

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В. А. ШПЕНСТ, О. Ю. МОРОЗОВА, А. А. БЕЛОШИЦКИЙ

*Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Shpenst@sptmi.ru, Morozik94@yandex.ru, s190271@stud.sptmi.ru*

Беспилотные авиационные системы позволяют быстрее и дешевле выполнять плановую и экстренную диагностику объектов электроэнергетики, чем традиционные методы осмотра с помощью бригад рабочих. Переход на новую технологию требует глубокого изучения доступных на рынке беспилотных летательных аппаратов и подбора оптимальных устройств для диагностики различных элементов энергосетей. Существует множество способов получения информации о дефектах объектов электроэнергетики. Результаты осмотра во многом зависят от аппаратуры, используемой в беспилотной авиационной системе. Рассмотрены различные виды устройств, предназначенных для получения информации с беспилотных летательных аппаратов, и сделаны выводы об оптимальном их выборе для решения тех или иных задач диагностики элементов энергосетей.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, камера высокого разрешения, тепловизор, ультрафиолетовый дефектоскоп, лазерный дальномер, георадар, объекты электроэнергетики, дефекты объектов электроэнергетики

Введение. Диагностика объектов электроэнергетики с помощью беспилотных авиационных систем (далее БАС) является перспективным направлением развития методов поиска дефектов различных элементов электросетей.

Рынок гражданских беспилотных воздушных судов (далее БВС) в России развивается и может предложить множество профессиональных моделей мультироторного и самолетного типа („ГК Геоскан“, „ZALA AERO“, „ГК Беспилотные системы“).

В процессе выбора БВС наиболее важно определить оптимальную полезную нагрузку, с помощью которой будет проводиться осмотр объектов электроэнергетики. Выбранная аппаратура должна работать как комплекс устройств, дающий достаточную для определения дефектов информацию.

В зависимости от конкретных задач в БАС могут использоваться камеры высокого разрешения, тепловизоры, ультрафиолетовые дефектоскопы, лазерные дальномеры и георадары.

Для оптимального выбора аппаратуры необходимо знать достоинства и недостатки каждого вида устройств.

Камеры высокого разрешения входят в большинство базовых комплектаций гражданских БВС („Геоскан 201 Базовый“ — Sony A6000; „Геоскан 401 Геодезия“ — Sony RX1R II; „ZALA 421-16E HD“ — Z-16VHD60 [1, 2]) и позволяют получать качественные изображения с целью обработки в ПО для аэрофотосъемки (Agisoft PhotoScan, Photomod).

Доступные для диагностики дефекты [3, 4]:

- отклонение от вертикали опор линий электропередач (ЛЭП);
- падение, повреждение, деформация опор;
- наличие строений, деревьев, мусора в охранных зонах ЛЭП;
- провисание проводов, обрывы;
- разрушение элементов стеклянных и фарфоровых изоляторов;
- пожары, наводнения вблизи элементов энергосетей.

Достоинства:

- простота эксплуатации и обработки полученных результатов;
- возможность создания 3D-моделей с помощью полученных изображений (ПО от Agisoft [5]);
- компактность: Tamron MP1110M-VC — масса 77 г, Sony Cyber shot DSC RX1 RM2 — 482 г, при том, что для многих гражданских БАС значение полезной нагрузки больше или равно 0,8—1 кг [1, 2, 6];
- камеры высокого разрешения позволяют проводить экстренную диагностику при чрезвычайных ситуациях [3].

Недостатки:

- требуется подбирать угол относительно солнца, чтобы изображение не было засвечено;
- невозможно проводить диагностику в темное время суток;
- необходимо получать разрешения на аэрофотосъемку и дальнейшее рассекречивание кадров для возможности использования [4].

Камеры высокого разрешения являются оптимальным решением в качестве полезной нагрузки на гражданских БВС, проводящих диагностику объектов электроэнергетики. Их использование доступно и оправдано при выполнении любой задачи как в качестве основного средства сбора информации о элементах энергосетей, так и в качестве дополнительного устройства: при построении 3D-моделей с лазерными дальномерами; при получении изображений видимого спектра, если на БВС установлены УФ- или ИК-камеры.

