

УДК 621.311

О. Г. ГРИБ, А.А. ЗУЕВ, С.Ю. ШЕВЧЕНКО, С.В. ШВЕЦ, Т.С. ИЕРУСАЛИМОВА, А.В. БОРТНИКОВ**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

Стаття присвячена опису алгоритму комплексного автоматизованого моніторингу ЛЕП енергетичної системи, спрямованого на забезпечення безпеки функціонування її обладнання та персоналу. Як показує аналіз причин відмов ЛЕП, вони в основному відбуваються на ЛЕП 110 кВ – 86 %, 11 % - на ЛЕП 220 кВ і 3 % ЛЕП 330-750 кВ. Такий розподіл числа відмов пропорційно довжині відповідних ЛЕП. Найбільша кількість аварійних відключень ЛЕП викликано пошкодженням проводів і грозозахисних тросів – 56 %. Іншими причинами, що викликають відключення ЛЕП, є такі пошкодження як пробій ізоляторів – 19 %, пошкодження опор – 15 % та інших елементів ЛЕП – 10 %.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, моніторинг, лінія електропередачі, електроенергія, тепловізор.

Статья посвящена описанию алгоритма комплексного автоматизированного мониторинга ЛЭП энергетической системы, направленного на обеспечение безопасности функционирования ее оборудования и персонала. Как показывает анализ причин отказов ЛЭП, они в основном происходят на ЛЭП 110 кВ – 86 %, 11 % - на ЛЭП 220 кВ и 3 % ЛЭП 330-750 кВ. Такое распределение числа отказов пропорционально длине соответствующих ЛЭП. Наибольшее число аварийных отключений ЛЭП вызвано повреждением проводов и грозозащитных тросов – 56 %. Другими причинами, вызывающими отключения ЛЭП, являются такие повреждения как пробой изоляторов – 19 %, повреждения опор – 15 % и других элементов ЛЭП – 10 %.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг, линия электропередачи, электроэнергия, тепловизор.

The article is devoted to the description of the algorithm integrated automated monitoring of power lines power system, aimed at ensuring the safe operation of its equipment and personnel. As shows the analysis of the causes of failures of power lines, they mainly occur on the transmission line 110 kV – 86 %, 11 % - for transmission lines 220 kV and 3% transmission lines 330-750 kV. Such a distribution of the number of failures in proportion to the length of corresponding transmission lines. The greatest number of outages of transmission line caused by a damaged wire and ground wire is 56 %. Other reasons causing outage of the transmission line are such damage as a breakdown of insulators – 19 %, damage of supports to 15% and other elements of the LEP – 10 %. According to statistics, a sharp increase in outages of transmission lines occur in the spring and summer because of the ceiling insulation by green spaces. A fair number of outages of transmission lines due to vandalism, such as destruction of garlands insulators, theft of wires and elements of electric poles, lashed out at wire transmission lines etc.

Keywords: unmanned aerial vehicle, monitoring, power line, electricity, thermal imager.

Вступлення. Стаття присвячена описанию алгоритма комплексного автоматизированного мониторинга ЛЭП энергетической системы, направленного на обеспечение безопасности функционирования ее оборудования и персонала. Как показывает анализ причин отказов ЛЭП, они в основном происходят на ЛЭП 110 кВ – 86 %, 11 % - на ЛЭП 220 кВ и 3 % ЛЭП 330-750 кВ [1]. Такое распределение числа отказов пропорционально длине соответствующих ЛЭП. Наибольшее число аварийных отключений ЛЭП вызвано повреждением проводов и грозозащитных тросов – 56 %. Другими причинами, вызывающими отключения ЛЭП, являются такие повреждения как пробой изоляторов – 19 %, повреждения опор – 15 % и других элементов ЛЭП – 10 %. Согласно имеющейся статистике, резкое возрастание аварийных отключений ЛЭП происходит в весенне-летний период из-за перекрытий изоляционных промежутков зелеными насаждениями. Велико также число аварийных отключений ЛЭП из-за вандализма, такого как разрушение гирлянд изоляторов, похищение проводов и элементов опор ЛЭП, набросы на провода ЛЭП и др. [1]. При этом особое значение приобретает мониторинг состояния систем передачи электроэнергии от производителя к потребителю, который должен быть направлен на предотвращение аварийных отключений ЛЭП, а также скорейшего восстановления их работоспособности, если такое отключение произошло.

