

ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.И. Хальясмаа¹, Д.И. Близнюк¹, А.М. Романов²

¹ Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург,

² Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники, г. Москва

Статья посвящена вопросам оценки технического состояния воздушных линий электропередачи (ВЛ), в том числе обзору методов и средств ее реализации. Выделены актуальные проблемы эксплуатации ВЛ и возможные причины нарушения их работы на основе анализа статистики отказов ВЛ. С целью решения представленных проблем предлагается разработка диагностического комплекса для оценки состояния ВЛ, состоящего из двух подсистем: беспилотного летательного аппарата (мультикоптера) с модульными диагностическими блоками и системы оценки состояния ВЛ. Оценка состояния ВЛ и, в том числе рекомендации по их дальнейшей эксплуатации, выполняются на основе методов искусственного интеллекта, на базе данных, полученных с помощью мультикоптера. В статье также представлено описание прототипа диагностического мультикоптера. Проведенный анализ показал, что разрабатываемый комплекс позволит решить актуальные проблемы эксплуатации ВЛ и увеличить надежность их работы.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, оценка состояния, диагностика, мультикоптер, аэродиагностика.

Введение

Сегодня, согласно [1], в России основные проблемы, связанные с эксплуатацией и контролем состояния воздушных линий (ВЛ) различных классов напряжения, условно можно разделить на три вида:

- отсутствие системного подхода в организации обслуживания, контроля и оценки состояния, планирования и производства ремонтов ВЛ;
- отсутствие четкой системы подготовки и ведения полной и качественной базы данных по ремонтно-эксплуатационной и нормативно-технической документации;
- недостаточность уровня подготовки линейного и инженерно-технического персонала электросетевых предприятий для решения фактических задач эксплуатации ВЛ.

В связи со всеми вышеперечисленными проблемами, очевидна необходимость не просто системы диагностики или разработки новых методов контроля состояния ВЛ, а комплексной системы, способной на основе всей полученной информации формулировать необходимые решения по дальнейшей эксплуатации этих ВЛ.

Постановка задачи

В данной работе предпринята попытка решения существующих проблем на основе разработанной системы оценки состояния ВЛ, состоящей из средства обеспечения диагностики (представленного в виде мультикоптера со съемными блоками) и математической модели (реализуемой в дальнейшем в виде программного комплекса), для определения оптимальных решений для последующей эксплуатации ВЛ, в том числе корректировки циклов ремонтных работ, повышения эф-

фективности эксплуатации, а также для решения задач технического перевооружения и реконструкции ВЛ. Более того, математическая модель, в данном случае, позволит не только создать базу данных на основе полученных измерений, но и анализировать полученную статистику и выявлять различные связи и зависимости. Также полученная информация может быть использована в рамках решения задачи управления электросетевыми активами и для повышения точности оценки состояния ВЛ.

Разработанная модель мультикоптера конструктивно представляет собой мультикоптер со съемными блоками: управления, диагностирования, измерений и передачи и хранения данных. Каждый блок выполняет свои функции, но измерительный и диагностический блоки могут быть «доборными» и в зависимости от необходимости детализации оценки состояния доукомплектованы необходимым оборудованием для проведения требуемых измерений или испытаний.

Математическая модель для оценки состояния ВЛ выполняется на базе агрегированной информации, полученной с мультикоптера с помощью методов искусственного интеллекта на базе разработанной системы принятия решений, описанной в [2, 3].

Анализ статистики отказов ЛЭП

Для определения степени актуальности задачи диагностирования воздушных ЛЭП был произведен анализ статистики повреждений воздушных ЛЭП крупного энергоузла Свердловской области за 2006–2010 гг.

Все отключения ЛЭП были укрупненно разделены на три основные группы:

- отключения по вине эксплуатирующей организации (пробой изоляторов, перегорание проводов и грозотросов, повреждение опор, падение древесины, неправильная работа устройств защиты и др.);

- отключения по вине сторонних организаций и третьих лиц (набросы, подсека проводов, валка деревьев и др.);

- отключения из-за стихийных бедствий (в результате гололеда, сильного ветра, наводнения, пожара, грозы и др.).

На рис. 1 представлена динамика изменения количества отключений для каждой из групп в период 2006–2010 гг. На рис. 2 представлена динамика изменения количества часов вынужденного простоя поврежденных ЛЭП за рассматриваемый период.