Тепловизоры отражают информацию о температуре элементов энергосетей, позволяя не только находить дефекты, но и предотвращать их (температура мест износа предохранителей и трансформаторов выше номинальной [7]).

Гражданские БВС редко имеют камеры ИК-диапазона в базовой комплектации, поэтому их нужно приобретать отдельно (mIR-640C17S — 400 000 руб.; малогабаритный mIR-j640C17S — 220 000 руб.; FLIR Tau 2 640 — 516 890 руб. [6, 8]).

Доступные для диагностики дефекты [4, 7]:

- места перегрева элементов энергосетей, характеризующиеся потерей электроэнергии (высокая температура проводов, контактных соединений, трансформаторов, предохранителей);
- местные истирания проводов, нарушения верхнего повива.

Достоинства:

- возможность получения информации о перегревах элементов энергосетей;
- компактность тепловизоров сравнима с компактностью камер высокого разрешения: mIR-640C17S — масса 110 г, малогабаритный mIR-j640C17S — 100 г, масса FLIR Tau 2 640 в зависимости от установленного объектива — от 70 до 479 г [6];
- съемка с тепловизора может проводиться в любое время суток;
- съемка с БВС позволяет осмотреть больше элементов энергосетей, чем при использовании ИК-камер с земли.

Недостатки:

- зависимость показаний устройства от температуры окружающей среды и погодных условий;
- разрешение матриц не превышает 640×480 (640×512): малогабаритный mIR-j640C17S — 640×480, FLIR Tau 2 640 — 640×512, FLIR Duo — 160×120 [6];
- из-за низкого разрешения диагностику небольших объектов необходимо выполнять с близкого расстояния, что усложняет построение маршрута и требует использования БВС только мультироторного типа (если производить осмотр с помощью тепловизора с матрицей 640×480 на высоте 200 м, для рассмотрения дефектов площадью менее 1 м² не хватит разрешения [3]);

— получаемые изображения могут быть только монохромными или псевдоцветными, что усложняет их дешифровку при отсутствии эталонной базы или достаточного опыта у оператора [9].

Тепловизоры являются незаменимым средством выявления дефектов объектов электроэнергетики. Их установка на БВС позволяет проводить работы быстрее, а также получать информацию о состоянии расположенных высоко элементов.

Из-за низкого разрешения устройств целесообразно использовать ИК-камеры вместе с камерами видимого спектра, получая информацию о температуре и внешнем виде диагностируемых объектов.

Ультрафиолетовые дефектоскопы. Ультрафиолетовые камеры работают в диапазоне, в котором солнечная радиация поглощается атмосферным озоном. Это уникальное свойство позволяет проводить оценку состояний элементов электрооборудования на наличие поверхностных зарядов.

Примеры УФ-камер, используемых с гражданскими БВС: RT-2400UV — 0,45 кг, наличие „солнечно слепого“ фильтра; DayCor ROMраст — 1,4 кг, „солнечно слепой“ фильтр, встроенный канал видимого спектра; CoroCAM 8 — 1,6 кг (система с гироскопической подвеской Gremsy T3 — 2,7 кг), „солнечно слепой“ фильтр, встроенные каналы видимого и инфракрасного спектров [6, 10, 11].

Доступные для диагностики дефекты [12]:

- коронные разряды на линиях воздушной электропередачи;
- предупреждение аварий и потерь электроэнергии от коронных зарядов при эксплуатации опорно-стержневой, подвесной изоляции, линейной арматуры, проводов и других объектов электроэнергетики.

Типичные причины возникновения коронных разрядов [11]:

- разорванные или поврежденные жилы проводника;
- поврежденные диски изолятора;
- искровые промежутки на незакрепленных клеммах;
- загрязнение на проводниках или изоляторах;
- отсутствие или повреждение коронирующих колец.

