

# Использование дронов и беспилотных летательных аппаратов для выявления неисправностей на линиях электропередач

А. И. Льянова<sup>1</sup>, Е. Р. Гайко<sup>2</sup>, М. С. Сергеенко<sup>3</sup>, Р. Е. Спиридонов<sup>4</sup>  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)  
<sup>1</sup>lyanova.as@yandex.ru, <sup>2</sup>egor.gaiko3@gmail.com,  
<sup>3</sup>aizy.fpg@gmail.com, <sup>4</sup>rom@nspiridonov.ru

**Аннотация.** По данным за 2018 и 2019 года низковольтные ЛЭП среди устройств сетей энергораспределения чаще других являются причинами аварий в энергоснабжении. В ходе анализа возможностей по сокращению таких инцидентов были изучены средства мониторинга и диагностики сетей. В данной работе предлагается подход для автоматизации мониторинга воздушных линий и их опор с помощью дронов и передвижных комплексов беспилотных летательных аппаратов с применением компьютерного зрения.

**Ключевые слова:** линия электропередачи; диагностика; мониторинг; техническое состояние; риски; БПЛА; ЛЭП

## I. ВВЕДЕНИЕ

Электрические сети компаний имеют протяженность в несколько сотен и тысяч километров. Значительная доля высоковольтных линий электропередачи (далее – ЛЭП) расположена на незаселенных территориях, часто покрытых лесом. Сейчас компании ищут новые способы содержания ЛЭП, так как старые методы теряют свою актуальность. В настоящее время успешное функционирование инфраструктуры электрических сетей важно как для компаний, так и для клиента. По распределению объектов электрических сетей по уровню физического износа – 80 % находятся в отличном состоянии, 17 % в хорошем, в удовлетворительном 2 % и 1 % в неудовлетворительном. Касательно самих линий электропередачи, если проанализировать их состояние на 2018 и 2019 года, можно сказать, что повышенного внимания требует не трансформаторное оборудование, а сами линии ЛЭП. В частности, хуже всего себя показывают низковольтные ЛЭП (уровень их физического износа 50,63 %).

Для хорошего функционирования ЛЭП необходим эффективный мониторинг нескольких аспектов: недостаточная ширина просеки, подтопление в охранной зоне ЛЭП, контроль посторонних предметов, таких как: древесные массивы, отдельные деревья, угрожающие падением, несанкционированные подключения, выполнение в охранных зонах несогласованных работ, состояние опор, состояние изоляторов на опорах ЛЭП, состояние проводов. Как правило, такие осмотры требуют больших временных и трудовых затрат.

У компаний, работающих в этой сфере, есть определенные цели развития:

- повышение надежности электроснабжения;
- повышение производительности труда;
- повышение эксплуатационного ресурса оборудования;
- устойчивое развитие;
- развитие инновационных технологий, устройств и материалов;
- необходимость в электрифицированном транспорте;
- энергетическая безопасность.

## II. КОНЦЕПТЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО МОНИТОРИНГА

В качестве решения вышеописанной задачи предлагаются следующие варианты:

### A. Drone-Station

Сеть станций, покрывающих всю область линий электропередач. Каждая из них охватывает определенную территорию, в которую входит две вышки ЛЭП. Станция представляет собой защитный купол с дроном, батареями и средствами связи.

