

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

360°

Май'23

Летательный аппарат РНА-ZE 100 от компании Jekta
станет первым полностью электрическим
гидросамолетом



ЭТК Линейка малоразмерных электродвигателей

По всем вопросам:
firmam@uust.ru

Электродвигатель МБ-3013

Номинальное напряжение	27В	Пусковой момент при минимальном/максимальном нагреве постоянных магнитов (ограничивается инвертором)	213/ 197 мНм
Частота холостого хода (ограничивается инвертором)	6550 об/мин	Пиковый пусковой ток (ограничивается инвертором)	7,4А
Номинальная частота вращения (ограничивается инвертором)	6500 об/мин	Пусковой ток (ограничивается инвертором)	0,56 мТн
Номинальный момент	70 мНм	Линейная индуктивность	1,13 Ом
Фазный ток при номинальном моменте	1,93А	Линейное сопротивление	1,3·10 ⁻⁶ кг·м ²
		Момент инерции	

Электродвигатель ЗА-504

Номинальное напряжение	27В	Пусковой момент при минимальном/максимальном нагреве постоянных магнитов (ограничивается инвертором)	1550/ 1440 мНм
Частота холостого хода (ограничивается инвертором)	27000 об/мин	Пиковый пусковой ток (ограничивается инвертором)	120А
Номинальная частота вращения (ограничивается инвертором)	10000 об/мин	Пусковой ток (ограничивается инвертором)	13,8 мкТн
Номинальный момент	1440 мНм	Линейная индуктивность	5 мОм
Фазный ток при номинальном моменте	120А	Линейное сопротивление	30·10 ⁻⁶ кг·м ²
		Момент инерции	

Электродвигатель МБ-4010

Номинальное напряжение	27В	Пусковой момент при минимальном/максимальном нагреве постоянных магнитов (ограничивается инвертором)	716/ 598 мНм
Частота холостого хода (ограничивается инвертором)	2156 об/мин	Пиковый пусковой ток (ограничивается инвертором)	8,4А
Номинальная частота вращения (ограничивается инвертором)	2150 об/мин	Пусковой ток (ограничивается инвертором)	2,6 мТн
Номинальный момент	195 мНм	Линейная индуктивность	1,84 Ом
Фазный ток при номинальном моменте	2,1А	Линейное сопротивление	3,1·10 ⁻⁶ кг·м ²
		Момент инерции	

Электродвигатель ЭД-БАС-4950/400

Номинальное напряжение	37В	Пусковой момент при нагреве постоянных магнитов до 80 °С	1029 мНм
Частота холостого хода	9250 об/мин	Напряжение в режиме вклёта	40В
Номинальная частота вращения	4920 об/мин	Линейная индуктивность	650 мкТн
Номинальный момент	0,5 Нм	Линейное сопротивление	0,93 Ом
Фазный ток при номинальном моменте	11,93А	Момент инерции	57,6·10 ⁻⁶ кг·м ²



4
стр. Современные мировые достижения в области разработки и применения электрических машин.

12
стр. Обзор достижений и направлений развития силовой электроники и систем управления, а также областей применения электронных устройств

26
стр. Обзор текущего состояния исследований и разработок авиационных силовых установок в Европейском Союзе и США за апрель 2023 г.

40
стр. Современные отечественные и мировые достижения в области разработки и применения беспилотных летательных аппаратов

Страницы



Содержание

Современные мировые достижения в области разработки и применения электрических машин

Жеребцов Алексей Анатольевич

Научный руководитель фронтальной НИР «Разработка, исследования и внедрение электрических машин со сверхвысокими удельными характеристиками (в том числе криогенных электрических машин)»

1. Новости от ZeroAvia

Американская авиакомпания Alaska Airlines предоставила ZeroAvia (британско-американский разработчик водородно-электрических самолетов) региональный турбовинтовой самолет Bombardier Q400, который будет оснащен водородно-электрической силовой установкой.



Bombardier Q400



ZeroAvia также представила на мероприятии свою модульную систему электродвигателя мощностью в несколько мегаватт в конфигурации прототипа мощностью 1,8 МВт, которая осуществила вращение винта на борту 15-тонного наземного испытательного стенда HyperTruck ZeroAvia. Эта конфигурация состоит из двух модулей двигателей «HyperCore», каждый из которых представляет собой высокомогущую и высокоскоростную машину с радиальным потоком на постоянных магнитах мощностью 900 кВт и водородным охлаждением, которая работает с частотой вращения 20 000 об/мин и имеет удельную мощность 15 кВт/кг.

Испытательный стенд

Источник: zeroavia.com/alaska-airlines-zero-emission-q400

2. Электродвигатель мощностью 2 МВт от Wright Electric

Во время Саммита энергетических инноваций компания Wright представила макет электрической силовой установки мощностью 2 МВт, которую она разрабатывает в рамках программы ARPA-E ASCEND. Эта электрическая силовая установка станет ключевым компонентом технологии Wright Spirit, низкоэмиссионной модификации BAE-146.

При заявленной удельной мощности 10 кВт/кг двигатель рассчитан на масштабирование с мощностью от 500 кВт до 4 МВт для различных применений. Компания Wright будет использовать десять двигателей мощностью 2 МВт на своем электрическом самолете Wright 1 общей мощностью двигателей 20 МВт и вместимостью 186 пассажиров.



Макет энергетической силовой установки

Источник: aircosmosinternational.com/article/wright-presents-the-model-of-its-2-mw-electric-propulsion-unit-3805

3. Электрическая двигательная установка для космоса

Американскими учеными из Государственного университета Северной Дакоты и Академии торгового флота США предложен высоковольтный электрический двигатель для космических аппаратов. В статье предлагается новая концепция электрической силовой установки мегаваттного класса, приводимой в действие тепловым двигателем. Предлагаемая система имеет несколько особенностей. Она состоит из двух основных компонентов – высоковольтного двухроторного 9-фазного вращающегося электрогенератора и стационарного встроенного пассивного электрического выпрямителя с 9 ветвями. 9-фазный генератор преобразует механическую энергию от теплового двигателя в электрическую энергию переменного тока высокого напряжения. Далее энергия подается на выпрямитель, который преобразует переменный ток в постоянный ток высокого напряжения для высокоэнергетического электрического двигателя.

Источник: ieeexplore.ieee.org/document/10115536

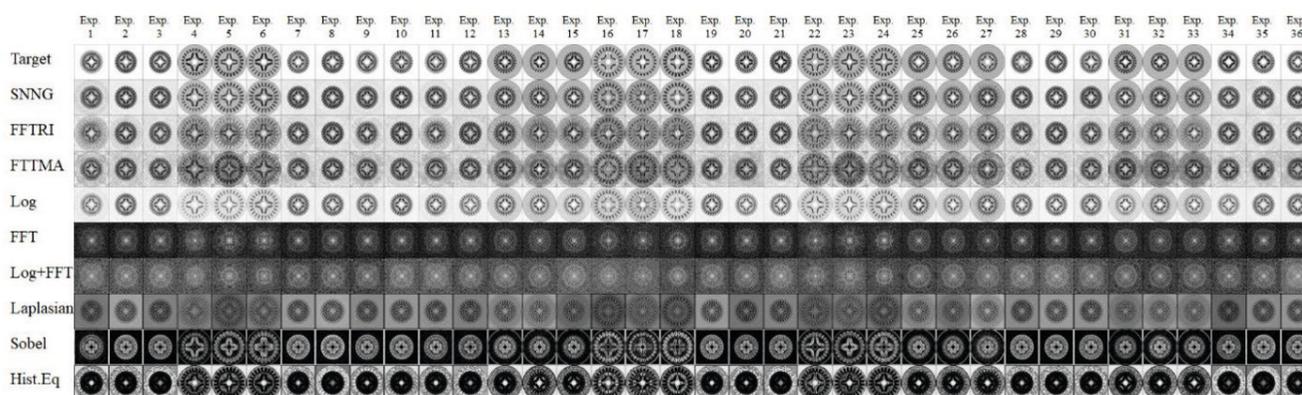
4. Новая топология ротора для электромобилей

В данной работе учеными из Индийского института технологии и инженерии Саси предлагается новая конструкция электродвигателя с одним ротором и двойной обмоткой. Предложенная модель состоит из обмотки двигателя и обмотки генератора на одном роторе. Конструкция новой обмотки ротора гарантирует создание высокого крутящего момента и плотности мощности. Разработка единого ротора с двумя обмотками для последующего использования в электромобилях может снизить нагрузку на зарядные станции. Эта технология ротора имеет такие преимущества, как высокий крутящий момент, малый вес и доступность при низкой стоимости. Основной целью данной работы является исследование различных топологий пазовых обмоток для электродвигателей, а также создание прототипа и проверка конструкции.

Источник: ieeexplore.ieee.org/document/10085890

5. Новая топология ротора для электромобилей

Коллектив турецких ученых представил методологию создания геометрии двигателей с внутренними постоянными магнитами в электромобилях с помощью методов машинного обучения и обработки изображений. В предлагаемом подходе генерируются изображения геометрии двигателя и извлекаются пространственные характеристики из полученных изображений с помощью искусственных нейронных сетей. Предлагаемый метод позволяет выполнять анализ входных векторов параметров для уменьшения их размера с использованием таких методов, как гистограмма, 2D-максимум, 2D-среднее, 2D-минимум, 2D-стандартное отклонение и 2D-дисперсия для улучшения извлечения признаков. Кроме того, FFT (быстрое преобразование Фурье) и IFFT (обратное быстрое преобразование Фурье) используются для улучшения процесса работы нейронной сети при создании геометрии изображения. Кроме того, геометрия сгенерированного изображения улучшается за счет применения методов цифровой фильтрации. Наконец, обученные искусственные нейронные сети тестируются для проверки результатов с использованием Ansys RMXprt и Maxwell.