Достоинства:

- возможность получения информации о коронных зарядах;
- мультиканальные модели (DayCor ROMраст, CoroCAM 8) позволяют получать информацию о большинстве видов дефектов элементов энергосетей;
- съемка с УФ-дефектоскопа при наличии „солнечно слепого“ фильтра может проводиться в любое время суток;
- съемка с БВС позволяет осмотреть больше элементов энергосетей, чем при использовании УФ-камер с земли.

Недостатки:

- УФ-дефектоскопы весят в среднем больше, чем камеры высокого разрешения и тепловизоры;
- так как потери мощности могут происходить и в местах без повреждений (на российских линиях воздушной электропередачи 220 кВ и выше корона на арматуре присутствует даже при нормальных условиях), диагностика УФ-камерой требует медленного осмотра всех участков объекта с частыми зависаниями БВС в воздухе на 5—10 с [3, 4];
- использование дефектоскопов требует БВС только мультироторного типа.

Ультрафиолетовые дефектоскопы не настолько универсальные устройства, как камеры высокого разрешения и тепловизоры, однако при установке на БВС эти приборы показывают себя оптимальным средством нахождения мест потерь мощности на труднодоступных участках воздушных ЛЭП. Дополнительно их использование оправдано мультиканальностью некоторых моделей.

Лазерные дальномеры. Принцип работы лазерных дальномеров: излучение направляется на объект, отражается от него и возвращается обратно в приемник, после чего в устройстве определяется расстояние до объекта. Имея угол обзора 360° , можно получить облако точек окружающей среды [13].

Специальное ПО (Agisoft Metashape, Terra Solid, CloudCompare) создает из собранных лазерным дальномером данных 3D-модель исследуемой местности [1].

Примеры лазерных дальномеров, используемых с гражданскими БВС: RIEGL MINIVUX-1UAV — 1,6 кг, дальность измерений до 100 м, угол обзора 360° ; АГМ-МС3 — от 1,25 до 1,6 кг, дальность до 200 м, угол 360° ; PUCK VLP-16 — 0,83 кг, до 100 м, 360° [6]. На рынке гражданских БВС есть варианты с лазерными дальномерами: “Геоскан 401 Лидар” — лазерный сканер АГМ-МС1 или АГМ-МС3 [1].

Доступные для диагностики дефекты:

- крупные повреждения элементов энергосетей;
- отклонение от вертикали или падение опор ЛЭП;
- наличие строений, деревьев, мусора в охранных зонах ЛЭП.

Достоинства:

- высокая точность обнаружения (несколько сантиметров на расстоянии 100 метров) [13];
- использование лазерного дальномера вместе с камерой высокого разрешения позволяет получить более подробную 3D-модель местности и диагностируемых элементов энергосетей, чем при использовании только камеры высокого разрешения [1].

Недостатки:

- качество показаний зависит от пропускания атмосферы (прибор считывает время, за которое лазер отражается от непрозрачной среды) [13];
- масса лазерного дальномера зачастую превышает 1 кг (RIEGL MINIVUX-1UAV — 1,6 кг, АГМ-МС3 — от 1,25 до 1,6 кг), что ограничивает выбор гражданских БВС для использования с этим устройством.

При установке на БВС лазерного дальномера оптимальным является его использование в связке с камерой высокого разрешения для получения качественных и подробных 3D-моделей диагностируемой местности.

Георадары. Принцип работы георадаров заключается в использовании широкополосных импульсов электромагнитных волн для исследования почвы (картирования объектов подземной инфраструктуры, поиска захороненных объектов). Во многих случаях данные устройства, установленные на гражданские БВС, ускоряют работу персонала и делают ее безопасной, если полевые условия обусловлены топографическими сложностями [6].

Примеры георадаров, устанавливаемых в БАС: SPG-1600 — 0,991 кг; Radarteam Cobra Plug-in — 3,7 кг с антенной SE-70, 3,5 кг с антенной SE-150; Zond-12e 500A — 3,3 кг [6, 14, 15].

Доступные для диагностики дефекты:

- обнаружение точного положения подземных кабелей в случае аварии.

Достоинства [16]:

- с помощью системы георадар—БВС возможно проводить работы быстрее, чем при использовании устройства на наземной тележке;
- использование прибора не ограничивается погодными условиями и временем суток.

