ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛЭП

АВТОРЫ:

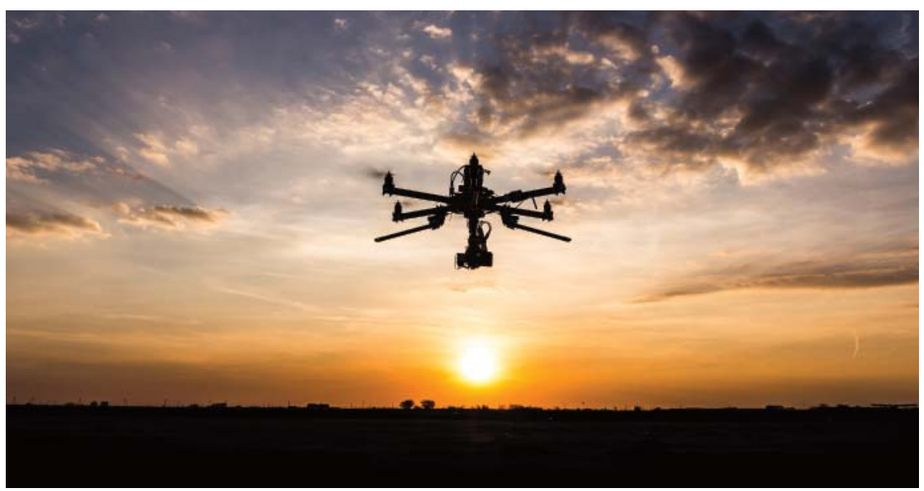
В.К. БАРБАСОВ,
ОТРАСЛЕВОЙ АНАЛИТИК,
РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА
«СЪЕМКАСВОЗДУХА.РФ»

Д.А. ШАПОВАЛОВ,
Д.Т.Н.,
ПРОФЕССОР КАФЕДРЫ
ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ
И КАДАСТРОВ,
ФБГОУ ВО
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ПО ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВУ

Применение современных беспилотников для мониторинга состояния воздушных линий электропередачи может дать экономию средств в размере десятков и сотен миллионов рублей. При беспилотном обследовании ВЛ широко используется технология автоматизированного моделирования и оценки формы опор линий электропередач по нескольким цифровым фотографиям, не требующим точной привязки точек съемки к географическим координатам. Форма растительности в охранной зоне вокруг ЛЭП может быть автоматически восстановлена по видеоданным или фотографиям.

Аббревиатуры: БВС — беспилотное воздушное судно; БАС — беспилотная авиационная система; ИВП — использование воздушного пространства; ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли; ПН — полезная нагрузка; ЛЭП — линии электропередачи; ВЛ — воздушные линии.

Ключевые слова: беспилотник; воздушное судно; авиационная система; мониторинг и обследование линий электропередачи.



Беспилотные летальные аппараты активно используются в современной электроэнергетике

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы применимости беспилотных летательных аппаратов для использования в топливно-энергетическом комплексе страны, в том числе в электроэнергетике, обсуждаются достаточно давно [1, 2]. Ранее уже проводились работы по мониторингу линий электропередачи при помощи БВС, показавшие перспективность применения данного метода анализа состояния высоковольтных линий и прилегающей инфраструктуры, а также для мониторинга ЛЭП при аварийно-восстановительных работах [3]. При работе с труднодоступными участками ЛЭП наземное обследование может затянуться на несколько дней или даже недели в отличие от обследований с использованием БВС, которое уменьшает время обследования до нескольких часов. Однако быстрое развитие технических платформ БВС и алгоритмов обработки геопространственной информации [4, 5] диктует необходимость более глубокой оценки возможностей беспилотников в интересах электроэнергетики и электросетевого комплекса Российской Федерации.

Перечислим основные виды работ, для которых возможно применение беспилотников:

- плановая диагностика — облеты воздушных линий (ВЛ), наблюдение и фотографирование на малых и средних высотах, инспекция ВЛ и охранной зоны, выявление дефектов и нарушений, определение пространственных (3D) нарушений габаритов просеки и проводов;
- аварийно-восстановительные работы — облет ВЛ на средних высотах при различных метеоусловиях, в ночное время с использованием фотовспышки или тепловизора;
- картографические работы — создание цифровых топографических и кадастровых планов, трехмерных моделей местности и линий электропередачи, сопровождение работ по строительству и реконструкции ВЛ.