Сгенерированная геометрия

Источник: ieeexplore.ieee.org/document/10124947

6. ЭМ с тепловыми трубками и тепловой интерфейс

Ученые из Ноттингемского университета изучают тепловые свойства различных материалов для температурного интерфейса электрической машины. В представленной статье проводятся как эксперименты, так и тепловые анализы для количественной оценки влияния различных материалов на эффективность охлаждения. Экспериментально охарактеризованы тепловые свойства 10 различных материалов в четырех категориях. Материалы используются в обмотке статора с тепловыми трубками для оценки их теплового воздействия на эффективность охлаждения двигателя при различных условиях охлаждения. Даны практические рекомендации по выбору таких материалов в электрических машинах с тепловыми трубками или другими охлаждающими средами.

Источник: ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10121787

7. Система охлаждения закрытого аксиального двигателя

Китайские ученые из Фуданьского университета и Нанкинского университета науки и технологий рассматривают систему охлаждения статора аксиального двигателя на постоянных магнитах с распределенной обмоткой с целым числом пазов на полюс и фазу для высокоскоростного тягового электромобиля большой мощности. Целью исследования является количественное определение границ мощности/удельной мощности данного типа аксиального двигателя с постоянными магнитами с применением предложенной системы масляного охлаждения, состоящей из множества охлаждающих каналов. Во-первых, представлены соображения по конструкции системы охлаждения. Затем с помощью трехмерного вычислительного гидродинамического анализа проводится сравнительное исследование тепловых характеристик статора мощного аксиального двигателя с постоянными магнитами с различными методами охлаждения. Масляные контуры внутри статора дополнительно оптимизированы для достижения лучшего охлаждающего эффекта. Наконец, изготовлен и испытан прототип полномасштабного погружного двигателя с масляным охлаждением с выходной пиковой мощностью 120 кВт и частотой вращения 15 000 об/мин. Длительная стабильная работа на высокой скорости подтверждает надежность конструкции статора. Тепловые характеристики проверяются результатами измерений температуры лобовой части обмотки в длительном режиме работы.

Источник: ieeexplore.ieee.org/document/10113840

8. Осевая теплопроводность литцендрата

Учеными из университета Ноттингема, Пекинского технологического института, Пекинского университета строительства и архитектуры и Юго-восточного университета исследуется осевая теплопроводность литцендрата при помощи аналитических расчетов и экспериментальных проверок. Изначально отбирается 9 образцов литцендрата различных типов: прямоугольной и круглой формы, с нанесением лака и без него. Затем вводятся и представляются два различных аналитических метода для расчета теплопроводности литцендрата в осевом направлении на основе теории эквивалентной длины и теории эквивалентной среды соответственно. Наконец, проводятся экспериментальные испытания, и результаты сравниваются с результатами, полученными с помощью предложенных аналитических методов. Приведены рекомендации по прогнозированию осевой теплопроводности литцендрата в этой области.

Источник: ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10086553

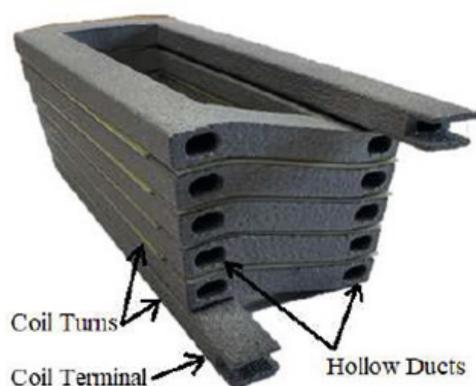
9. Генератор, использующий ВТСП проводники

Китайские ученые из Китайской академии наук, Северо-западного политехнического университета и AVIC Shaanxi Aero Electric выполнили концептуальное проектирование авиационного ВТСП-генератора с целью решения ключевых вопросов с точки зрения распределения потерь переменного тока. Полностью сверхпроводниковый генератор мощностью 10 МВт предназначен для использования в большом пассажирском самолете (с количеством мест более 150 и максимальной взлетной массой около 100 тонн). При помощи МКЭ проанализированы электромагнитные характеристики генератора и рассчитываются потери переменного тока статора и ротора. Для расчета потерь ротора в реалистичной среде с изменяющимся магнитным полем разработана и реализована методика, названная «rotation-domain exchange» или «обмен областью вращения». При использовании такого метода достигается точный расчет потерь переменного тока ротора в реалистичной изменяющейся электромагнитной среде без необходимости упрощения граничных условий, как было в ранних работах. На основе модели структура обмотки статора оптимизирована для уменьшения потерь переменного тока, а структура обмотки ротора оптимизирована для уменьшения использования ВТСП ленты. Результаты показывают, что оптимизированные потери переменного тока в статоре составляют 15,645 кВт, а потери переменного тока в роторе – 6,268 кВт, что указывает на то, что потерями переменного тока ротора полностью сверхпроводящего генератора с узким воздушным зазором и большим количеством витков катушки нельзя пренебречь, как предполагалось в предыдущей работе. Таким образом, точный расчет и специальная оптимизация потерь ротора имеют решающее значение, поскольку охлаждение ротора является гораздо более сложной задачей, чем статора, поскольку первый находится в движении.

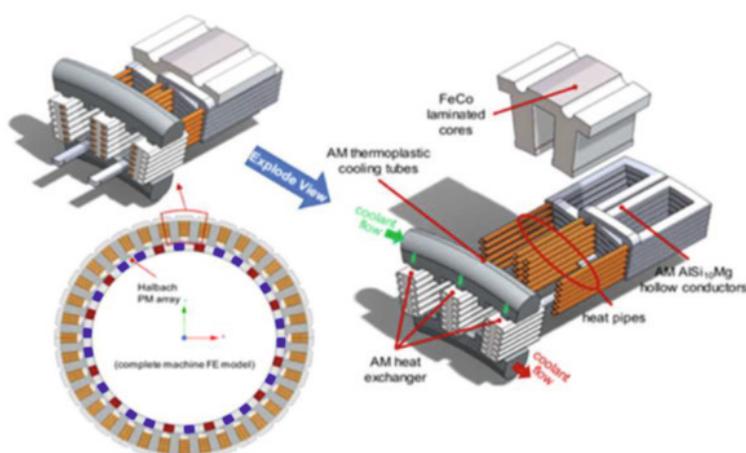
Источник: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921453422001927](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921453422001927)

10. ЭМ с активной удельной мощностью 40,7 кВт/кг

Ученые из Маркуэтского университета (США) представили работу, посвященную проектированию и оптимизации электрической машины с поверхностными постоянными магнитами мощностью 500 кВт с полыми обмотками аддитивного производства и встроенными тепловыми трубками. Скорость вращения – 10000 об/мин, соотношение пазов/полюсов – 36/30. Имеет обмотки с полым проводником и встроенными тепловыми трубками. Рассматривается для применения в аэрокосмической отрасли. Обладает активной удельной мощностью 40,7 кВт/кг при напряжении звена постоянного тока 2 кВ. Чтобы определить преимущества окончательной оптимизированной конструкции и оценить масштабируемость, проводится сравнение между предлагаемой машиной и двумя другими машинами, отличающихся частотой вращения и соотношением пазов/полюсов. Сравнение с машиной мощностью 250 кВт 5000 об/мин (с прямым приводом и соотношением пазов/полюсов 36/30) показывает увеличение удельной мощности на 65,4% при снижении КПД на 3%. Сравнение с 250 кВт 10 000 об/мин (с редуктором и соотношением пазов/полюсов 24/20) показывает, что предлагаемая конструкция обеспечивает значительно более высокую удельную мощность при той же скорости вращения.



Полые обмотки аддитивного производства



Полые обмотки с тепловыми трубками и теплообменником

Обзор достижений и направлений развития силовой электроники и систем управления, а также областей применения электронных устройств

Фаррахов Данис Рамилевич

*кандидат технических наук, доцент кафедры
электромеханики*

Барабанов Кирилл Андреевич *(инженер 1 категории)*

Фазлиахметов Денис Маратович *(инженер 2 категории)*

Рахман Мд. Нафиз *(инженер 2 категории)*

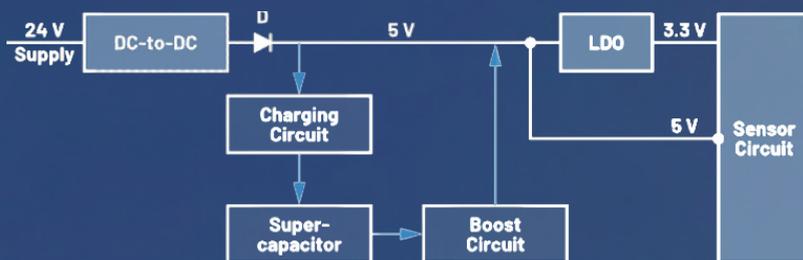
Обух Федор Андреевич *(оператор ЭВиВМ)*

Мустафин Дамир Шамилевич *(оператор ЭВиВМ)*

1. Источник бесперебойного питания с суперконденсаторами

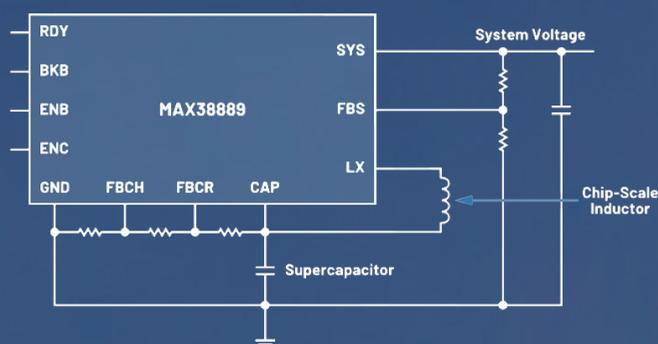
Во многих приложениях важно, чтобы напряжение питания было постоянно доступно независимо от обстоятельств. Это не всегда легко обеспечить.





На рисунке выше показано типичное промышленное применение источника бесперебойного питания. Здесь на промышленный датчик подается питание. Микросхема линейного регулятора заряда используется для зарядки суперконденсатора при наличии напряжения в системе. Если напряжение в системе падает, энергия из системы накопления энергии повышается до необходимого уровня напряжения питания с помощью повышающего регулятора. Эта система работает хорошо, но ее трудно реализовать, поскольку требуется много различных преобразователей энергии.

