГПН) расположенных на подстанциях по концам линии. Сигнал регистрируется на всех трех фазах, считывание производится с нижней обкладки конденсатора связи. Каждый из регистраторов GPS-синхронизирован во времени и имеет выход в сеть Интернет по выделенному каналу. Таким образом, получаемые осциллограммы происходящих перепадов напряжения на проводах линии передаются для последующей обработки на центральный процессор системы. После анализа информация с оценкой зарегистрированного события становится доступной пользователям через сайт разработчика.

Комплекса регистрации токов молнии на опорах ВЛ электронным способом. Он включает в себя датчики тока молнии (ДТМ), аппаратуру для сбора информации и программно-аппаратный комплекс для определения тока молнии расчетным путем на основании зафиксированной датчиками информации. Каждый из датчиков представляет собой законченный необслуживаемый электронный узел, имеющий встроенный аккумулятор и солнечную батарею, которые обеспечивают автономность работы в течение грозового сезона, а также первичный датчик тока (пояс Роговского), блоки обработки, регистрации сигнала и долговременного хранения полученных данных. В работе [7] описан усовершенствованный вариант датчика, названный регистратор тока молнии.

Комплекса магнитной регистрации токов молнии. Комплекс состоит из устанавливаемых парно («+» и «-» полярности) основных и дополнительных контрольных магнитных регистраторов токов молнии (МР), расположенных на всех опорах, индикатора наличия намагниченности и устройства для проверки намагниченности МР. Количество устанавливаемых на одну опору МР составляет от двух до четырнадцати пар в зависимости от ее конструкции плюс по одному контрольному МР на каждую опору.

Наблюдательная сеть системы дистанционной грозопеленгации (СДП) построена на оборудовании фирмы Vaisala и состоит из четырех расположенных в зоне ВЛ датчиков модели LS8000, которые работают в широком частотном диапазоне и имеют GPS-синхронизацию по времени и связь с сетью Интернет. Первичная обработка получаемых данных происходит

на центральном процессоре обработки данных Vaisala TLP, последующий анализ полученной информации производится параллельно системой Vaisala AP5000 и информационной системой, разработанной ЗАО «НАМОС».

Недостатками этой системы является функциональная ограниченность по территории. Ее работоспособность рассчитана на обслуживание только территорий, где расположены сети высокого напряжения. Постоянная передача видеoinформации (осциллограмм) по спутниковым каналам связи и каналам Интернет из сети датчиков вызывает их перегрузку и частые сбои. Кроме того, задержка во времени между моментом возникновения физической опасности и моментом ее отражения на сайте системы слишком велика, с точки зрения поставленной нами цели.

Однако, учитывая все положительные аспекты, система НАМОС принята в качестве прототипа для разработки концепции построения в Украине национальной системы мониторинга грозовой опасности по схеме восхождения «снизу-вверх».

#### Предлагаемая структура локальной системы.

Наиболее подходящим для создания локальной системы предупреждения (ЛСП) о грозовой опасности является использование существующей сети мобильной связи и сети Интернет. Предлагаемая ЛСП включает: автономные индикаторы грозовой опасности, автономные модули сбора информации и сети передачи/сбора информации. Иллюстративно, общая схема

ЛСП представлена в работе[8]. Автономный индикатор грозовой опасности ИКС-1 обеспечивает подачу сигнала тревоги непосредственно в районе, где он установлен и через свой канал мобильной связи на сервер национальной системы предупреждения о грозовой опасности (НСПГО). Блок-схема автономного индикатора грозовой опасности представлена на рис. 1. Входной аналоговый модуль – принимает сигнал с шунта стержня. Усиливает и разделяет биполярные импульсы на однополярные направляет их по разным каналам. Если сигнал приходит амплитудой выше заданного уровня, срабатывает триггер и передает сигнал в виде ТТЛ уровня к процессорному модулю.

Процессорный модуль работает в одном из указанных далее режимов:

- считает количество входных импульсов в секунду отрицательной и положительной полярности;
- записывает значение количества импульсов в элемент памяти с указанием полярности, даты и точного времени;
- при наличии импульсов запускает модуль связи с сетью Интернет и передает значения с памяти к серверу сбора и обработки данных;
- передает сигнал предупреждения по локальному радиоканалу к системе оповещения на объекте;
- контролирует уровень заряда аккумулятора и управляет модулем питания;
- реализует часы реального времени, а также самозапуск в указанное время по будильнику.

