

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

419-1

**12-14 ноября 2020 года**

---

**УДК 623.746.-519**

П.Р. САКНЭ, аспирант ЭТА-191, ассистент (КузГТУ),  
Р.В. БЕЛЯЕВСКИЙ, к.т.н., доцент (КузГТУ)  
г. Кемерово

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

С течением времени происходит износ элементов воздушных линий (ВЛ), рост древесно-кустарниковой растительности (ДКР), что может привести к нарушению охранной зоны ВЛ, нарушению нормального режима работы или вовсе к возникновению аварийной ситуации и, как итог, – недостатку электрической энергии.

Для повышения надежности передачи электрической энергии необходимо выполнять ежегодные периодические осмотры воздушных линий электропередачи. Также, для своевременного устранения аварийных ситуаций ключевым фактором является время обнаружения. При осмотрах определяются место и объемы повреждений. Сократить время обнаружения неисправностей позволяют беспилотные летательные аппараты (БПЛА), с такой полезной нагрузкой как:

- фотокамеры;
- видеокамеры;
- инфракрасная камера;
- ультрафиолетовая камера.

В связи с этим, обследование воздушных линий с применением БПЛА является актуальной задачей в электроэнергетике.

С помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в энергосетевых компаниях, проводятся ежегодные периодические осмотры состояния трасс воздушных линий с целью выявления нарушений. Помимо планового ежегодного осмотра, организовывается дополнительный мониторинг в пожароопасный период, грозовой период и в период ледообразования. Учитывая высокую протяженность трасс ВЛ, проходящих в труднодоступных местах, применение комплексов БПЛА может быть эффективным. Также, выполняются внеочередные осмотры при отключении ВЛ (в том числе, с успешным автоматическим повторным включением) для оперативного определения мест и объемов повреждений. [1].

Для выполнения поставленных задач перед БПЛА, необходимо преодолеть барьеры, препятствующие внедрению БПЛА в электроэнергетику. Барьерами для массового внедрения БПЛА в сферу электроэнергетики можно разделить на 3 группы:

### III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

419-2

12-14 ноября 2020 года

технические:

- необходимость централизованной системы управления;
- профилактика столкновений в воздухе и безопасность;
- трудность модификации БПЛА для выполнения задач обследования воздушных линий электропередачи;
- специфические ограничения типов БПЛА.

экономические:

- высокая стоимость БПЛА.
- обеспечение безопасности дронов от взлома.

– высокая стоимость беспилотных авиационных систем (БАС).

законодательные:

- обязательная регистрация БПЛА. Регистрации подлежат БПЛА массой свыше 0,25 кг;
- ограничения на полеты БПЛА;
- квалификационные требования к операторам и штату [1].

Существует множество путей решения для преодоления имеющихся барьеров для внедрения БПЛА в электроэнергетику, выделим основные из них:

1. гибридизация источников питания для БПЛА;
2. создание систем обеспечивающих непрерывную работу БПЛА.

Гибридизация позволяет сочетать преимущества и исключать недостатки различных источников питания. Таким образом, необходима система управления доступной энергией и её оптимальным распределением во время полета в режиме реального времени, принимающая во внимание такие факторы как время отклика, расход топлива, требуемая мощность и энергоэффективность во время выполнения конкретного полетного задания [2].

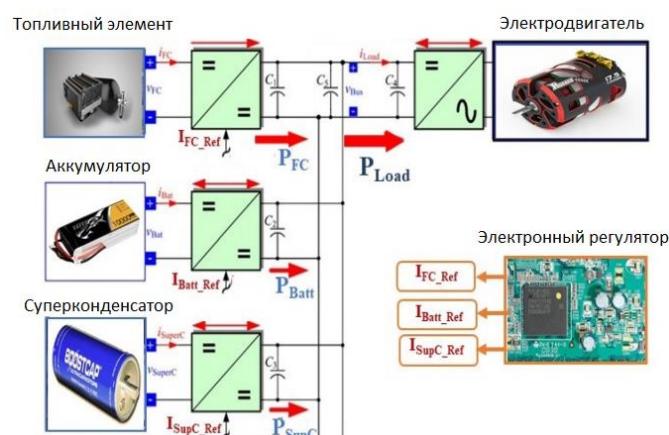


Рис. 1. Активная система распределения энергии

### III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

419-3

12-14 ноября 2020 года

---

Протонообменные мембранные топливные элементы (PEMFC), являются наиболее применяемым типом двигательной установки БПЛА. Технология обладает следующими характеристиками: легкий вес, высокая мощность, низкая рабочая температура (от 30 до 100 градусов Цельсия), длительный срок службы и низкое время отклика на изменение нагрузки.

Например, мультикоптеры на водородном топливе могут выполнять полет до 3 часов и имеют высокую грузоподъёмность, например, MMC Hyclone 1550. К тому же, процесс заправки происходит мгновенно, в отличии от подзарядки традиционных литий-полимерных аккумуляторов. Но в то же время, БПЛА на топливных элементах имеют низкий КПД (порядка 60%) по сравнению с БПЛА на аккумуляторах (КПД порядка 90%), это связано с тем, что работа топливных элементов требует дополнительного оборудования для получения водорода.

Водород имеет низкую плотность  $0,089 \text{ кг/м}^3$ . Следовательно, чтобы БПЛА мог нести достаточное количество топлива для выполнения задач, баки должны быть большого объёма. Это является важным ограничением в отношении размера и веса БПЛА. Кроме того, из соображений безопасности нет возможности хранить чистый водород при чрезвычайно высоком давлении и низкой температуре.

