

МОНИТОРИНГ И ДИАГНОСТИКА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Н.О. Иванов, студент

Д.И. Куляс, студент

Я.В. Шаховцев, студент

Иркутский национальный исследовательский технический университет
(Россия, г. Иркутск)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-9-1-223-229

Аннотация. В статье рассматривается актуальная тема, связанная с мониторингом и диагностикой воздушных линий электропередачи с применением беспилотных летательных аппаратов. Авторами выделяются виды работ, реализуемых беспилотными летательными аппаратами, применяемыми для воздушных линий электропередачи. Также в статье рассматривается процесс работы исследуемых аппаратов, область их применения, основные виды и программное обеспечение. В завершении авторами представляется экономический эффект при использовании беспилотных летательных аппаратов в рамках мониторинга и диагностики воздушных линий электропередачи, а также делается вывод о том, что их использование позволяет существенно увеличить оперативность.

Ключевые слова: воздушные линии электропередачи, БПЛА, обследование, диагностика, контроль, программное обеспечение.

Тема мониторинга и диагностики воздушных линий электропередачи с применением беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) является довольно актуальной в современных реалиях. В рамках данной статьи исследуемый вопрос будет рассмотрен на направлении инновационного развития ПАО «Россети».

Вопросы применимости БПЛА для использования в топливно-энергетическом комплексе нашего государства, включая и сферу энергетики, обсуждаются уже довольно продолжительное время [1,2]. К настоящему моменту уже существует несколько работ, посвящённых мониторингу линий электропередачи (далее – ЛЭ) посредством использования БПЛА, которые показали перспективность использования рассматриваемого метода анализа состояния высоковольтных линий, и прилегающей инфраструктуры, а помимо этого мониторинга линий электропередач в случае проведения аварийно-восстановительных работ [3]. Следует отметить, что при работе с труднодоступными участками ЛЭ наземное обследование может затянуться от нескольких дней до нескольких недель в отличие от обследований, которые проводятся с применением БПЛА, поскольку

при использовании данных аппаратов временной срок обследования составляет максимум несколько часов. Но принимая во внимание стремительное развитие технических платформ БПЛА и алгоритмов обработки геопространственной информации [4, 5], следует подчеркнуть, что они диктуют потребность в проведении более глубокой и всесторонней оценки возможностей БПЛА в интересах электроэнергетики и электросетевого комплекса РФ.

1. Работа беспилотных летательных аппаратов

В настоящее время существуют следующие виды работ, применяемых для воздушных ЛЭ:

- плановая диагностика – облет воздушных линий; наблюдение и фотографирование, как на малых, так и на средних высотах; проведение инспекции воздушных линий и охранной зоны; выявление существующих дефектов и различных нарушений; определение пространственных (3D) нарушений габаритов просеки и проводов;

- аварийно-восстановительные работы – облет воздушных линий на средних высотах при разных метеорологических условиях; при облете в ночное время суток

применяются фотовспышки или тепловизоры;

- картографические работы – разработка цифровых топографических и кадастровых планов; создание трехмерных моделей местности и ЛЭ; сопровождение работ, связанных со строительством и реконструкцией воздушных ЛЭ.

Следует отметить, что проводимый мониторинг и диагностика должны отражать следующее:

- дефекты опор;
- отсутствие, отрыв и деформацию элементов металлических опор;
- выкрошивание бетона, а также деформацию железобетонных опор (далее – ЖО);
- отклонение опор от вертикали;
- разворот, деформация траверсов на ЖО;
- отсутствие натяжения внутренних стержней и тросовых растяжек;
- падение и повреждение опор;
- дефекты провода, а также линейной и сцепной арматуры;
- разрушение элементов стеклянных и фарфоровых изоляторов;
- отсутствие гасителей вибрации и грузов; потери работоспособности несущего тросика; смещение виброгасителей вдоль проводов относительно имеющегося проектного положения;
- полное отсутствие и неправильное расположение соединителей проводов;
- изломы и отрывы лучей дистанционных распорок между проводами расщепленной фазы;
- обрыв проводов;
- дефекты на трассе;
- наличие растительности, которая является крайне опасной для эксплуатации воздушных ЛЭ;
- падение деревьев на провода и опоры;
- наличие древесно-кустарниковой растительности на территории охранной зоны;

- наличие различных строений и иных объектов, расположенных в охранной зоне;

- пересечение с природными и антропогенными объектами;

- опасные явления (например, подтопление).