Анализ последних исследований и литературы.

Такой мониторинг получил развитие за рубежом [1-4].

При этом осуществляется контроль состояния ЛЭП путем ее оптической регистрации и регистрации с помощью тепловизоров, а также регистрации частичных разрядов, имеющих место в изоляции.

Мониторинг предполагает использование БПЛА для плановой и внеплановой регистрации состояния ЛЭП. Предполагается, что внеплановые облеты будут производиться при аварийных ситуациях на ЛЭП. С помощью БПЛА будут записываться с воздуха картины ЛЭП в оптическом и инфракрасном диапазонах, а также измеряться напряженности их электрического (ЭП) и магнитного (МП) полей вдоль трассы полета. Использование специально разработанного программного обеспечения позволит сравнить регистрируемые БПЛА картины с предварительно созданными эталонными картинами, соответствующих штатным режимам работы контролируемых ЛЭП. Такие эталонные картины в совокупности с экспериментально полученными картами защитных заземлений будут сведены в единый документ – паспорт ЛЭП. Данный паспорт должен содержать также измеренные и рассчитанные значения уровней напряженностей электрического и магнитных полей в местах пребывания персонала энергетических объектов и расположения оборудования, наиболее уязвимого к воздействию

электромагнитных помех. При необходимости в рамках выполнения проводимого мониторинга будут даны рекомендации по конструкции и расположению

электромагнитных экранов, снижающих уровни электромагнитных воздействий, и молниеотводов, уменьшающих вероятность поражения молнией исследуемых объектов. В работе приводятся аналитические выражения, которые легли в основу разработанного программного обеспечения для расчета напряженности электрического поля в окрестности ЛЭП. Данное программное обеспечение будет использовано в качестве базового при навигации БПЛА вдоль ЛЭП, а также для распознавания нарушений в работе ЛЭП. Приведено также сравнение зависимостей напряженности ЭП, рассчитанных с помощью данного программного обеспечения, с данными, известными из литературы. Отличие предлагаемой методики мониторинга от существующих состоит в том, что комплексный контроль ряда параметров, характеризующих внешнее состояние объектов энергосистемы, а также ее основных электрических параметров будут полностью автоматизированы. Это станет возможным в результате использования специально разработанного программного обеспечения по распознаванию оптических и инфракрасных изображений, а также картин линий равной напряженности ЭП и МП.

Цель статьи. Мониторинг ЛЭП энергетической системы, направленный на обеспечение безопасности функционирования ее оборудования и персонала.

Постановка проблемы. Оперативное получение информации с помощью БПЛА о состоянии повреждений воздушных линий высокого и сверхвысокого напряжения (ЛЭП) которые вызываются разными причинами, среди которых не последнее место занимают как природные факторы - воздействие молний и птиц или ветровые нагрузки, обледенение и загрязнение изоляторов в регионах с неблагоприятными экологическими условиями, так и случайные или преднамеренные действия человека по повреждению подвесной изоляции.

Материалы исследований. Основным компонентом дистанционной системы мониторинга ЛЭП являются БПЛА. Под беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) понимается летательный аппарат, полет которого происходит под контролем или непосредственным управлением оператора, расположенного в наземном (или воздушном) пункте управления, с использованием двусторонних каналов связи, либо при помощи автопилота согласно полетному заданию. В последнее время БПЛА применяются при решении во все большего и большего количества задач в различных областях человеческой деятельности, начиная с исследования космоса и военного дела, заканчивая сельским хозяйством. Это обусловлено наличием ряда существенных преимуществ такого вида летательных аппаратов: отсутствие экипажа, небольшая стоимость и низкие

эксплуатационные затраты. Вместе со значительным прогрессом в развитии вычислительной техники и особенно ее миниатюризации и энергоэффективности, а также с развитием и практическим применением новых алгоритмов и методов применение БПЛА позволяет повысить эффективность решения сложных научно-практических задач, связанных с логистикой, мониторингом, контролем и безопасностью.

