

О СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА РАЗРЯДОВ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛНИЕПРИЁМНИКОВ СИСТЕМ МОЛНИЕЗАЩИТ

© 2012 Т.А. Потапенко¹, А.И. Штифанов², А.Н. Потапенко¹

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

² Белгородский государственный университет
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 28.03.2012

Представлены возможности развития системы мониторинга разрядов атмосферного электричества на основе математического моделирования распределённых молниеприёмников. В основу структуры положены результаты исследований элементов систем молниезащит в виде распределённых стержневых и тросовых молниеприёмников для электроподстанций.

Ключевые слова: *система мониторинга, электрические разряды, распределённые молниеприёмники, вычислительный эксперимент*

Среди огромного многообразия автоматизированных систем электроснабжения следует отметить типовые автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и современные системы автоматизированного контроля и управления (АСКУ) электроснабжением. Для анализа грозовой активности, особенно проявляющейся в ударах молнии в пределах электроподстанции, необходимо исследовать возможности развития автоматизированной системы мониторинга (АСМ) разрядов атмосферного электричества. Структура такого типа систем может входить в состав АСКУ, которая на основе применения типовых SCADA-технологий может считаться мини-АСКУ подстанции. Для представления в какой из типовых модулей мини-АСКУ должна входить разрабатываемая АСМ необходимо рассмотреть функциональный состав элементов, модулей и особенности мини-АСКУ подстанции.

Современные автоматизированные системы подстанций являются многоуровневыми и состоят из отдельных модулей, которые могут заменяться на другие типы, прежде всего, в зависимости от типа энергообъекта, класса напряжения, мощности и др. Исходя из конструктивных особенностей контролируемого электроэнергетического оборудования эти системы могут комплектоваться различным составом и количеством

первичных измерительных преобразователей, по функциональным возможностям могут иметь различные уровни автоматизации (в виде нижнего, среднего и верхнего уровней) и др. [1-3]. В общем случае мини-АСКУ подстанции предназначена для наблюдения, регулирования, получения информации и архивирования данных по энергообъектам подстанции. На верхнем уровне происходит взаимодействие оператора с различными процессами с помощью человеко-машинного интерфейса (HMI – Human-Machine-Interface), реализованного с помощью пакетов, например, ПО SCADA-систем. Удаленный доступ к технологическим параметрам оборудования подстанции возможен с помощью сети Internet. Особенность этого уровня автоматизированной системы заключается в том, что он является самым интенсивным по объему информации и самым жестким по времени реакции на происходящие события в энергообъектах подстанции. Использование SCADA-технологий позволяет на уровне распределенных объектов осуществлять процессы сбора информации, обработки, анализа, а также возможность управления удаленными энергообъектами. Основное требование, связанное с функционированием системы в режиме псевдо реального времени, обусловлено необходимостью передачи информации и данных на пульт диспетчера, основным специалистам энергосистем по каналам связи и др. На этом уровне осуществляется оперативное управление оборудованием подстанций, анализ полученной информации, принимаются тактические решения и т.д. Применение SCADA-технологий позволяет достичь относительно высокого уровня автоматизации контроля и управления распределенными энергообъектами.

Потапенко Татьяна Анатольевна, аспирантка. E-mail: ttwiggy@rambler.ru

Штифанов Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники. E-mail: Shtifanov@bsu.edu.ru

Потапенко Анатолий Николаевич, кандидат технических наук, профессор кафедры электротехники и автоматики. E-mail: potapenko@intbel.ru

Особенность среднего уровня мини-АСКУ заключается в том, что он предназначен для передачи команд управления с верхнего уровня на нижний, а также сбора информации с контроллеров нижнего уровня, датчиков и других измерительных приборов для передачи полученной информации на верхний уровень. Нижний уровень этой системы – это уровень сбора данных, передающихся на верхний уровень автоматизированной системы, а также автоматического регулирования энергообъектов. На этом уровне находятся датчики контроля трансформаторного оборудования, датчики состояний на вводах трансформаторов, датчики элегазового выключателя и т.д., а также системы автоматического регулирования (САР), например, циркуляционными маслонасосами, вентиляторами обдува и др., а также системы контроля и регулирования температуры шкафов управления и т.д. Типовая блок-схема мини-АСКУ подстанции показана на рис. 1, которая содержит следующее:

1) нижний уровень с системами и элементами автоматизации:

- локальные САР_i (основная и резервная) циркуляционными маслонасосами;
- локальные САР_j (основная и резервная) вентиляторами обдува;
- локальная система регулирования напряжения под нагрузкой и др.;
- датчики параметров изоляции вводов D_{1i} – D_{1j} с помощью модулей ввода параметров M_{1i} – M_{1j} связаны со шкафом контроля параметров высоковольтных вводов трансформаторного оборудования (шкаф КПВВ);
- датчики параметров элегазового выключателя (O2) D_{2i} – D_{2j} с помощью модулей ввода параметров M_{2i} – M_{2j} связаны со шкафом мониторинга состояния элегазовых выключателей (шкаф МЭВ);
- датчики параметров трансформатора (O1) D_{3i} – D_{3j}, ..., D_{5i} – D_{5j} с помощью модулей ввода параметров MB_i – MB_k связаны со шкафом управления и мониторинга трансформаторного оборудования (шкаф УМТ) и др. системы и элементы автоматизации;
- управление коммутирующими устройства Y_{2i} – Y_{2j} и другими элементами оборудования подстанции с помощью модулей ввода/вывода контактных сигналов MBV_i осуществляется со шкафа УМТ и др.

2. средний уровень со шкафами автоматизации:

- шкаф УМТ на базе контроллеров;
- шкаф КПВВ;
- шкаф МЭВ и др.

3. верхний уровень с системами и элементами автоматизации:

- шкаф автоматизированного рабочего места системы управления и мониторинга (шкаф АРМ СУМ), при этом в его состав входит автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора;