2. Процесс работы беспилотных летательных аппаратов

В процессе работы БПЛА можно понять, из каких именно элементов состоит поиск, обнаружение и возврат оборудования в его нормальное рабочее состояние при возникновении какой-либо неисправности. После того, как будет выявлено наличие отдельной неисправности, оперативно-выездная бригада направляется для осмотра линии для того, чтобы найти проблемное место [6].

Учитывая, что воздушные ЛЭ на территории нашего государства являются протяженными, а расстояние между населенными пунктами, зачастую достигает несколько десятков километров, то объезд подобной высоковольтной ЛЭ может занять довольно много часов.

Подчеркивается, что передвижение специальной бригады может усложняться, как бездорожьем, так и нахождением воздушных ЛЭ на труднодоступных участках (например, болото). В связи с этим нахождение места повреждения ЛЭ может занимать существенно больше времени.

Именно благодаря применению специального оборудования для локализации, время, необходимое для возврата воздушных ЛЭ в рабочее состояние, несколько сокращается. Сокращение времени достигается посредством его минимизации на этапах, которые являются довольно длительными. На рисунке 1 проиллюстрированы продолжительные этапы, которые выделены желтым цветом.

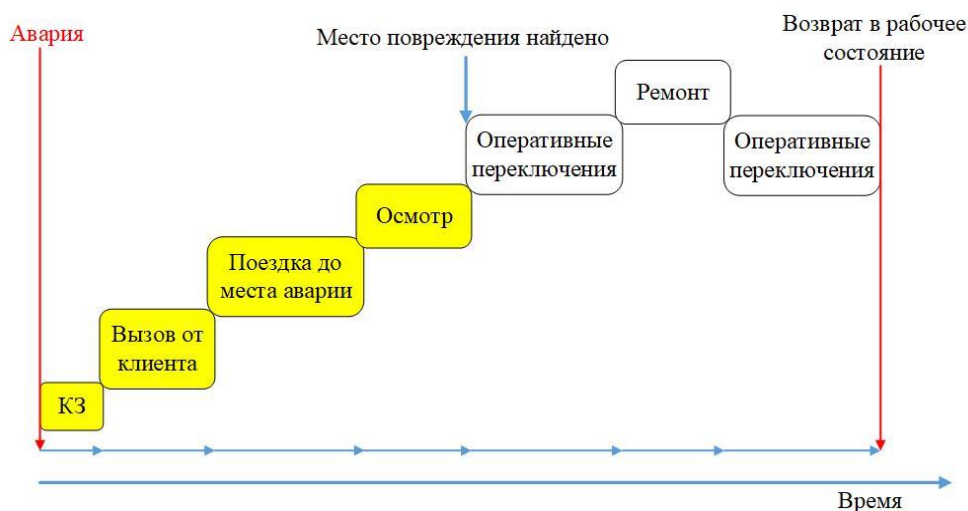


Рис. 1. Этапы восстановления работоспособности ЛЭП после аварии, которые можно ускорить

БПЛА (дроны) представляет собой новый вспомогательный метод обследования, который вполне можно использовать в комплексе с ИКЗ.

Требованиями, предъявляемыми к показателям, являются:

- безопасность и облегчение труда работающих сотрудников;
- высокая точность получаемых результатов и довольно большой объем данных;
- возможность проводить обследования на территории труднопроходимых участках;
- существенная экономия затрат на выполнение исследуемых работ.

3. Область применения беспилотных летательных аппаратов

3.1. Визуальный контроль

БПЛА существенно упрощают и ускоряют проведение технического обследования ЛЭ и электростанций. Снимки, которые совершаются с воздуха, предоставляют возможность выявить преимущественное большинство возникающих дефектов, включая: падения и повреждения опор; нарушение целостности опор и отклонение их от вертикали; обрыв и провисание проводов ЛЭ; выявление существующих проблемных зон с нависшими на проводах кустарниками или обвалившимися на них деревьями; наличие крайне подозрительных объектов на территории охраняемой

зоны за крайне небольшой временной промежуток.

