

# ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

**В.К. Барбасов** («СЪЕМКА С ВОЗДУХА»)

В 2014 г. окончил факультет картографии и геоинформатики МИИГАиК по направлению «картография и геоинформатика». После окончания университета работает в ООО «СЪЕМКА С ВОЗДУХА», в настоящее время — руководитель инновационных проектов.

Мониторинг воздушных линий электропередачи (ЛЭП) при помощи беспилотных авиационных систем (БАС) достаточно новое, но перспективное направление. На участках линий электропередачи, находящихся в труднодоступных местах, обследование наземными методами может затянуться на несколько дней или даже недель, а с помощью БАС — займет несколько часов.

Целью данной статьи является проведение сводного анализа экономической эффективности и технических решений использования БАС для мониторинга ЛЭП с воздуха. При этом юридические аспекты такого способа обследования ЛЭП не рассматриваются.

Перечислим основные виды работ, для которых возможно применение беспилотных систем:

- плановая диагностика — облет, наблюдение и фотографирование ЛЭП на малых и средних высотах, инспекция состояния ЛЭП и их охранных зон, выявление дефектов и нарушений, определение пространственных нарушений (в плане и по высоте) габаритов просеки и проводов;

- аварийно-восстановительные работы — облет ЛЭП на средних высотах при различных

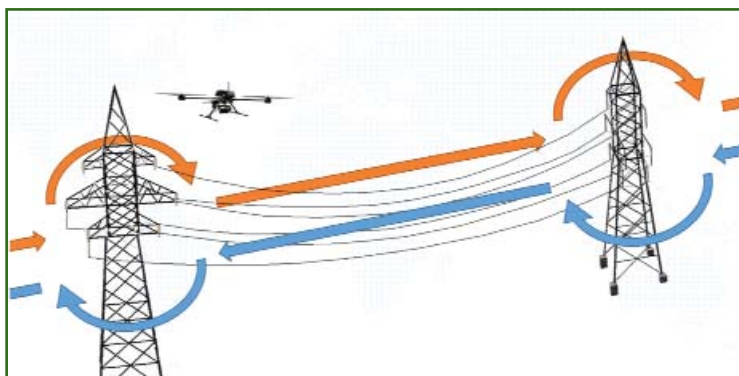
метеоусловиях, с использованием фотовспышки или тепловизора в ночное время;

- топографо-геодезические работы — создание цифровых топографических и кадастровых планов, трехмерных моделей местности и линий электропередачи, сопровождение работ по строительству и реконструкции ЛЭП.

Мониторинг ЛЭП с помощью БАС является безопасным, так как полет осуществляется на малых высотах и без экипажа на борту. Кроме того, существует еще ряд преимуществ: возможность съемки в сложных метеоусловиях и получение полной и документированной информации, т. е. ЛЭП обследуется на всей протяженности, съемка осуществляется с разных ракурсов (рис. 1), а полученные

снимки имеют высокое разрешение.

В России для мониторинга ЛЭП применяются БАС на основе беспилотных летательных аппаратов (БЛА) самолетного и мультироторного типов [1]. Среди БАС самолетного типа (рис. 2) следует отметить следующие: Геоскан 101 и Геоскан 201 (ГК «Геоскан», Санкт-Петербург), Суперкам 100F, Суперкам 250F и Суперкам 350F («Финко», Ижевск) и Птеро-GO («АФМ-Серверс»), а среди БАС мультироторного типа (рис. 3). — Геоскан 401 (ГК «Геоскан»), Суперкам X8 («Финко») и Форпост X6 [2–5]. В табл. 1 приведены основные технические характеристики БЛА самолетного и мультироторного типов и стоимость беспилотных авиационных систем на их основе, вклю-



**Рис. 1**

Схема мониторинга ЛЭП с помощью БАС мультироторного типа



Рис. 2

Основные БАС самолетного типа, используемые в России для обследования воздушных ЛЭП: а) Птеро-60; б) Суперкам 350F; в) Геоскан 201



Рис. 3

Основные БАС мультироторного типа, используемые в России для обследования воздушных ЛЭП: а) Геоскан 401; б) Суперкам X8; в) Форпост X6

чая программное обеспечение (ПО) для обработки материалов аэрофотосъемки, по данным [5].

