

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

АВТОРЫ:

ДИКОЙ В.П.,
 ОАО «ФЕДЕРАЛЬНАЯ
 СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ
 ЕДИНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ»

ЛЕВАНДОВСКИЙ А.А.,
 ЗАО «КРОК
 ИНКОРПОРЕЙТЕД»

АРБУЗОВ Р.С.,
 ФИЛИАЛ ОАО «ЭЛЕКТРО-
 СЕТЕСЕРВИС ЕНЭС»

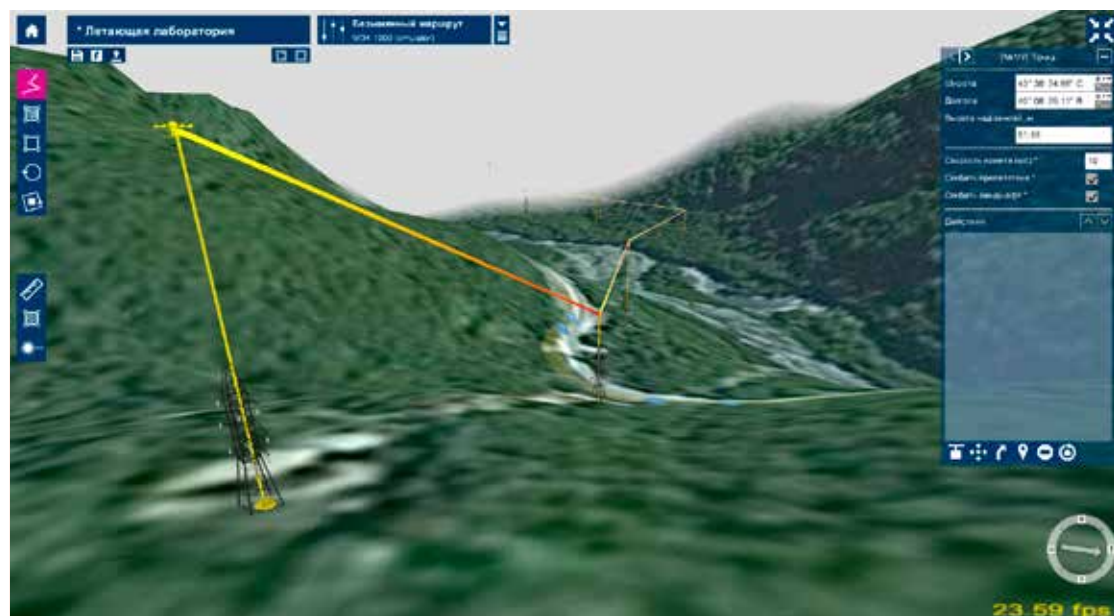
ОВСЯННИКОВ А.Г.,
 ФИЛИАЛ ОАО «ЭЛЕКТРО-
 СЕТЕСЕРВИС ЕНЭС»

СТАРЦЕВ В.В.,
 ООО «НИИ СОКБ»

В статье анализируются перспективы использования робототехники в электроэнергетике. Отражено современное состояние вопросов эксплуатации воздушных линий электропередачи. Рассматривается прогрессивный аэромобильный способ мониторинга и диагностирования состояния воздушных линий электропередачи с исполь-

зованием беспилотного летательного аппарата. Особое внимание уделяется перспективным оптическим методам контроля с помощью электронно-оптических дефектоскопов ультрафиолетового диапазона, тепловизоров и камер высокого разрешения. Обобщается практический опыт использования беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, диагностирование воздушных линий электропередачи, тепловизор, ультрафиолетовая камера, камера высокого разрешения, разрядные процессы.



Процесс автоматического построения полетного задания для БПЛА вертолетного типа

ВВЕДЕНИЕ

Воздушные линии электропередачи (ВЛ) классов напряжения 220 кВ и выше являются основными в системах транспорта электрической энергии. Для обеспечения надежности необходимы постоянные осмотры, профилактические проверки и измерения [1]. Как известно, современные методы наземного профилактического контроля обладают значительной трудоемкостью, причем в труднодоступных местностях обходы ВЛ небезопасны, а в ряде случаев практически невозможны.