По результатам проведенной съемки формируется соответствующий отчет, а также проводится оценка фактического состояния исследуемых объектов, а помимо этого составляется план работ, направленный на последующее обслуживание и ремонт. При том условии, что диагностика осуществляется на постоянной основе, все полученные данные подлежат загрузке в геоинформационную систему, что предоставляет возможность произвести ретроспективный анализ и с максимальной точностью определить причинно-следственную связь.

3.2. Тепловизионный контроль

Тепловизионное обследование представляет собой один из наиболее важных и значимых элементов профилактических работ, который способствует предоставлению гарантий в безотказной работе объекта электроэнергетики посредством выявления существующих неисправностей еще на начальном этапе. Проведя анализ всех полученных данных, можно произвести плановый ремонт, что позволит предотвратить возникновение в будущем крупных аварий.

После – упомянутая выше информация отображается в виде разных цветов на дисплее программного обеспечения или специальных приложений.

Тепловизионная съемка способствует идентификации ненадежных контактов и таких участков, которые перегреваются в каждой ЛЭ несколько быстрее, в отличие от проводимого обхода с визуальным осмотром. Помимо этого стоит отметить, что это уникальная возможность своевременно выявлять источники потерь энергии в сети. Рассматриваемый способ является намного безопаснее в отличие от физического осмотра и поиска поврежденных элементов.

3.3. 3D моделирование объектов энергетики

Использование специального программного обеспечения предоставляет возможность преобразовать данные, получаемые с БПЛА в цифровые 3D-модели ЛЭ, электростанций и иных объектов элек-

тросети, используемых для последующего исследования специалистами и принятия разумных и взвешенных решений.









Встроенные инструменты обеспечивают уникальную возможность измерять линейную длину, площадь и объем, а помимо этого проводить оценку масштаба планируемых работ.

Для формирования отчетов и существенного облегчения коммуникации внутри команды предусмотрена возможность добавления аннотации и комментариев, а также возможность редактировать различные метки и выполнять иные необходимые действия.

4. Основные виды и характеристики беспилотников

В таблице 1 представлены основные характеристики БПЛА [7].

Таблица 1. Основные характеристики беспилотных летательных аппаратов

Вид	Дальность применения, км	Диапазон цен с ПО, тыс.руб.	Название	Образец
Мульти-роторные	До 10	1500-2000	Геоскан-401	
			Суперкам X8M	
Самолетные, малого радиуса действия	До 35	1000-1400	Геоскан-101	
			Суперкам 100F	
Самолетные, среднего радиуса действия	До 100	1400-2000	Геоскан-201	
			Суперкам 250F	
Самолетные, большого радиуса действия	До 135	От 2000	Суперкам 350F	
Самолетные, сверхбольшого радиуса действия	До 300	От 4000	Птеро G0	

5. Программное обеспечение беспилотных летательных аппаратов

Следует рассмотреть такие технологии, которые предоставляют возможность сократить объем трудоемкого ручного просмотра фотоматериалов, а кроме того, повысить практическую пользу от результата, количества и качества всей получаемой аналитической информации.

Для реализации вышеуказанного, вся информация в обязательном порядке должна попасть в геоинформационную систему (далее – ГИС). Данная система предоставляет возможность объединить все результаты проведенных обследований в единой базе данных с отображением объектов, которые были обследованы (с непосредственной привязкой к местности).

К основным возможностям ГИС относятся следующие:

- анализ обследуемой местности;
- оперативный доступ к результатам обследования;
- оперативный доступ к фотографическим изображениям всех выявленных дефектов;
- оперативный доступ к 3D-моделям местности и ЛЭ.

Следует подчеркнуть, что технологическая цепочка Геоскан имеет следующую последовательность: БПЛА осуществляет съемку воздушной ЛЭ; сделанные снимки

с координатами и телеметрическими данными автопилота загружаются в фотограмметрическое ПО; в фотограмметрическом ПО изображения ортотрансформируются и «сшиваются»; все загружается в ГИС; в ГИС проводится анализ полученных данных.