Из рис. 1 и 2 видно, что наибольший ущерб приходится на отключения по вине эксплуатирующей организации, другими словами из-за несоответствующего или несвоевременного обслу-

живания и диагностирования состояния ЛЭП и ее элементов. Заметим, что отключения данного типа влекут за собой самые длительные простои ЛЭП, что, в свою очередь, может привести к серьезному ущербу из-за недоотпуска электроэнергии. Более того, количество повреждений данной категории имеет склонность к увеличению с каждым годом, что также нельзя не учитывать.

В представленной работе был выполнен более детальный анализ повреждений первой группы – по вине эксплуатирующей организации. В рамках анализа рассматривались устойчивые повреждения, т. е. те повреждения, которые приводят к отключению ЛЭП и влекут за собой значительные издержки. При этом отключения были разделены на группы по повреждаемому элементу: провода, грозотросы, изоляторы, опоры. В отдельную группу были выделены отключения вследствие падения деревьев. На рис. 3 представлены графики распределения отключений в период 2006–2010 гг.

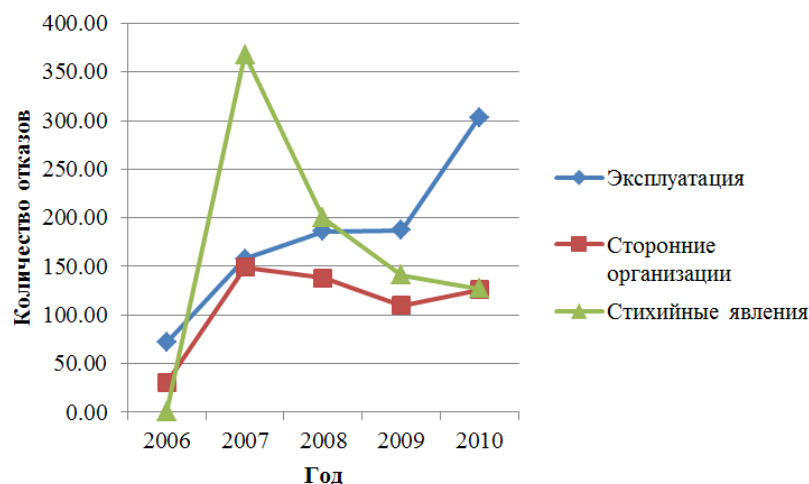


Рис. 1. Изменение количества отключений ЛЭП из-за различных типов повреждений по годам