По результатам аэрофотосъемочных работ воздушных линий электропередачи с помощью БАС можно получить снимки высокого разрешения, на которых хорошо различимы опоры, провода, изоляторы, состояние растительности и подстилающей поверхности в охранной зоне трассы ЛЭП (рис. 4 и 5).

Цифровые снимки, полученные с помощью БАС, позволяют проанализировать достаточно

большое число дефектов, таких как:

1. Дефекты опор — отсутствие, отрыв, деформация элементов металлических опор; разрушение верхнего слоя и деформация железобетонных опор; отклонение опор от вертикали; разворот, деформация траверсов на железобетонных опорах; отсутствие натяжения внутренних стяжек и тросовых растяжек; падение, повреждение опор.

2. Дефекты проводов, линейной и сцепной арматуры — раз-

рушение 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.

3. Дефекты на трассе — наличие опасной для эксплуата-

Дальность действия БЛА и стоимость БАС на их основе

Таблица 1

Тип БЛА	Наименование	Максимальная дальность действия (с возвратом в точку старта), км	Стоимость БАС (включая ПО для обработки), тыс. руб.
Мультироторный	Геоскан 401, Суперкам X8M, Форпост X6	10	1500–2000
Самолетный, малого радиуса действия	Геоскан 101, Суперкам 100F	35	1000–1400
Самолетный, среднего радиуса действия	Геоскан 201, Суперкам 250F	100	1400–2000
Самолетный, большого радиуса действия	Суперкам 350F Птеро-60	135 300	От 2000 От 4000

**Примечание.** Стоимость приведена для БАС, оснащенных цифровыми фотокамерами с размером результирующего кадра (разрешением) 24 Мпикселя.



Рис. 4

Изолятор опоры ЛЭП на снимке, полученном с помощью БАС Геоскан 401



Рис. 5

Упавшая опора на снимке с разрешением пикселя на местности 0,7 см, полученном с помощью БАС Птеро-60

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

Согласно расчетам затрат на мониторинг воздушных ЛЭП, приведенным в табл. 2, использование БАС эффективнее по сравнению с наземными методами по следующим показателям:

- общая стоимость обследования 1 км ЛЭП сокращается в 6 раз;

- время на обследование 1 тыс. км ЛЭП сокращается на 58 дней.

Обнаружение дефектов ЛЭП путем просмотра снимков специалистом — достаточно трудоемкая задача, однако для определения большинства из них этот способ пока единственный. Для уменьшения объема ручного просмотра фотоматериалов и увеличения практической пользы данные, собранные с помощью БАС, передаются в геоинформационную систему (ГИС), в которой объединяются в единой базе данных с привяз-

кой к местности. Кроме того, в ГИС можно проводить качественный и количественный анализ местности и осуществлять быстрый доступ к результатам обследования (описанию обнаруженных дефектов), фотоизображениям обнаруженных дефектов и трехмерным моделям местности и линий электропередачи.

Такая технология разработана специалистами ГК «Геоскан» и включает следующие этапы. БАС в автоматическом режиме выполняет аэрофотосъемку воздушных ЛЭП. Затем снимки с пространственными координатами привязки центров фотограмметрического программного обеспечения, в котором изображения автоматически ортотрансформируются и объединяются в ортофотоплан. Полученный ортофотоплан экспортируется в ГИС, где происходит анализ полученных данных.

Технологии мониторинга воздушных линий электропередачи беспилотными авиационными системами ГК «Геоскан» и других компаний будут представлены в отдельных статьях.

Для повышения качества и надежности определения де-

фектов воздушных линий электропередачи при их обследовании с помощью БАС в качестве полезной нагрузки кроме цифровых камер, работающих в оптическом диапазоне, могут быть использованы и другие типы измерительной аппаратуры, позволяющие получать видеоизображения в режиме реального времени, снимки в инфракрасном (ИК) и ультрафиолетовом (УФ) диапазонах, либо облака точек лазерных отражений.

Рассмотрим подробнее особенности и возможности этой аппаратуры дистанционного зондирования воздушных линий электропередачи.