Следующий источник энергии, который может широко применяться в БПЛА – суперконденсаторы, это электрохимические конденсаторы, которые существенно отличаются от обычных практически неограниченной долговечностью, низкими потерями тока и большими значениями удельной мощности. При этом они имеют на порядок меньшие габариты. То есть, это батарея нового поколения, которая сможет открыть многочисленные перспективы в энергетике [2].



Рис. 2. БПЛА с гибридизацией суперконденсатора и топливных элементов

В связи с этим, применяя систему распределения энергии, можно совместить характеристики различных элементов питания и добиться

### III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

419-4

12-14 ноября 2020 года

оптимального результата, т.е повышения продолжительности полета с сохранением требуемых характеристик надежности,

Помимо этого, вместо двигателя на водородном топливе можно использовать ДВС. ДВС, хоть и не обладает мощностью водородных топливных элементов, но гораздо менее взрывоопасен. Применение БПЛА с ДВС и ЭД одновременно, увеличит максимальную продолжительность полета и обеспечит высокую надежность аппарата, исключив риск выхода из строя ДВС.

Таблица 1  
Преимущества и недостатки гибридизации

Гибридная система питания	Вид системы	Преимущества	Недостатки
		Топливный элемент и аккумулятор	
	Топливный элемент, аккумулятор и суперконденсатор	Высокая мощность, быстрая зарядка, уменьшенный вес, уменьшение токов при повышенной нагрузке, длительный срок службы, минимальные тепловые и электрические потери	Необходима система управления питанием, сложность системы, необходимость регулировки напряжения суперконденсатора

Среди перспективных систем для обеспечения непрерывной работы БПЛА можно выделить: станции для подзарядки либо замены аккумулятора и подзарядка БПЛА во время полета с помощью лазерного луча.

Док-станции подзарядки могут развертываться в городах или вдоль траекторий, соединяющих города для создания инфраструктурной сети. Устанавливать наземные станции можно на вышках сотовой связи, уличных фонарях, крышах домов, опорах линии электропередачи.

Аккумулятор может заряжаться с помощью контактов либо беспроводным способом, а сами док-станции могут питаться от линий электропередачи или солнечных батарей. Такая технология называется «Swapping».

### III Всероссийская (с международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»

419-5

12-14 ноября 2020 года

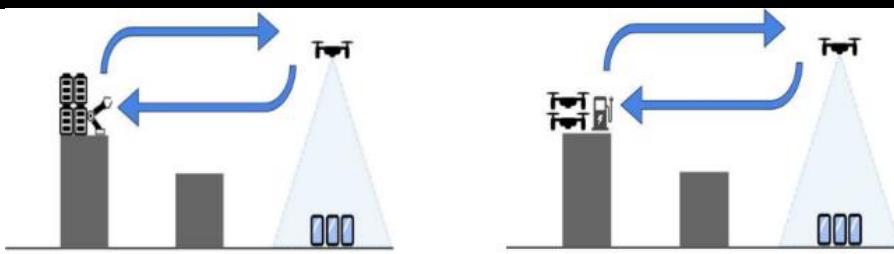


Рис. 3. Технология Swapping

Различают два вида станций, на первых, беспилотник приземляется на док-станцию и выполняется подзарядка, после успешной зарядки аккумуляторов, БПЛА продолжает выполнение задания. На станциях другого типа предусматривается замена аккумуляторов севших аккумуляторов на аккумуляторы с 100% уровнем заряда. К тому же, есть вариации, в которых БПЛА, находящийся на док-станции и готовым к работе, меняется с БПЛА, прилетевшим на док-станцию. То есть, первый беспилотник выполняет задание, второй заряжается, спустя время – они меняются местами, БПЛА работают совместно на выполнение одной задачи.

Подзарядка с помощью лазерного луча также является решением проблемы низкой продолжительности полета квадрокоптеров. Компанией LaserMotive, был разработан прототип, который показал 12-часовую продолжительность полета квадрокоптера. [2].

Для массового применения БПЛА в электроэнергетике необходимо преодолеть технические, экономические и законодательные барьеры, которые есть в настоящий момент. Но уже сейчас существуют концепты и прототипы, которые в будущем позволят применять БПЛА в электроэнергетике повсеместно и в частности для обследования воздушных линий электропередачи.

Гибридизация является перспективным направлением развития беспилотных летательных аппаратов и прототипы показывают отличные тактико-технические характеристики, которые необходимы для выполнения задач электроэнергетики: высокая продолжительность полета, стабильность во время полета, широкий диапазон регулирования скорости полета, дальность полета, возможность работать в экстремальных погодных условиях, а также возможность работать при низких и высоких температурах

**III Всероссийская (с международным участием) молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

419-6

**12-14 ноября 2020 года**

---

**Список литературы:**

1. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС»: СТО 56947007-29.200.10.235-2016. Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий электропередачи и энергетических объектов [Текст]: Нормативно-технический материал. – Москва: [б.и.], 2016. – 96 с.

2. Mohamed Nadir Boukoberine. A Critical Review on Unmanned Aerial Vehicles Power Supply and Energy Management: Solutions, Strategies, and Prospects / Mohamed Nadir Boukoberine, Zhibin Zhou, Mohamed Benbouzid // Applied Energy. – 2019. – Vol. 255, Article 113823.

**Информация об авторах:**

Сакнэ Павел Русланович, аспирант гр. ЭТа-191, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [saknepr@kuzstu.ru](mailto:saknepr@kuzstu.ru)  
Беляевский Роман Владимирович, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, [brv.egpp@kuzstu.ru](mailto:brv.egpp@kuzstu.ru)