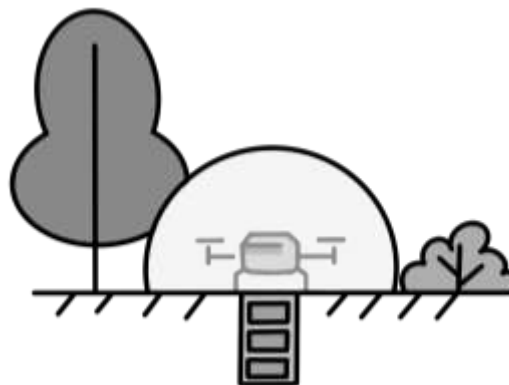


Рис. 1. Иллюстрация варианта Drone-Station

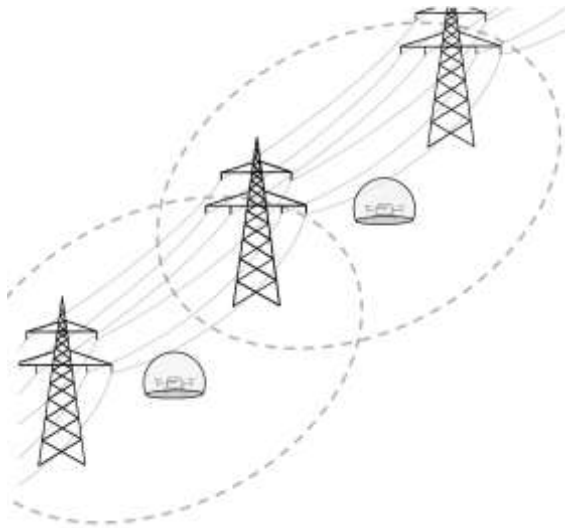


Рис. 2. Расположение станций Drone-Station вдоль ЛЭП

Перекрестие территорий, охватываемых станцией, позволяет создать дополнительную надежность.

### В. Drone-Track

Представляет собой мобильный комплекс под управлением человека, несущий на себе несколько дронов, батареи и средства связи. Основное преимущество это возможность ускоренного осмотра ЛЭП бригадой анализа.

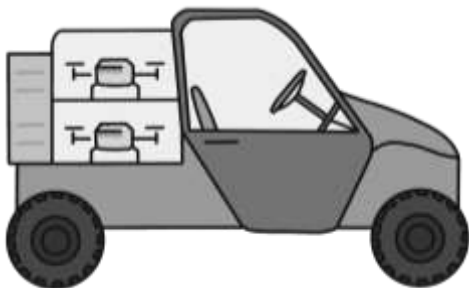


Рис. 3. Иллюстрация варианта Drone-Track

При использовании дронов одна из основных проблем – зависимость от погодных условий, но благодаря технологиям влаго и пыле защищенности, к примеру, соблюдение стандарта IP65, дрон может работать в неблагоприятных погодных условиях. При разных температурах меняется и цель мониторинга, например, форма деформации провода ЛЭП. Дрон в свою очередь может мониторить уровень натяжения провода ЛЭП. Это достигается считываем радиуса кривизны самого провода. Бригада оснащённая современным дронами способна за день осматривать 11–12 опор ЛЭП. Бригада же без дрона способна осматривать лишь 3 опоры за то же время. Хорошая устойчивость в полёте, длительность полета до 1 часа, длина маршрута до 15 км, скорость полета до 50 км/ч, 25 кратное увеличение камеры и площадь съемки в 2.1 км<sup>2</sup> позволяет выполнять весь необходимый спектр работ. В России уже несколько компаний используют дронов, так, например, специалисты МРСК Северо-Запада

сразу в нескольких регионах стали использовать их по ряду направлений работы. С помощью беспилотников были сделаны облеты воздушных линий 35–110 кВ для определения объемов расчистки и расширения просек, проведен оперативный поиск мест повреждения в ходе восстановительных работ в Республике Карелия, в Псковской и Мурманской областях. Аэросканирование линий в Мурманской области и Республике Коми и контроль строительства подстанций и ЛЭП для инфраструктуры строящейся трассы Москва – Санкт-Петербург также подтвердили эффективность применения различных типов БПЛА. Квадрокоптеры поступят в производственные отделения МРСК Северо-Запада, в первую очередь, для аварийно-восстановительных работ, так как после массовых аварийных отключений в результате неблагоприятных метеорологических явлений (ураган, шквалистый ветер, снегопад, гроза, «ледяной дождь» и т. д.) необходимо в сжатые сроки организовать внеочередные осмотры большого количества протяженных линий.

### С. Global-Eye

Передвижной комплекс запуска БПЛА. Подходит для картографирования обширного объема местности. Также возможно использование данного варианта для обнаружения лесных пожаров, которые могут достигнуть ЛЭП. БПЛА отличаются большей длительностью полета (до 3 часов), длиной маршрута до 210 км, скоростью полета до 130 км/ч и площадью съемки в 7–22 км<sup>2</sup>, это позволяет выполнять другой спектр работ.

