



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ УМНЫХ СЕТЕЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.К. Кугучева, студентка,
kuguchevad@yandex.ru

Ф.О. Брацюк, студент,
brasyukfilipp@mail.ru

А.Ю. Никишин, доцент,
nikduke@klgtu.ru

ФГБОУ ВО " Калининградский государственный
технический университет"

В данной статье представлены результаты аналитического исследования возможностей применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для диагностики линий электропередачи 15 и 110 кВ Мамоновского и Багратионовского районов Калининградской области в рамках концепции «Умных сетей». Проанализированы технические характеристики различных БПЛА и произведен выбор оптимального летательного аппарата по предложенным критериям. Показана экономическая целесообразность использования для верхового осмотра ЛЭП беспилотных летательных аппаратов с видео-, фото- и тепловизионной камерой. Проанализирована воздушная обстановка Мамоновского и Багратионовского районов и выявлены особенности в сфере регулирования использования воздушного пространства.

беспилотный летательный аппарат, мультикоптер, мониторинг, воздушная линия электропередач, полезная нагрузка

Одним из важнейших аспектов, характеризующих развитие общества, является потребление им электроэнергии. При повреждении воздушной линии (ВЛ) нарушается весь процесс производства, распределения и потребления электроэнергии. Для принятия мер и устранения неисправностей на ВЛ производится диагностика элементов и выполняются ежегодные осмотры, а также проводятся модернизация и реновация существующих ЛЭП.

В 2014 г. в Калининградской области на базе двух пилотных районов – Мамоновского и Багратионовского – была создана система распределенной автоматизации сетей (один из компонентов системы smart grid). В существующую сеть 15 кВ были интегрированы реклоузеры, которые без участия оперативного персонала позволяют автоматически находить и выделять повреждённый участок, сохраняя электроснабжение основной части потребителей. Хотя инновации и помогли сократить время реагирования на аварийные ситуации, например, в Багратионовском районе средняя величина обесточивания сократилась с 5 ч до 50 мин [1], они не исключили необходимость постоянных осмотров не только линий 15 кВ, где они установлены, но и линии 110 кВ, проходящей в данных районах.

На сегодняшний день силовые линии осматриваются преимущественно пешим способом или с использованием вертолета, что очень трудоемкое, затратное по времени и дорогостоящее занятие. А при аварии один из решающих факторов осмотра - скорость обнаружения повреждения. Сократив время на поиск повреждения, можно уменьшить показатель недоотпуска электроэнергии.

Значительная экономия времени на поиск повреждения может быть достигнута с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в связи с тем, что подобный аппарат способен покрыть расстояние до нескольких десятков километров в день, что при

пешем осмотре является практически невозможным. Кроме того, результаты проверок с использованием БПЛА надежны, поскольку производится высококачественная запись фото и видео, а их результаты, в случае необходимости, могут быть воспроизведены в любое время.

Таким образом на сегодняшний момент при существующем моральном и физическом износе оборудования в сфере энергетики и нехватки финансирования для его обновления мониторинг воздушных линий БПЛА является перспективной задачей для энергетической промышленности [2].

В настоящее время применение БПЛА для инспектирования воздушных ЛЭП находится в зачаточном состоянии, хотя проблема внедрения БПЛА в топливно-энергетический комплекс поднимается давно [3].

Впрочем, уже сегодня методика беспилотного обследования высоковольтных линий электропередач успела зарекомендовать себя в некоторых регионах России.

К примеру, «Тюменьэнерго» реализовал пилотный проект в филиале «Нефтеюганские электрические сети» по использованию БПЛА. На первом этапе произведено обследование 504,5 км ВЛ 110 кВ и 35 кВ [4].

В республике Татарстан осуществлено плановое воздушное обследование с помощью беспилотного летательного аппарата с использованием тепловизионной съемки 34 км ВЛ 110 и 220 кВ.

В республиках Северная Осетия, Чечня, Дагестан, Ингушетия было произведено диагностическое обследование 200 км ВЛ 330 кВ.

В Республике Саха (Якутия), в Тульской и Псковской областях также проходили опыты по применению беспилотника для диагностики ЛЭП. Все они признаны успешными [5].

При выборе беспилотного летательного аппарата для обследования ВЛ необходимо соблюдение следующих требований:

1. высота подъема не менее 100 м с возможностью зависания над объектом;
2. высокий уровень маневренности, управляемости;
3. устойчивость к порывам ветра;
4. низкий уровень тряски при полете и высокий уровень виброустойчивости (необходимо для максимально эффективной работы аппаратуры).