Мероприятия по мониторингу и обследованию сетей состоят из следующих этапов:

1) Создание трехмерных моделей маршрутов ЛЭП и элементов инфраструктуры, с топографической привязкой.

2) Тепловизионное и визуальное обследование линий, для выявления повышенного нагрева контактных соединений.

3) Анализ габаритных расстояний до подстилающей поверхности, объектов и растительности.

4) Выявление пролетов и элементов конструкции, ограничивающих пропускную способность или имеющих нарушенные габаритные расстояния.

5) Обследование опор и мест их закрепления в грунте (фундаментов, металлических конструкций, заземляющих устройств).

6) Инструментальный контроль остаточного сечения проводов и грозотросов, путем выборочного сканирования при помощи технологий неразрушающего контроля (магнитных дефектоскопов).

7) Оперативный контроль участков ЛЭП в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

8) Определение фактов несанкционированного доступа.

По результатам мониторинга и анализа сетей определяются следующие параметры:

1) Пропускная способность линии: допустимые ток и температура провода.

2) Проблемные участки линий, опоры и фундаменты.

3) Величины натяжений проводов и грозозащитных тросов.

После обследования проводятся мероприятия по повышению пропускной способности линии. Мировой опыт показывает, что такие проекты имеют высокую инвестиционную и практическую ценность, будучи реализованными, они существенно повышают надежность и безопасность эксплуатации ЛЭП.

Таким образом, одними из основных задач мониторинга ЛЭП являются: определение величины провисания проводов, определение мест повышенного нагрева и зарастания трасс ЛЭП растительностью. Научно-технические достижения последних лет позволяют использовать для решения этих задач, как классические методы, так и принципиально новые подходы, например, топографический мониторинг с помощью БПЛА, основанный на лазерном, визуальном и тепловизионном сканировании (локации) ЛЭП, с последующей фотограмметрической обработкой полученных данных. Что позволяет дать определить, каково положение, размеры, форма и

состояние объекта мониторинга, а также характер изменения этих параметров во времени.

Применение современных методов и алгоритмов локации позволяет оперативно получать точные карты трассы ЛЭП, а также положения всех ее частей, определять топологию рельефа и расположение других объектов, находящихся в непосредственной близости от трассы. Современные методы делают возможным получение трехмерной (3D) модели трассы, а также проведение любых геометрических измерений с использованием этой модели.

Использование специально разработанного программного обеспечения позволит сравнить регистрируемые БПЛА мультиспектральные изображения с предварительно созданными эталонами, соответствующими штатным режимам работы контролируемых ЛЭП. Такие эталонные изображения в совокупности с экспериментально полученными картами защитных заземлений могут быть сведены в единый документ – паспорт ЛЭП. Он должен содержать также измеренные и рассчитанные значения уровней напряженностей ЭП и МП в местах пребывания персонала энергетических объектов и расположения оборудования, наиболее уязвимого к воздействию электромагнитных помех. При необходимости в рамках выполнения проводимого мониторинга могут быть даны рекомендации по конструкции и расположению электромагнитных экранов, снижающих уровни электромагнитных воздействий, и молниеотводов, уменьшающих вероятность поражения молнией исследуемых объектов. В книге приводятся аналитические выражения, которые легли в основу разработанного программного обеспечения (ПО) для расчета напряженности ЭП в окрестности ЛЭП. Это ПО также может быть использовано при навигации БПЛА вдоль ЛЭП и для распознавания нарушений ее функционирования. Сравнение зависимостей напряженности ЭП, рассчитанной с помощью данного ПО, с общедоступными данными показывает совпадение по ключевым параметрам с высокой точностью. Основное преимущество метода дистанционного мониторинга состоит в том, что комплексный контроль ряда параметров, характеризующих внешнее состояние объектов энергосистемы, а также ее основных электрических параметров – полностью автоматизирован. Для автоматизации используется специализированное ПО, основанное на современных методах и алгоритмах фильтрации, сегментации и распознавания изображений. Для чего используются мультиспектральные изображения в видимом и инфракрасном спектрах, данные полученные методами лазерной локации, а также картины линий напряженности электрического и магнитного поля.