Помимо этого, подготовлена специальная программа для работы квалифицированных специалистов службы ЛЭ для установления габаритов проводов, замеров расстояний над реками, озерами и дорогами, а также для установления характеристик угрожающих деревьев, визуального осмотра состояния опор, изоляторов и проводов.

При наиболее благоприятных условиях в день с одного самолета можно снять порядка 200 км ЛЭ.

Следовательно, эффективно решается проблема замены трудозатратных полевых работ последовательностью автоматизированных операций, а помимо этого появляется уникальная возможность визуальной оценки данных в трехмерном изображении, и специалисты получают все материалы в удобной форме.

6. Экономический эффект при использовании беспилотных летательных аппаратов

В таблице 2 проиллюстрированы данные экономического эффекта.

Таблица 2. Данные экономического эффекта с применением БПЛА

Параметр		Наземная группа	«Геоскан 201»
Число человек в рабочей группе		3	2
Зарботная 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
Зарботная плата специалистов на обслуживание 1 км, руб.		245	20
Стоимость комплекса, руб.			1 500 000
Стоимость эксплуатации БПЛА, руб.:	при 500 взлётов/посадок (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

Вывод

1. Существующие сегодня технические средства БПЛА и технологии обработки геопространственных данных позволяют решать довольно широкий круг задач при проектировании и эксплуатации ЛЭ и иных объектов электроэнергетики.

2. Использование БПЛА при мониторинге состояния воздушных ЛЭ в рамках крупной региональной или федеральной сетевой компании вполне может дать экономии денежных средств в размере десятков и сотен миллионов рублей.

3. Применение БПЛА является особенно эффективным при их использовании в

труднодоступных районах и при сложном рельефе местности.

4. Применение БПЛА предоставляет возможность повысить оперативность мониторинга и одновременно уменьшить сроки проведения обследований и необходимых ремонтно-профилактических работ.

5. В непосредственной зависимости от комплектации сенсоров на БПЛА и специализированного ПО возможно одновременное получение расширенного объема данных о реальном состоянии объектов электроэнергетики и параметров, а также рисков в границах охранных зон.

Библиографический список

1. EV. Энергостростник. Использование беспилотных летательных аппаратов в ТЭК. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: energovestnik.ru.

2. Валиев А. Эксплуатация беспилотников в электросетевом комплексе России // Энергострострия. – 2011. – № 6.

3. Инновационные и отраслевые решения с использованием беспилотников (проект Russiadrone.ru). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rusdrone.ru/otraslevyeresheniya/monitoring-lep.html>.

4. Хазалия 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 Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 7, № 2. – С. 61-66.

5. Хазалия 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. Обследование ВЛ с БПЛА и другие методы контроля и поиска повреждений на воздушных линиях (test-energy.ru). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://test-energy.ru/obsledovanie-vl-s-bpla/?ysclid=lgp5w51lbi24427084>.

7. Возможности применения беспилотных авиационных комплексов в электроэнергетике для мониторинга ЛЭП (rusdrone.ru). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rusdrone.ru/blog/arkhiv/vozmozhnosti-primeneniya-bespilotnykh-aviatsionnykh-kompleksov-v-elektroenergetike-dlya-monitoringa-/?ysclid=lgp5w3wa7756424446>.

MONITORING AND DIAGNOSTICS OF OVERHEAD POWER TRANSMISSION LINES USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

N.O. Ivanov, *Student*

D.I. Kulyas, *Student*

Ya.V. Shakhovtsev, *Student*

Irkutsk National Research Technical University

(Russia, Irkutsk)

***Abstract.** The article deals with an urgent topic related to monitoring and diagnostics of overhead power transmission lines using unmanned aerial vehicles. The authors highlight the types of work carried out by unmanned aerial vehicles used for overhead power transmission lines. The article also discusses the process of operation of the studied devices, the scope of their application, the main types and software. In conclusion, the authors present the economic effect of using unmanned aerial vehicles in the framework of monitoring and diagnostics of overhead power lines, and also conclude that their use can significantly increase efficiency.*

***Keywords:** overhead power lines, UAVs, inspection, diagnostics, control, software.*