Обследование ЛЭП с помощью БАС самолетного типа с передачей видеоизображения в режиме реального времени на пульт оператору, в первую очередь, имеет смысл проводить для оперативного контроля состояния воздушных линий электропередачи, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций. Однако большинство дефектов с высоты 200 м плохо различимы, поскольку разрешение изображений, получаемых с помощью видеокамеры в формате Full HD, составляет всего 2 Мпикселя (1920x1080 пикселя), что в 12 раз меньше,

## Затраты на мониторинг воздушных ЛЭП наземными методами и с помощью БАС Геоскан 201

Таблица 2

Наименование параметра	Наземные методы	БАС Геоскан 201
Количество исполнителей в рабочей группе	3	2
Зарботная плата, руб.		
— сотрудника в месяц	30 000	45 000
— группы в день	3913	3913
Количество рабочих часов в день	8	5
Скорость обследования:		
— км/ч	2	85
— км/день*	16	191
Зарботная плата сотрудников на обследование 1 км ЛЭП, руб.	245	20
Стоимость БАС, руб.**		1 500 000
Стоимость эксплуатации БАС***, руб.:		
— 500 взлетов/посадок		500 000
— в течение 1 дня****		4000
— при обследовании 1 км ЛЭП****		21
Общая стоимость обследования 1 км ЛЭП, руб.	245	41
Время обследования 1 тыс. км ЛЭП, дней	63	5
Стоимость обследования 1 тыс. км ЛЭП, руб.	244 565	41 375

**Примечания:**

\* Общее расстояние полета предусматривает полет БАС в одну и другую сторону (в нем не учтено расстояние на маневры над ЛЭП, которое зависит от кривизны ЛЭП и частично от скорости ветра). При углах поворота около 12–15° БАС вынужден пролететь этот участок, совершив маневр (петлю). При экстремальных температурах и сильном ветре полетное время снижается. Использование в дождь не вредит БАС, однако может негативно сказаться на качестве получаемых фотоматериалов.

\*\* Цены взяты с сайта [5] и актуальны на конец 2015 г.

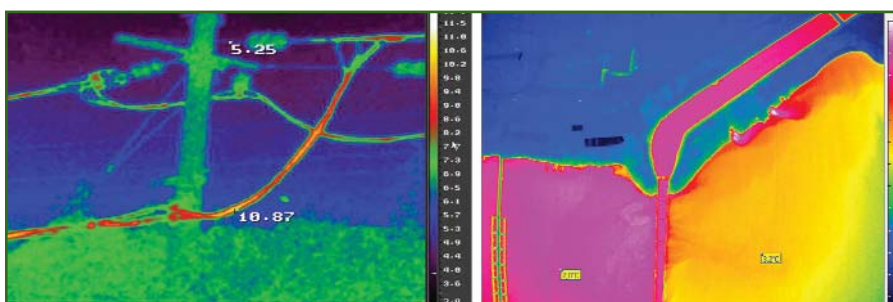
\*\*\* Не учтены расходы на транспорт и другое оборудование.

\*\*\*\* Полная амортизация оборудования рассчитана на эксплуатацию в течение трех лет при следующих условиях: 2 взлета/посадки в день в течение 250 дней.

чем у снимков, полученных цифровой камерой Sony RX-1, активно применяемой для аэрофотосъемки. При этом возможное расстояние передачи видеозображения составит не более 30 км, в противном случае БАС необходимо будет поднимать выше для увеличения дальности передачи. Видео-

съемка верхних элементов опоры ЛЭП может быть выполнена при помощи беспилотного летательного аппарата мультироторного типа, оборудованного камерой типа GoPro, с расстояния 3–5 м, и не потребует привлечения подъемника или вертолета, а также отключения напряжения на линии.

При ИК-съемке ЛЭП тепловизором получаемые изображения обладают хорошей чувствительностью (0,1–0,3 К), но невысоким разрешением (640x480 пикселей) (рис. 6). Поэтому по изображениям, полученным при высоте полета 200 м с помощью тепловизора, установленного на БАС самолетного типа, можно выявлять такие нарушения, как подтопление в охранных зонах, разрушение опор, нагрев значительной площади (около 1 м<sup>2</sup>), например, перегрев крупных трансформаторов, пожары. Для обнаружения нарушений на площади менее 1 м<sup>2</sup> разрешения этих изображений будет недостаточно. Съемка элементов ЛЭП при помощи тепловизора, установленного на БАС мультироторного типа, оптимальна,

**Рис. 6**

Пример изображения, полученного при ИК-съемке тепловизором: с земли (слева), с БАС Птеро-ГО (справа)

если ее невозможно выполнить наземными методами.