На основании данных пунктов был произведен выбор БПЛА для выполнения функций воздушного мониторинга в Мамоновском и Багратионовском районах. Результаты приведены в табл. 1

Таблица 1 - Характеристики БПЛА

Параметры	Aibot X6	Supercam S250	R.A.L. X6T	Sovzond Air-Con 3X
Время полета	20 мин	180 мин	60 мин	60 мин
Скорость полета	0-50 м/ч	0-120 км/ч	0-80 км/ч	0-60 км/ч
Максимальная полезная нагрузка	2 кг	1.5 кг	5 кг	5 кг
Максимальная высота над землей	3000м	5000м	3000м	3000м
Макс.скорость ветра	10 м/с	10 м/с	30 м/с	10 м/с
Максимальная дальность полета	5 км	90 км	15 км	20 км
Цена (базовый комплект)	1 400 000 руб.	3 500 000 руб.	3 000 000 руб.	855 500 руб.

Исходя из характеристик, представленных в табл. 1, наиболее подходящим вариантом для обследования ЛЭП 15 кВ Багратионовского и Мамоновского районов можно считать мультикоптер Sovzond Air-Con 3X.

Так как БПЛА предназначен для работы в районах, где установлены реклоузеры, позволяющие выделять повреждённый участок небольшой протяженности, данный вид БПЛА может быть задействован в качестве дополнительного оборудования наземных бригад и использоваться для обследования отдельных труднодоступных опор и пролетов. Суть мониторинга ЛЭП 15 кВ с применением данного устройства заключается в облете ближайшей от оператора беспилотника опоры ЛЭП с зависанием у точек подвеса гирлянд изоляторов и грозотроса. Используя коптер, можно провести верховой осмотр ближайшей опоры без отключений ВЛ и привлечения подъемника.

Для линии 110 кВ, связывающей Багратионовский и Мамоновские районы и имеющей протяженность 120 км, наиболее подходящими вариантами БПЛА являются беспилотники самолетного типа Supercam S250 и вертолетного типа Sovzond Air-Con 3X с дополнительным комплектом аккумуляторных батарей. Supercam S250 обладает большой скоростью и продолжительностью полета, но к его недостаткам относятся дороговизна и невозможность применения на малом расстоянии от опоры. Мультикоптер Sovzond Air-Con 3X при наличии двух комплектов батарей способен проводить мониторинг 40 км линий при условии замены батарей в промежуточном пункте контроля за полетом, т.к. дальность передачи радиосигнала ограничена и составляет 20 км.

Исходя из всего вышеперечисленного следует, что наиболее подходящим БПЛА для мониторинга ЛЭП различных классов напряжений в Багратионовском и Мамоновском районах является мультикоптер Sovzond Air-Con 3X.

Для выполнения функций фото-, видео- и тепловизионной съемки необходимо использование различных видов полезной нагрузки (ПН), что позволит получить различную информацию о состоянии линии электропередачи. Применение ПН в виде фото- и видеокамер на БПЛА дает возможность получать высококачественные снимки, по которым можно обнаружить различные дефекты воздушных ЛЭП.

В качестве аппаратуры для фотосъемки выбрана камера Sony ILCE-6000 APS-C на двухосевой гиростабилизированной платформе с разрешением 24.7 млн. пикселей. Данная камера позволяет получать изображения отличного качества с высокой скоростью 11 кадр/с, что дает возможность выбирать лучшие кадры с лучшим разрешением.

В качестве аппаратуры для видеосъемки выбрана камера с гиростабилизацией Sony FCB-N11 с разрешением 1920×1080, которая будет передавать изображение на пульт оператора БПЛА в режиме реального времени. Использование камеры с таким разрешением повысит оперативность при выявлении дефектов элементов ЛЭП.

Для тепловизионной съемки выбрана тепловизионная камера Flir Vue Pro. С помощью данной аппаратуры возможно выявление таких дефектов, как:

- наличие следов перекрытия и оплавления;
- повреждения и наличие коррозии проводов и тросов;
- неправильный монтаж соединений, следствием чего стал перегрев каких-либо

частей ЛЭП.

Для сравнения двух вариантов верхового осмотра ВЛ: с использованием вертолета и применением выбранного нами мультикоптера Sovzond Air-Con 3X произведем расчет годовых затрат на осмотр ЛЭП напряжением 110 кВ Мамоновского и Багратионовского районов. В данном расчете не учитывается заработная платы специалистов.

Полная стоимость мультикоптера Sovzond Air-Con 3X с полезной нагрузкой и аксессуарами приведена в табл. 2 [6].