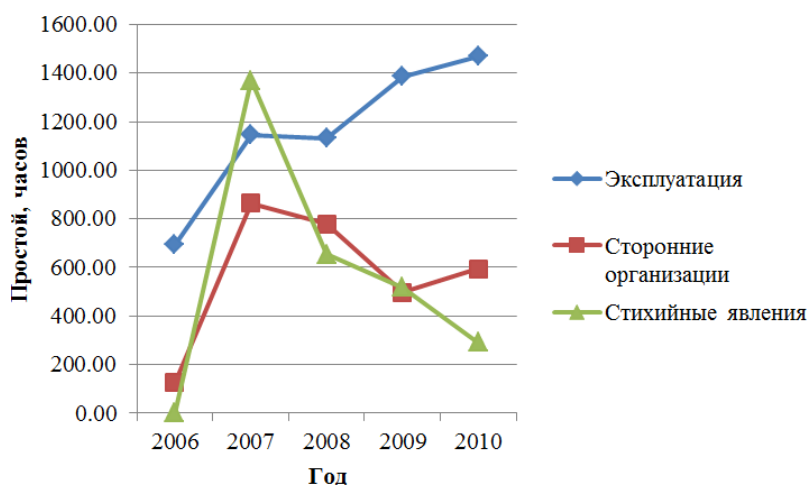


Рис. 2. Изменение времени простоя ЛЭП из-за различных типов повреждений по годам

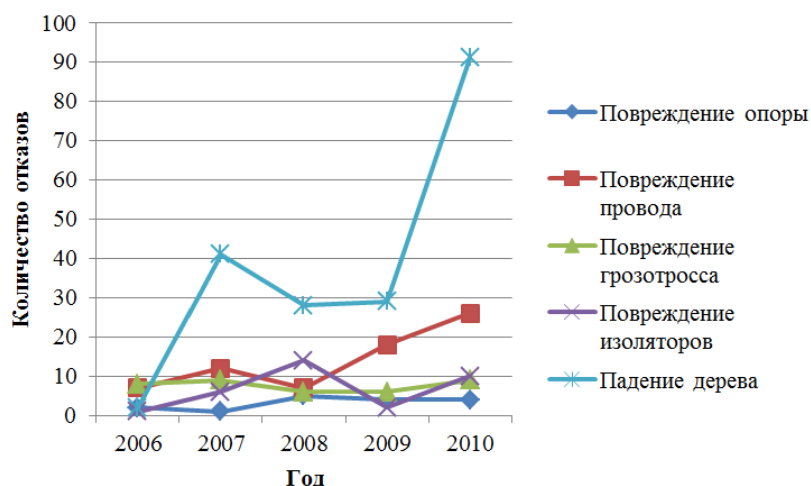


Рис. 3. Изменение количества отключений ЛЭП из-за различных типов повреждений по вине эксплуатации по годам

Из рис. 3 видно, что реже всего повреждаются конструкции опор, а чаще всего отключения происходят из-за падения деревьев. Причем тенденция повреждаемости проводов и падений деревьев имеет явно положительную динамику.

Произведенный анализ статистики отключений показал, что задачи диагностирования воздушных ЛЭП играют важную роль для обеспечения надежной работы энергосистемы. Представленные причины отказов ЛЭП позволяют сделать вывод о видах диагностирования, которые целесообразно выполнять для снижения вероятности повреждений, вне зависимости от того, носят ли они обязательный характер, согласно нормативной документации РФ, или нет. На основе выполненного анализа и [5] была выполнена оценка существующих методов диагностирования по наиболее крупным узлам ЛЭП (для которых, согласно статистике, наиболее часто характерны отключения) и выявлены наиболее информативные методы для определения состояния ЛЭП и ее элементов. Результаты представлены в таблице. Типы отказов приведены в порядке убывания вероятности их возникновения согласно имеющейся статистике.

Из таблицы видно, что в качестве превентивных методов диагностирования в некоторых случаях целесообразно использовать совместно несколько различных методов диагностирования. Это усложняет задачу в случае проведения диагностики человеком как с точки зрения технического обеспечения и квалификации персонала, так и с точки зрения обработки и анализа полученных данных. Поэтому автоматизация в таких условиях необходима не только на уровне диагностирования состояния оборудования, но и на уровне анализа результатов, полученных в ходе использования этих методов, – для повышения точности оценки состояния ЛЭП и определения корреляционных связей и зависимостей отключений от различных факторов.

Таким образом, целесообразной является разработка модульного автоматизированного устройства комплексного диагностирования воздушных ЛЭП, представленного в данной работе.

Выбор типов диагностики для снижения вероятности устойчивых повреждений ЛЭП

Тип отказа	Возможные типы диагностирования
Падение дерева	Визуальный осмотр трассы ЛЭП
Повреждение провода	Тепловизионный контроль
Повреждение изоляторов	Визуальный контроль; Тепловизионный контроль; Акустический контроль; Ультрафиолетовая дефектоскопия; Лазерная дефектоскопия; Рентгенофлюорография
Повреждение грозотроса	Визуальный контроль
Повреждение опоры	Визуальный осмотр; Лазерная дефектоскопия; Рентгенофлюорография

Перспективные направления оценки состояния ВЛ

Потребность в разработанной системе объясняется необходимостью обеспечивать максимально автоматизированную оценку состояния ЛЭП на базе различных методов диагностирования и измерений при минимальном возможном участии человека в течение длительного периода времени и при минимально возможной стоимости ее внедрения.

На сегодняшний день известно несколько способов размещения оборудования для диагностирования (измерений) состояния ЛЭП:

- стационарное – в виде систем мониторинга, устанавливаемое на самой ЛЭП и ее элементах, как, например, в системах Dilin, описанных в [1];
- портативное – в виде систем периодического контроля, т. е. с помощью переносной диагностической и измерительной аппаратуры.