Недостатки [16]:

- из-за малой проникаемости электромагнитных импульсов БВС требуется держать на малой высоте, что опасно при использовании самолетного типа (таким образом, требуется использование мультироторного типа БВС);
- невозможность снятия данных при полете над лесом;
- использование прибора для диагностики элементов энергосетей ограничено подземными кабелями;

— большая масса большинства моделей.

При осмотре объектов электроэнергетики с помощью БАС использование георадаров неоправдано, так как их основные свойства не подходят для диагностики абсолютного большинства дефектов элементов энергосетей.

Заключение. Во время диагностики объектов электроэнергетики с помощью БАС необходимо использовать различные виды аппаратуры. Наиболее полезными являются камеры высокого разрешения и тепловизоры, с помощью которых возможно выявление большого количества разных видов дефектов. При осмотре объектов электроэнергетики также востребованы ультрафиолетовые дефектоскопы и в меньшей степени лазерные дальномеры. Георадары при диагностике элементов энергосетей не требуются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Geoskan [Электронный ресурс]: <<https://www.geoscan.aero/ru/>>.
2. Zala Aero Group [Электронный ресурс]: <<https://zala-aero.com/>>.
3. Барбасов В. К., Шановалов Д. А. Применение беспилотных авиационных комплексов в электроэнергетике для мониторинга ЛЭП // Энергия единой сети. 2016. № 2(25). С. 34—42.
4. Дикой В. П., Левандовский А. А., Арбузов Р. С. и др. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летательного аппарата // Энергия единой сети. 2014. № 2(13). С. 16—25.
5. Agisoft [Электронный ресурс]: <<https://www.agisoft.com/>>.
6. Российские беспилотники [Электронный ресурс]: <<https://russiandrone.ru/>>.
7. Дубкова Е. С., Пустовая О. А. Использование методов ИК-термографии для технической диагностики электрооборудования // Энергетика и информационные технологии. Благовещенск, 2017. С. 100—103.
8. Digbox [Электронный ресурс]: <<https://digbox.ru/>>.
9. Пат. RU 2644630 С1. Способ аэрофотосъемки наземных объектов в условиях недостаточной освещенности с помощью беспилотных воздушных судов / С. П. Астахов, А. А. Пеньков, Е. Е. Пугач, Н. Н. Строев, Е. С. Сулимский, С. Г. Федоров. Заяв. 2016149030, 2016.12.13. Опубл. 2018.02.13.
10. Пергам [Электронный ресурс]: <<https://www.pergam.ru/>>.
11. Ультрафиолетовые камеры COROCAM [Электронный ресурс]: <<https://corocam-uv.ru/>>.
12. Вихров М. А. Обзор рынка ультрафиолетовых дефектоскопов для контроля ЛЭП, оборудования ОРУ и ЗРУ. Особенности выбора приборов. ООО «ПАНАТЕСТ» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 3(42). С. 124—125.
13. Solar Lazer Systems [Электронный ресурс]: <<https://solarlaser.com/>>.
14. Geoscanners [Электронный ресурс]: <<http://geo-scanner.ru/>>.
15. Радарные и сейсмические системы [Электронный ресурс]: <<https://radseismsys.ru/>>.
16. Radar Systems, Inc. [Электронный ресурс]: <<http://radsys.lv/en/index/>>.

Сведения об авторах

- Вадим Анатольевич Шпенст** — д-р техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский Горный университет, кафедра электроэнергетики и электромеханики; заведующий кафедрой; E-mail: Shpenst@spmi.ru
- Ольга Юрьевна Морозова** — аспирант; Санкт-Петербургский Горный университет, кафедра электронных систем; E-mail: Morozik94@yandex.ru
- Артемий Алексеевич Белошицкий** — студент; Санкт-Петербургский Горный университет, кафедра электронных систем; E-mail: s190271@stud.spmi.ru

Поступила в редакцию
16.02.2021 г.