Ниже показана новая концепция, поддерживаемая MAX38889 от Analog Devices. Это высокоинтегрированное решение резервного питания под названием Continua™ для шин питания до 5 В. Все, что требуется, — это одна ИС с несколькими пассивными внешними компонентами. MAX38889 имеет встроенный полумост, работающий попеременно в высокоэффективном понижающем и повышающем режимах.



Логика и силовые ключи интегрированы, поэтому помимо суперконденсатора требуется только небольшой внешний индуктор размером с микросхему и несколько резервных конденсаторов. Встроенный выключатель питания верхнего плеча выполнен с использованием технологии True Shutdown™ от ADI. В результате напряжение системы может быть отделено от напряжения CAP, так что ток не будет течь от суперконденсатора в систему, если напряжение CAP станет еще выше.

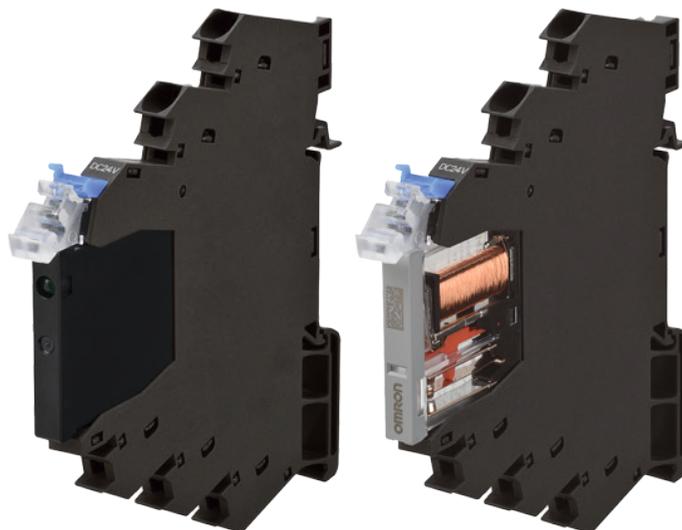
“ ”

MAX38889 Continua — это уникальное решение для резервного питания с компактной конструкцией, которое можно легко добавить к линии питания 5 В или 3,3 В с минимальными усилиями по разработке и внедрению.

Источник: analog.com/en/analog-dialogue/raqs/raq-issue208.html

2. Тонкие реле OMRON IA G2RV-ST/G3RV-ST

Тонкие реле ввода/вывода G2RV-ST и G3RV-ST новый продукт от компании Omron.



Вот они, слева направо — G3RV-ST, G2RV-ST

В этих удобных реле используется технология Push-In Plus с малым усилием вставки, что сокращает время подключения, большие отверстия и угловая конструкция повышают эффективность работы с проводкой. Улучшенная видимость светодиодов и цветовая идентификация линии напряжения стопора облегчают техническое обслуживание. Уменьшенное усилие монтажа переключки предназначено для улучшения процессов сборки, а изолирующая пластина предотвращает электризацию плоскости излома переключки. Ширина в 6.2 мм позволяет экономить место.

Серия G2RV-ST оснащена электромагнитными реле с прозрачными корпусами для удобной визуальной проверки состояния контактов на месте. Серия G3RV-ST предлагает полупроводниковые реле с максимальной допустимой нагрузкой 3 А (постоянный ток) и 2 А (переменный ток).

“”

Данный продукт может эффективно заменить свои аналоги, он прост в установке и обслуживании, а также имеет малые габариты.

Источник: allaboutcircuits.com/new-industry-products/omron-ia-g2rv-st-g3rv-st-slim-relays-new-product-brief

3. Автономная платформа для зарядки дронов

WiBotic, американская компания, специализирующаяся на передовых решениях для зарядки и оптимизации энергопотребления для роботов представила PowerPad Pro.

PowerPad Pro – это автономная платформа для зарядки дронов.



В отличие от контактных зарядных станций, запатентованная технология WiBotic обеспечивает питание по воздуху, во время посадки дрон начинает уже заряжаться. Во время зарядки аккумулятора беспроводная передача данных PowerPad Pro позволяет БПЛА быстро и легко загружать данные полета и датчиков на промышленный компьютер внутри площадки. Затем данные могут обрабатываться локально и/или автоматически передаваться с использованием LTE или транзитных радиостанций дальнего действия. Используя тот же беспроводной канал передачи данных, удаленные операторы могут загружать планы полетов или отслеживать полеты в режиме реального времени, обеспечивая безопасные и контролируемые полеты. Устройство полностью герметично, а программируемое напряжение и ток также помогают продлить срок службы батареи, уменьшая потребность в дорогостоящей замене и обслуживании батареи. Автономная платформа может быть легко интегрирована в любой существующий ангар или другое хранилище БПЛА.

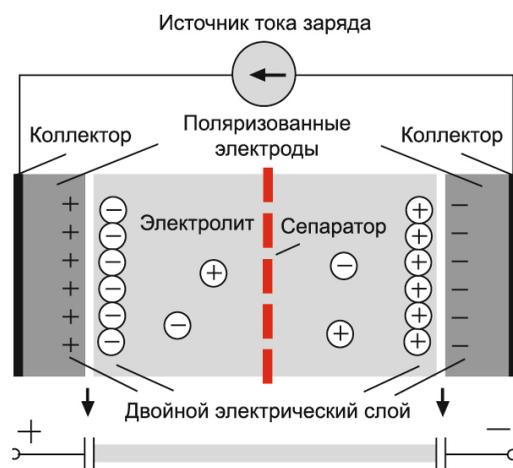
““

PowerPad Pro может значительно улучшить работу дронов в ряде отраслей: энергетике и коммунальных услугах, строительстве, обороне и сельском хозяйстве.

Источник: wibotic.com

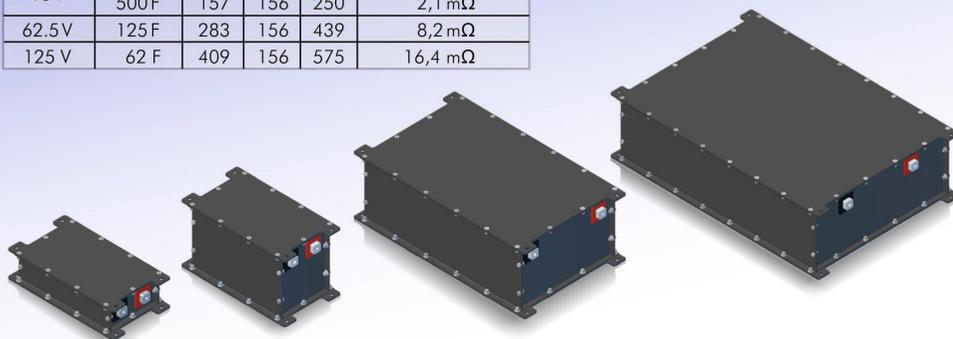
4. Инновационная альтернатива хранения энергии

Пассивные компоненты, в особенности конденсаторы, в наши дни находятся в процессе непрерывного совершенствования и, следовательно, вносят незаменимый вклад в технический прогресс в области электроники. Одной из недавних инноваций в области пассивных компонентов стали конденсаторы с двойным электрическим слоем (Double-layer capacitor).



Standard WIMA PowerBlock Module

U _R	C _N	Abmessungen			Max. ESR _{DC, initial}
		W	H	L	
16V	105 F	157	69	250	5,2 mΩ
	500 F	157	156	250	2,1 mΩ
62.5V	125 F	283	156	439	8,2 mΩ
125 V	62 F	409	156	575	16,4 mΩ



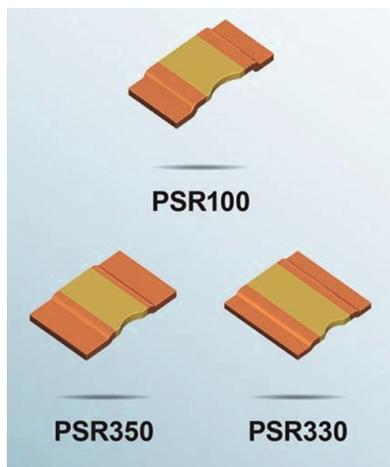
Двойной слой состоит из ионов. При приложении внешнего напряжения ионы притягиваются к электродам, имеющим противоположную полярность, что приводит к образованию диэлектрического слоя. В результате огромная площадь поверхности электродов дает очень большие значения емкости. Из нескольких конденсаторов с двойным электрическим слоем можно построить конденсатор с огромной емкостью и необходимым рабочим напряжением. Модули WIMA PowerBlock, построенные на конденсаторах с двойным электрическим слоем, сочетают преимущества как традиционных конденсаторов (высокие токи разряда/заряда), так и батарей. В отличие от хранения энергии посредством батарей, напряжение заряда определяет объем энергии, поэтому неожиданный коллапс напряжения не может случиться с модулем PowerBlock.

Модули PowerBlock не требуют операций обслуживания и имеют относительно малый вес, устойчивы к значительным изменениям температуры, легко выдерживать более 1 млн циклов заряда/разряда с эффективностью свыше 90%. В сравнении с другими устройствами хранения энергии риск разрушения вследствие полного разряда абсолютно исключен для WIMA PowerBlock.

PowerPad Pro может значительно улучшить работу дронов в ряде отраслей: энергетике и коммунальных услугах, строительстве, обороне и сельском хозяйстве.

Источник: wibotic.com

5. Новый сверхнизкопрофильный шунтирующий резистор



Шунтирующие резисторы уже некоторое время используются в силовых модулях промышленного оборудования. Обычные металлические пластинчатые шунтирующие резисторы снижают эффективность охлаждения силовых устройств из-за их относительно высокого профиля. Компания ROHM решила эту проблему, создав сверхнизкопрофильные шунтирующие резисторы.

ROHM использует вертикально интегрированную производственную систему вместе с оптимизацией материалов и технологических процессов для достижения минимальной толщины своей продукции - 0,03 дюйма (0,85 мм), что примерно вдвое меньше толщины обычных изделий класса 12 Вт. Это

уменьшает габариты примерно на 65% по сравнению с обычными изделиями того же класса, помогая уменьшить площадь монтажа в широком диапазоне применений с высокой мощностью.