Облеты ВЛ беспилотными летательными аппаратами в значительной мере облегчают осмотр труднодоступных участков. В настоящее время визуальный осмотр обычно проводится с помощью биноклей. Как правило, облеты ВЛ с борта воздушного судна ведет бригада обслуживающего персонала. Каждый член бригады проводит осмотр закреплен-

ных за ним элементов ВЛ с высоты бреющего полета, стараясь заполнить дефектную ведомость по ходу осмотра. Сделать это крайне сложно, т. к. минимальная скорость полета самолета или вертолета составляет 130–150 км/ч: медленнее летать или опасно, или экономически невыгодно эксплуатанту воздушного судна. Следует признать, что подобные методы оценки технического состояния ВЛ морально устарели.

Значительный прогресс был достигнут с появлением технологии лазерного сканирования трассы ВЛ с борта летательного аппарата [2]. Лазерное сканирование обеспечивает точную привязку опор ВЛ к цифровой карте местности, позволяет построить точную трехмерную модель ВЛ, в том числе расположение проводов, точек крепления, высоты древесно-кустарниковой растительности. Данная технология позволяет определить лишь основные параметры, входящие в электронный паспорт

опоры, габариты и геометрические характеристики ВЛ. Однако эта технология не в состоянии обеспечить выполнение задач, необходимых для полной оценки состояния ВЛ. Одним из перспективных направлений кардинального обновления методов контроля состояния ВЛ является создание «летающей лаборатории», реализующей три вида диагностики ВЛ.

Первый вид базируется на регистрации оптического излучения разрядных (ОИР) процессов оптическим приемником ультрафиолетового диапазона чувствительности. Известно, что интенсивность коронных разрядов на проводах и арматуре, а также поверхностных разрядов на изоляторах с различного вида дефектами превышает таковые при нормальном состоянии этих элементов ВЛ.

Второй вид предназначен для обнаружения локальных нагревов проводов, шлейфов и контактных

ЗАДАЧИ АЭРОДИАГНОСТИКИ ВЛ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Задача диагностики	Метод
Оценка общего состояния трассы: высота поросли, наличие пожароопасного мусора, строений, состояние пересечений с другими ВЛ и автодорогами, подтопления, заболоченность, состояние обваловки фундаментов опор и др.	Съемка высокого разрешения
Оценка состояния опор, тросостоек, траверс, стоек, оттяжек, фундаментов: изгибы, поломки, некомплектность	Съемка высокого разрешения; инфракрасная термография; регистрация ОИР
Оценка состояния проводов и контактных соединений: общий вид, геометрия положения; локальные перегревы проводов и шлейфов в местах контактных соединений; негабарит шлейфов, местные истирания, нарушения верхнего повива, места перекрытия	Съемка высокого разрешения; регистрация ОИР
Оценка состояния арматуры: перекосы и поломки распорок, гасителей вибрации, экранов, зажимов, лодочек и др.	Съемка высокого разрешения; регистрация ОИР
Оценка состояния изоляции: количество нулевых изоляторов, изгибы стержней, места перекрытия, степень загрязнения изоляции	Съемка высокого разрешения; регистрация ОИР
Оценка состояния тросов и тросовой изоляции: нарушения верхнего повива тросов, негабаритные размеры искровых промежутков на тросовых гирляндах	

Таблица 1

РЕГИСТРАЦИЯ ОИР КАМЕРОЙ «DAYCOR 11TM»

а — внешний вид; б — корона на зажиме ВЛ 500 кВ

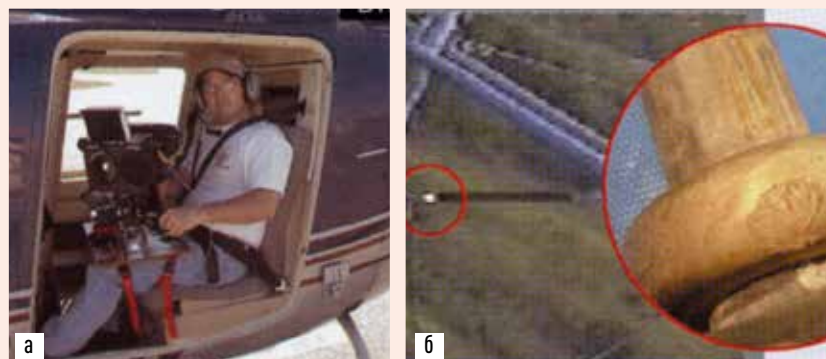


Рис. 1

соединений средствами инфракрасной термографии.