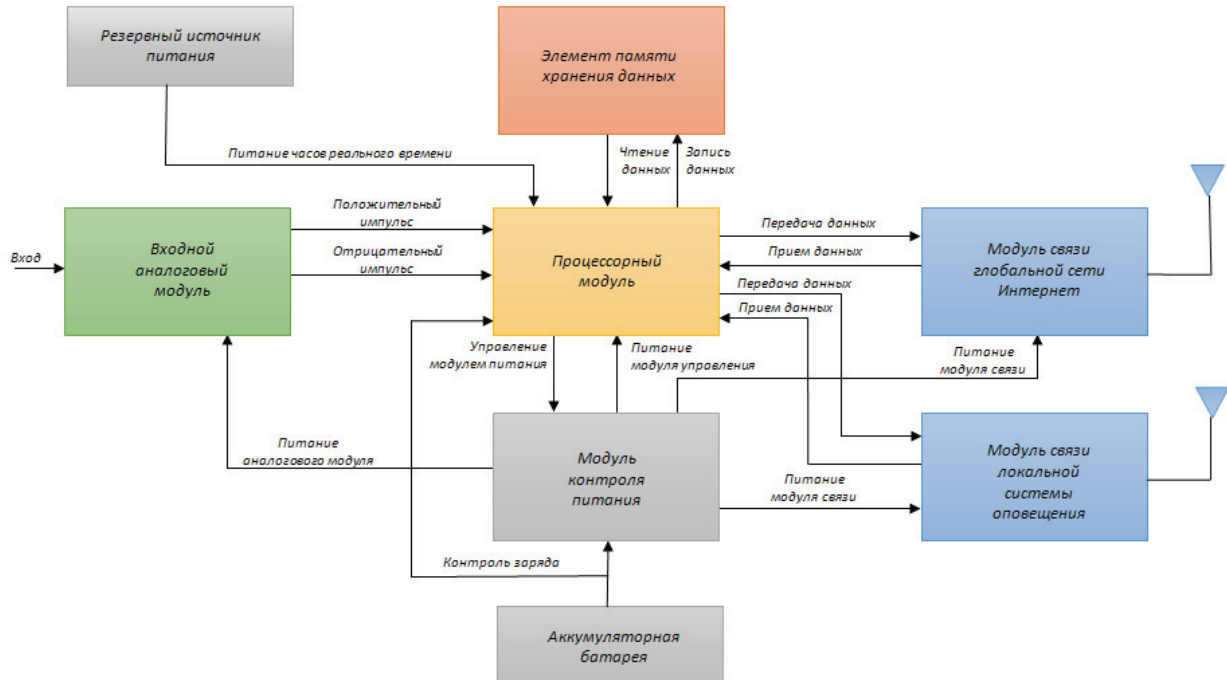


Рисунок 1 – Структурная схема автономного индикатора грозовой опасности ИКС-1

Принцип действия индикатора грозовой опасности ИКС-1 основан на регистрации числа импульсов тока короны со стержневых молниеприемников. В работах [9-10] установлена зависимость числа импульсов от напряженности электрического поля, длины стержня, формы его поперечного сечения и формы

вершины. Исходная информация сразу представлена в цифре, что позволяет практически без дополнительных усилий измерять скорость изменения напряженности электрического поля. В качестве преобразовательного элемента используется измерительный шунт включенный в цепь заземления стержня, или пояс Ро-

говского, охватывающий стержень, по аналогии с тем, как это реализовано в работе [7]. Использование пояса Роговского предпочтительно, поскольку позволяет использовать в качестве чувствительного элемента ИКС-1 огромное число уже существующих стержневых молниеприемников. Однако, при этом, в ряде случаев возникают трудности с обеспечением достаточного уровня чувствительности, поскольку импульсы тока лежат в наносекундном диапазоне, а пиковое значение силы тока импульса может начинаться с единиц миллиампер. Аналоговая часть ИКС-1 выполнена на быстродействующих операционных усилителях компании Analog Devices AD8039 и AD8038. Два соединенных последовательно усилительных каскада усиливают амплитуду биполярных импульсов в 4 раза. После чего биполярные импульсы разделяются на два канала отрицательных однополярных импульсов и конвертируются в импульсы TTL-уровня с помощью инвертора и триггеров Шмитта. Далее импульсы с двух каналов поступают на входы счетчика, выполненного на микроконтроллере (МК) STM32F031 фирмы ST Microelectronics.

В момент первого включения ИКС-1 происходит инициализация внутренних часов реального времени МК, и синхронизация их с сервером. В последующие включения проверяется лишь наличие импульсов и состояние аккумуляторной батареи. Период включения может задаваться пользователем с сервера. Связь с сервером осуществляется через GPRS-связь, для этого в схеме используется GSM/GPRS-модем SimCom SIM900. В других модификациях ИКС-1, в качестве канала связи выступает WiFi или Ethernet соединение.