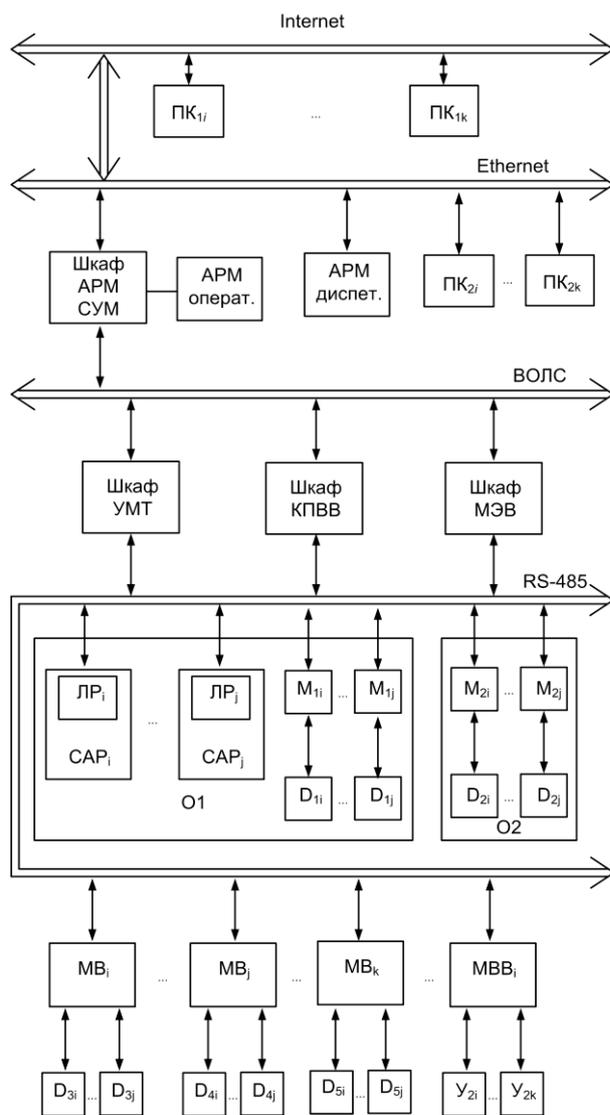


Рис. 1. Блок-схема многоуровневой мини-АСКУ подстанции

- центральный пульт управления на базе сервера с АРМ диспетчера;
- персональные компьютеры ПК_{2i}, ..., ПК_{2k} в сети Ethernet для доступа к параметрам мини-АСКУ подстанции главным специалистам энергосистем;
- персональные компьютеры ПК_{1i}, ..., ПК_{1k} в сети Internet для удалённого доступа к основной информации мини-АСКУ подстанции и др.

В мини-АСКУ подстанции используется интеграция различных сетей, например, на базе RS-485, локальной вычислительной сети в виде сети Ethernet, волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) и др. При выборе структуры АСМ рядов атмосферного электричества необходимо учитывать современные типы АСМ. Если рассматривать АСМ применительно к подстанциям (см. рис. 1), то в качестве энергообъектов может быть оборудование O1 (трансформаторы, автотрансформаторы, шунтирующие реакторы), элегазовые выключатели как O2, маслобаки систем охлаждения, теплообменники и др. Основные особенности типовых АСМ следующие.

1. Первый тип этих систем по аналогии с мини-АСКУ подстанции является 3-х уровневым [4] и имеет следующие особенности (рис. 2):

- нижний уровень содержит: датчики, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров энергообъектов по точкам учета;
- средний уровень содержит: контроллеры (специализированные измерительные системы или многофункциональные) со встроенным программным обеспечением с учётом решения задач автоматизированного мониторинга, осуществляющие сбор измерительных данных с распределенных датчиков, обработку и передачу этих данных на верхний уровень;
- верхний уровень содержит ПК со специализированным программным обеспечением и осуществляет сбор информации с контроллеров среднего уровня, обработку этой информации, как по точкам учета, так и по группам измеряемых параметров, отображение, документирование данных для анализа и управления и др.

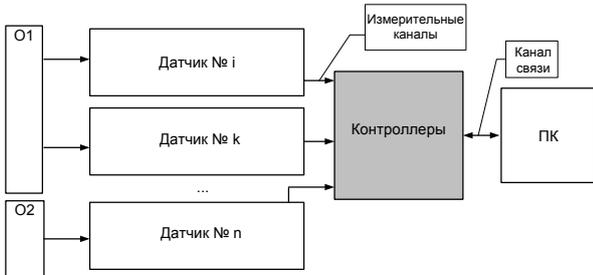


Рис. 2. Блок-схема 3-х уровневой АСМ

Связь между нижним и средним уровнем этой системы осуществляется на основе измерительных каналов, например, от фидера через измерительные преобразователи и двухпроводную линию связи с контроллером. Верхний уровень связан с нижним соответствующим каналом связи, в качестве которого могут использоваться проводные или беспроводные линии связи, телефонные каналы и др. Передача данных по этим каналам возможна по стандартным интерфейсам связи типа RS-485, сети Ethernet и т.п., причём с определенным протоколом обмена стандартным или специализированным (от производителя).

2. Следующие типы АСМ являются 2-х уровневыми (рис. 3), т.е. из первого типа АСМ можно получить двухуровневую структуру на основе применения «интеллектуальных» датчиков и/или «интеллектуальных» измерительных приборов, например, типа электросчётчиков (рис. 3а). Другой случай связан с расположением контроллера в ПК (рис. 3б), т.е. компьютер дополнительно комплектуется специальными модулями сбора данных или в системах используются более упрощенные контроллеры типа концентраторов и др. В общем случае эта система трансформировалась в структуры «интеллектуальных» измерительных систем.