Третий вид – контроль внешнего вида конструктивных элементов ВЛ (в том числе не находящихся под напряжением) – проводится с помощью цифровых камер высокого разрешения. Перечень возможных задач, которые можно решить с помощью аэродиagnостики ВЛ, и методы их решения приведены в таблице 1.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ АЭРОДИАГНОСТИКИ ВЛ

РЕГИСТРАЦИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Первым стал применяться электромагнитный способ регистрации разрядных процессов [3], т. е. регистрация электромагнитного излучения (ЭМИР), сопровождающего разрядные процессы (корона или разряды на поверхности изоляции) с помощью антенн. Аппаратура и методика контроля ВЛ по характе-

ристикам ЭМИР в настоящее время получили широкое распространение более чем в 20 странах. Однако следует отметить два обстоятельства, затрудняющие прямой перенос этого опыта на аэроинспекцию российских ВЛ [4, 5].

Во-первых, зарубежные ВЛ спроектированы с большим запасом по начальному напряжению короны, поэтому коронируют на них только дефектные места. На российских ВЛ 220 кВ и выше корона на арматуре присутствует даже при нормальных погодных условиях. Поэтому выделить из общего электромагнитного фона корону именно от дефектного места непросто. Во-вторых, за рубежом облеты ВЛ производятся при скорости вертолета порядка 30 км/ч, а в требующих особого внимания местах вертолет зависает для более тщательной проверки наличия дефекта. Разумеется, это влечет за собой большой расход топлива и высокую стоимость аэроинспекции в целом. Напомним, что экономичной для вертолета МИ-8 и самолета АН-2 является крейсерская скорость 130–150 км/ч.

РЕГИСТРАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Самые лучшие результаты были получены в шведском НИИ STRI с помощью ультрафиолетовой камеры серии DayCor (рис. 1), выпускаемой в Израиле. Эта камера, как и камера CoroCam (ЮАР), может работать только в дневное время.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

Этот метод, несмотря на наличие хорошей аппаратуры, еще недостаточно широко используется из-за трудностей в отстройке от помех. В США, например, одна из ведущих фирм проводит только ночные аэроинспекции ВЛ с тепловизором. В шведском STRI с помощью тепловизора производят контроль только полимерных изоляторов.

СЪЕМКА КАМЕРАМИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В работе [6] описан французский опыт применения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) для обследования и оценки технического состояния стальных решетчатых опор ВЛ, находящихся в эксплуатации более 60 лет. На летательном аппарате была установлена фотокамера высокого разрешения. С устройством работали два оператора, один из которых осуществлял дистанционное управление БПЛА, а другой контролировал работу камеры, выбирая наиболее важные объекты съемки. Применение такой технологии позволило существенно повысить безопасность работ, обследовать фрагменты опор, недоступные для обзора с земли, документировать и хранить данные обследований. На основании анализа результатов обследований разрабатываются программы ремонта и восстановления работоспособности элементов конструкций, подверженных деградации, что позволит продлить срок службы отдельных опор и ВЛ в целом.

РОССИЙСКИЙ ОПЫТ АЭРОДИАГНОСТИКИ ВЛ

До настоящего времени этот опыт основывался на полетах специалистов по диагностированию технического состояния ВЛ на вертолетах МИ-8, МИ-8Т, Robinson и самолете АН-2.

РЕГИСТРАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Ценные исходные данные для разработки аппаратуры были получены в летных исследованиях электромагнитного излучения разрядных процессов от реальной ВЛ 500 кВ с помощью наружной электростатической антенны и подключенного к ней осциллографа [4]. Были установлены основные источники помех и показана возможность селекции полезных сигналов по полярности, временным характеристикам, форме сигнала и амплитуде. В результате исследований был разработан опытный образец комплекса ЛТ-2 [5] и проведены испытания этого комплекса при аэроинспекциях ВЛ 330, 500 и 750 кВ. Сформированы критерии дефектоскопии ВЛ по характеристикам электромагнитного излучения разрядных процессов. Наличие выявленных комплексом ЛТ-2 дефектов на обследованных ВЛ подтверждено видеосъемкой, наземными дневными осмотрами с биноклем и ночными осмотрами с помощью дефектоскопа «Филин».

РЕГИСТРАЦИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗРЯДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Российский электронно-оптический дефектоскоп «Филин-6» [5] обладает высокой чувствительностью и отличным пространственным разрешением

ЭПОГРАММЫ КРОНЫ НА ПОВРЕЖДЕННОЙ РАСПОРКЕ И ПРОВОДЕ (А) И НА НАБРОШЕННОЙ ПРОВОЛОКЕ (Б)

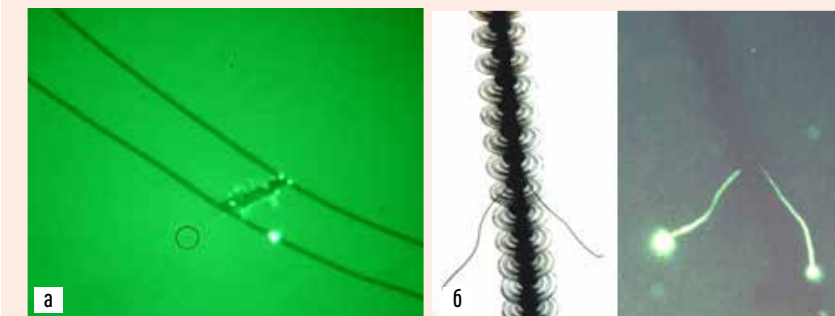


Рис. 2

ТЕРМОГРАММЫ ДЕФЕКТНОГО КОНТАКТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ШЛЕЙФА ВЛ 220 КВ, ПОЛУЧЕННЫЕ С ВОЗДУХА (А) И С ЗЕМЛИ (Б) ПРИ ОДИНАКОВОЙ НАГРУЗКЕ И МЕТЕОУСЛОВИЯХ

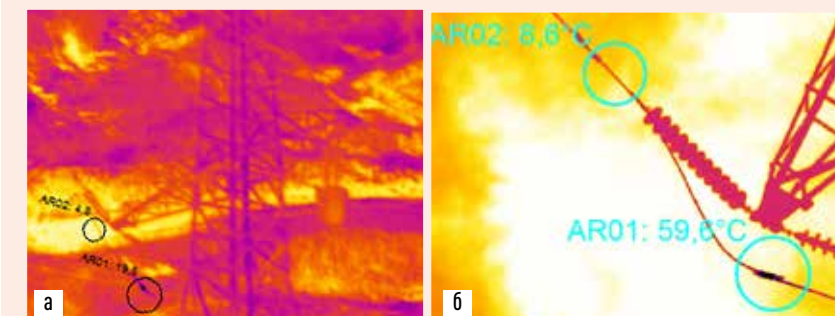


Рис. 3

(рис. 2), но может работать только при сумеречном свете или искусственном освещении. Поэтому его использование для дневных аэроинспекций оказалось невозможным. В связи с этим было предпринято несколько попыток использования ультрафиолетовой камеры DayCor SuperV. Была подтверждена принципиальная возмож-

ность регистрации разрядных процессов этой камерой. Однако в ходе испытаний выявился ряд проблем. К ним следует отнести, прежде всего, недостаточное пространственное разрешение камеры для регистрации разрядных процессов в ультрафиолетовой части спектра. Кроме того, из-за разности фокусных расстоя-

ЦИФРОВОЙ СНИМОК ОПОРЫ ВЛ 500 КВ С РАЗБИТЫМ ИЗОЛЯТОРОМ В ПРАВОЙ ГИРЛЯНДЕ

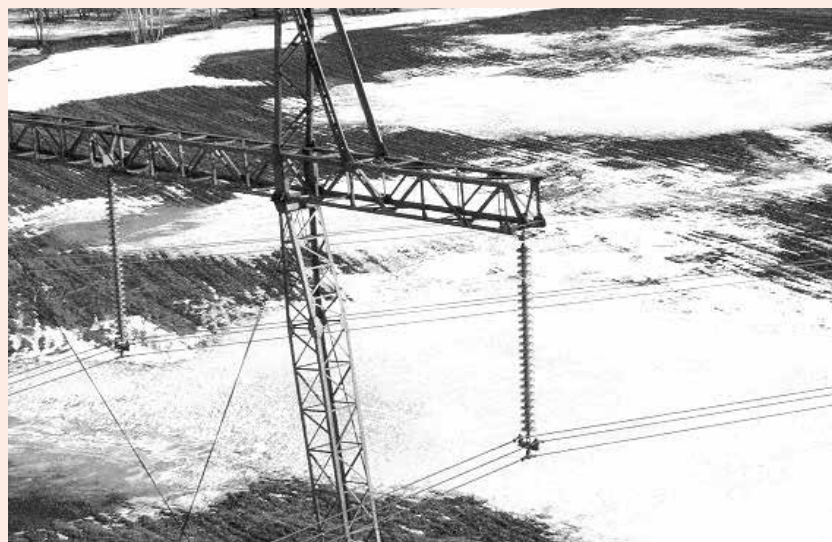


Рис. 4

ний оптических систем тепловизора и УФ-камеры оказалось невозможным совмещение функций регистрации ИК- и УФ-картин в одном полете. И, наконец, постоянно включенная автоматическая подстройка резкости УФ-камеры затрудняла регистрацию в режиме полета.

ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

К настоящему моменту накоплен большой опыт тепловизионного контроля линий электропередачи классов напряжения 220 и 500 кВ тепловизорами различных типов.

1. Полученные результаты позволили сформировать методические приемы проведения тепловизионного контроля при аэроинспекции, а именно:

- при обследовании обязательна нагрузка ВЛ 60–100 % от номинальной;
- оптимальное расстояние до линии составляет 20–30 метров;

- наиболее благоприятна для тепловизионного контроля пасмурная погода (или ночь);
- требуется предварительная настройка фокусного расстояния на земле;
- для расцветки термограмм лучше использовать палитру цвета побежалости;
- подстройку диапазона температур надо производить таким образом, чтобы нижняя граница была на несколько градусов ниже температуры окружающей среды, а верхняя граница – порядка 50 градусов.

2. Установлены следующие ограничения инфракрасного контроля:

- возможна только гиостабилизированная или ручная съемка (сильная вибрация при жестком закреплении не позволя-

- ла получить устойчивую картинку);
- из-за больших расстояний обнаруживались только дефекты с избыточным нагревом более 10 °С, а погрешность измерений достигала десятков процентов даже в относительно безветренную погоду (рис. 3);
- использовать можно только тепловизоры длинноволнового диапазона.

3. Выявлены также и ограничения тепловизора, отрицательно влияющие на качество обследования (недостаточная у ряда типов тепловизоров временная разрешающая способность, плохая работа механизма фокусировки и др.).

ЦИФРОВОЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЕ

В пробных полетах было опробовано несколько камер разных производителей. Наилучшее качество видеозображения показали модели фирмы Sony благодаря оптическому стабилизатору изображения. Определена оптимальная методика видеосъемки. Наилучшее качество фотоизображения показали Canon 5D Mark II. Использование профессиональных фотокамер позволяет получить снимки с разрешением 5 мм с расстояния 50–70 м от элементов ВЛ при ширине кадра 35 м (рис. 4).

Лучшее положение относительно солнца: ось визирования должна быть от солнца и под углом к нему. В этом случае обеспечивается наилучший контраст изображения проводов, изоляторов и других элементов ВЛ относительно фона подстилающей поверхности. Наилучший угол съемки — упреждающий, порядка 30–50 градусов к оси линии. Если воспользоваться последующей компьютерной обработкой видеоклипов, то можно

ПРОЦЕНТНОЕ СООТНОШЕНИЕ БПЛА ВЕРТОЛЕТНОГО И САМОЛЕТНОГО ТИПОВ

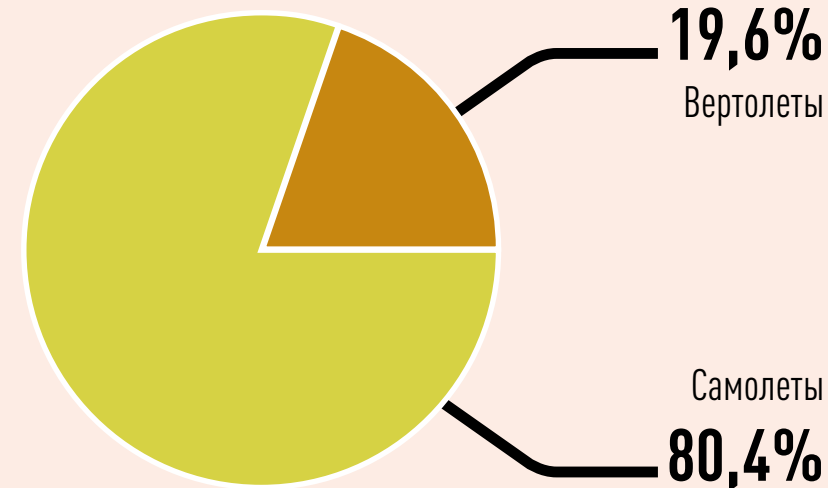


Рис. 5

улучшить качество изображения с помощью подстроек яркости, контрастности, перевода в негативный или черно-белый вид и т. д.