Основным функциональным элементом системы, который обеспечивает ее работоспособность, является множество БПЛА объединенных в единую сетцентрическую систему.

Результаты исследований. Управление функционированием системы непосредственно осуществляется операторами. Система содержит трех-

мерную модель энергосистемы, которая непрерывно уточняется и детализируется, а также ГИС, которая наглядно позволяет представлять всю модель системы и осуществлять различные виды контроля. Такая модель также позволяет проводить эффективное обучение операторов БПЛА в различных ситуациях, и отрабатывать новые методы и алгоритмы управления и мониторинга.

Информация, поступающая с БПЛА через систему связи и из других технических систем мониторинга (автоматических подстанций и датчиков), накапливается и хранится на внутренних серверах системы в базу данных, что позволяет проводить анализ и статистическую обработку состояния ЛЭП за любой период времени.

Геоинформационная система также позволяет прокладывать оптимальный путь для ремонтных бригад к месту аварии. Каждой бригаде придан мобильный комплекс БПЛА, который оснащен БПЛА малого радиуса действия, для локализации и мониторинга места аварии.

Функционирование системы будет обеспечиваться БПЛА, которые будут с заданной периодичностью и графиком производить мультиспектральную съемку объектов энергосистемы.

Отдельно стоит рассмотреть задачу движения БПЛА вдоль линий ЛЭП, с использованием датчиков электромагнитного поля. Такая система позволит повысить точность локации и мониторинга, при этом обеспечивает автономность и устойчивость маршрута вне зависимости от наличия и качества канала связи или условий приема данных поступающих их систем геопозиционирования. Также применение такого метода позиционирования позволяет существенно упростить решение задачи подзарядки энергетических накопителей БПЛА в процессе мониторинга, не прерывая его.

В настоящее время, известны запатентованные технические решения, целью которых является обеспечение управления движением БПЛА с помощью измерения напряженности электрического (ЭП) или магнитного поля (МП) [69-70]. Данные решения могут быть использованы и для разработки методов мониторинга объектов энергетической системы Украины. Такие методы предусматривают создание паспортов – эталонов, описывающих функционирование ЛЭП и высоковольтных подстанций в штатном режиме. Данные паспорта – эталоны включают как мультиспектральные изображения исследуемых объектов, так и карты уровней напряженности электрического и магнитного полей, полученных с помощью расчетов и измерений на определенных расстояниях над линиями ЛЭП, а также на определенных расстояниях над высоковольтными подстанциями. Сравнение регистрируемых данных с эталоном исследуемого объекта, (с помощью специализированного ПО) позволит также принимать оперативные решения по его текущему состоянию: устранять возникшие нарушения, наличие которых может привести к аварийным от-

казам, или находить места аварий, если их не удалось избежать.

В паспорт ЛЭП целесообразно включить карты расположения систем защитного заземления высоковольтных подстанций, имеющих ключевое значение для обеспечения безопасности функционирования персонала и оборудования. Причем, такие карты должны быть получены в результате измерений напряженности МП, таким образом, карта будет отражать истинное расположения системы защитного заземления. Это даст возможность оценить степень надежности защиты исследуемого объекта системой защитного заземления в различных аварийных режимах и, при необходимости, разработать рекомендации по восстановлению ее вышедших из строя участков, а также ее доукомплектованию и модернизации. Для получения достоверной информации о текущем состоянии системы защитного заземления к системе необходимо подсоединить генератор токов и измерять напряженность МП. Измеренные данные будут использоваться специализированным ПО, в качестве исходных, для синтеза изображения линий равного потенциала и напряженности ЭП на поверхности земли. По данным картинам может быть проведен анализ надежности существующей системы защитного заземления.