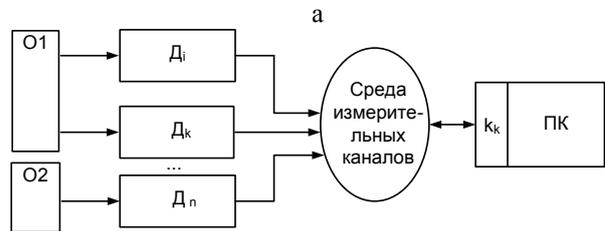
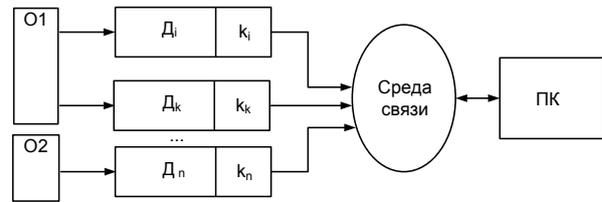


Рис. 3. Блок-схемы 2-х уровневых АСМ с использованием «интеллектуальных» датчиков (а) или ПК с платой контроллера (б)

3. Комбинированный тип АСМ может быть основан на базе сочетаний различных структур, представленных на рис. 2 и рис. 3, что значительно расширяет возможности этих систем.

Для разработки АСМ разрядов атмосферного электричества использовались результаты математического моделирования распределённых молниеприёмников в виде стержневых (СМ) или тросовых молниеотводов (ТМ). Исследования осуществлялись по схемам для моделирования на основе метода инверсии для полубесконечных сред (МИПС) [5]. Схема модели подстанции представлялась в виде территории B_0 с размерами $l_1 \times l_2$ и с некоторыми объектами на ней от x_{11} до x_{34} (в виде агрегатированных устройств подстанции).

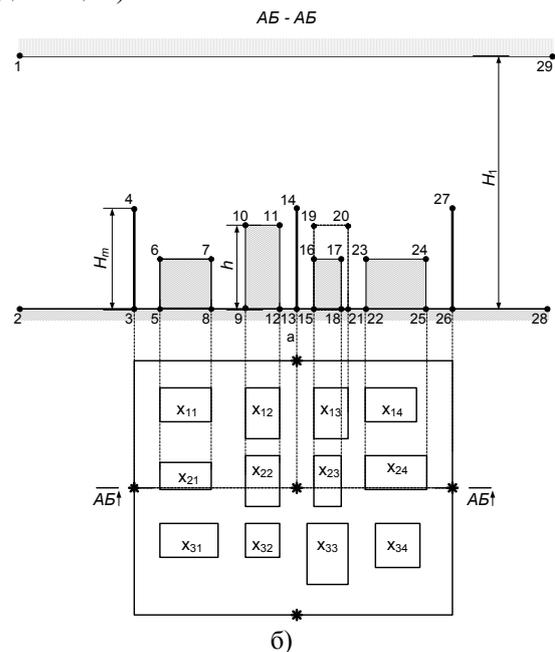


Рис. 4. Схема для вычислительных экспериментов с применением СМ: а – расчетная область $B^0_1(x, z)$; б – объекты от x_{11} до x_{34} на B_0

За основу для оценки напряжённости поля относительно молниеприёмников традиционных способов молниезащит была принята схема, в которой в вертикальной плоскости между поверхностью земли $G(x,y)$ и облаком $V(x,y)$ находятся молниеприёмники, как в [6] или агрегированные устройства подстанции. Схема расположения молниеприёмников СМ на защищаемой территории B_0 подстанции с расположенными объектами с учётом их максимальной высоты h показана на рис. 4. Следует отметить, что в схеме для СМ вместо стержневых могут быть установлены молниеотводы активного типа [7, 8].

Схема расположения молниеприёмников ТМ на защищаемой территории B_0 подстанции с расположенными объектами с учётом их максимальной высоты h показана на рис. 5. Основное отличие схемы на рис. 5 от схемы для СМ заключается в том, что тросовые молниеотводы проходят непосредственно над объектами, причём их проекции на горизонтальную поверхность земли имеют вид параллельных линий и в связи с этим мачтовые крепления находятся по периметру этих объектов с внешней их стороны.