Вместе с тем были выявлены определенные недостатки и сложности видеосъемки. Вибрация воздушного судна, безусловно, снижает разрешающую способность, однако применение специальных виброгасящих креплений камеры с опцией Steady Shot позволяет улучшить качество изображения. При маневрировании вертолета на поворотах трассы ВЛ возможны пропуски в съемке отдельных опор ВЛ.

В ночное время была проведена экспериментальная съемка с фотовспышкой для оценки наличия обрывов проводов и набросов на ВЛ. Оказалось, что одной из проблем такой аэродиагностики ВЛ является длительное получение разрешений на аэрофотосъемку и дальнейшее рассекречивание кадров для возможности использования.

РАЗРАБОТКА «ЛЕТАЮЩЕЙ ЛАБОРАТОРИИ» НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Во многих отраслях топливно-энергетического комплекса в последние годы для мониторинга и обслуживания оборудования используются роботизированные комплексы. По данным Международной федерации робототехники, в 2008 году мировой рынок промышленной робототехники оценивался в 5 млрд евро. Количество роботизированных систем, введенных в эксплуатацию в 2013 году, составляет порядка 160 000 шт. [8]. По прогнозу федерации к 2020 г. рынок робототехники вырастет до 500 млрд евро. Многие крупные электросетевые компании, например, такие как канадская

Hydro-Québec, уже сегодня используют робототехнику, в частности беспилотные летательные аппараты.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА или БЛА) — это летательный аппарат без экипажа на борту. По данным UVS International [9], в настоящее время БПЛА производят в 52 странах мира, в том числе и в России. Мотивирующей идеей использования беспилотных летательных аппаратов явились более низкая стоимость летного часа (в сравнении с пилотируемой авиацией) и миниатюризация авионики — совокупности бортовой электроники.

БПЛА разделяются на классы в зависимости от массы, максимальной дальности и высоты полета. В электросетевом комплексе целесообразно использовать микро- и мини-БПЛА, вес которых составляет до 5 кг и 30 кг соответственно, а высоты полета ограничиваются потолком в 1000 м. На текущий момент различают два типа беспилотных летательных аппаратов: БПЛА вертолетного типа и БПЛА самолетного типа. Процентное соотношение этих типов аппаратов от общего количества произведенных БПЛА [10] представлено на рис. 5.

БПЛА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

Наиболее распространенный вариант — многороторная система с четырьмя/шестью/восемью роторами, вращающимися диагонально в противоположных направлениях (рис. 6).

БПЛА САМОЛЕТНОГО ТИПА

Наиболее распространенный вариант — аэродинамическая схема с фиксированным крылом (рис. 7).

Сравним эти два типа БПЛА (см. таблицу 2) по тактико-техническим и эксплуатационным характеристикам, таким как:



Рис. 6.
Внешний вид
беспилотного
летательного аппарата
вертолетного типа

- максимальная дальность полета — расстояние, преодолеваемое БПЛА от точки старта до точки посадки при расходе всего запаса топлива;
- максимальная продолжительность полета;
- способ запуска и посадки БПЛА;
- диапазон скорости полета;
- масса полезной нагрузки;
- время разворачивания комплекса в полевых условиях;
- количество человек в экипаже БПЛА.

Важной характеристикой БПЛА является способ его управления. Распространены следующие способы:

- **Ручное управление.** Производится с пульта дистанционного управления. Оператор выбирает скорость, курс и высоту полета, а также управляет полезной нагрузкой, закрепленной на БПЛА;
- **Автоматическое управление.** Производится по заранее подготовленному полетному заданию оператором на земле;
- **Полуавтоматическое управление.** Произво-

дится по заранее подготовленному полетному заданию с возможностью изменения при выполнении полета скорости, курса и высоты по команде оператора.