Портативная реализация в свою очередь может быть условно разделена на два вида: обследования ЛЭП с земли и с воздуха (аэродиagnostика). Сегодня аэродиagnostика реализуется либо с помощью пилотируемых летающих аппаратов (привлечение малой авиации [2] или, для высоких классов напряжения ЛЭП, многоцелевых вертолетов типа Ми-2, Ми-8 [3]) или беспилотных летательных аппаратов (БПЛА): безмоторных (в виде аэростатов или планеров) и моторных (самолетного типа [4], вертолетного типа [5], дирижабли и т. д.).

Очевидно, что стационарное оборудование для оценки состояния ЛЭП с точки зрения эксплуатации является наиболее надежным и обладает повышенным рабочим ресурсом по сравнению с аэродиagnostикой, но требует существенных финансовых вложений на закупку, монтаж и эксплуатацию оборудования. Аэродиagnostика в противовес стационарным системам позволяет исследовать протяженные участки ЛЭП при помощи одного аппарата, что существенно снижает затраты на обслуживание и диагностику ЛЭП, а также позволяет осуществлять методы профилактического контроля ВЛ в труднодоступной местности.

Среди всех видов аэродиagnostического оборудования приоритетным направлением является использование БПЛА, так как пилотируемые аппараты требуют существенных вложений по сравнению с БПЛА, как с точки зрения оснащения самого оборудования необходимыми дополнительными системами, так и с точки зрения подготовки персонала [6].

Данная статья посвящена отдельной группе БПЛА – моторных вертолетного типа, а именно мультикоптерам. Представленный вид БПЛА обладает рядом преимуществ и недостатков, описанных во многих работах [7–9]. Необходимо рассмотреть в первую очередь недостатки мультикоптеров и пути их устранения в рамках решения задачи оценки состояния ВЛ.

Главным недостатком мультикоптеров при оценке состояния ЛЭП является малое время работы такого оборудования, которое составляет от 30 мин до 1,5 ч. Поэтому главной задачей для мультикоптеров (в том числе и для других БПЛА) является обеспечение автономной работы комплекса в течение длительного времени с малым электропотреблением, и в то же время с возможностью подзарядки его бортовых аккумуляторов без участия человека.

Вторым недостатком можно назвать сильное влияние метеорологических условий на полеты БПЛА вблизи ЛЭП. При наличии ветра провода и опоры ЛЭП создают турбулентные потоки, которые оказываются существенными для малоразмерных БПЛА. В сочетании с электромагнитными помехами, которые ухудшают качество показаний датчиков навигационной системы БПЛА, такие потоки могут привести к потере устойчивости аппарата в воздухе и его крушению.

Использование мультикоптера только для закрепления измерительного блока на грозотросе частично решает проблему малого времени автономной работы, так как существенно сокращается время нахождения БПЛА в воздухе. Также в этом случае потенциально возможно избежать негативного влияния турбулентностей за счет взлета на большом расстоянии от ЛЭП и снижения на нее сверху. Однако последнее возможно только в условиях поля. В стесненных условиях, например, на узкой лесной просеке БПЛА придется взлетать в непосредственной близости от проводов и деревьев, макушки которых также создают турбулентные потоки.

Кроме того, необходимость периодической посадки мультикоптера на землю требует постоянного наличия человека в зоне его работы для предотвращения кражи или вандализма по отношению к БПЛА.

Диагностика ЛЭП с помощью мультикоптера

В представленной работе предлагается новое решение: система оценки состояния ЛЭП на базе мультикоптера, позволяющая решить проблемы, в том числе связанные с использованием типов БПЛА, описанных выше. Предлагается использовать мультикоптер, оснащенный различными блоками и интегрированным захватным устройством (рис. 4).

На рис. 5 представлена схема функционирования данного комплекса. Взлет осуществляется в условиях поля на большом удалении от ЛЭП, позволяя избежать тем самым турбулентностей воздуха (рис. 5, а).