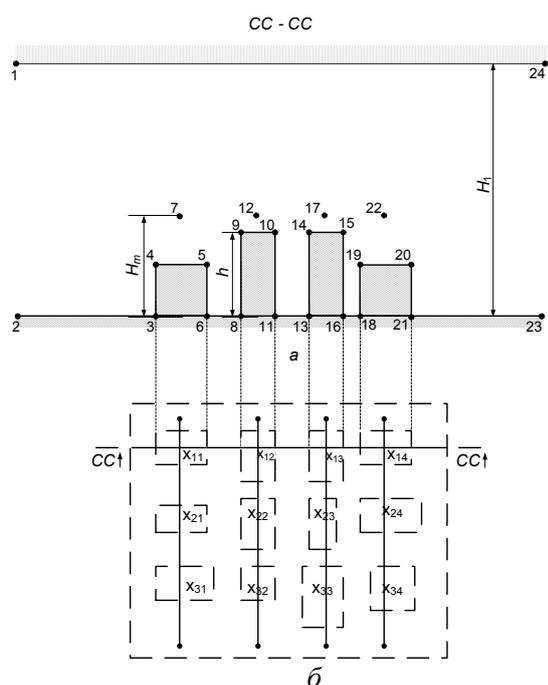


Рис. 5. Схема для вычислительных экспериментов с применением ТМ: а – расчетная область $B_1(x,z)$; б – объекты от x_{11} до x_{34} на B_0

При численных расчётах распределённых СМ установлено, что при увеличении высоты СМ H_m^* (в относительных величинах к h) в пределах до 1,36 раза максимальная напряжённость поля E_{m3}^* на их верхних концах увеличивается, причём на объектах подстанции в их верхних угловых зонах напряжённость E_{mi} снижается, что важно учитывать для этих типов систем молниезащит [9]. Типовые результаты расчета для схемы с СМ в расчётной области $B_1^0(x,z)$ (см. рис. 4)

для объектов подстанции ($x_{11} - x_{14}$) показаны на рис.6 в виде поверхностей равных напряженностей поля (уравнения $E_i = \text{const}$).

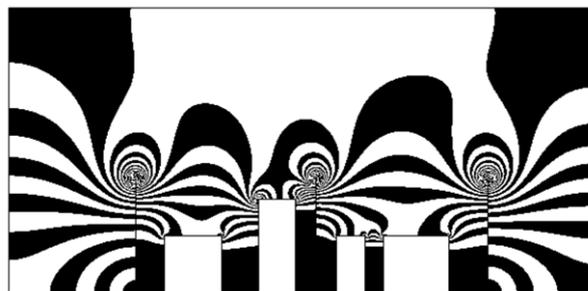


Рис. 6. Типовые результаты расчета электрических полей для схемы с СМ в виде уравнений $E_i = \text{const}$ при $H_m^* = H_m/h = 1,22$

При исследованиях распределённых ТМ установлено, что при увеличении высоты подвеса этих молниеотводов H_m^* в пределах до 1,36 раза относительно базовой высоты максимальная напряжённость поля E_{mn}^* на тросовых молниеотводах увеличивается в среднем 1,52 раза, однако на объектах подстанции в их верхних угловых зонах величины напряженности E_{mi} также пропорционально увеличиваются [10]. Типовые результаты расчета для схемы с ТМ в исследуемой области $B_1(x,z)$ (см. рис. 5) для объектов подстанции ($x_{11} - x_{14}$) показаны на рис. 7 в виде уравнений $E_i = \text{const}$.