Особое внимание стоит уделить формированию полетного задания БПЛА над трассой ВЛ. В качестве исходных данных обычно используются GPS-координаты опор линий электропередачи, двумерные карты, габаритные размеры ВЛ, данные по рельефу местности в зоне полета. Такой подход делает процесс формирования полетного задания сложным, требую-

ВНЕШНИЙ ВИД БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЕТНОГО ТИПА

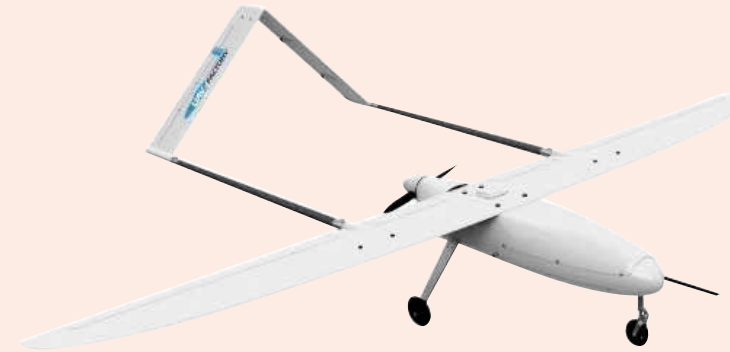


Рис. 7

щим продолжительного времени обучения персонала. К сожалению, существующие программные продукты не унифицированы с различными типами БПЛА. Создание программного обеспечения по формированию полетного задания данного процесса (например, автоматический выбор высот полета и расстояний до элементов конструкции ВЛ в зависимости от выбранного вида диагностики, отображение рельефа местности, нанесение 3D-моделей линий электропередачи) является важным пунктом, который предстоит отработать для использования БПЛА в энергетике. Пример выбора номеров опор и процесса автоматического построения полетного задания представлен на стр. 16.

Существенный объем работ по созданию летающей лаборатории на основе БПЛА связан с разработкой или выбором аппаратуры, имеющей минимальные массо-габаритные характеристики и энергопотребление.

Фотокамеры высокого разрешения и тепловизоры следует выбирать из имеющихся на рынке моделей. С регистратором оптического излучения разрядных процессов дело обстоит сложнее, т. к. ультрафиолетовых камер, сочетающих высокую чувствительность и пространственную разрешающую способность с функционалом записи информации в цифровом виде и при этом с имеющим малый вес и низкое энергопотребление, в настоящий момент нет. Исходя из этих критериев, был разработан такой регистратор.

Основная проблема создания регистратора была связана с разработкой объектива необходимой светосилы и фокусного расстояния. В качестве фотоприемника, как и в дефектоскопе «Филин-6», был выбран электронно-оптический преобразователь ЭП-27. С его экрана изображение контролируемого объекта переносится на матрицу записывающей камеры. Таким образом осуществляется непрерывный контроль изображения обследуемой ВЛ. Лабораторные

испытания макетного образца новой модели позволили установить, что чувствительность регистрации будет не ниже 1 нКл при расстоянии до очага разрядов в 50–100 м.

МЕТОДИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОИНСПЕКЦИИ ВЛ

В ходе летных испытаний отработаны требования к режиму полета и основные методические приемы аэродиагностики.

Высота и боковое смещение от крайней фазы обследуемой ВЛ должны быть порядка 30–40 метров. Для получения детальной записи внешнего вида и повышения информационной емкости и надежности выявления дефектов желателен облет линии в обоих направлениях.

Не рекомендуется производить инспекцию при изморози и резкой смене температуры воздуха. Температура и давление воздуха не регламентируются, однако при интерпретации результатов их значения должны быть учтены. Рекомендуется производить полеты при отсутствии осадков и порывистого ветра.

Окончательный анализ информации производится в камеральных условиях:

- анализ цифровых записей внешнего вида ВЛ для определения общего состояния трассы ВЛ, количества нулевых изоляторов в подвесках, ремонтных муфт, распорок, визирования провода, дефектов опор, наличия всех уголков на них и т. д.;
- выделение мест разрядных процессов с интенсивностью, отличающей-

СРАВНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БПЛА

Эксплуатационные характеристики	БПЛА вертолетного типа	БПЛА самолетного типа
Количество применений, раз	-	100*
Количество операторов, чел.	1	2
Время разворачивания, мин.	5	30
Время подготовки к повторному пуску, мин.	5	30
Метод запуска	Вертикальный	С катапульты**
Метод посадки	Вертикальный	Автоматический с парашютом, автоматический на шасси
Площадь площадки запуска/посадки, кв. м	5 x 5	70 x 70