Далее при помощи спутниковой навигационной системы, он позиционируется над проводами ЛЭП, между двух опор на 50 м выше грозотроса (рис. 5, б). При помощи встроенной камеры, на-

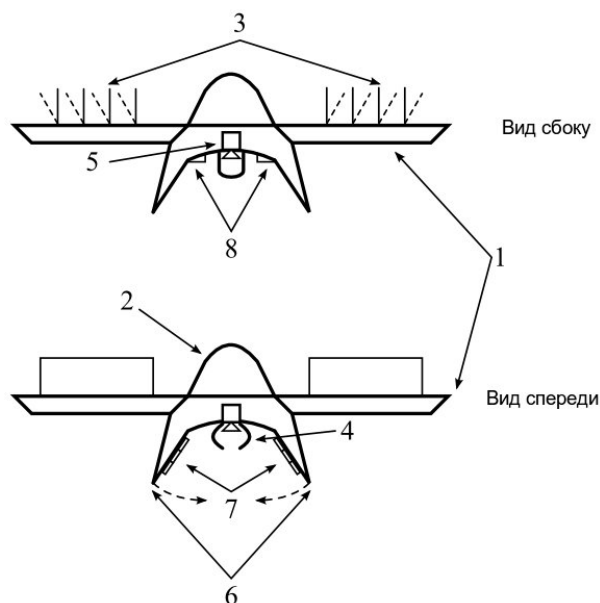


Рис. 4. Конструкция мультикоптера: 1 – мультикоптер; 2 – диагностическое оборудование; 3 – поворачиваемые закрылки для обеспечения горизонтального перемещения по тросу; 4 – механическое захватное устройство; 5 – камера, используемая для автоматической посадки на трос; 6 – поворачиваемые посадочные ноги; 7 – ролики для горизонтального перемещения по тросу; 8 – электромеханические тормоза

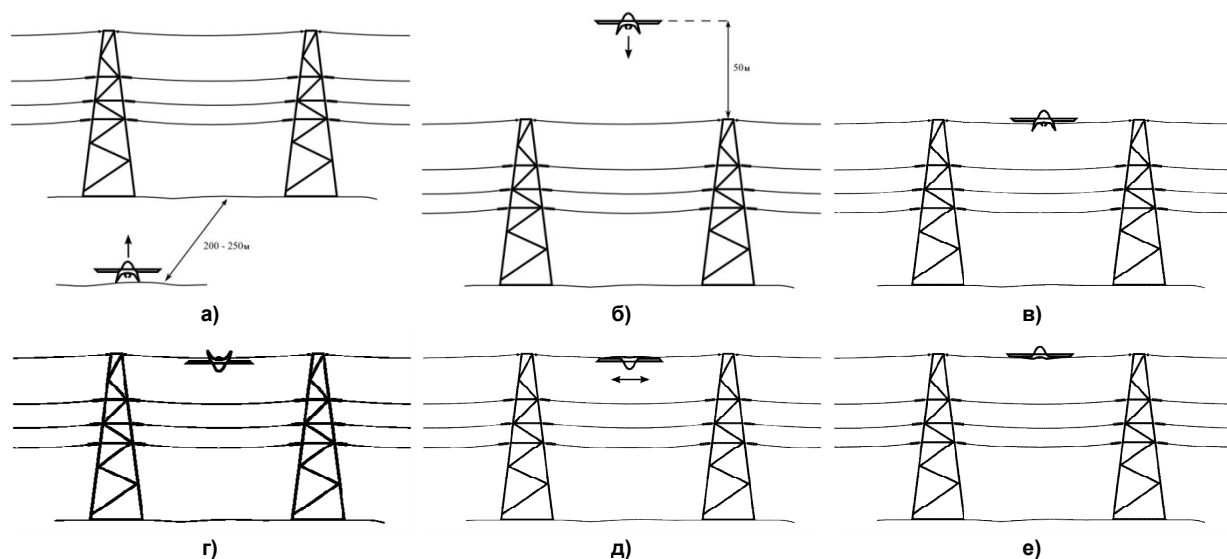


Рис. 5. Функционирование комплекса: а – взлет мультикоптера; б – подготовка к посадке; в – снижение мультикоптера; г – смена позиции; д – присоединение к грозотросу; е – взлет мультикоптера с грозотроса

правленной в сторону земли, и системы технического зрения мультикоптер локализует грозотрос и осуществляет снижение к нему (рис. 5, в).

Для первичного захвата троса на мультикоптере снизу, в непосредственной близости от камеры, расположено механическое захватное устройство, которое автоматически защелкивается при попадании в него троса. Момент защелкивания определяется по срабатыванию концевых датчика на захватном устройстве. После этого винты мультикоптера плавно останавливаются, и он под си-

лой тяжести переворачивается своей верхней частью вниз (рис. 5, г).