Данный способ обследования ВЛ является безопасным, так как полет осуществляется на малых высотах и без экипажа на борту. Кроме этого, существует еще ряд преимуществ: возможность съемки в сложных метеоусловиях; полнота обследования, т.е. ВЛ обследуется на всей протяженности, съемка осуществляется с разных ракурсов, а получаемые снимки имеют высокое разрешение.

Основные БВС самолетного типа для обследования ВЛ, используемые в России (рис. 1, табл. 1), — это БВС «Геоскан» компании «Геоскан», г. Санкт-Петербург [7], БВС «Суперкам» компании «Финко», г. Ижевск [8] и БВС «Птеро» компании АФМ-Серверс (г. Москва) [9]. Кроме самолетных БВС, активно внедряются БВС мультироторного типа, такие как «Геоскан 401», «Суперкам Х8» и «Форпост Х6» (рис. 2).

На рис. 3 показаны кадры обследования ЛЭП с борта БВС «Геоскан 401», а на рис. 4 показана схема мониторинга ЛЭП с мультироторного БВС. На рис. 5 представлены снимки, сделанные с БВС

ОСНОВНЫЕ БВС САМОЛЕТНОГО ТИПА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РОССИИ

а) б)

а) «Птеро-G0» б) «Суперкам S350f»

Рис. 1

БВС МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА

а) б)

а) «Суперкам Х8» б) «Форпост Х6»

Рис. 2

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕСПИЛОТНИКОВ [6]

Класс	Название	Дальность применения (с возвратом в точку старта), км	Диапазон цен за комплекс с ПО для обработки и фотокамерой 24 Мп, тыс. руб. [10]
Мультироторные БВС	«Геоскан 401» «Суперкам X8M» «Форпост X6»	До 10	1500–2000
Самолетный, малого радиуса действия	«Геоскан 101» «Суперкам 100F»	До 35	1000–1400
Самолетный, среднего радиуса действия	«Геоскан 201» «Суперкам 250F»	До 100	1400–2000
Самолетный большого радиуса действия	«Суперкам 350F»	До 135	От 2000
	«Птеро G0»	До 300	От 4000

Таблица 1

КАДРЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЛЭП С БОРТА БВС «ГЕОСКАН 401»

Рис. 3

«Птеро» с разрешением 0,7 см на пиксель.

При проведении аэрофотосъемочных работ можно получить снимки высокого разрешения и по ним проанализировать достаточно большое число дефектов, таких как:

дефекты опор:

- отсутствие, отрыв, деформация элементов металлических опор;
- выкрошивание бетона, деформация железобетонных опор;
- отклонение опор от вертикали;
- разворот, деформация траверсов на железобетонных опорах;
- отсутствие натяжения внутренних стяжек и тросовых растяжек;
- падение, повреждение опор;

дефекты провода, линейной и сцепной арматуры:

- разрушение элементов стеклянных и фарфоровых изоляторов;
- отсутствие гасителей вибрации, отсутствие грузов, потеря работоспособности несущего тросика, смещение виброгасителей вдоль проводов относительно проектного положения;
- отсутствие и неправильное расположение соединителей проводов;
- изломы, отрывы лучей дистанционных распорок между проводами расщепленной фазы;
- обрыв проводов;

дефекты на трассе:

- наличие опасной для эксплуатации ВЛ растительности;
- падение деревьев на провода и опоры;
- наличие древесно-кустарниковой растительности (ДКР) в охранной зоне;
- наличие строений и прочих объектов в охранной зоне;
- пересечение с природными и антропогенными объектами;
- опасные явления (проседание грунта, подтопление и др.).

Ручной просмотр снимков специалистом — достаточно трудоемкая задача, однако для определения большинства дефектов этот способ пока единственный. Сравнение стоимости работ при обследовании ВЛ наземной группой специалистов и при использовании БВС приведено в табл. 2.

Рассмотрим технологии, которые позволяют уменьшить объем трудоемкого ручного просмотра фотоматериалов и увеличить практическую пользу от результата, количества и качества получаемой аналитической информации. Для этого вся информация должна попасть в геоинформационную систему (ГИС), которая позволяет объединить все результаты обследования в единой базе данных с наглядным отображением обследуемых объектов (с привязкой к местности).