Таблица 2

Тактико-технические характеристики	БПЛА вертолетного типа	БПЛА самолетного типа
Максимальная масса полезной нагрузки, кг	3	4
Диапазон скоростей полета, км/ч	0—54	65—120
Максимальная продолжительность полета, мин.	90	480
Тип двигателя	Электрический	Электрический, ДВС
Навигационная система	ГЛОНАСС/GPS	ГЛОНАСС/GPS

Таблица 3

*Среднее значение
**Транспортировка катапульты возможна только на грузовом автомобиле

ся от средних уровней в 2 и более раз. Особо отмечаются замеры, в которых повышенная интенсивность ОИР была зафиксирована в обоих направлениях полета; анализ термограмм проводов и шлейфов, арматуры, изоляции и элементов опор; по меткам времени и снимкам высокого разрешения идентифицируются участки и элементы ВЛ,

на которых зарегистрированы нагревы и разрядные процессы повышенной интенсивности; тщательный анализ снимков. Уточняется вид и место расположения дефекта. Если вид дефекта на записи не определяется, принимается решение о необходимости подробного наземного осмотра данного пролета или опоры ВЛ; оформляется протокол аэроинспекции.

Важнейшей задачей является создание систем автоматизированной обработки результатов воздушной инспекции ВЛ и предоставление данных с трех типов диагностики в одном программном продукте, обеспечивающем:

1) автоматическую фотограмметрическую обработку фотоснимков для определения пространственного положения кадров и получения двумерных и трехмерных данных трассы ВЛ;

2) идентификацию пролетов и опор с обнаруженными дефектами;

3) хранение снимков, термограмм и эпограмм в базе данных с произвольным доступом по номеру опор, временным параметрам;

4) интеграцию с корпоративными ГИС-системами с возможностью просмотра в ГИС результатов инспекции;

5) возможность интеграции с автоматизированными комплексами, используемыми для планирования технического обслуживания и ремонтов;

6) возможность добавления данных наземной инспекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аэросканирование ВЛ незаменимо при их эксплуатации, строительстве и капитальном ремонте. В рамках трех методов диагностики можно получить квалифицированное заключение о состоянии воздушных линий электропередачи и определять необходимые мероприятия для продления срока их службы и обеспечения надежной работы.

Учитывая продолжительное время подготовки к старту БПЛА самолетного типа в полевых условиях, использование такого типа беспилотника возможно при проведении очередных и внеочередных осмотров ВЛ, в то время как незначительные массо-габаритные характеристики БПЛА вертолетного типа позволяют без труда транспортировать его в легковом автомобиле, а быстрота разворачивания в полевых условиях – дополнять наземный осмотр воздушной инспекцией, в том числе в труднодоступных участках трассы ВЛ, и тем самым повышать оперативность реагирования и сокращать время

устранения аварий и иных внештатных ситуаций на объектах ЕНЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение об экспертной системе контроля и оценки состояния и условий эксплуатации воздушных линий электропередачи 110 кВ и выше. РД 153 – 34.3 – 20.524 – 00. – М.: РАО «ЕЭС России», 2000.
2. Web-сайт компании «ОПТЭН лимитед»: <http://www.opten.cnt.ru>
3. Gres P. Line fault detection gets European twist // Electrical World. – 1988. – #10. – С. 58–59.
4. Дикой В.П., Овсянников А.Г. Электромагнитная аэроинспекция воздушных линий электропередачи // Электрические станции. – 1999. – № 3. – С. 43–48.
5. Дикой В.П., Овсянников А.Г., Щетинин В.В. Аппаратура для диагностики линий электропередачи при воздушных облетах // Энергетик. – 2000. – № 2.
6. Renier F. Lattice tower corrosion inspection with UAV / Proceedings of 44th CIGRE Session, Paris, 2012. – Paper B2–303.
7. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. – Новосибирск: Наука, 2009. – 137 с.
8. Web-сайт Международной федерации робототехники: <http://www.ifr.org>
9. Web-сайт Международной ассоциации беспилотных систем: <http://uvs-international.org>
10. 2009/2010 UAS Yearbook – UAS: the Global Perspective – 7th Edition – June 2009 – Copyright Blyenburgh & Co, p. 168.

РАЗРАБОТКА И ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ



ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ



ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ



АНАЛОГОВЫЕ ПРИБОРЫ



г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 3
Телефон: (8352) 399-918, 399-962
e-mail: marketing@elpribor.ru
www.elpribor.ru