Таблица 2 - Среднерыночная стоимость мультикоптера

Наименование	Цена, руб.
Мультикоптер Sovzond Air-Con 3X	855 000
Комплект дополнительных аккумуляторов	45 000
Программное обеспечение для автоматической обработки данных съемки	140 000
Набор антенн телеметрии с дальностью связи до 25 км	35 000
Фотокамера Sony ILCE-6000 APS-C	45 000
Видеокамера Sony FCB-H11	56 000
Тепловизионная камера Flir Vue Pro	273 900
Обучение двух человек	0
Итого	1 449 900

Периодичность осмотров каждой ВЛ по всей длине должна быть не реже 1 раза в год [7]. По данным из открытых источников [8], приблизительная протяженность воздушных ЛЭП Мамоновского и Багратионовского районов составляет 120 км. Периодичность верхового осмотра один раз в год. Таким образом, ежегодно необходимо в среднем совершить облет 120 км ВЛ.

Произведём расчёт годовых затрат на осмотр ВЛ с помощью БПЛА по формуле

$$Z_k = \frac{K}{T_{сл}} + \frac{S}{L_s} \cdot Q \cdot U \cdot C_3 \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где Z_k - годовые затраты на осмотр с помощью БПЛА (руб.); K – стоимость выбранного нами мультикоптера (1 449 900 руб.); $T_{сл}$ - срок службы БПЛА, гарантированный заводом-изготовителем (5 лет); L_s – средняя протяженность ЛЭП, обследуемая на одной зарядке БПЛА (20 км); Q - емкость аккумуляторной батареи (22 А·ч); U - номинальное напряжение аккумуляторной батареи мультикоптера (21 В) [6]; C_3 - средняя стоимость электроэнергии (4 руб./кВт·ч).

В расчетах годовых затрат на осмотр линий электропередач с помощью данного беспилотного аппарата не учитываются транспортные расходы, так как облет совмещается с осмотром с земли.

С помощью формулы (1) определим годовые затраты при использовании БПЛА:

$$Z_k = 289\,991 \text{ руб.}$$

Таким образом, использование БПЛА в качестве оборудования для верховых осмотров воздушных ЛЭП экономически оправдано.

Выбранный нами БПЛА не может осуществлять работу в любой день в году из-за погодных ограничений: осадков, ветра со скоростью выше 10 м/с, тумана. Температура окружающей среды для работы БПЛА находится в пределах от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$ [7]. Чтобы оценить количество дней, когда БПЛА может работать с учетом его характеристик, были проанализированы погодные данные за 2017 г. представленные сайтом weatherarchive.ru, проводящим мониторинг погоды в Багратионовске и Мамоново с 2014 г. [9].

В результате обработки данных по Багратионовскому и Мамоновскому районам было выявлено, что нет дней с температурами, выходящими из диапазона $[-30; +40^{\circ}\text{C}]$, количество дней, когда скорость ветра превышает 10 м/с, составляет 25 (без учета кратковременных порывов ветра). В среднем по районам количество дней в году с осадками – 102 (без учета пасмурных дней с кратковременными осадками).

С учетом вышесказанного можно прийти к выводу, что количество пригодных для эксплуатации дней в году составляет 238, исходя из упрощений, что в один день встречается лишь одно ограничивающее эксплуатацию условие. Это показывает, что, хотя Калининградская область и расположена в зоне избыточного увлажнения, климатические факторы практически не ограничивают применение выбранного нами БПЛА.

Сравним затраты, обусловленные заработной платой специалистов на обслуживание ЛЭП. Для этого рассчитаем стоимость обследования 1000 км воздушных линий для каждого из БПЛА с учетом их характеристик, приведенных в табл. 1, и с учетом пригодных дней для эксплуатации беспилотных аппаратов. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Расчёт эффективности применения БПЛА

Параметр		Наземная группа	Sovzond Air-Con 3X	Aibot X6	Supercam S250	R.A.L. X6T
Число человек в рабочей группе		3	2	2	2	2
Зарботная плата, руб.	Человека в месяц	30 000	45 000	45 000	45 000	45 000
	Группы в день	3913	3913	3913	3913	3913
Число рабочих часов в день, ч		8	8	8	8	8
Скорость обследования, км	В день (данные из табл. 1) ¹	16	40	5	90	15
	В час (кол-во км в день/ число рабочих часов)	2	5	0.625	11.25	1.8
Зарботная плата группы специалистов на обслуживание 1 км, руб. (зарботная плата группы в день/ кол-во км в день)		245	98	489	43	261
Стоимость комплекса, руб. стоимость БПЛА+ ПН (фото-видеокамера, тепловизор)			1449900	1774000	3874000	3374000
Стоимость эксплуатации БПЛА ² , руб.	в течение 1 дня ³		1218	1490	3255	2835
	при обследовании 1 км ВЛ (стоимость 1 дня/кол-во км в день) ³		30	298	36	189
Общая стоимость обследования 1 км ВЛ, руб. (зарботная плата специалистов за 1 км+ стоимость эксплуатации за 1 км)		245	128	787	79	450
Стоимость обследования 1000 км ВЛ, руб.		245 000	128 000	787 000	79 000	450 000