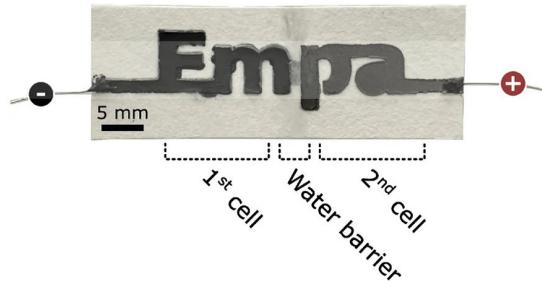
Имя	Сопротивление [МОм]	Номинальная мощность		Рабочая температура
		Низкая температура. Боковой	Высокая температура. Боковой	
PSR100	0.2	12 (120 °C)		от -65 °C до +175 °C
	0.3	8 (75 °C)	4 (140 °C)	
	0.5			
	1.0	6 (75 °C)	4 (140 °C)	
	2.0			
	3.0	4 (75 °C)	3 (140 °C)	
PSR330	0.1	15 (120 °C)		
	0.5	8 (100 °C)		
	1.0	6 (100 °C)		
PSR350	0.27	12 (120 °C)		

Данное изделие поможет уменьшить размер корпусов устройств, а также увеличить эффективность охлаждения силовых устройств.

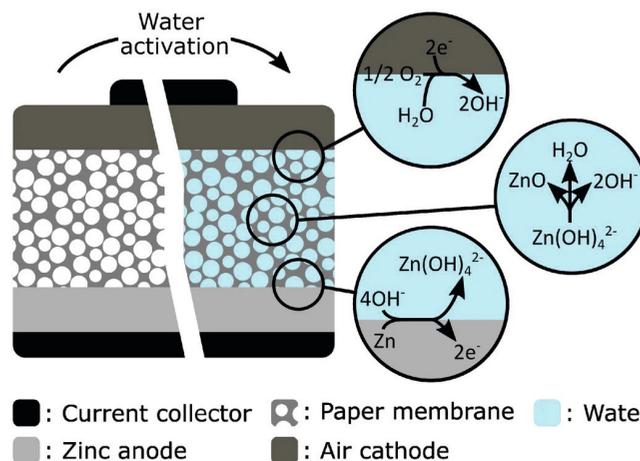
Источник: rohm.com/news-detail?news-title=2023-04-27_news_resistor

6. Одноразовый бумажный аккумулятор

Большому количеству устройств требуется небольшое количество энергии, чтобы иметь возможность однократного применения. К ним относятся одноразовая электроника для диагностических устройств на месте. При уменьшении размера стоимость и воздействие на окружающую среду от использования обычных конструкций батареек все еще могут быть значительными. Решая эту проблему, исследователи EMPA разработали одноразовую бумажную батарейку, которая снижает воздействие батарей на окружающую среду в таких одноразовых приложениях.



Элемент состоит из бумажной мембраны, расположенной между катодом на основе цинка и воздушным катодом на основе графита. Токосъемники на углеродной основе используются для извлечения заряда из элемента и контакта с внешней схемой. Устройство остается неактивным до тех пор, пока вода, которая служит электролитом, не поступит в систему и не пропитает бумажную мембрану.



При замыкании внешней цепи, электроны переносятся с цинксодержащего анода - через чернила, содержащие графит и сажу, провода и устройство - на графитовый катод. Эти окислительно-восстановительные реакции, таким образом, генерируют электрический ток, который может использоваться для питания внешнего электрического устройства. После активации один элемент обеспечивает потенциал разомкнутой цепи 1,2 В и пиковую плотность мощности 150 мкВт/см² при 0,5 мА.

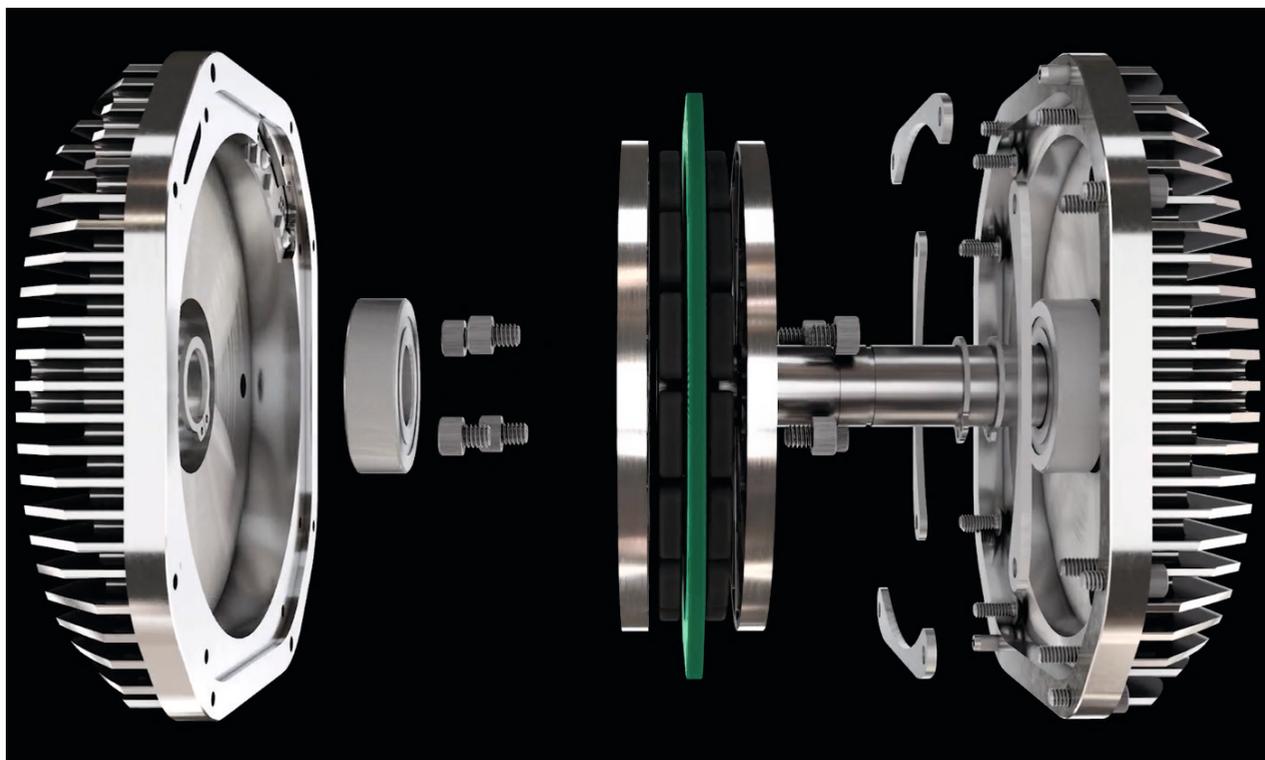
“ ”

Данное устройство позволит снизить вред от использования аккумуляторных батарей.

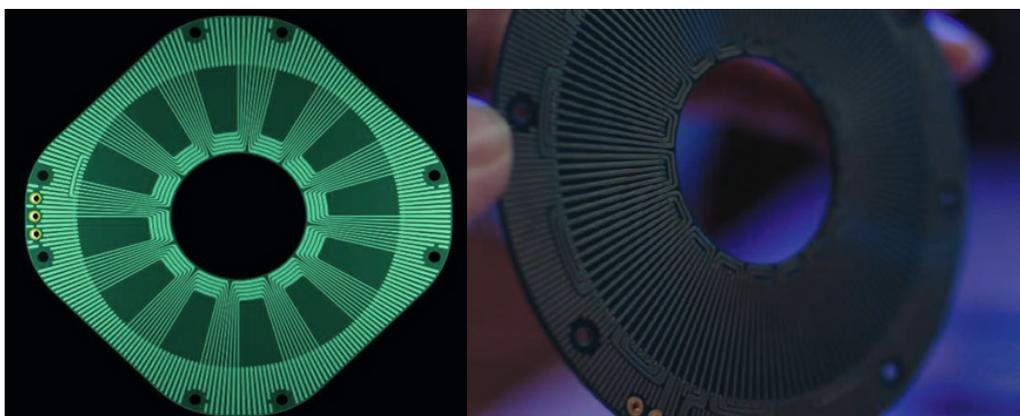
Источник: electronicdesign.com/technologies/power/whitepaper/21249208/electronic-design-printed-single-use-paper-battery-is-wateractivated-and-easy-to-dispose

7. Двигатели с печатным статором

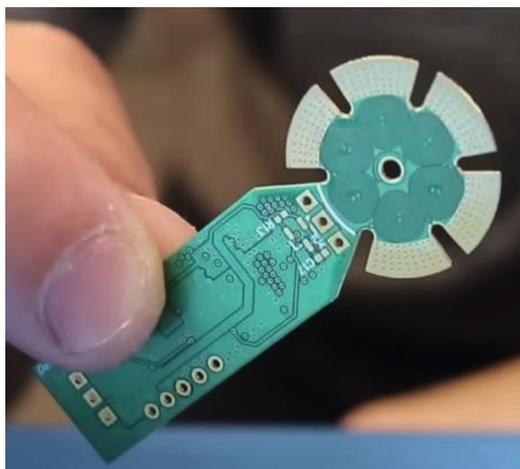
С развитием технологий изготовления печатных плат, разработчикам удалось уменьшить массогабаритные показатели своих изделий, собранных на них. Сфера печатных плат настолько обширна, что разработчики собирают на них даже миниатюрные двигатели, так называемые РСВ двигатели. Данный двигатель представляет собой напечатанный статор и привычный нам ротор.