Перечислим возможности ГИС:

- анализ местности;
- быстрый доступ к результатам обследования (описанию обнаруженных дефектов);

СХЕМА МОНИТОРИНГА ЛЭП С МУЛЬТИРОТОРНОГО БВС

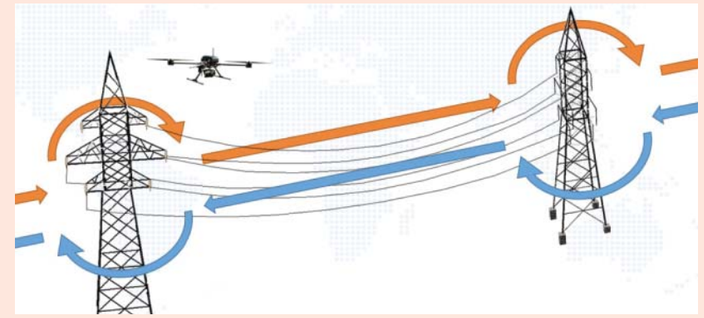


Рис. 4

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БВС ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ВЛ

Параметр	Наземная группа	«Геоскан 201»
Число человек в рабочей группе	3	2
Заработная плата, руб.		
человека в месяц	30 000	45 000
группы в день	3913	3913
Число рабочих часов в день, ч	8	5
Скорость обследования, км:		
в час	2	85
в день*	16	191
Заработная плата специалистов на обслуживание 1 км, руб.	245	20
Стоимость комплекса, руб.**		1 500 000
Стоимость эксплуатации БВС***, руб.:		
при 500 взлетах/посадках (250 дней)		500 000
в течение 1 дня****		4000
при обследовании 1 км ВЛ****		21
Общая стоимость обследования 1 км ВЛ, руб.	245	41
Время обследования 1000 км ВЛ, дн.	63	5
Стоимость обследования 1000 км ВЛ, руб.	244 565	41 375

** Расстояние полета учтено при условии полета в одну и другую сторону. Не взят запас на маневры над ВЛ, который зависит от самой кривизны линии и частично от скорости ветра. При углах поворота около 12–15 градусов БВС вынужден пролететь этот участок, совершив маневр (петлю). При экстремальных температурах и сильном ветре полетное время снижается. Использование в дождь не вредит БВС, однако может негативно сказаться на качестве получаемого фотографического материала.*

*** Цены взяты с сайта [10], актуальны на конец 2015 г.*

**** Не учтены расходы на транспорт и другое оборудование.*

***** При условии ежедневного использования при 500 взлетах/посадках (250 дней); расчет на эксплуатацию в течение 3 лет и при полной амортизации оборудования.*

Таблица 2

- быстрый доступ к фотографическим изображениям обнаруженных дефектов;
- быстрый доступ к 3D-моделям местности и линии электропередачи.

Технологическая цепочка Геоскан выглядит так: беспилотник снимает ВЛ, затем снимки с координатами и телеметрическими данными автопилота загружаются в фотограмметрическое программное обеспечение (ПО), в котором изображения ортотрансформируются и «сшиваются», после чего все загружается в ГИС, в которой происходит анализ полученных данных (рис. 6).

Далее рассмотрим технологию обследования линий электропередачи на примере ГК Геоскан, технологии других компаний будут рассмотрены в следующих статьях.

Полет БВС осуществляется в четыре пролета вдоль линии электропередачи с 80%-м перекрытием. Каждая точка на снимке имеет 12-кратное перекрытие. Для увеличения скорости работ можно использовать сразу два беспилотника, запуская их в одну и другую сторону вдоль линии.

Полученные снимки сразу загружаются в ГИС «Спутник ЛЭП», где происходит их «сшивка» автоматически подключающимся ПО «PhotoScan» (рис. 7, 8) [11]. В результате получается большое количество информации, которая не была бы доступна при визуальном осмотре или рассмотрении аэрофотоснимка (рис. 9–14), причем точность восстановления провода составляет 10–15 см.