Себестоимость обследования 1000 км ВЛ при помощи БПЛА по сравнению с обследованием бригадами ниже на 91%, что еще раз подтверждает выгоду использования данного БПЛА.

Получение разрешений для использования воздушного пространства существенно усложняет процесс задействования БПЛА. В соответствии с законодательством РФ, основным законом в сфере регулирования использования воздушного пространства является Воздушный Кодекс Российской Федерации [10]. Поэтому перед согласованием полета БПЛА необходимо проанализировать воздушную обстановку в предположительном районе полета БПЛА (рис.).

¹ Расстояние полёта учтено при условии полета в одну и другую сторону. Не взят запас на маневры над ВЛ, который зависит от самой кривизны линии и частично от скорости ветра. При углах поворота около 12–15 град БПЛА вынужден пролететь этот участок, совершив манёвр (петлю).

² Не учтены расходы на транспорт и другое оборудование.

³ При условии ежедневного использования в течение пригодных для эксплуатации дней (238 дней). Расчёт на эксплуатацию в течение 5 лет и при полной амортизации оборудования.

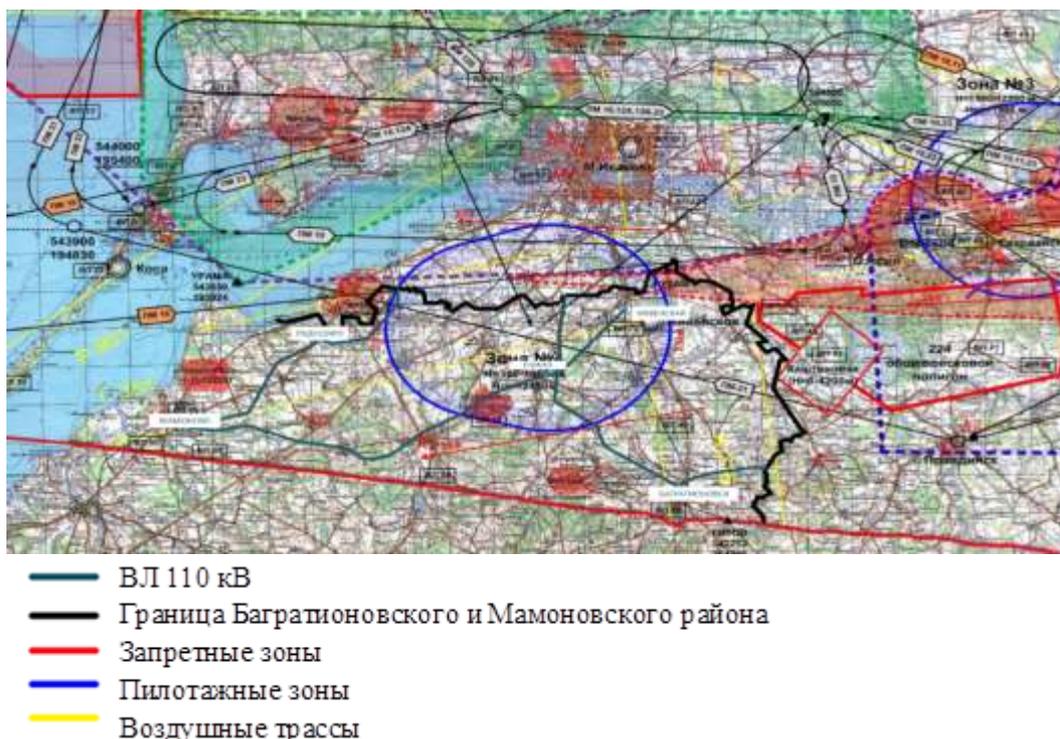


Рисунок – Фрагмент совмещённой карты воздушного пространства Калининградской области и электрической схемы ВЛ 110 кВ

В результате анализа воздушных районов Багратионовского и Мамоновского районов определено, что лишь один участок линии 110 кВ проходит через запретную зону – пос. Корнево. Для разрешения пролета над данным поселком необходимо получить разрешение в городской администрации (срок получения разрешения 5-10 дней). После получения разрешения необходимо обратиться в Зональный центр единой системы организации воздушного движения, так как в районе проведения работ зоны ответственности Международных Аэропортов отсутствуют (срок получения разрешения 3 дня).