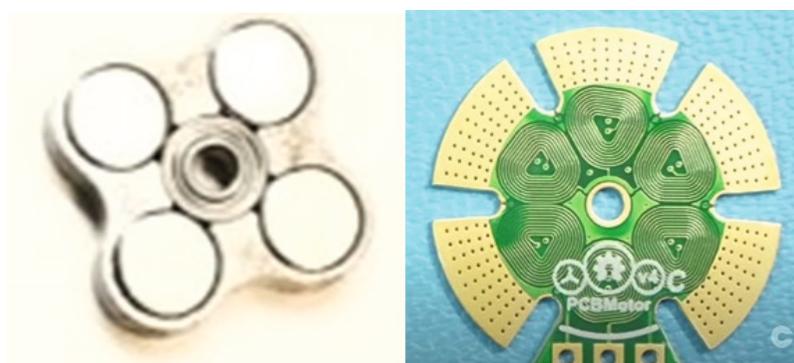
Статоры для печатных плат оптимизируют геометрию меди и схемы намотки, обеспечивая превосходную эффективность (порядка 96%) при меньшем воздействии на окружающую среду.



У таких двигателей отсутствует акустический шум, а также они требуют значительно меньше сырья, только 20% меди по сравнению с другими типами двигателей, что позволяет им быть на 70% легче, чем традиционные машины, при этом составляя лишь часть их осевой длины, обеспечивая большую мощность в меньшем корпусе. Помимо коммерческих предложений есть энтузиасты, создающие данные двигатели в домашних условиях.



Статор двигателя напечатан на печатной плате, его вес не превышает 1,5 грамма. Ротор с постоянными магнитами выточен из привычного нам железа, вес с магнитами составляет 3,5 грамма.



Данный двигатель может разогнаться до 23 000 об/мин, имеет крутящий момент в 1 грамм на сантиметр и максимальную рабочую температуру в 130 градусов Цельсия.

“”

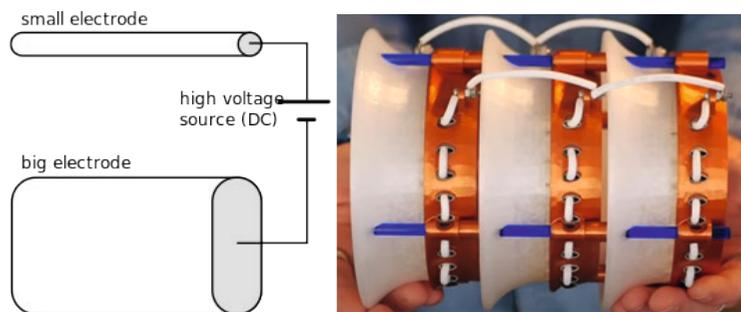
Данное устройство — первый шаг на пути к новым конструкциям для привычных нам устройств.

Источник: nplus1.ru/news/2018/11/21/solidstate?ysclid=li1qvckeo3635265557

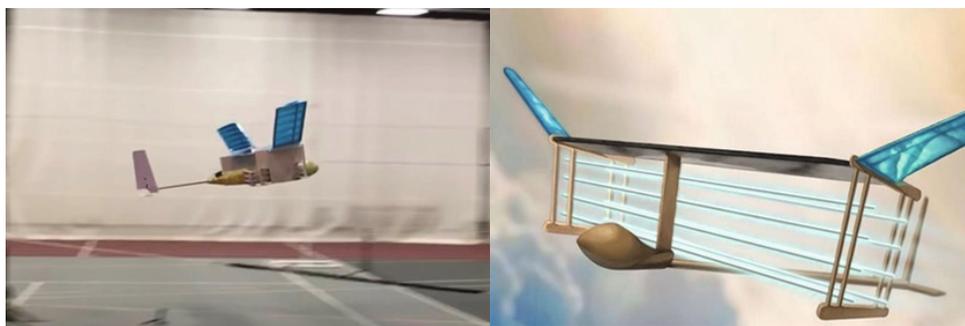
8. Ионно-плазменный двигатель

В настоящее время самолеты приводятся в движение с использованием движущихся частей, таких как пропеллеры и турбины. Большинство из них работает на ископаемом топливе. В попытках разработать новый способ приведения в движение самолет, был предложен метод электроаэродинамики, в которой электрические силы ускоряют ионы вещества. Разработанный по данному методу двигатель получил название «ионно-плазменный».

Работа ионно-плазменного двигателя основывается на эффекте Бифельда-Брауна - ионизации атомов воздуха вблизи острых и резких граней при коронном разряде в сильных электрических полях. Обычно используется пара из двух электродов, один из которых тонкий или острый, вблизи которого напряжённость электрического поля максимальна и может достигать значений, вызывающих ионизацию воздуха, и более широкий с плавными гранями.



Вблизи тонкого электрода возникает ионизация атомов воздуха (кислорода в случае отрицательного напряжения на этом контакте, азота в случае положительного). Полученные ионы начинают двигаться к широкому электроду, сталкиваясь с молекулами окружающего воздуха и отдавая им часть своей кинетической энергии, либо превращая молекулы в ионы (ударная ионизация), либо передавая им ускорение, в результате создаётся поток воздуха от тонкого электрода к широкому. Возникающая сила тяги $F = Id/k$, где I — ток между электродами в амперах, d — ширина диэлектрического зазора в метрах и k — подвижность ионов данного типа в данной среде. В вакууме эффект не возникает. Самолет, работающий на этом эффекте, носит название «инолет».



Ученые из Массачусетского технологического института провели первые летные испытания модели самолета-инолета. Во время испытаний самолет с помощью ионной тяги пролетел около 60 метров на высоте 47 сантиметров от пола. Запуск летательного аппарата производился с помощью катапульты.

Модель самолета-инолета, сделанная американскими учеными, выполнена по схеме высокоплана. Самолет имеет размах крыла 5 метров и массу 2,45 кг, аккумуляторную сборку из литий-полимерных батарей, способную выдавать напряжение от 160 до 225 вольт. Под консолями крыла исследователи установили по четыре горизонтальные пары электродов, благодаря которым и возникает явление ионного ветра. По данным ученых, двигатель такой конструкции обеспечивает тягу в три ньютона (около 306 граммов-силы). Потребляемая мощность силовой установки составляет 500 ватт.

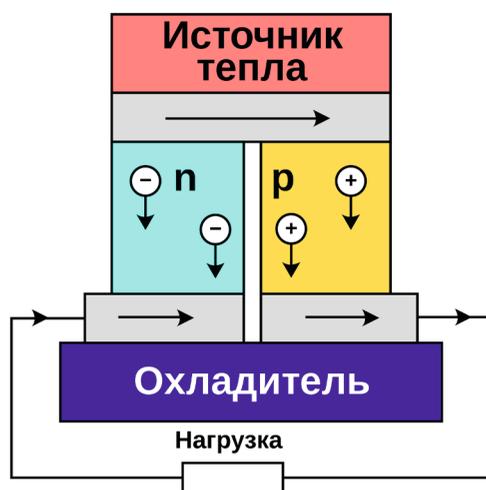
“”

Совершенствование конструкции двигателей позволит создавать мощные силовые установки, которые по сравнению с современными авиационными двигателями будут более экологичными и экономичными. В частности, их нужно будет реже ремонтировать, поскольку такие двигатели лишены подвижных частей.

Источник:
hackaday.io/project/39494-pcb-motor
pcbstator.com

9. Автономное питание для датчиков

Расширение интеллектуальных систем управления на основе Интернета вещей (IoT) требует питания датчиков, приводов и беспроводной передачи данных, которые могут быть расположены вне сети или труднодоступны. Сбор энергии из промышленного избыточного тепла с помощью термоэлектрических генераторов (ТЭГ) может помочь преодолеть предстоящие проблемы. Сбор энергии с помощью термоэлектрических генераторов (ТЭГ) является идеальным выбором благодаря их длительному сроку службы, отсутствию движущихся частей, бесшумной работе, отсутствию ограничений по ориентации и широкому диапазону рабочих температур. ТЭГ изготовлен из полупроводниковых материалов (n и p типа), обеспечивающих электрический потенциал, когда к модулю приложена разность температур. Возникновение электроэнергии в ТЭГ основано на эффекте Зеебека.



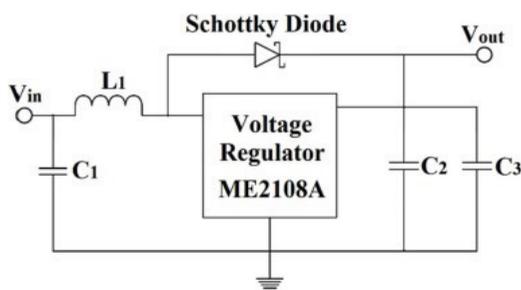
Эффект Зеебека состоит в том, что если вдоль полупроводника существует разница температур (градиент температуры), то электроны на горячем конце приобретают более высокие энергии и скорости, чем на холодном. В результате возникает поток электронов от горячего конца к холодному. На холодном конце накапливается отрицательный заряд, а на горячем остаётся положительный заряд.

Рабочие характеристики ТЭГ можно оценить по его максимальной выходной мощности (P_{\max}), когда сопротивление нагрузки (R_L) равно внутреннему сопротивлению устройства.

$$P_{\max} = \frac{S^2(T_h - T_c)^2}{4R} = \frac{V_{out}^2}{4R}$$

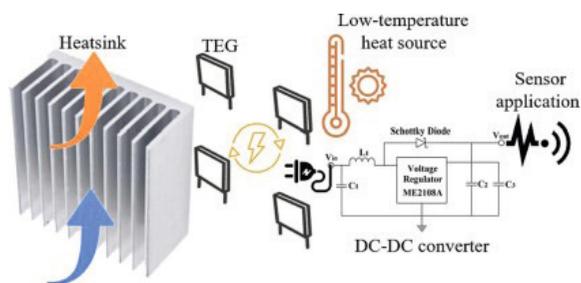
Где S — коэффициент Зеебека, T_h — горячая температура, T_c — холодная температура, V_{out}^2 — выходное напряжение.

Поскольку колебания температуры могут влиять на выходное напряжение, а подаваемое напряжение обычно низкое, в большинстве датчиков с питанием от ТЭГ используются преобразователи постоянного тока для обеспечения подходящего электрического потенциала для датчиков.