Изображения в ультрафиолетовом спектре при обследовании ЛЭП могут быть получены с помощью УФ-камеры, которая работает в диапазоне 240–280 нм (UVC). В этом диапазоне солнечная радиация поглощается атмосферным озоном, что делает возможным наблюдение частичных поверхностных разрядов (короны) при естественном освещении. Некоторые виды дефектов могут быть выявлены только в ходе съемки УФ-камерой (рис. 7). Для этого 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 одни источники разрядной активности останутся незамеченными, а на других — будут зафиксированы пиковые значения разрядной активности, на порядок превышающие средние значения. Проблема необходимости оставаться в одной точке во время экспонирования кадра может быть решена за счет применения БАС мультироторного типа.

Обследование ЛЭП с помощью БАС, оснащенных воздушными лазерными сканерами, имеет ряд ограничений. Лазерные сканеры с небольшой массой, выпущенные специально для использования на БАС,

имеют ограничения по дальности измерения — 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 БАС самолетного типа (рис. 8). Использование такой сканирующей системы на БАС мультироторного типа вполне возможно.

В мире прослеживается тренд по созданию автономных мониторинговых систем с автоматизированными станциями обслуживания беспилотных авиационных систем мультироторного типа. Одну из таких систем предлагает компания «СЪЕМКА С ВОЗДУХА». Система AeRod позволяет на специально оборудованных станциях обслуживания, размещаемых на опорах ЛЭП или других подвешенных объектах, осуществлять автоматические взлет/посадку и подзарядку БАС мультироторного типа (рис. 9) [5].

В заключение следует отметить, что применение беспилотных авиационных систем, особенно в труднодоступных районах и при чрезвычайных ситуациях, является одним из лучших средств получения оперативной информации о состоянии воздушных ЛЭП. Использование этих данных позволяет компаниям, занимающимся эксплуатацией воздушных ЛЭП, анализировать состояние проводов, опор, просек и т. д. и принимать



Рис. 7  
Коронные разряды в УФ-спектре



Рис. 9  
БАС мультироторного типа на станции обслуживания системы AeRod

правильные управленческие решения, основываясь на точных фактах, а не на субъективном мнении специалиста, осматривающего ЛЭП. Мониторинг воздушных ЛЭП с помощью БАС является гораздо более оперативным, достоверным и экономически выгодным по сравнению с наземными методами контроля.

#### ▼ Список литературы

1. Барбасов В.К., Гречищев А.В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. — 2014. — № 8. — С. 27–31.
2. ГК «Геоскан». — [www.geoscan.aero](http://www.geoscan.aero).
3. Группа компаний «Беспилотные системы». — <http://unmanned.ru>.
4. Компания «АФМ-Серверс». — <http://ptero.ru>.
5. Компания «СЪЕМКА С ВОЗДУХА». — <http://съемкасвоздуха.рф>.

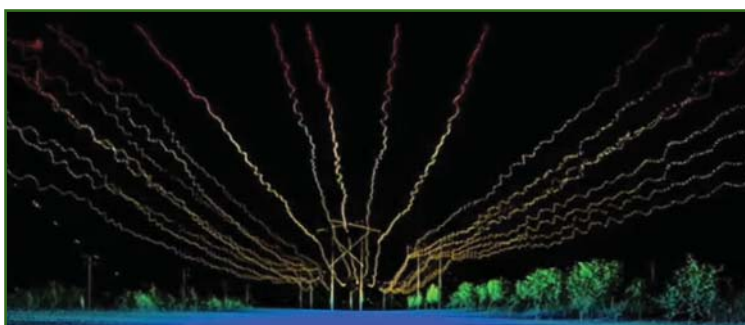


Рис. 8  
Облако точек лазерных отражений, полученное при съемке ЛЭП