При использовании технологии компании «Геоскан» можно получить:

- ортофотоплан и цифровую модель местности полосы шириной 200 м;

СНИМКИ, СДЕЛАННЫЕ С БВС «ПТЕРО» С РАЗРЕШЕНИЕМ 0,7 СМ НА ПИКСЕЛЬ

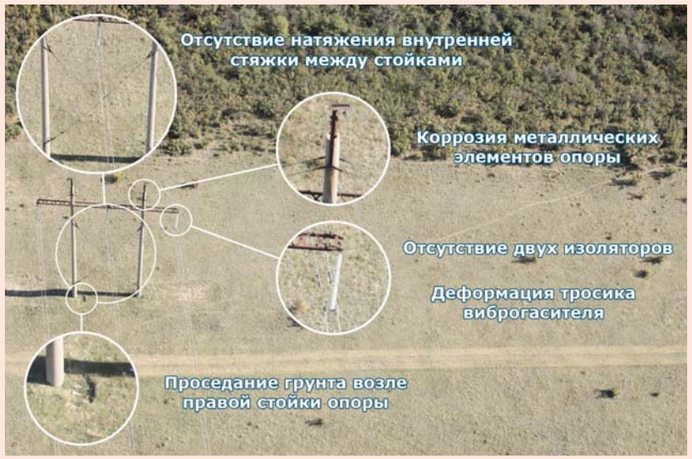


Рис. 5

- геодезические координаты всех опор линии электропередачи;
- расстояние между опорами;
- стрелу провиса каждого пролета ВЛ;
- число и расположение угрожающих деревьев;
- площадь залесенности внутри существующей просеки;
- площадь залесенности для расширения линии при проектной ширине просеки 50 м: 25 м влево и 25 м вправо (число деревьев, их диаметр и кубатура деловой древесины);
- дефекты изоляторов;
- дефекты опор;
- дефекты арматуры;
- высоту каждой опоры над уровнем моря (в метрах);
- возможность определения наиболее пригодных для подъезда (подхода) к линии путей и дорог.

Кроме этого, подготовлена программа для работы специалистов службы линий для определения габаритов проводов, замеров расстояний над реками, озерами и дорогами, определения характеристик угрожающих деревьев, визуального осмотра состояния опор, изоляторов и проводов.

При благоприятных условиях в день с одного самолета можно снять до 200 км ЛЭП. Таким образом, решается задача замены трудозатратных полевых работ последовательностью автоматизированных операций, появляется возможность визуальной оценки данных в трехмерном изображении, специалисты получают материалы в удобной форме (вывод и представление рассчитанных показателей).

При использовании БВС для обследования линий электропередачи в качестве полезной нагрузки могут быть использованы и другие камеры.

Видеосъемка при обследовании ВЛ с передачей видеоизображения в режиме реального времени на пульт оператору, в первую очередь, имеет смысл использовать для оперативного контроля линии при чрезвычайной ситуации. Большинство дефектов с высоты 200 м плохо различимы, а само разрешение видеокадра в формате Full HD — всего 2 Мп (1920 × 1080), что в 12 раз меньше чем у фотокамеры Sony RX-1, активно применяющейся для аэрофотосъемки. При этом передача видеоизображения составит не более 30 км, в противном случае БВС надо будет поднять выше для увеличения дальности передачи.

Однако съемка элементов линии электропередачи при помощи небольшого коптера, оборудованного камерой типа GoPro, с расстояния 3–5 м позволит выполнить обследование верхних элементов ближайшей опоры ВЛ без привлечения подъемника или вертолета, а также без отключений на линии.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕПОЧКА ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОСКАН

Рис. 6

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СНИМКОВ В 3D МОДЕЛЬ

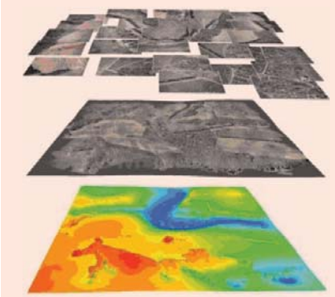


Рис. 7

Тепловая съемка при обследовании ВЛ. Имея хорошую чувствительность (0,1–0,3 К), все используемые тепловизоры имеют невысокое разрешение, обычно 640 × 480.