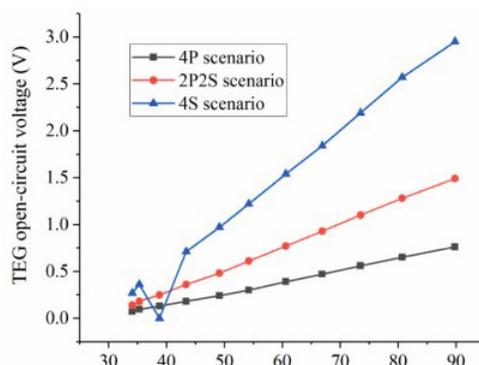


Преобразователь постоянного тока сохраняет электрическую энергию ТЭГ в катушке индуктивности и высвобождает ее. Эта энергия суммируется с напряжением питания, за счет чего на выходе мы получаем более высокое напряжение.

Условия работы и компоновка системы ТЭГ имеют важное значение для проектирования соответствующего силового преобразователя. Исследователи протестировали установку, состоящую из управляемого низкотемпературного источника тепла, четырех сборщиков энергии ТЭГ, радиатора с естественным воздушным охлаждением и модифицируемого повышающего преобразователя постоянного тока, где четыре ТЭГ соединяли разными способами: все последовательно (4S), 2 последовательно 2 параллельно (2S2P) и все параллельно (4P).



Результаты их исследования представлены на графике.



В ходе исследования ученые получили следующие результаты: при температуре стенки ниже 50 °C наибольшей эффективностью обладает схема 4S; при температуре стенки от 50 °C до 65 °C компоновка 2P2S является наиболее подходящим выбором с более высокими выходными напряжениями; для более высоких температур стенки, чем 70 °C, комбинация 4P предпочтительнее из-за низкой зависимости от изменения внешней нагрузки.

“ ”

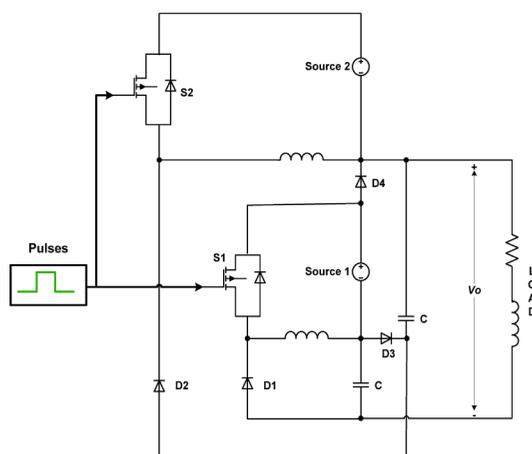
Автономное питание для датчиков, посредством использования ТЭГ, является перспективным решением для труднодоступных устройств или устройств, требующих питания не от сети. За счет разного подключения ТЭГ, можно добиться наибольшей эффективности в разных диапазонах температур.

Источник:

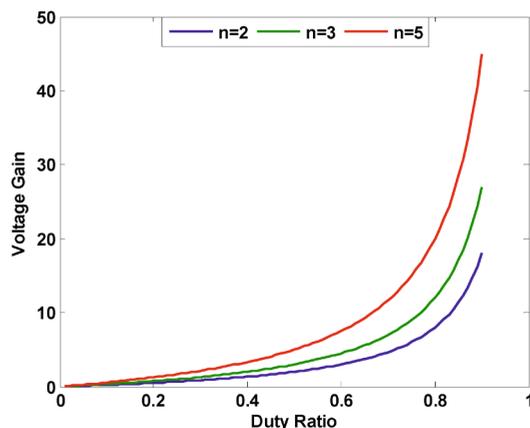
[sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174523000120](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174523000120)
[sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S143484119325920](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S143484119325920)
[sciencedirect.com/science/article/pii/S2666523923000144](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666523923000144)

10. Понижающе-повышающие преобразователи постоянного тока

Преобразователи постоянного тока считаются наиболее распространенными преобразователями. Сфера их применения включает в себя использование их в качестве зарядных устройств для аккумуляторов, приводов двигателей постоянного тока, электромобилей, применения в возобновляемых источниках энергии, драйверов светодиодов (LED). Помимо повышающих и понижающих преобразователей постоянного тока, существует и повышающе-понижающий преобразователь. Он представляет собой преобразователь постоянного тока, который способен выдавать выходное напряжение ниже или выше входного.



Предлагаемый исследователями преобразователь имеет возможность питаться от нескольких источников постоянного тока. Следовательно, он может питаться от двух, трех или большего количества источников в зависимости от количества модулей, принятых в его конструкции. Преобразователь может питать одиночную нагрузку питанием постоянного тока с напряжением ниже или выше суммы всех напряжений постоянного тока возбуждения с неперевернутой полярностью напряжения на его выходе. Ключи преобразователя управляются с помощью только одиночного импульса. Это означает, что они включаются или выключаются одновременно. Эта особенность считается преимуществом, так как для предлагаемого преобразователя не требуется усложнение схем возбуждения. Улучшенные возможности повышения и понижения достигаются за счет последовательного соединения конденсаторов преобразователя. При этом надежность этого преобразователя считается высокой, так как, при возникновении частичного отказа или отказа одного из источников возбуждения преобразователь может работать на другом источнике питания, не прекращая работать.



На графике представлено изменение коэффициента усиления по напряжению в зависимости от скважности при различном числе ступеней преобразователя. Коэффициент усиления рассматривается как отношение выходного напряжения преобразователя к входному напряжению только одного каскада, чтобы показать влияние количества каскадов на коэффициент усиления. Из графика видно, что преобразователь может выдавать напряжения ниже или выше входного. Кроме того, увеличение числа каскадов увеличивает значение выходного напряжения.

Предлагаемый понижающе-повышающий преобразователь постоянного тока с несколькими источниками может использоваться во многих сферах. Ниже приведен вариант использования предлагаемого преобразователя в качестве зарядного устройства для аккумуляторов электромобилей.

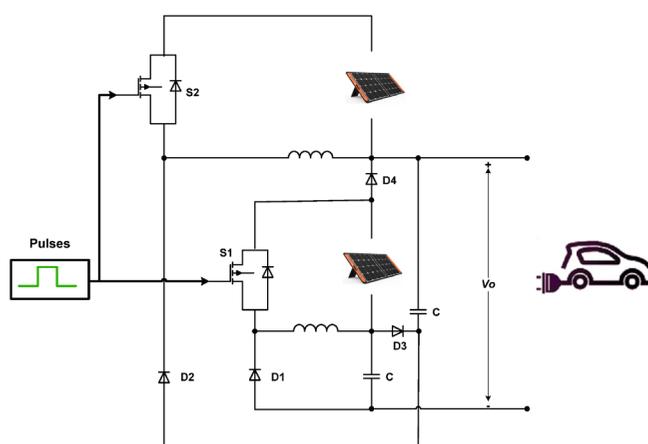


Схема представляет собой систему зарядки аккумуляторов для электромобилей от фотоэлектрических систем. Фотоэлектрические панели используются в качестве входных источников для предлагаемого преобразователя. Благодаря своей конструкции данный преобразователь способен эффективно регулировать выходное напряжение (повышать или понижать входное) в зависимости от изменения освещённости солнцем. Когда происходит частичный отказ в возбуждающих фотоэлектрических панелях, переключателях преобразователя или других компонентах, преобразователь все еще может заряжать аккумуляторы электромобиля из-за наличия более чем одной ступени. Скорость заряда батареи замедлится при возникновении частичного отказа, но процесс зарядки все равно будет происходить.

“”

Предложенная схема позволяет получать напряжение постоянного тока от солнечных панелей или других источников энергии для питания бытовых нагрузок и зарядки электротранспорта без применения преобразователя большой мощности и высоковольтных транзисторов, что положительно отражается на размерах электроники.

Источник:
mdpi.com/1996-1073/16/1/216
ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/pel2.12414

Обзор текущего состояния исследований и разработок авиационных силовых установок в Европейском Союзе и США за май 2023 г.

Михайлов Алексей Евгеньевич

Кандидат технических наук, доцент, научный руководитель фронтальной НИР «Формирование теории нового класса электрических машин, созданных с помощью аддитивных технологий», руководитель группы силовых установок

1 Грузовой дрон **Dronamics Black Swan.** ● Первый полет

В аэропорту г. Балчик (Болгария) состоялся первый испытательный полет Black Swan, которому предшествовал длительный комплекс наземных испытаний и летных испытаний масштабных прототипов. Дрон Black Swan при совершении испытательного полета дистанционно управлялся двумя пилотами из центра наземного управления БПЛА Dronamics.

Dronamics Black Swan – это грузовой дрон с размахом крыла 16м, высотой 4м, который имеет грузовой отсек объемом 3.5м³, грузоподъемность 350 кг и дальность полета 2500 км. Максимальная скорость полета Black Swan составляет 200 км/ч, а максимальная высота полета 6.1 км. Испытательный полет Black Swan длился 10 минут, была достигнута высота 610 м, средняя скорость полета составила 140км/ч. По заявлениям представителей Dronamics испытательный полет Black Swan обеспечил успешную валидацию комплекса применяемых технологий.

Штатно Black Swan оснащается винтомоторной группой на базе широко распространенного авиационного поршневого двигателя Rotax 912. Для обеспечения перспективных экологических норм планируется проведение летных испытаний дрона с использованием различных типов устойчиво производимых авиационных топлив.



В декабре 2022 г. Компания Dronamics объявила о сотрудничестве с британским стартапом Cranfield Aerospace Solutions (CAeS), специализирующимся на разработке авиационных силовых установок на базе водородо-воздушных топливных элементов. В настоящее время ведется работа по интеграции решений CAeS в грузовой дрон Black Swan для создания новой экологически чистой версии дрона. Ключевой целью Dronamics является радикальное снижение себестоимости авиаперевозок, целевой показатель себестоимости — \$5/кг, что на 50% ниже текущего уровня.

Dronamics Black Swan является первым грузовым дроном, сертифицированным для полетов в Европейском Союзе. Одной из важных характеристик Black Swan является его длина пробега при посадке – всего лишь 400 метров.