В момент каждого дежурного включения могут происходить следующие штатные события:

- наличия импульсов по одному из каналов счетчика. МК включает GSM/GPRS-модем и начинает передачу количества импульсов в секунду на сервер и параллельно записывает эти данные на съемный носитель SD-карту.

- наличие низкого уровня элемента питания ИКС-1. МК включает GSM/GPRS-модем и передает на сервер сигнал тревоги о низком значении напряжения элемента питания.

Когда ни одного из штатных событий не зафиксировано, МК переходит в режим сверхнизкого энергопотребления и работают только часы реального времени, которые в заданные интервалы времени переводят МК в дежурный режим. С целью дополнительного энергосбережения GSM/GPRS-модем не включается без наличия описанных выше событий. Таким образом, ресурса аккумулятора хватает более чем на один год эксплуатации без подзарядки.

Автономные модули сбора информации предназначены для оцифровки данных, получаемых от первичных преобразователей импульсных электрических и магнитных полей, сопровождающих молниевые разряды, и последующей передачи этих данных на сервер национальной системы предупреждения и мониторинга. Передача данных осуществляется по каналам сотовой сети и сети Интернет. Автономный модуль сбора информации имеет структуру, представленную в ра-

боте [8]. Естественно, что его структура имеет сходство со структурой наблюдательной сети СДП системы НАМОС [2]. Однако, имеются существенные отличия, в частности первичными преобразователями импульсных электрических и магнитных полей микросекундного / миллисекундного диапазона, а также методами обработки данных, поступающих с этих преобразователей. Для исследовательских целей, комплект первичных преобразователей содержит: сенсор импульсного электрического поля (вертикальная компонента), сенсор импульсного магнитного поля (горизонтальная компонента), сенсор импульсного электрического поля (горизонтальная компонента), сверхширокополосный сенсор импульсного магнитного поля (горизонтальная компонента).

Предусмотрено, что вся совокупность регистрируемых амплитудно-временных параметров импульсов в режиме реального времени записывается на карту памяти SD, а на сервер передается только часть информации о максимальном значении физической величины, времени достижения максимального значения и времени спада сигнала до уровня 0,1 от пикового значения. Такой объем информации беспрепятственно проходит по каналам сотовой связи и сети Интернет.

**Выводы.** Создание национальной системы предупреждения о грозовой опасности в отличие от аналогичных систем, функционирующих в странах первого мира, предлагается осуществить по схеме «снизу-вверх», за счет установки большого числа простых и дешевых локальных элементов, которые объединяются в многоуровневую сеть посредством передачи данных через сотовые сети и Интернет. Только такая концепция обеспечивает возможность создания системы оперативного предупреждения. Действительно, число пользователей, которые за свои средства устанавливают элементы локальной системы предупреждения о грозовой опасности, может достаточно быстро (в течение нескольких лет) превысить 1% от числа жителей в тех местах, где проблема молниезащиты актуальна.

Каждый локальный элемент обеспечивает своевременное предупреждение о грозовой опасности в том месте, где он установлен, путем подачи звуковой и/или световой сигнализации, обеспечивает распространение предупреждающих SMS-сообщений на устройства мобильной связи находящиеся в зоне вышки сотовой связи, которая обслуживает элемент системы, и передает информацию на сервер национальной системы.

Информация, передаваемая со всех задействованных локальных элементов на сервер национальной системы обрабатывается в онлайн режиме и может быть доступна из общего окна сайта национальной системы. На сайте национальной системы ведется обработка информации со всех индикаторов грозовой опасности с целью визуализации движения грозового фронта и осуществления краткосрочных (до 3 часов) прогнозов.

Представлен пилотный вариант реализации ло-

кальной системы на базе индикатора напряженности электрического поля (ИКС-1), основанного на подсчете числа стримеров со стержневого молниеприемника. ИКС-1 имеет ряд важных функциональных преимуществ перед предлагаемыми на рынке аналогичными индикаторами.