При высоте полета 200 м с помощью тепловизора, установленного на самолетном БВС, можно выявлять такие нарушения, как подтопление в охранных зонах, разрушение опор, а также нарушения, которые вызвали нагрев значительной площади (около 1 м^2), например, перегрев крупных трансформаторов, пожары. Для рассмотрения нарушений на площади менее 1 м^2 разрешение недостаточное.

Съемка элементов ВЛ при помощи тепловизора, установленного на мультироторном БВС, оптимальна, если к объекту съемки нельзя подойти.

Ультрафиолетовая съемка при обследовании ВЛ. УФ-камеры работают в диапазоне 240–280 нм (UVc). В этом диапазоне солнечная радиация поглощается атмосферным

ОБРАБОТКА В ПО AGISOFT PHOTOSCAN

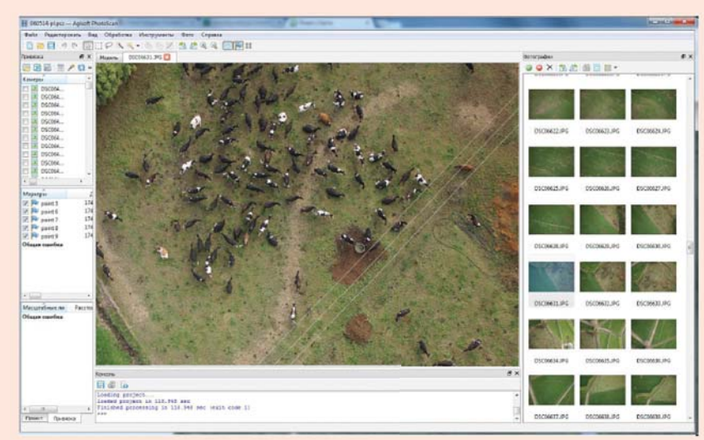


Рис. 8

3D МОДЕЛЬ ЛЭП (ПО СПУТНИК ЛЭП)

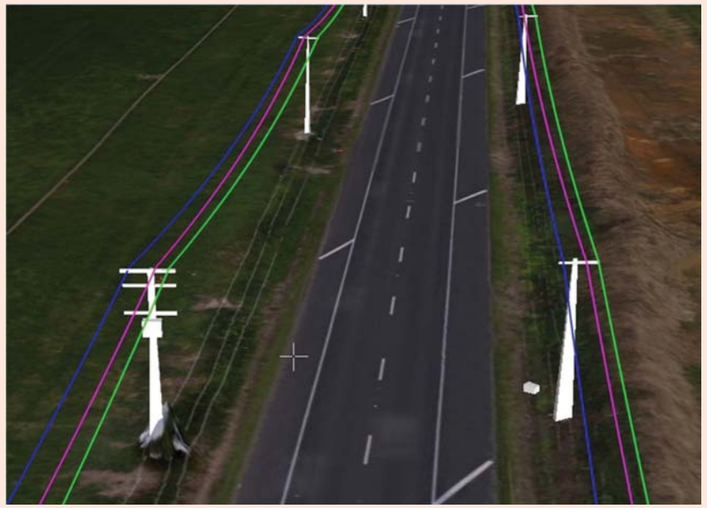


Рис. 9

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОПОР И ПРОВОДОВ ПО АФС. ТОЧНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОВОДА 10–15 СМ (ПО СПУТНИК ЛЭП)

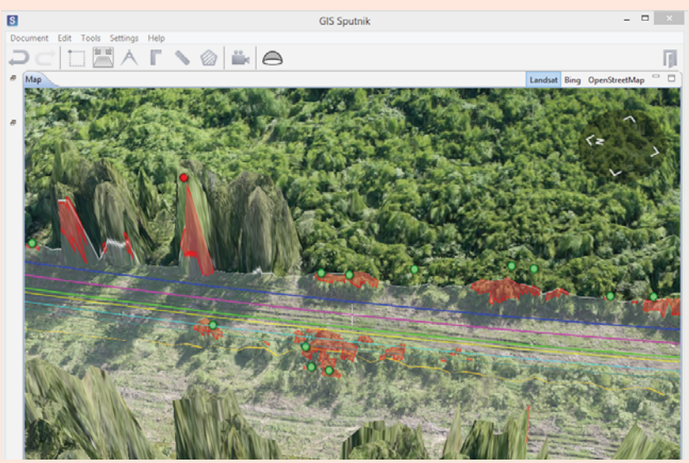


Рис. 10

озоном, что делает возможным наблюдение частичных поверхностных разрядов (короны) при естественном освещении. Некоторые виды дефектов могут быть выявлены только в ходе такой съемки.

