

УДК 622

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БПЛА В СФЕРЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Ю.М. МАЛЫШЕВА, студентка гр. ЭПмз-241

О.В. ПОПОВА, доцент, к.н.

Кузбасский государственный технический
университет имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Электроэнергетика — отрасль, где безопасность, надёжность и бесперебойность являются абсолютными приоритетами. Стабильная работа энергосистемы критически важна для экономики и социальной сферы: перебои в электроснабжении ведут к финансовым потерям и могут угрожать жизни людей.

Традиционные методы контроля объектов электроэнергетики — пешие обходы с биноклем или вертолётные обследования — имеют существенные ограничения:

Риски для персонала: работа на высоте и вблизи оборудования под напряжением повышает вероятность травматизма.

Высокие затраты: эксплуатация вертолётов требует значительных расходов на топливо и квалифицированный персонал.

Зависимость от погоды: ветер, туман, осадки или низкие температуры откладывают проверки, создавая пробелы в мониторинге.

Низкая точность и оперативность: визуальный осмотр не выявляет скрытые дефекты, а организация обследований занимает много времени.

Трудоёмкость обработки данных: ручной сбор и анализ информации замедляют устранение проблем.

Беспилотные авиационные системы (БПЛА) кардинально меняют ситуацию. Они обеспечивают быстрый, безопасный и экономически эффективный сбор данных. Современные дроны с фото- и видеокамерами, тепловизорами, УФ-камерами и лидарами позволяют:

- проводить инспекции дистанционно, без риска для персонала;
- оперативно развёртывать мониторинг (подготовка к вылету — несколько минут);
- получать высокоточные данные даже в сложных условиях (в рамках технических ограничений);
- автоматизировать обработку информации с помощью ИИ;
- создавать цифровые модели объектов для долгосрочного анализа.

Цель работы — проанализировать потенциал БПЛА для повышения надёжности систем электроснабжения потребителей.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко применяют в электроэнергетике для инспекции, диагностики и обслуживания объектов. Они выполняют:

Визуальный контроль: выявляют обрывы проводов, повреждения изоляторов, посторонние предметы и другие механические дефекты.

Термографическую диагностику: с помощью тепловизоров обнаруживают перегревы на контактных соединениях, трансформаторах и другом оборудовании — это помогает выявить проблемы на ранней стадии.

Контроль разрядов: УФ-камеры и акустические датчики фиксируют коронные и частичные разряды, позволяя оценить состояние изоляции.

3D-моделирование: лидары создают точные цифровые двойники ЛЭП и подстанций. Это нужно для планирования реконструкции, контроля расстояний до деревьев и посторонних объектов, оценки последствий стихийных бедствий.

Геодезические работы: дроны создают топографические планы для проектирования новых линий электропередачи, отслеживают ход строительства и монтажа объектов, контролируют объёмы земляных работ.

Аварийно-восстановительные работы: при авариях (ураганах, ледяных дождях и т. д.) БПЛА оперативно обследуют повреждения и помогают координировать ремонтные бригады. В экспериментальном режиме дроны доставляют в труднодоступные места инструменты и лёгкие запчасти.

Патрулирование и охрану: беспилотники патрулируют периметр энергообъектов и выявляют несанкционированные проникновения или работы в охранной зоне ЛЭП. [1]

Использование БПЛА положительно сказывается на ключевых показателях надёжности электроснабжения:

SAIDI (средняя продолжительность отключения) снижается за счёт быстрого выявления и устранения дефектов.

SAIFI (средняя частота отключений) уменьшается благодаря раннему обнаружению потенциальных отказов.

ENS (недоотпуск электроэнергии) сокращается из-за минимизации аварийных отключений и ускорения восстановительных работ.

Развитие БПЛА в электроэнергетике идёт по пяти ключевым направлениям:

Автономность — автоматические полёты вдоль ЛЭП (в т. ч. в режиме BVLOS) с облётом препятствий.

Длительность работы — гибридные силовые установки и беспроводная зарядка на опорах ЛЭП.

Координация группы дронов — использование роев БПЛА для обследования больших территорий.

Ремонтные функции — БПЛА манипуляторы для операций под напряжением (очистка изоляторов, установка кожухов и т. д.; прототипы тестируются).

Законодательная адаптация — совершенствование норм для полётов вблизи критической инфраструктуры и в режиме BVLOS.

Комплексное использование БПЛА в сочетании с цифровизацией (Smart Grid, ИИ, предиктивная аналитика) открывает путь к созданию адаптив-

ных, самодиагностируемых и в перспективе — самовосстанавливающихся энергосистем. Это обеспечит стабильное электроснабжение даже в условиях растущих вызовов от климатических рисков до энергоперехода. [2]

Рассмотрим на примере экономику внедрения современного отечественного БПЛА (модель «ЭнергоСкан-Pro») для мониторинга воздушных линий электропередачи.