**Список литературы:** 1. <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=85600>. 2. <http://www.namos.ru/press/publications/a3/> 3. Amitabh Nag. Lightning Locating Systems: Characteristics and Validation Techniques / Amitabh Nag, Martin J. Murphy, Wolfgang Schulz, Kenneth L. Cummins // Proc. 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP), Shanghai, China, 2014. – PP. 824-836. 4. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 320 с. 5. Базелян Э.М. Эффект объемного заряда короны в молниезащите / Э.М. Базелян // Сборник докладов IV Международной конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 27-29 мая 2014. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2014. – С. 1-16. 6. Базелян Э.М. Способ оповещения о грозовой опасности на борту летательного аппарата / Э.М. Базелян, В.А. Бранденбургский, И.Г. Пулавская // Авторское свидетельство № 2774627/23. 7. Чулков А.Н. Новые технологии регистрации токов молнии с высоким разрешением / А.Н. Чулков, С.В. Козлов, Э.М. Базелян и др. // Сборник докладов IV Международной конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 27-29 мая 2014. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С. 247-252. 8. Серков А.А. Система раннего предупреждения грозовой опасности / А.А. Серков, С.А. Никитин, В.В. Кравченко, В.В. Князев // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2015. – Вып. 51. – С. 95-99. 9. Князев В.В. Эффекты коронирования в условиях предразрядной обстановки / В.В. Князев, А.Ю. Чернухин // Сборник докладов IV Международной конференции по молниезащите. Санкт-Петербург, 27-29 мая 2014. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та., 2014. – С. 62-70. 10. Чернухин А.Ю. Особенности стримерной короны со стержневых молниеприемников / А.Ю. Чер-

нухин, В.В. Князев // Вестник НТУ «ХПИ» «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2015. – Вып. 20. – С.149-155.

**Bibliography (transliterated):** 1. <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=85600>. 2. <http://www.namos.ru/press/publications/a3/>. 3. Amitabh Nag. Lightning Locating Systems: Characteristics and Validation Techniques. Amitabh Nag, Martin J. Murphy, Wolfgang Schulz, Kenneth L. Cummins. Proc. 2014 International Conference on Lightning Protection (ICLP), Shanghai, China, 2014. pp. 824-836. 4. Bazeljan Je. M. Fizika molnii i molniezashhity. Je.M. Bazeljan, Ju. P. Rajzer. Moscow: FIZMATLIT, 2001. 320 p. 5. Bazeljan Je. M. Jeffekt ob#emnogo zarjada korony v molniezashhite. Je.M. Bazeljan. Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoj konferencii po molniezashhite. Sankt-Peterburg, 27-29 maja 2014. Sankt Petersburg: Izd-vo Politehn. un-ta., 2014. pp.1-16. 6. Bazeljan Je.M. Sposob opoveshhenija o grozovoj opasnosti na bortu letatel'nogo apparata. Je.M. Bazeljan, V.A. Brandenburgskij I.G. Pulavskaja. Avtorskoe svidetel'stvo №2774627/23. 7. Chulkov A.N. Novye tehnologii registracii tokov molnii s vysokim razresheniem. A.N. Chulkov, S.V. Kozlov, Je. M. Bazeljani i dr. Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoj konferencii po molniezashhite. Sankt-Peterburg, 27-29 maja 2014. Sankt Petersburg: Izd-vo Politehn. un-ta., 2014. pp. 247-252. 8. Serkov A.A. Sistema rannego preduprezhdenija grozovoj opasnosti. A.A. Serkov, S.A. Nikitin, V.V. Kravchenko, V.V. Knjazev. Vestnik NTU "KhPI" "Tehnika I jelektrofizika vysokih naprjazhenij", Vol. 51. 2015. pp. 95-99. 9. Knjazev V.V. Jeffekty koronirovanija v uslovijah predrazrjadnoj obstanovki. V.V. Knjazev, A.Ju. Chernuhin. Sbornik dokladov IV Mezhdunarodnoj konferencii po molniezashhite. Sankt-Peterburg, 27-29 maja 2014. Sankt Petersburg: Izd-vo Politehn. un-ta, 2014. pp. 62-70. 10. Chernuhin A.Ju. Osobennosti stri mernoj korony so sterzhnevych molniepriemnikov. A.Ju. Chernuhin, V.V. Knjazev. Vestnik NTU "HPI" "Tehnika I jelektrofizika vysokih naprjazhenij". Vol. 20. 2015. pp. 149-155.

*Поступила (received) 22.03.2016*

#### *Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Князев Владимир Владимирович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» НТУ «ХПИ», тел.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Князев Володимир Володимирович** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Senior Staff Scientist, principal scientist, Research and Design Institute "Molniya" NTU "KhPI", tel.: (057) 707-68-68; e-mail: knyaz2@i.ua.

**Постельник Игорь Александрович** – аспирант, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Молния» НТУ «ХПИ», тел.: (097) 166-33-59, e-mail: gor132@i.ua.

**Postilnyk Igor Oleksandrovych** - postgraduate student, Research and Design Institute "Molniya" NTU "KhPI", tel.: (097) 166-33-59, e-mail: gor132@i.ua.