Для выявления дефекта необходимо обеспечить экспозицию обследуемого участка в течение 5–10 с. За это время счетчик импульсов прибора сможет получить усредненный показатель разрядной активности. При постоянной съемке в движении на скорости 70–90 км/ч некоторые источники разрядной активности останутся незамеченными, а на некоторых будут зафиксированы пиковые значения разрядной активности, которые могут на порядок превышать средние значения.

Проблема необходимости оставаться в одной точке во время экспонирования кадра может быть решена применением мультироторного летательного аппарата как носителя камеры.

Лазерное сканирование при обследовании ВЛ. Легкие лазерные сканеры, выпущенные специально для использования на БВС, имеют ограничения по дальности порядка 100 м, к тому же учитывая, что сечение провода круглое и может рассеивать часть сигнала, съемку лучше выполнять с высоты 50 м, а это является неприемлемым для использования самолетного БВС. Использование такой сканирующей системы на мультироторном БВС вполне возможно.

В мире прослеживается тренд по созданию систем автоматизированного мониторинга с помощью беспилотников. Одну из таких систем для автономного мониторинга линейных объектов предложила СъемкаСВоздуха.РФ: система AeRod (рис. 15) позволяет на базовых станциях, размещенных на опорах ЛЭП или других подведомственных объектах, за счет уникальных механизмов осуществлять автоматические взлет/посадку и подзарядку летательных аппаратов с вертикальным взлетом и посадкой.

Некоторые аспекты юридической стороны вопроса применения БВС для обследования ВЛ. По действующему Воздушному кодексу для полета беспилотника необходимо закрывать воздушное пространство для полетов в этой зоне для других воздушных судов. Для этого необходимо за 5 суток до полета подать заявку на использование воздушного пространства в местный зональный центр.

ВЫВОДЫ:

1. Существующие технические средства БВС и технологии обработки геопространственных данных могут решать широкий круг задач при проектировании и эксплуатации линий электропередачи и других объектов электроэнергетики.
2. Применение БВС при мониторинге состояния воздушных линий электропередачи в рамках крупной региональной или федеральной сетевой компании может дать экономию средств в размере десятков и сотен миллионов рублей.
3. Особенно эффективно применение БВС в труднодоступных районах и при сложном рельефе местности.
4. Использование БВС позволяет существенно увеличить оперативность мониторинга и сократить сроки проведения обследований и ремонтно-профилактических работ.
5. В зависимости от комплектации сенсоров на БВС и специализированного программного обеспечения возможно одновременное получение существенно расширенного объема информации о состоянии объектов электроэнергетики и параметров и рисков в пределах охранных зон.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЗАЛЕСЕННОСТИ (ПО СПУТНИК ЛЭП)

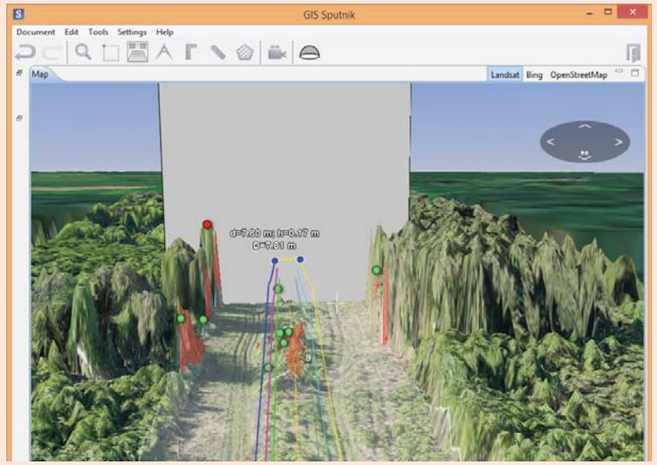


Рис. 11

ПОСТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ И ПРОДОЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРОЛЕТОВ (ПО СПУТНИК ЛЭП)