Далее посадочные ноги поворачиваются, прижимая мультикоптер к грозотросу (рис. 5, д). В местах соприкосновения мультикоптера с тросом установлены ролики, обеспечивающие свободное скольжение в обе стороны, а для фиксации на тросе рядом с ним расположены выдвижные электромеханические тормоза (см. рис. 4).

Все блоки, в том числе и диагностический, размещаются в верхней части мультикоптера та-

ким образом, чтобы после закрепления на тросе оно смотрело вниз. Для перемещения по тросу в горизонтальной плоскости используются винты мультикоптера, воздушный поток которых отклоняется при помощи поворачиваемой закрылки (см. рис. 4).

Горизонтальная ориентация мультикоптера на тросе поддерживается при помощи разницы скоростей вращения винтов левого и правого борта. При необходимости осуществить диагностику между следующими двумя опорами ЛЭП комплекс перемещается на середину текущего участка, при помощи винтов переворачивается и стабилизируется выше уровня грозотроса (рис. 5, е), отцепляется от него и поднимается на 50 м выше ЛЭП. Далее мультикоптер позиционируется на середине следующего участка и выполняет на него посадку описанным выше способом.

В предложенном решении сокращение энергопотребления по сравнению с другими системами на базе мультикоптеров достигается за счет сокращения времени свободного полета. После вывешивания на тросе исчезает необходимость компенсации силы тяжести при помощи винтов, которые с этого момента используются только для горизонтального перемещения и поддержания ориентации, что значительно энергоэффективнее полета. Для экономии энергии в случаях, когда требуется длительное поддержание мультикоптера на одном и том же месте, в комплексе предусмотрены специальные тормоза (см. рис. 4).

Для отработки предложенного решения был создан прототип на базе любительского набора для создания квадрокоптера DJI f450 (рис. 6).



Рис. 6. Прототип мультикоптера

В качестве полетного контроллера, обеспечивающего стабилизацию и полет квадрокоптера, было выбрано открытое решение ArduCopter. Основной причиной такого выбора послужила возможность изменения исходных кодов программного обеспечения контроллера, которая позволяет

интегрировать в него режимы посадки и движения вдоль грозотроса. Дополнительным достоинством ArduCopter является поддержка им спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС.

Для реализации системы технического зрения и стратегического уровня системы управления комплексом на квадрокоптер был дополнительно установлен одноплатный компьютер на базе процессора Texas Instruments семейства DaVinci TMS320DM365 с подключенной к нему цифровой камерой OmniVision OV2643.

Для автоматической локализации троса при помощи системы технического зрения был разработан алгоритм на базе преобразования Хафа, которое широко применяется для определения границ взлетно-посадочной полосы на видеоизображении [10–16]. В данный момент ведется реализация данного алгоритма на базе одноплатного компьютера комплекса с целью обеспечения в дальнейшем полностью автоматической посадки на трос.

Заключение

Анализ статистики отключений ВЛ, представленный в данной статье, наглядно демонстрирует необходимость поиска новых решений в области оценки их технического состояния и еще раз подчеркивает актуальность представленной работы.

Разработанный комплекс оценки технического состояния ВЛ является совокупностью не только средств диагностики и измерений с помощью различных методов, но и интеллектуального анализа полученных в ходе этих измерений данных. Также данный комплекс направлен на решение существующих проблем, связанных с эксплуатацией БПЛА и на повышения эффективности их использования для анализа состояния ЛЭП.

Литература

1. РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. – 2011.
2. Dmitriev, S.A. Power equipment technical state assessment principles / A.S. Dmitriev, A.I. Khalyasmaa // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 492. – P. 531–535. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.492.531
3. Solution of the electrical equipment technical state assessment problem using MATLAB / A.I. Khalyasmaa, S.A. Dmitriev, D.A. Glushkov, N.A. Babushkina // *International Conference on Computer Technologies in Physical and Engineering Applications, Proceedings*. – 2014. – P. 72–72. DOI: 10.1109/ICCTPEA.2014.6893285
4. Арбузов, Р.С. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи / Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников. – Новосибирск: Наука, 2009. – 136 с.