Полученные карты распределений напряженностей ЭП и МП при работе ЛЭП и высоковольтных подстанций и системы защитного заземления могут быть использованы для составления планов безопасного перемещения технического персонала высоковольтных подстанций по их территории.

Для разработки методов электромагнитного мониторинга энергетической системы необходимо рассмотреть методики расчета напряженности ЭП и МП как при отсутствии персонала в зоне их действия, так и при их наличии. При этом в основном целесообразно использовать численные методы расчета ЭП и МП, однако в большинстве случаев могут быть применены аналитические методы.

При расчете напряженности электрического поля ЛЭП с помощью аналитических методов нужно принять следующие допущения:

- провода ЛЭП полагаются параллельными бесконечно длинными цилиндрами, заряд которых равномерно распределен вдоль их осей;

- напряжение на проводах ЛЭП изменяется по синусоидальному закону с частотой 50 Гц;

- сдвиг фаз во времени между напряжениями проводов ЛЭП 120° ;

- поверхность земли считается плоской, а самая земля по отношению к воздуху абсолютно электропроводной и имеющей нулевой потенциал;

- наличие опор, сооружений, технических и биологических объектов в зоне ЛЭП не учитывается;

- наличие дополнительных тросов (грозозащитных, компенсационных, и т.п.) не учитывается;

- считается, что провода ЛЭП находятся в воздухе с относительной диэлектрической проницаемостью, равной;

- действующие значения напряженности электрического поля определяются у плоскости, которая перпендикулярна направлению проводов ЛЭП, в области наибольшего приближения проводов к земле.

При принятых предположениях значения потенциалов, удельных зарядов и напряженности ЭП могут быть записанные в символической форме для комплексных значений, а электрическое поле представлено как сумма электрических полей проводов ЛЭП и их зеркальных отображений относительно поверхности земли

В последние годы значительно возрос интерес к измерениям температуры с помощью тепловизоров. Тепловизоры используются в электроэнергетике в тех случаях, когда необходим контроль теплового состояния объекта или необходимо бесконтактное измерение температуры. Широкое применение тепловизоры получили в энергетике, строительстве и промышленности.

Тепловой мониторинг основан на регистрации и анализе температуры контролируемых объектов. Главным условием его применения является наличие в контролируемом объекте тепловых потоков. Процесс передачи тепловой энергии, выделение или поглощение тепла в объекте приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Основным параметром, который несет информацию о режиме работы объекта и наличии дефектов, при тепловом мониторинге является распределение температуры по поверхности объекта.

Принцип действия тепловизора основан на преобразовании ИК излучения в электрический сигнал, который усиливается и затем воспроизводится на мониторе в виде цветной картины распределения температуры.

Выводы. Использование беспилотных летательных аппаратов для безопасности функционирования линий электропередачи позволяет осуществить дистанционную регистрацию излучений с помощью специальной аппаратуры: фотографической, оптико-электронной или радиоэлектронной. Благодаря мониторингу регистрируются и анализируются не одиночные снимки, а их серии или непрерывные последовательности (видеопоток), которые могут отличаться ракурсом, обзорностью, временем съемки и спектральным диапазоном, благодаря чему обеспечивается более детальное и точное исследование объекта. Также возможно измерение напряженности электрического и магнитного полей вдоль трассы полета. Использование БПЛА позволяет прогнозировать старение ЛЭП, которое приводит к снижению пропускной способности, и как следствие к ограничению поставок электроэнергии конечному потребителю. Одной из основных причин этого является деградация линейных габаритов ЛЭП, которые происходят по причинам: изменения рельефа подстилающей поверхности, строительства различных сооружений и зарастания и роста культурного слоя.