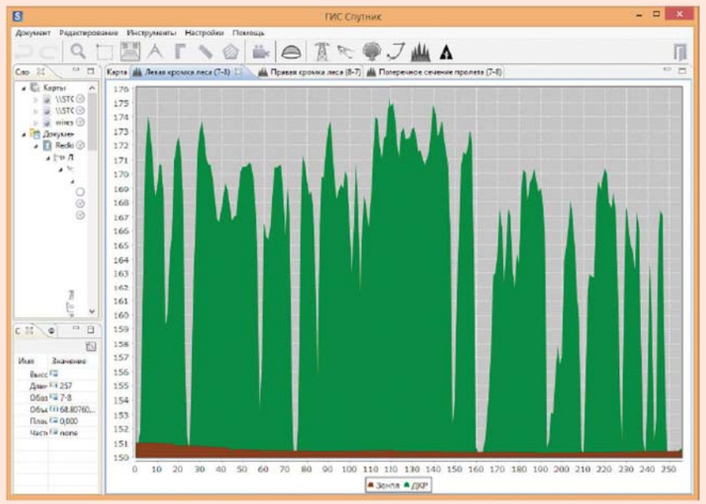


Рис. 12

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОВОДОВ (ПО СПУТНИК ЛЭП)

Определение стрел провеса и габаритов

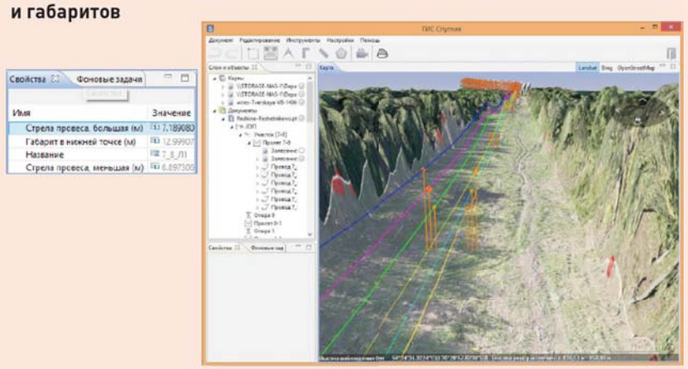
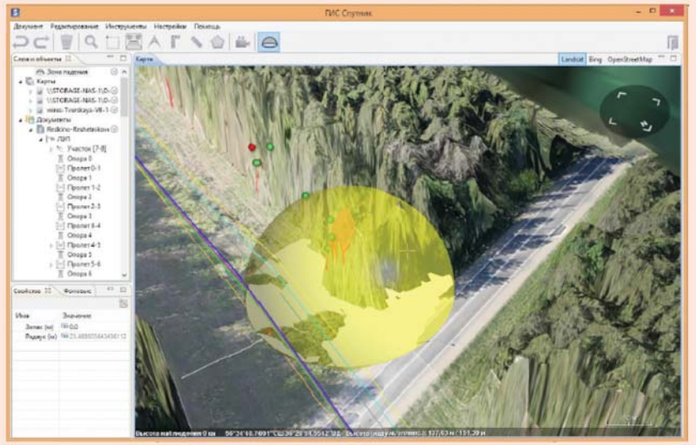


Рис. 13

ПОДСЧЕТ КРОН ДЕРЕВЬЕВ (ПО СПУТНИК ЛЭП)



Выявление и подсчет угрожающих деревьев, определение зон падения

Рис. 14

СИСТЕМА AEROD

Рис. 15

ЛИТЕРАТУРА:

1. EV. Энерговестник. Использование беспилотных летательных аппаратов в ТЭК.//energovestnik.ru, 22.10.2015.
2. Валиев А. Эксплуатация беспилотников в электросетевом комплексе России// «Электроэнергия», ЭЭПР № 6, 2011 г.
3. Инновационные и отраслевые решения с использованием беспилотников (проект СъемкаСВоздуха.РФ) — http://съемкасвоздуха.рф/otraslevye-resheniya/monitoring-lep.html
4. Барбасов В.К., Орлов П.Ю., Руднев П.Р., Гречищев А.В. Применение малых беспилотных летательных аппаратов для съемки местности и подготовки геоинформационного контента в чрезвычайных ситуациях // Интерэкспо ГеоСибирь. 2013. Т. 7. № 2. С. 61–66.
5. Барбасов В.К., Гречищев А.В., Орлов П.Ю., Руднев П.Р., Левин Е.Л. Мультироторный БПЛА как средство получения геоинформационного контента в чрезвычайных ситуациях // В сборнике: Геоинформационные науки и экологическое развитие: новые подходы, методы, технологии. Геоинформационные технологии и космический мониторинг VI международная конференция, материалы в 2 томах. 2013. С. 234–240.
6. Барбасов В.К., Гречищев А.В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. 2014. № 8. С. 27–31.
7. Сайт компании Геоскан — https://www.geoscan.aero
8. Сайт компании Финко (беспилотники Суперкам) — http://unmanned.ru/
9. Сайт компании АФМ-Серверс — http://ptero.ru/aerialsurvey/diagnostics.html
10. Раздел цены (проект СъемкаСВоздуха.РФ) — http://съемкасвоздуха.рф/tseny.html
11. Сайт компании Agisoft PhotoScan — http://www.agisoft.com

ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ВЛ

На правах рекламы

Компания ООО «ПАНАТЕСТ» более 20 лет специализируется на внедрении современных методов технической диагностики и поставке приборов неразрушающего контроля на предприятия России и стран СНГ.

Предлагаемые нами технологии, методики и уникальные приборы позволяют диагностировать электроэнергетические объекты и ВЛ в трех спектрах излучения: ультрафиолетовом, видимом, инфракрасном. Это позволяет выявлять дефекты на ранней стадии их развития, существенно повысить достоверность результатов технической диагностики и заблаговременно предупреждать развитие аварийных событий. Использование УФ спектра позволяет визуализировать места коронных разрядов и оценивать их интенсивность, что в конечном счете исключает (при своевременном устранении дефектов) сверхнормативные потери мощности на ВЛ при передаче электроэнергии на большие расстояния. Эффективность УФ метода диагностики и предлагаемых нами приборов подтверждена многолетним положительным опытом применения на объектах ПАО «РЖД», предприятиях НК «Роснефть», Концерна «Росэнергоатом», ПАО «Россети» (ПАО «МОЭСК», ПАО «МРСК Волги») и т.д.

Предлагаемые нами УФ-дефектоскопы CoroCAM, («UVIRCO Technologies Ltd.», ЮАР), внесены в государственный реестр средств измерений РФ и более 10 лет эффективно используются на предприятиях в России. Уникальность дефектоскопов CoroCAM заключается в возможности их использования в пешем порядке, с автомобиля, вездехода, вертолета либо беспилотных летательных аппаратов. В содружестве с НУЦ «Качество» проводится сертификация специалистов по УФ- и тепловому методу неразрушающего контроля.

ПАНАТЕСТ

111024, Россия , г.Москва,
ул.Авиамоторная, д.12, офис 405
Тел.: +7 (495) 789-37-48,
+7 (495) 587-82-98.
Факс: +7 (495) 789-37-48
http://www.panatest.ru/
e-mail: mail@panatest.ru

ПАНАТЕСТ www.panatest.ru
UVIRCO TECHNOLOGIES www.uvirco.com

CoroCAM - серия портативных оптических УФ дефектоскопов с возможностью мобильного базирования на радиоуправляемых БПЛА.

реклама

"CoroCAM 6D" - Лёгкий (1,9 кг), портативный УФ дефектоскоп для диагностики воздушных линий электропередач, электрооборудования ОРУ и ЗРУ, генераторов и электродвигателей.

"CoroCAM 7" - Новый универсальный УФ дефектоскоп с видеокамерой чувствительностью 0.01лк, коэффициентом оптического масштабирования 28^{X}. Имеет порт Ethernet для дистанционного управления.

"CoroCAM 8" - Уникальный трёхспектральный диагностический комплекс, с высокочувствительным УФ каналом, ИК детектором высокого разрешения (640x512 пикселей) и цветной цифровой видеокамерой.

ООО "ПАНАТЕСТ" предлагает:
- Уникальные приборы.
- Сертификацию и обучение персонала.
- Методики диагностики.
- Метрологические услуги поверки и калибровки систем оптической диагностики.

www.corocam-uv.ru