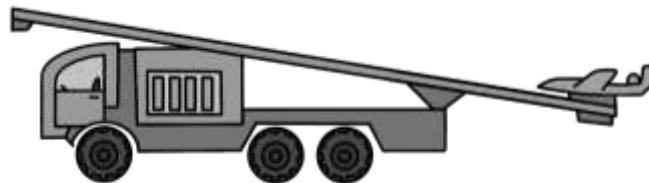


Рис. 4. Иллюстрация варианта Global-Eye

Обученные пилоты дронов и БПЛА помогут выполнять часть необходимых работ, это повысит производительность труда эксплуатационного персонала и обеспечит сокращение времени поиска повреждений, что поможет сократить длительность отключения электричества у людей.

Использование БПЛА также может частично заменить верховые осмотры, когда линия выводится в ремонт и работники компании поочередно поднимаются на каждую опору для проведения осмотра и поиска дефектов. Беспилотные летательные аппараты подходят для осмотра некоторых элементов ЛЭП под углом зрения, недоступным с земли.

Для оценки эффективности каждого варианта были выделены 6 критериев:

- скорость и своевременность (С);
- работа без создания сложностей для повседневной жизни людей (Сл);

- доступ ко всем участкам (Д);
- оптимизация затрат (О);
- надежность (Н);
- цифровизация (Ц).

После анализа эффективности по этим критериям можно сделать вывод о том, что лучше всего себя проявляют Drone-Track и Global-Eye. Drone-Station проявляет некую ненадежность, связанную с погодными условиями, а также возможную недоступность некоторых участков (оценки решений по критериям анализа приведены в таблице ниже, оценка ставится по пятибалльной шкале).

ТАБЛИЦА I ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАРИАНТОВ

| Критерий/Вариант | Drone-Station | Drone-Track | Global-Eye |
|------------------|---------------|-------------|------------|
| С                | 5             | 4           | 5          |
| Сл               | 4             | 4           | 2          |
| Д                | 2             | 4           | 5          |
| О                | 5             | 4           | 4          |
| Н                | 2             | 4           | 4          |
| Ц                | 5             | 3           | 5          |

### III. ОЦЕНКА РИСКОВ ВНЕДРЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТА

#### A. Риски внедрения

Риски являются важной частью внедрения новых технологий, с помощью PEST-анализа рассмотрены риски внедрения технологии в общую систему.

##### 1) Экономические риски

К ним относится высокая стоимость оборудования, которую можно нивелировать массовостью закупок, а также выбором отечественных производителей по возможности. В этой группе рисков находятся кибератаки, защититься от которых возможно разными методами, например использованием алгоритмов шифрования.

##### 2) Социальные риски

Отсутствие квалифицированного персонала – риск, возникающий при внедрении новых технологий и устранимый программами повышения квалификации работников.

##### 3) Технологические риски

Отказ техники – данный риск можно нивелировать на этапе предотвращения отказа, закупая сертифицированное оборудование, а в случае невозможности предотвращения написание скриптов для техники и работников для таких ситуаций. Ошибки проектирования можно также нивелировать внедрением инструкций и скриптов. Необходимы средства для обработки информации, которое сможет обрабатывать большое количество отснятого материала. Для этого отлично подойдет развивающийся в нынешний момент искусственный интеллект. Контролировать это будет через IoD – Internet of Drones. Это является частным случаем «Интернета Вещей». Дроны взаимодействуют со средством обработки информации и

конфигуратором, обмениваясь информацией друг с другом.

##### 4) Экологические риски

Столкновения с птицами – риск, с которым борются многие компании, на данный момент есть несколько способов предотвращения столкновений, например, установка датчиков на дроне или БПЛА.