2. Rolls-Royce проводит наземные испытания двигателя Pearl 10X

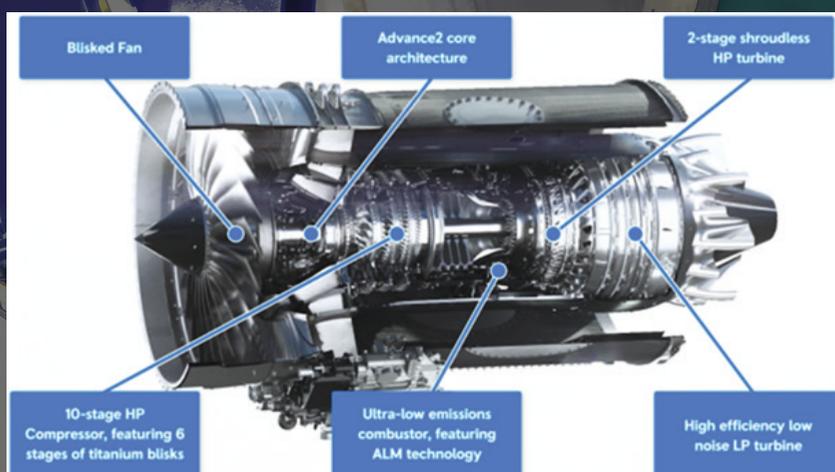
Компания Rolls-Royce успешно реализует программу разработки нового двигателя Pearl 10X для бизнес-джета Dassault Falcon 10X.

Разработка двигателя Pearl 10X ведется на основе газогенератора двигателя-демонстратора технологий Advance 2. Двигатель-демонстратор Advance 2 является самым эффективным среди двигателей для самолетов бизнес-авиации. На текущий момент совокупная наработка газогенератора двигателя-демонстратора технологий Advance 2 и опытного двигателя Pearl 10X превышает 1500 часов.

В настоящее время ведется подготовка летающей лаборатории на базе Boeing 747, принадлежащей Rolls-Royce, к проведению летных испытаний двигателя Pearl 10X.

Ожидается, что летные испытания двигателя должны начаться до конца 2023 года.

Отличительной особенностью двигателя Pearl 10X является новая ультра-малоэмиссионная камера сгорания, изготовленная с использованием аддитивных технологий, которая адаптирована для работы на 100% устойчиво производимом авиационном топливе. Кроме того, двигатель включает в себя вентилятор выполненный по технологии БЛИСК, 10-ступенчатый компрессор высокого давления с 6 ступенями по технологии БЛИСК, 2-ступенчатую безбандажную турбину высокого давления и высокоэффективную компактную 4-ступенчатую турбину низкого давления.



Архитектура двигателя Rolls-Royce Pearl 10X

Ожидается, что двигатель Pearl 10X будет обладать повышенной на 5% топливной эффективностью по сравнению с одноклассниками и улучшенными акустическими характеристиками, что задаст новый стандарт в классе двигателей для дальнемагистральных бизнес-джетов.

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/engine-testing/rolls-royces-pearl-biz-jet-engine-progresses-through-test.html

Двигатель Rolls-Royce UltraFan на испытательном стенде (фон)

3. Rolls-Royce завершил стендовые испытания двигателя UltraFan

Компания Rolls-Royce объявила об успешном запуске кампании наземных стендовых испытаний двигателя-демонстратора технологий UltraFan. Испытания проводят в новом испытательном комплексе Testbed 80, самом большом закрытом испытательном центре, специально построенном для реализации программы испытаний двигателей UltraFan.

В рамках программы UltraFan компания Rolls-Royce осуществила переход на новую архитектуру – вместо традиционной для британской компании трехвальной схемы ТРДД впервые применяется двухвальная схема с редукторным приводом вентилятора.

По заявлениям представителей Rolls-Royce топливная эффективность двигателя-демонстратора технологий UltraFan на 10% превышает эффективность наиболее совершенного двигателя компании – Rolls-Royce Trent XWB.

В долгосрочной перспективе спектр критических технологий, реализованных в двигателе-демонстраторе UltraFan позволит разработать семейство двигателей тягой 111-444кН.

Двигатель UltraFan интегрирует в себя критические технологии, разработанные в рамках программы создания двигателя-демонстратора Advance 3, ультра-малоземиссионную камеру сгорания, разработанную в рамках программы ALECSys и уникальный редуктор привода вентилятора мощностью 64МВт.

Первые наземные испытания двигателя UltraFan прошли с применением 100% устойчиво произведенного авиационного топлива.

Согласно заявлениям руководства Rolls-Royce plc наземные испытания Rolls-Royce UltraFan продлятся несколько месяцев, после чего технологическая программа будет приостановлена.

Отсутствие новых проектов широкофюзеляжных дальнемагистральных самолетов от двух ведущих производителей, Airbus и Boeing, означает, что не стоит в кратко- и среднесрочной перспективе ожидать летных испытаний двигателя-демонстратора Rolls-Royce UltraFan.

При этом следует отметить, что при достижении достаточного уровня зрелости критических технологий, заложенных в двигатель-демонстратор UltraFan, они будут интегрированы в двигатели семейства Rolls-Royce Trent, например Trent XWB.

В рамках программы Европейского Союза Clean Aviation запущен проект HEAVEN, в рамках которого Rolls-Royce Deutschland ведет проработку даунсайзинга двигателя-демонстратора UltraFan для создания силовой установки ближне-среднемагистрального самолета с потенциальным вводом в эксплуатацию в середине 2030-х. Кроме того, ведутся работы над адаптацией двигателя-демонстратора UltraFan для работы на водородном топливе.

В Rolls-Royce ведутся работы над вторым поколением двигателя-демонстратора UltraFan, отличающимся улучшенной аэродинамикой основных узлов, а также микро-гибридизацией за счет установки малых мотор-генераторов.



Архитектура двигателя Rolls-Royce UltraFan

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/engine-testing/rolls-royce-starts-up-ultrafan-engine-testing.html
flightglobal.com/engines/rolls-royce-to-pause-ultrafan-testing-after-first-phase-as-it-waits-on-airframer-need/153360.article

4. Jekta заключила соглашение о сотрудничестве с Honeywell

Швейцарский стартап Jekta заключил соглашение о сотрудничестве с компанией Honeywell как поставщиком различных агрегатов и систем для разрабатываемого полностью электрического регионального гидросамолета Jekta Passenger Hydro Aircraft Zero Emission 100 (PHA-ZE 100).



Электрический гидросамолет Jekta PHA-ZE 100

По заявлениям представителей Jekta, летательный аппарат PHA-ZE 100 станет первым полностью электрическим гидросамолетом. Компания Jekta рассматривает Honeywell как разработчика и поставщика авионики, тяговых электродвигателей, системы управления самолетом и различных коммуникационных систем. Финальная архитектура систем полностью электрического гидросамолета будет определена до конца 2023 года. Ожидается, что 19-местный региональный гидросамолет будет оснащен в качестве источника энергии либо аккумуляторными батареями, либо водородными топливными элементами. Планируемая длительность полета гидросамолета PHA-ZE 100 составляет 1 час с резервом 30 минут при использовании аккумуляторных батарей.

Планируется, что гидросамолет будет сертифицирован в соответствии с нормами EASA CS-23 и FAA FAR-23 с вводом в эксплуатацию в 2029 году.

По заявлениям представителей Jekta целевым показателем PHA-ZE 100 является снижение затрат на 1-го пассажира на час полета не менее чем на 70% по сравнению с традиционными гидросамолетами.

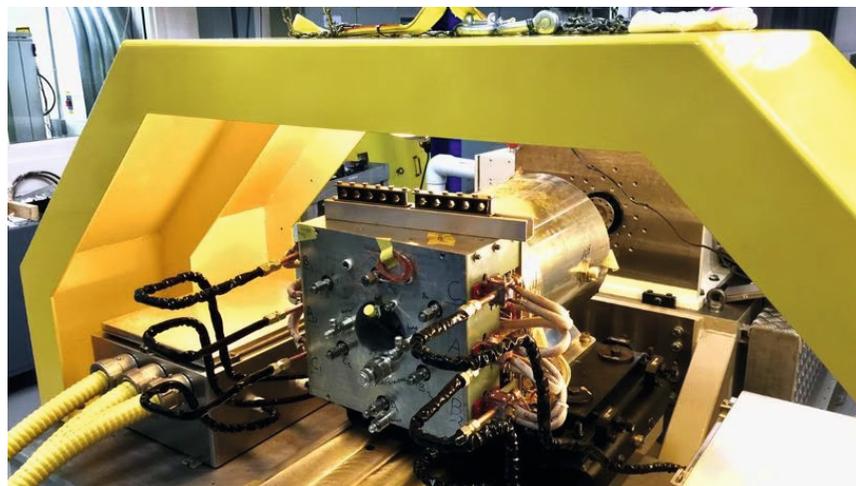


Визуализация посадки Jekta PHA-ZE 100

Источник: aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/jekta-and-honeywell-partner-on-electric-seaplane.html

5. General Electric Aerospace анонсировала выделение \$20 млн.

Компания General Electric Aerospace объявила о выделении \$20 млн. на создание нового испытательного стенда и закупку необходимого оборудования для испытаний компонентов гибридных и более электрических силовых установок в исследовательском центре Electrical Power Integrated Systems Center (EPISCenter). EPISCenter является исследовательским центром General Electric Aerospace в University of Dayton, который специализируется на разработке электромеханических преобразователей энергии, блоках силовой электроники и различном авиационном электрооборудовании.



Электродвигатель на испытательном стенде в EPISCenter

GE Aerospace анонсировали создание в EPISCenter 7-го испытательного стенда для электромеханических преобразователей энергии мощностью 2МВт. Увеличение испытательных мощностей EPISCenter необходимо для выполнения научных исследований и разработок GE Aerospace в рамках программы NASA Electrified Powertrain Flight Demonstration (EPFD).