Ссылка для цитирования: Шпенст В. А., Морозова О. Ю., Белошицкий А. А. Устройства для диагностики объектов электроэнергетики с помощью беспилотных авиационных систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2021. Т. 64, № 6. С. 503—508.

DEVICES FOR DIAGNOSTICS OF ELECTRIC POWER FACILITIES USING UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

V. A. Shpenst, O. Yu. Morozova, A. A. Beloshitsky

St. Petersburg Mining University, 199106, St. Petersburg, Russia
E-mail: Shpenst@spmi.ru, Morozik94@yandex.ru, s190271@stud.spmi.ru

Unmanned aircraft systems make it possible to perform routine and emergency diagnostics of electric power facilities faster and cheaper than traditional methods of inspection with the help of teams of workers. Transition to the new technology requires a deep study of unmanned aerial vehicles available on the market and selection of optimal devices for diagnosing various elements of power grids. There are many ways to obtain information on defects in electrical power facilities. The inspection results largely depend on the equipment used in the unmanned aircraft system. Various types of devices designed to obtain information from unmanned aerial vehicles are considered, and conclusions are drawn about their optimal choice for solving certain problems of diagnosing of power grids elements.

Keywords: unmanned aircraft systems, high-resolution camera, thermal imaging, ultraviolet flaw detector, laser rangefinder, ground-penetrating radar, electric power facilities, defects in power facilities

REFERENCES

1. <https://www.geoscan.aero/ru/>. (in Russ.)
2. <https://zala-aero.com/>. (in Russ.)
3. Barbasov V.K., Shapovalov D.A. *Energy of a single grid*, 2016, no. 2 (25), pp. 34–42. (in Russ.)
4. Dikoy V.P., Levandovsky A.A., Arbuzov R.S. et al. *Energy of a single grid*, 2014, no. 2(13), pp. 16–25. (in Russ.)
5. <https://www.agisoft.com/>. (in Russ.)
6. <https://russiandrone.ru/>. (in Russ.)
7. Dubkova E.S., Pustovaya O.A. *Energetika i informatsionnyye tekhnologii*, Blagoveshchensk, 2017, pp. 100–103. (in Russ.)
8. <https://digbox.ru/>. (in Russ.)
9. Patent RU2644630 C1, *Sposob aerofotos'yemki nazemnykh ob'yektov v usloviyakh nedostatochnoy osveshchennosti s pomoshch'yu bespilotnykh vozdushnykh sudov* (Method of Aerophotography of Terrestrial Objects in Conditions of Insufficient Lighting with Help of Unmanned Aircraft), S.P. Astakhov, A.A. Penkov, E.E. Pugach, N.N. Stroev, E.S. Sulimskij, S.G. Fedorov, Priority 2016.12.13, Published 2018.02.13. (in Russ.)
10. <https://www.pergam.ru/>. (in Russ.)
11. <https://corocam-uv.ru/>. (in Russ.)
12. Vikhrov M.A. *Electric Power. Transmission and Distribution*, 2017, no. 3(42), pp. 124–125.
13. <https://solarlaser.com/>. (in Russ.)
14. <http://geo-scanner.ru/>. (in Russ.)
15. <https://radseismsys.ru/>. (in Russ.)
16. RADAR Systems, Inc., <http://radsys.lv/en/index/>.

Data on authors

- Vadim A. Shpenst** — Dr. Sci., Associate Professor; St. Petersburg Mining University, Department of Electrical Power Engineering and Electromechanics; Head of the Department; E-mail: Shpenst@spmi.ru
- Olga Yu. Morozova** — Post-Graduate Student; St. Petersburg Mining University, Department of Electronic Systems; E-mail: Morozik94@yandex.ru
- Artemy A. Beloshitsky** — Student; St. Petersburg Mining University, Department of Electronic Systems; E-mail: s190271@stud.spmi.ru

For citation: Shpenst V. A., Morozova O. Yu., Beloshitsky A. A. Devices for diagnostics of electric power facilities using unmanned aircraft systems. *Journal of Instrument Engineering*. 2021. Vol. 64, N 6. P. 503—508 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2021-64-6-503-508