Список литературы

1. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. / Р.С. Арбузов. – Н.: Наука, 2009. – 136 с. 2. Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. Damage detection strategies in structural health monitoring of overhead power transmission system / Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. // 7th European Workshop on Structural Health Monitoring July 8-11, 2014. La Cité, Nantes, France. P. 663 – 670. 3. Li L. The UAV intelligent inspection of transmission lines / Li L. // International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics (AMEII 2015). P. 1542 – 1545. 4. Adabo G. J. Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system / Adabo G. J. // AUVSI's Unmanned Systems 2013. Washington (USA).

2. Skarbek L., Zak A., Ambroziak D. Damage detection strategies in structural health monitoring of overhead power transmission system [Proc. of the 7th European Workshop on Structural Health Monitoring] 2014. La Cité, Nantes, France. pp. 663 – 670. 3. Li L. The UAV intelligent inspection of transmission lines [Proc. of the International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Industrial Informatics] 2015. pp. 1542 – 1545. 4. Adabo G.J. Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system // AUVSI's Unmanned Systems 2013. Washington (USA). 2013.

Поступила (received) 27.01.2017

References (transliterated)

1. Arbuzov R. S., Ovsyannikov A. G. [Modern methods of diagnostics of overhead power lines]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2009. 136 p.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Використання безпілотних літальних апаратів для безпеки функціонування ліній електропередачі / О.Г. Гриб, А.А. Зуєв, С.Ю. Шевченко, С.В. Швець, Т.С. Ієрусалімова, О.В. Бортніков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 5 (1325). – С. 19 – 23. Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2224-0349.

Использование беспилотных летательных аппаратов для безопасности функционирования линий электропередачи / О.Г. Гриб, А.А. Зуев, С.Ю. Шевченко, С.В. Швець, Т.С. Иерусалимова, А.В. Бортников // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 5 (1325). – С. 19 – 23. Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2224-0349.

The use of unmanned aerial vehicles for the safe functioning of transmission lines / O.G. Gryb, , A.A. Zuev, S.Yu. Shevchenko S.V. Shvets, T.S. Ierusalimova, A.V. Bortnikov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Energetics: reliability and energy efficiency. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No. 5 (1325). – P. 19 – 23 – Bibliogr.: 4. – ISSN 2224-0349.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гриб Олег Герасимович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автоматизації енергосистем.

Гриб Олег Герасимович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедрой автоматизации энергосистем.

Gryb Oleg Gerasimovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", head of the Department automation of electric power systems.

Зув Андрій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматики та управління в технічних системах.

Зув Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры автоматики и управления в технических системах.

Zuev Andrey Alexandrovych – candidate of technical Sciences, associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor Department of automatics and control in technical systems.

Шевченко Сергій Юрійович – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри передачі електричної енергії.

Шевченко Сергей Юрьевич – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры передачи электрической энергии

Shevchenko Sergey Yurievych – Doctor of Technical Sciences, associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Professor of Department transmitting electrical energy

Швець Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизації енергосистем.

Швец Сергей Викторович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры автоматизации энергосистем.

Shvets Sergey Viktorovich – candidate of technical Sciences, associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate Professor of Department of automation of electric power systems.

Іерусалімова Тетяна Сергіївна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автоматизації енергосистем

Иерусалимова Татьяна Сергеевна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры автоматизации энергосистем.

Ierusalimova Tatiana Sergeevna – candidate of technical Sciences, National technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior lecturer of Department of automation of electric power systems.

Бортніков Олександр Вікторович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», інженер кафедри автоматизації енергосистем

Бортников Александр Викторович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», инженер кафедры автоматизации энергосистем.

Bortnikov Alexander Viktorovych – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", engineer of Department of automation of electric power systems.