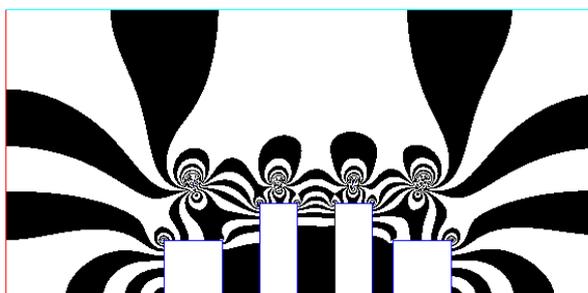


Рис. 7. Типовые результаты расчета электрических полей для схемы с ТМ в виде уравнений $E_i = \text{const}$ при $H_m^* = H_m/h = 1,22$

Сравнительный анализ полученных результатов численных расчётов для распределённых систем молниезащит в виде молниеприёмников СМ и ТМ типов показал, что при всех одинаковых условиях для этих вариантов максимальная напряжённость поля E_{mn}^* наблюдается на тросовых молниеприёмниках, причём она выше в среднем в 1,38 раза (например, с высотой подвеса $H_m^* = 1,22$), чем в случае для напряженности E_{m3}^* для СМ [11]. Однако при использовании молниеприёмников ТМ с увеличением их высоты подвеса увеличивается напряжённость поля на объектах подстанции в их верхних угловых зонах, т.е. для этих систем молниезащит имеется

оптимум в соотношениях высот подвеса ТМ и высот h объектов подстанции. Таким образом, каждый элемент системы молниезащиты типа СМ или ТМ должен быть снабжен измерительной схемой (ИС) разрядов атмосферного электричества.

Для АСМ разрядов атмосферного электричества к элементам СМ (см. рис. 4) или мачтовым креплениям ТМ систем молниезащит (см. рис. 5) подключается одна из возможных ИС, например, [12]. Также за основу ИС можно принять известное устройство, которое используется в электроэнергетике для присоединения к измерительным отводам высоковольтных вводов. По назначению – это устройство обеспечивает безопасное функционирование систем контроля параметров высоковольтных вводов трансформаторного оборудования (см. рис. 1). Это устройство для систем молниезащит может различаться конструкцией переходного узла в отличие от устройств для присоединения к измерительным отводам высоковольтных вводов (возможна доработка при комплектации) с учётом подключения к СМ или мачтовым креплениям ТМ систем молниезащит. В цепь измеряемого тока включается измерительный трансформатор тока, который может быть расположен вблизи молниеприёмников.

Блок-схема АСМ разрядов атмосферного электричества комбинированного типа показана на рис. 8. Основные особенности АСМ с учётом схемы для пяти СМ (см. рис. 4) следующие:

- нижний уровень содержит устройства подключения к молниеотводам (измерительные схемы) ИС1 – ИС5 для непрерывного измерения параметров в распределённых элементах молниезащит по точкам учета с целью мониторинга атмосферных электрических разрядов в окрестностях подстанции;

- средний уровень содержит контроллеры в виде модулей аналогового ввода для сигналов с высоким напряжением (КМ1 – КМ5), связанных с контроллером универсального типа I-7188 EX (КСУ), расположенного в шкафу УМТ;

- верхний уровень включает шкаф АРМ системы управления и мониторинга (шкаф АРМ СУМ) с учётом АРМ оператора со специализированным программным обеспечением для ПК с возможностью выполнения сбора информации с контроллеров среднего уровня типа модулей аналогового ввода для сигналов с высоким напряжением и I-7188 EX, обработку этой информации, как по точкам учета, так и по их группам, отображение, документирование данных учета в виде удобном для анализа и принятия решений и др.

Выводы: для анализа особенностей и выбора основных схем расположения молниеприёмников типа СМ и ТМ систем молниезащит на некоторой территории B_0 в виде подстанции с энергообъектами и с учётом их максимальной

высоты h необходимо определять максимальные величины напряженности поля, возникающие как на молниеприёмных частях молниеотводов в виде стержней или тросов, так и на исследуемых энергообъектах. Эти расчёты позволят оценить возможные точки удара молнии на основе анализа картины распределения напряженности поля относительно исследуемых объектов управления. Для анализа грозовой активности, особенно проявляющейся в ударах молнии в пределах подстанции, возможно применять структуру системы мониторинга разрядов атмосферного электричества, представленную в виде блок-схемы.