Хотя законодательное регулирование правового статуса беспилотников несовершенно и находится в стадии становления, Мамоновский и Багратионовский районы не являются запрещенными для полета беспилотника.

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа ранка беспилотных летательных аппаратов был выбран из возможных вариантов беспилотник, способный выполнять поставленные задачи и обладающий хорошим соотношением цена/качества. Изучив области применения беспилотных летательных аппаратов и учитывая российский опыт, подобрали полезную нагрузку.

2. Себестоимость обследования линии электропередачи при помощи БПЛА Sovzond Air-Con 3X ниже на 91% по сравнению с обследованием бригадами.

3. При анализе погодных условий серьезных ограничений для применения беспилотного аппарата Sovzond Air-Con 3X выявлено не было.

4. Существенным ограничением применения БПЛА является недостаточно развитая законодательная база, так как процедура получения разрешений на полет является многоэтапной. Но законодательство в данной области совершенствуется, и, по нашему мнению, в скором будущем процедура для получения разрешения на использование воздушного пространства будет значительно упрощена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никишин, А.Ю. Результаты использования рекоузеров в сетях АО «Янтарьэнерго» /А.Ю. Никишин, И.С. Беклемешев // IV международный балтийский морской форум [Электронный ресурс]. – Калининград: Изд-во БГАРФ, стр. 958-962, 2016. – 1648 с.
2. Арбузов, Р.С. Современные методы диагностики высоковольтных линий электропередачи / Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников. – Новосибирск: Наука, 2009. – 136 с.
3. Глаза в глаза: генеральный директор «Тюменьэнерго» ввёл практику личных встреч с коллективами [Электронный ресурс] // Официальный сайт «Тюменьэнерго». – Режим доступа: http://www.te.ru/press_center/news/650/18988/. – (дата обращения: 10.03.2018).
4. Валиев, А. Эксплуатация беспилотников в электросетевом комплексе России/ А. Валиев // Электроэнергия. – 2011. – № 6. – С. 92-93.
5. МРСК Северо-Запада разрабатывает схемы применения беспилотников [Электронный ресурс] // RusCable.Ru. – Режим доступа: https://www.ruscable.ru/news/2017/07/04/Energetiki_Permenergo_ - (дата обращения: 10.03.2018).
6. Квадрокоптер Sovzond Air-Con 3X [Электронный ресурс] // Компания «Совзонд». – Режим доступа: <https://sovzond.ru>. - (дата обращения: 20.03.2018).
7. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ// РД 34.20.504–94; НЦ ЭНАС. – Москва. - 2006. - 200 с.
8. Сервис Google Карты [Электронный ресурс] // Google. – Режим доступа: <https://www.google.ru/maps/@54.495502,20.6176882,10z>. - (дата обращения: 10.03.2018).
9. Погода в городе Багратионовск [Электронный ресурс] // WeatherArchive.ru. – Режим доступа: <http://weatherarchive.ru/Pogoda/Bagratiоновsk>. - (дата обращения: 10.03.2018).
10. Воздушный кодекс Российской Федерации: от 19.03.1997 г. № 60-ФЗ (с изм. и доп. от 06.07.2016) // Собрание законодательства РФ. - 1997. - № 12. - Ст. - 1383.

THE PERSPECTIVE OF USING UNMANNED AERIAL VEHICLE IN THE CONCEPT OF «SMART GRID» IN KALININGRAD REGION

P.O. Bratsyuk, student
bracyukfilipp@mail.ru
D.K. Kugucheva, student,
kuguchevad@yandex.ru
Kaliningrad State Technical University

The results of the analytical research of potential of using unmanned aerial vehicles for diagnostics overhead power transmission lines 15 and 110 kV in Mamonovo and Bagrationovsk districts of Kaliningrad region in concept «Smart grid» have been presented in this article. The technical characteristics of different unmanned aerial vehicles (UAV) have been analyzed, and the best UAV has been chosen. The expediency of using unmanned aerial vehicles with a photo and video camera and a thermal imager for inspection overhead power transmission lines has been shown. The air conditions in Mamonovo and Bagrationovsk districts have been analyzed and specificity of air code has been identified.

unmanned aerial vehicle, drone, inspection, overhead power line, target load