### B. Эффективность проекта

#### 1) Экономический критерий

Целевым индикатором является протяженность линий электропередач. В зависимости от длины меняется количество вышек ЛЭП, а значит необходимы дополнительные рабочие для осмотра, то есть и затраты на дополнительное количество дронов. Согласно программе цифровизации до 2040 сделаны расчёты экономических показателей эффективности проекта:

- чистый приведенный доход (NPV) – 319.7 млн руб.;
- внутренняя норма доходности (IRR) – 24.7 %;
- индекс рентабельности (PI) – 3.46;
- дисконтированный срок окупаемости инвестиций (DPP) – 4 года.

Появляется необходимость переобучения части персонала (повышении квалификации) на специализацию пилот дрона/БПЛА. Компания в рамках программы цифровизации может снизить свои затраты на зарплату сотрудников (552 млн руб. с дронами и 1188 млн руб. без дронов) иликратно увеличить производительность труда при сохранении затрат.

#### 2) Социальный критерий

В ходе применения инновационных технологий внутри компании, повышается квалификация работников компании, их заработная плата. Наиболее важный аспект социального критерия – сохранение жизней людей благодаря новым технологиям, так как сокращается доля деятельности работников, несущей опасность для их здоровья.

#### 3) Экологический критерий

Работа дронов и БПЛА производится за счет электроэнергии, так же уменьшается расстояние, необходимое к преодолению работниками для мониторинга ЛЭП, что позволяет сократить углеродный след, а в рамках полной автоматизации в дальнейшем выйти на нейтральность.

### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам сравнения и анализа критериев было принято решение о выборе двух из трёх первоначальных вариантов: D-Track и G-eye. С использованием PEST-анализа были проанализированы риски и их нивелирование. Эффективность технологии была оценена по экономическому, социальному и экологическому критериям.

Как основную тенденцию следует выделить стремление к полной автоматизации: доработка D-Track

для его использования без пилота. Возможный концепт такого варианта представлен на рисунке 5, аппарат несет на себе несколько батарей, оборудован механической рукой для запуска дрона, датчиками и камерой для передвижения.

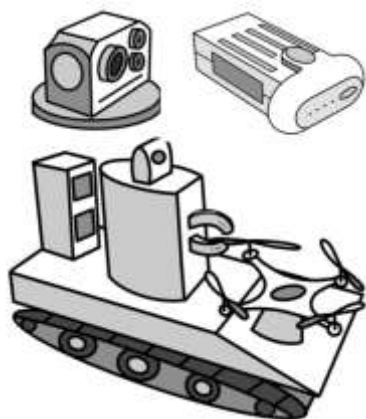


Рис. 5. Иллюстрация полностью автоматизированного средства для мониторинга

С усложнением системы использования дронов мы проходим путь от инноватики к уменьшению количества необходимых ресурсов, затем повышению квалификации работников, разработке и использованию ИИ для обработки большого количества отснятого материала к полной автоматизации мониторинга ЛЭП.

В рамках связи активного энергетического комплекса (АЭК) и рассматриваемой технологии можно организовать работу посредством закрепления автономного комплекса с дронами на территории каждой микросистемы.

Использование дронов и БПЛА для выявления неисправностей на ЛЭП доказывает свою эффективность уже сейчас в отдельных компаниях, в будущем к этому, возможно, придет вся индустрия, сохраняя этим ресурсы и жизни людей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Павлов А. Современные подходы в области управления растительностью вдоль воздушных ЛЭП // Электроэнергия. Передача и распределение. 2020. № S2(17). С. 24-29.
- [2] Паскарь И.Н., Марков Д.М. Диагностика ЛЭП и ВЛЭП с помощью БПЛА // Сборник материалов Всероссийской молодежной научно-практической школы "ЭНЕРГОСТАРТ": Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Институт энергетики КузГТУ; Кузбасский филиал ООО «Сибирская генерирующая компания», Кемерово, 11–25 июля 2016 года. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2016. С. 64.
- [3] Поддержка с воздуха. ПАО "МРСК Северо-Запада" // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 2(47). С. 64.
- [4] Sivakumar Rathinam; Zu Whan Kim; and Raja Sengupta, Vision-Based Monitoring of Locally Linear Structures Using an Unmanned Aerial Vehicle. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 14, Issue 1 (March 2008), doi: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2008)14:1(52).