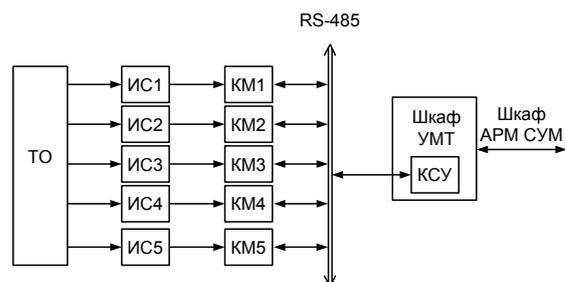


Рис. 8. Блок-схема АСМ разрядов атмосферного электричества

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Росаткевич, Г.К. Единая автоматизированная система диспетчерского контроля и управления городским хозяйством на базе московской волоконно-оптической сети / Г.К. Росаткевич, В.В. Краснобаев // Энергосбережение. 1999. № 5. С. 36-42.
2. Корнева, А.И. Промышленные программно-аппаратные средства на отечественном рынке АСУТП: практическое пособие для специалистов, занимающихся разработкой и модернизацией СУ на промышленных предприятиях / А.И. Корнева, Н.И. Аристова – М.: ООО Изд-во «Научтехлитиздат», 2001. 402 с.
3. Кузьмин, Ю.Б. Типовой проект автоматизации технологических процессов на базе технологии Industrial Ethernet // Промышленные АСУ и контроллеры. 2005. № 1. С. 14-21.
4. Гуртовцев А. Комплексная автоматизация энергосчета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах // Современные технологии автоматизации. 1999. № 3. С. 34-47.
5. Потапенко, А.Н. Численное моделирование электрических полей в системах «электрод – поверхность земли» для элементов молниезащит / А.Н. Потапенко, Е.А. Канунникова, М.И. Дыльков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2008. № 11-12. С. 72-78.
6. Резинкина, М.М. Расчет трехмерных электрических полей в системах, содержащих тонкие проволоки // Электричество. 2005. №1. С. 44-49.
7. <http://www.ericо.com>
8. <http://www.prevelectron.ru>
9. Потапенко, А.Н. Исследование распределённых элементов систем молниезащит на основе вычислительных экспериментов / А.Н. Потапенко, А.И. Штифанов, Т.А. Потапенко // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т12, №4 (3). С. 591-595.

10. *Потапенко А.Н.* Математические модели и вычислительные эксперименты распределённых тросовых молниеотводов для электроэнергетических систем / *А.Н. Потапенко, А.И. Штифанов, Т.А. Потапенко* // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2010. №4. С. 135-139.
11. *Потапенко А.Н.* Математические модели молниеприёмников систем молниезащит и особенности системы мониторинга разрядов атмосферного электричества / *А.Н. Потапенко, А.И. Штифанов, Т.А. Потапенко* // Вестник БГТУ им В.Г. Шухова. 2011. №4. С. 170-176.
12. ERITECH® SYSTEM 3000. Lightning Protection Products. 12 p.

ABOUT THE MONITORING SYSTEM OF DISCHARGES OF ATMOSPHERIC ELECTRICITY ON THE BASIS OF MATHEMATICAL MODELING THE LIGHTNING RECEIVERS OF LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS

© 2012 Т.А. Potapenko¹, А.И. Shtifanov², А.Н. Potapenko¹

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

²Belgorod State University (National Research University)

Possibilities of development the monitoring system of discharges of atmospheric electricity on the basis of mathematical modeling of distributed lightning receivers are presented. Results of researches the elements of systems are put in a basis of structure of lightning protection in the form of distributed rod and hummock lightning receivers for electrosubstations.

Key words: *monitoring system, electric discharges, distributed lightning receivers, computing experiment*

Tatiana Potapenko, Post-graduate Student. E-mail: ttwiggy@rambler.ru

Andrey Shtifanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

at the Department of Informatics and Computer Facilities. E-mail:

Shtifanov@bsu.edu.ru

Anatoliy Potapenko, Candidate of Technical Sciences, Professor at the

Department of Electrotechnics and Automation. E-mail: potapenko@intbel.ru