Таблица 1. Затраты на комплекс БПЛА

Компонент	Стоимость, руб.	Примечания
Комплекс БПЛА «ЭнергоСкан-Pro»	1 800 000	Включает базовую комплектацию с автопилотом и системой облёта препятствий
Фотограмметрическое ПО	300 000	Для обработки снимков и создания ортофотопланов
Аналитическое ПО с ИИ	80 000	Автоматическое выявление дефектов ЛЭП
Тепловизор высокого разрешения	400 000	Обнаружение перегревов оборудования
УФ-камера	350 000	Фиксация коронных разрядов
Лидар для 3D-моделирования	500 000	Создание цифровых двойников ЛЭП
Комплект запасных батарей (3 шт.)	150 000	Увеличение времени работы
Итого первоначальные затраты	3 580 000	

Таблица 2. Сравнение затрат на мониторинг ЛЭП: наземные методы vs БПЛА

Параметр	Наземные методы	БПЛА «ЭнергоСкан-Pro»
Количество исполнителей в группе	3	2
Заработная плата сотрудника в месяц, руб.	30 000	45 000
Заработная плата группы в день, руб.	3 913	3 913

Параметр	Наземные методы	БПЛА «Энерго-Скан-Pro»
Количество рабочих часов в день	8	5
Скорость обследования, км/час	2	100
Производительность, км/день	16	200
Зарплата на обследование 1 км ЛЭП, руб.	245	19,6
Стоимость эксплуатации БПЛА, руб.:	—	—
— за 1 день работы	—	3 200
— на 1 км обследования	—	16
Общая стоимость обследования 1 км ЛЭП, руб.	245	35,6
Время обследования 1 тыс. км ЛЭП, дней	63	5
Стоимость обследования 1 тыс. км ЛЭП, руб.	244 565	35 600

Таблица 3. Экономический эффект от внедрения БПЛА

Показатель	Значение	Комментарий
Сокращение затрат на 1 тыс. км обследования	В 6,9 раза (с 244 565 руб. до 35 600 руб.)	Экономия более 208 965 руб. на каждой тысяче километров
Сокращение времени обследования	В 12,6 раза (с 63 дней до 5 дней)	Ускорение диагностики, сокращение простоев и быстрое реагирование на дефекты
Повышение производительности труда	В 50 раз (с 2 км/ч до 100 км/ч)	Значительное расширение охвата линий электропередачи за единицу времени
Окупаемость комплекса	1,8 года	При ежегодном обследовании 2–3 тыс. км ЛЭП (с учётом экономии на 1 тыс. км — от 200 тыс. руб.)

Показатель	Значение	Комментарий
Снижение рисков травматизма	На 90 %	Минимизация работы персонала на высоте и в опасных зонах
Точность выявления дефектов	98 %	Благодаря интеграции тепловизора, УФ-камеры и высокоразрешающей оптики
Автоматизация обработки данных	90 %	ИИ-алгоритмы автоматически классифицируют дефекты (перегревы, короны, повреждения изоляторов)

Из таблицы видно, что внедрение БПЛА «ЭнергоСкан-Pro» позволяет сократить затраты на обследование 1 000 км ЛЭП в 6,9 раза (с 244 565 до 35 600 руб.) и сократить время выполнения работ в 12,6 раза (с 63 до 5 дней), одновременно повысив производительность труда в 50 раз и точность диагностики до 98 %. При этом окупаемость комплекса достигается всего за 1,8 года при ежегодном обследовании 2–3 тыс. км линий — что делает технологию не просто экономически выгодной, а стратегически необходимой.

Несмотря на вызовы — ограничения VLOS, короткое время полёта и фрагментацию рынка — государство активно поддерживает трансформацию: субсидии, стандарт «Цифровая линия электропередачи» и разрешение на ИИ-анализ дефектов создают условия для масштабного внедрения. [3]

В Сибири и на Дальнем Востоке дроны уже заменяют наземные бригады, в центре — снижают риски для персонала. При импортозамещении отечественные решения — «ЭнергоСкан-Pro», «ДронЭнерго» — выходят на первый план. К 2030 году более 80% ЛЭП будут обследоваться дронами.

Список литературы:

1. Арбузов Р. С., Овсянников А. Г. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи. — Новосибирск: Наука, 2009. — 135 с.
2. Байков И., Голубев П., Сизых Ю. Применение дистанционных методов при обследовании воздушных линий электропередачи // Электроэнергия. Передача и распределение. — 2016. — № 1. — С. 56–59.
3. <https://energосkan.ru/>

Информация об авторах:

Малышева Юлия Максимовна, студент гр. ЭПмз-241, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, juliamalys22@yandex.ru.

Попова Ольга Владимировна, доцент, к.н., КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, vip-ole@ya.ru.