5. РД 34.45-51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. – 1997.
6. DiLin – система мониторинга и диагностики технического состояния воздушных линий. – <http://rusov.com/dilin.html> (дата обращения: 29.06.2015).
7. МРСК Центра inspeктирует состояние воздушных линий с помощью малой авиации. – <http://www.mrsk-1.ru/press-center/news/company/5221/> (дата обращения: 29.06.2015).
8. Новые технологии в обследовании ВЛ с воздуха / В.П. Дикой, Н.М.Коробков, А.Г. Овсянников, А.А. Колесников. – <http://energo20.ru/article-91-46-79.html> (дата обращения: 29.06.2015).
9. Беспилотный самолет ZALA 421-16. – <http://zala.aero/zala-421-16/> (дата обращения: 29.06.2015).
10. БЛА ZALA 421-22. – <http://zala.aero/zala-421-22/> (дата обращения: 29.06.2015).
11. Каримов, А.Х. Беспилотные самолеты: максимум возможностей / А. Х. Каримов // Наука и жизнь. – 2002. – № 6. – С. 16–20.
12. Квадрокоптер из семейства мультикоптеров. Вводная статья. – <http://aero-scan.ru/read/kvadrocopter/> (дата обращения: 29.06.2015).
13. Иванов, Д.Я. Решение строевой задачи в группе беспилотных квадрокоптеров / Д.Я. Иванов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – № 8.
14. Shang, J. Vision-based runway recognition for uav autonomous landing / J. Shang, Z. Shi // International Journal of Computer Science and Network Security. – 2007. – Vol. 7, no. 3. – P. 112–117.
15. Комаров, Д.В. Разработка алгоритма автоматического обнаружения взлетно-посадочной полосы на видеоизображениях / Д.В. Комаров, Ю.В. Визильтер, О.В. Выголов. – <http://tvcs2011.technicalvision.ru/reports/17.03.11/10.30.ppt> (дата обращения: 29.06.2015).
16. Kumar, S.V. Detection of runway and obstacles using electro-optical and infrared sensors before landing / S.V. Kumar, S.K. Kashyap, N.S. Kumar // Defence Science Journal. – 2014. – Vol. 64, no. 1. – P. 67–76. DOI: 10.14429/dsj.64.2765

Хальясмаа Александра Ильмаровна, ассистент кафедры «Автоматизированные электрические системы» Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; lkhalyasmaa@mail.ru.

Близнюк Дмитрий Игоревич, аспирант кафедры «Автоматизированные электрические системы» Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; d.i.bliznyuk@gmail.com.

Романов Алексей Михайлович, ассистент кафедры «Проблемы управления» Института кибернетики, Московский государственный университет информационных технологий, радиотехники и электроники, г. Москва; AlexRomashka@yandex.ru.

Поступила в редакцию 23 июля 2015 г.

DOI: 10.14529/power150407

DIAGNOSTIC SYSTEM FOR OVERHEAD LINES STATE ASSESSMENT

A.I. Khalyasmaa¹, lkhalyasmaa@mail.ru,

D.I. Bliznyuk¹, d.i.bliznyuk@gmail.com,

A.M. Romanov², AlexRomashka@yandex.ru

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation,

² Moscow State University of Information Technologies, Radioengineering and Electronics, Moscow, Russian Federation

Paper is devoted to the problems of overhead power lines (OHL) state assessment. Special attention is given to its method and technics overview. Urgent OHL maintenance problems and possible reasons of breaking its operation were defined based on OHL failure statistical analysis. New diagnostic system for these problems solving is proposed. The system consists of two subsystems: unmanned aerial vehicle (multicopter) with modular diagnostic blocks and OHL state assessment system. OHL state assessment is performed by means of artificial intelligence techniques, which input is data obtained by multicopter. Also the paper contains description of

diagnostic multicopter prototype. Performed analysis shows that proposed system allows to solve urgent problems of OHL maintenance and to improve its reliability.

Keywords: overhead lines (OHL), state assessment, diagnostics, multicopter, aerodiagnostics.

References

1. GD 153-34.0-46.302-00. *Metodicheskie ukazaniya po diagnostike razvivayushchikhsya defektov transformatornogo oborudovaniya po rezul'tatam khromatograficheskogo analiza gazov, rastvorenykh v masle* [Guidelines for the Diagnosis of Developing Defects Transformer Equipment as a Result of Chromatographic Analysis of Gases Dissolved in the Oil]. 2011.
2. Dmitriev S.A., Khalyasmaa A.I. Power Equipment Technical State Assessment Principles. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 492, pp. 531–535. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.492.531
3. Khalyasmaa A.I., Dmitriev S.A., Glushkov D.A., Babushkina N.A. Solution of the Electrical Equipment Technical State Assessment Problem Using MATLAB. *International Conference on Computer Technologies in Physical and Engineering Applications, Proceedings*, 2014, pp. 72–72. DOI: 10.1109/ICCTPEA.2014.6893285
4. Arbuzov R.S., Ovsyannikov A.G. *Sovremennyye metody diagnostiki vozdukhnykh liniy elektropredachi* [Modern Methods of Diagnostics of Overhead Power Lines]. Novosibirsk, 2009. 136 p.
5. GD 34.45-51.300-97. *Ob'em i normy ispytaniy elektrooborudovaniya* [Scope and Standards for Electrical Equipment Tests]. 1997.
6. *DiLin – sistema monitoringa i diagno-stiki tekhnicheskogo sostoyaniya vozdukhnykh liniy* [DiLin – System of Monitoring and Diagnostics of Technical Condition of Overhead Lines]. Available at: <http://rusov.com/dilin.html> (accessed 29 June 2015).
7. *MRSK Tsentra inspektiruet sostoyanie vozdukhnykh liniy s pomoshch'yu maloy aviatsii* [IDGC of Centre Inspects the Overhead Lines Condition Using Small Aviation]. Available at: <http://www.mrsk-1.ru/press-center/news/company/5221/> (accessed 29 June 2015).
8. Dikoi V.P., Korobkov N.P., Ovsyannikov A.G., Kolesnikov A.A. *Novye tekhnologii v obsledovanii VL s vozdukh* [New Technologies in Diagnostics of Overhead Lines by Air]. Available at: <http://energo20.ru/article-91-46-79.html> (accessed 29 June 2015).
9. *Bespilotnyy samolet ZALA 421-16* [Unmanned Aircraft ZALA 421-16]. Available at: <http://zala.aero/zala-421-16/> (accessed 29 June 2015).
10. *BLA ZALA 421-22* [UAV ZALA 421-22]. Available at: <http://zala.aero/zala-421-22/> (accessed 29 June 2015).
11. Karimov H.A. *Bespilotnye samolety: maksimum vozmozhnostey* [Unmanned Aircraft: the Maximum Possible]. Available at: <http://www.nkj.ru/archive/articles/4323/> (accessed 29 June 2015).
12. *Kvadrokopter iz semeystva mul'tikopterov. Vvodnaya stat'ya* [Quadcopter from the Family of Multicopter]. Available at: <http://aero-scan.ru/read/kvadrokopter/> (accessed 29 June 2015).
13. Ivanov D.Y. *Reshenie stroevoy zadachi v grappe bespilotnykh kvadrokopterov* [Construction of Group Formations of Quadcopter Using Virtual Order]. Available at: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/1971.pdf> (accessed 29 June 2015).
14. Shang J., Shi Z., Vision-Based Runway Recognition for UAV Autonomous Landing, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 2007, vol. 7, no. 3, pp. 112–117.
15. Komarov D.V., Vizilter V.Z., Vigolov O.V. *Razrabotka algoritma avtomaticheskogo obnaruzheniya vzletno-posadochnoy polosy na videoizobrazheniyakh* [Development of Algorithms for Automatic Detection of the Runway at the Videos]. Available at: <http://tvcs2011.technicalvision.ru/reports/17.03.11/10.30.ppt> (accessed 29 June 2015).
16. Kumar S.V., Kashyap S.K., Kumar N.S. Detection of Runway and Obstacles Using Electro-Optical and Infrared Sensors before Landing. *Defence Science Journal*, 2014, vol. 64, no. 1, pp. 67–76. DOI: 10.14429/dsj.64.2765

Received 23 July 2015

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Хальясмаа, А.И. Диагностический комплекс для оценки состояния воздушных линий электропередачи / А.И. Хальясмаа, Д.И. Близнюк, А.М. Романов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2015. – Т. 15, № 4. – С. 46–53. DOI: 10.14529/power150407

FOR CITATION

Khalyasmaa A.I., Bliznyuk D.I., Romanov A.M. Diagnostic System for Overhead Lines State Assessment. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 46–53. (in Russ.) DOI: 10.14529/power150407