Программа NASA EPFD с общим объемом финансирования \$260млн была запущена в 2021 г. сроком на 5 лет. Основной целью программы EPFD является повышение уровня зрелости критических технологий создания гибридных и электрических силовых установок с проведением наземных и летных испытаний гибридной силовой установки мегаваттного класса в середине 2020-х годов. В рамках программы EPFD планируется создание демонстратора гибридной силовой установки на базе турбовинтового двигателя General Electric CT7.



Демонстратор гибридной силовой установки на базе двигателя General Electric CT7 на испытательном стенде

Для проведения летных испытаний гибридной силовой установки в рамках программы EPFD будет использована летающая лаборатория на базе модифицированного самолета Saab 340B.

Кроме того, NASA заключила контракт Turbofan Engine Power Extraction Demonstration с General Electric Aerospace о разработке демонстратора двигателя с большим отбором мощности в рамках проекта Hybrid Thermally Efficient Core (HyTEC).

В ближайшие два года в рамках программы EPFD планируется проведение наземных испытаний отдельных компонентов и всей системы в Дайтоне, а после этого проведение совместно с Aurora Flight Sciences летных испытаний на Saab 340.

Работы по повышению уровня зрелости критических технологий электрификации силовых установок являются крайне важными для развития программы CFM Revolutionary Innovation for Sustainable Engines (RISE), в которой участвуют General Electric Aerospace и Safran. В рамках программы CFM RISE планируется создание гибридной силовой установки параллельной схемы на базе двигателя новой архитектуры с незакапотированным вентилятором.

Источник: ainonline.com/aviation-news/air-transport/2023-05-17/ges-hybrid-electric-investments-promise-big-payoff

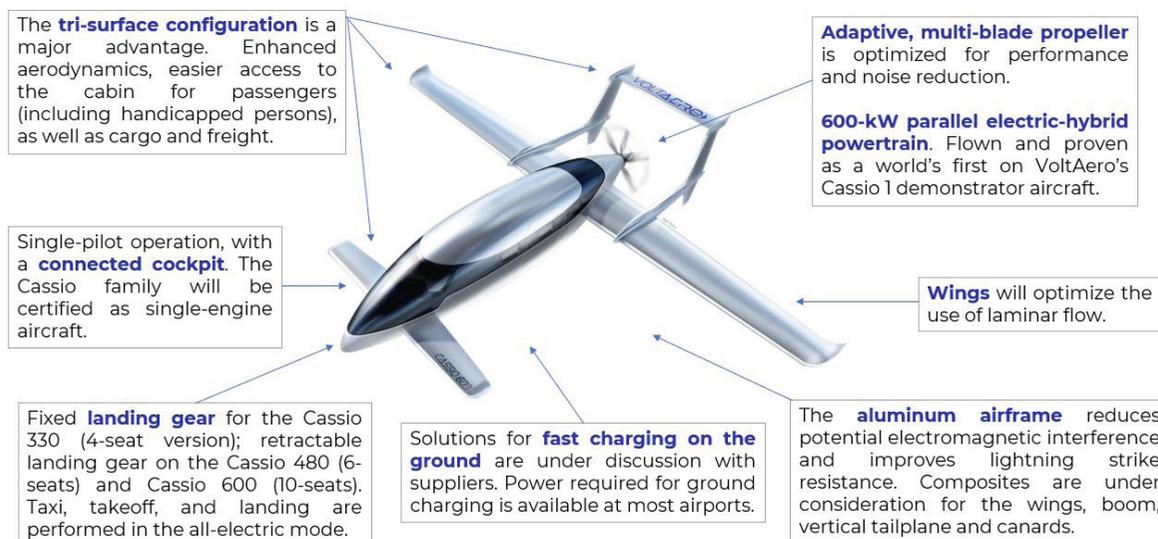
6. Kawasaki стала стратегическим инвестором стартапа VoltAero

Французский стартап VoltAero провел раунд В инвестиций в разработку, производство и сертификацию семейства легких самолетов Cassio с гибридной силовой установкой. Компания Kawasaki Motors стала стратегическим инвестором стартапа VoltAero в рамках инвестиционного раунда В. Ключевой задачей инвестиционного раунда В является финансирование вывода на рынок первого члена семейства легких самолетов – VoltAero Cassio 330.

По заявлениям представителей VoltAero компетенции Kawasaki Motors в области создания силовых установок, а также значительный инновационный потенциал критически важны для развития семейства самолетов Cassio. При этом на текущий момент не разглашает конкретная роль и вклад компании Kawasaki Motors в создание инновационных летательных аппаратов.

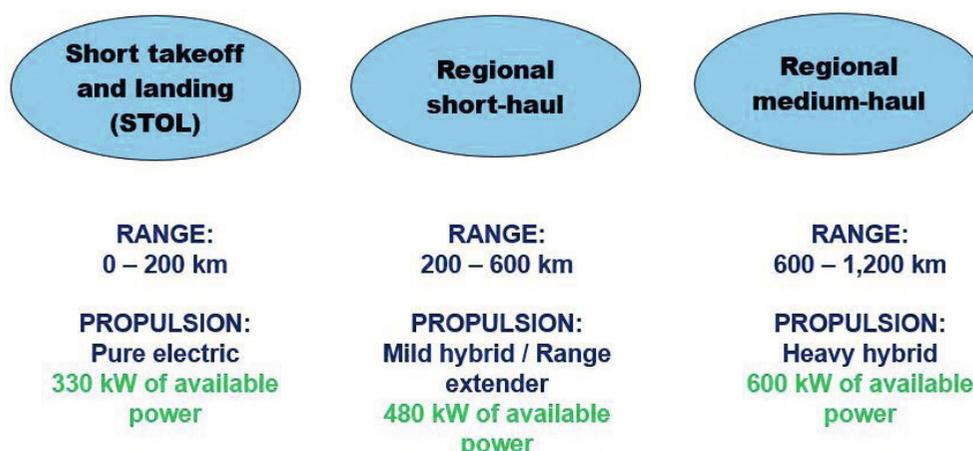
Компания VoltAero планирует выпустить три самолета семейства Cassio – 5-местный Cassio 330, 6-местный Cassio 480 и 12-местный Cassio 600.

Предполагается, что самолет будет иметь модульную архитектуру с различным исполнением салона – пассажирский, грузовой, медицинский и др.



Ключевые особенности семейства самолетов VoltAero Cassio

Ключевыми особенностями семейства самолетов VoltAero Cassio являются оригинальная аэродинамическая схема и гибридная силовая установка последовательно-параллельной схемы.



Сценарии применения последовательно-параллельной гибридной силовой установки

В зависимости от сценария применения предполагаются различные режимы работы гибридной силовой установки. Рулежка по ВПП, взлет и посадка самолета осуществляются только на электрической тяге, что соответствует актуальным экологическим трендам. Возможен сценарий, при котором полет осуществляется полностью на электрической тяге, когда единственным источником энергии на борту является аккумуляторная батарея. При данном сценарии обеспечивается минимальная дальность полета 200 км, но полет является углеродно-нейтральным. Возможен сценарий, в котором тепловой двигатель работает на всем протяжении полета для зарядки аккумуляторной батареи, что обеспечивает максимальную дальность полета 600-1200 км. Возможен сценарий мягкого гибрида, что обеспечивает дальность полета 200-600 км.

В средней, 6-местной версии Cassio 480, применяется авиационный поршневого двигателя мощностью 300кВт и 3 электродвигателя мощностью 60кВт каждый, что обеспечивает суммарную мощность силовой установки 480кВт.



Гибридная силовая установка VoltAero

В составе гибридной силовой установки VoltAero применяются электродвигатели семейства Safran ENGINeUS. Применение трех электродвигателей обеспечивает необходимую гибкость в управлении гибридной силовой установкой и резервирование в случае отказа электродвигателей.

VoltAero планирует сертифицировать самолеты семейства Cassio в соответствии с нормами EASA CS23 для легких однодвигательных самолетов.

Источник: ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2023-05-25/voltaero-wins-kawasaki-funding-hybrid-electric-aircraft

7. ZeroAvia выходит на рынок грузовых БЛА

Стартап Natilus, разработчик беспилотных грузовых летательных аппаратов, заключил соглашение о стратегическом сотрудничестве с компанией ZeroAvia, разработчиком авиационных силовых установок на базе водородо-воздушных топливных элементов.

Стартап Natilus ведет разработку семейства беспилотных грузовых летательных аппаратов, выполненных по аэродинамической схеме Blended Wing Body (смешанное крыло, летающее крыло).

По заявлениям экспертов Natilus переход на аэродинамическую схему Blended Wing Body позволяет по сравнению с грузовым самолетом традиционной схемы идентичной взлетной массы увеличить объем грузового отсека на 60%, что позволяет на 60% снизить себестоимость грузоперевозок и на 50% снизить выбросы CO₂ за типовой полет.

Первым продуктом компании Natilus является малоразмерный автономный грузовой самолет Kona с максимальной взлетной массой 8.6 тонны и грузоподъемностью 3.8 тонны. Штатно автономный самолет Kona должен оснащаться двумя турбовинтовыми двигателями Pratt&Whitney PT6A-67D.

В апреле 2023 г. компания Natilus успешно провела летные испытания масштабного $\frac{1}{4}$ прототипа грузового самолета Kona и валидировала основную концепцию построения самолета по аэродинамической схеме Blended Wing Body.



Сравнение обликов грузового самолета традиционной архитектуры Tube&Wing и архитектуры Blended Wing Body



Семейство грузовых самолетов Natilus

В 2024 году ожидается проведение летных испытаний полномасштабного автономного грузового самолета Kona, в настоящее время уже начато его изготовление.

В рамках заключенного соглашения компания ZeroAvia выступит поставщиком силовой установки на базе водородо-воздушных топливных элементов ZA600 для экологичной версии автономного грузового самолета Kona.

Компания ZeroAvia уже успешно провела 8 испытательных полетов самолета Dornier-228 с силовой установкой ZA600.

Объединение компетенций Natilus и ZeroAvia позволит не только существенно снизить себестоимость грузовых авиаперевозок, но и обеспечить декарбонизацию отрасли.



8. Safran возглавила проект Европейского Союза OFELIA

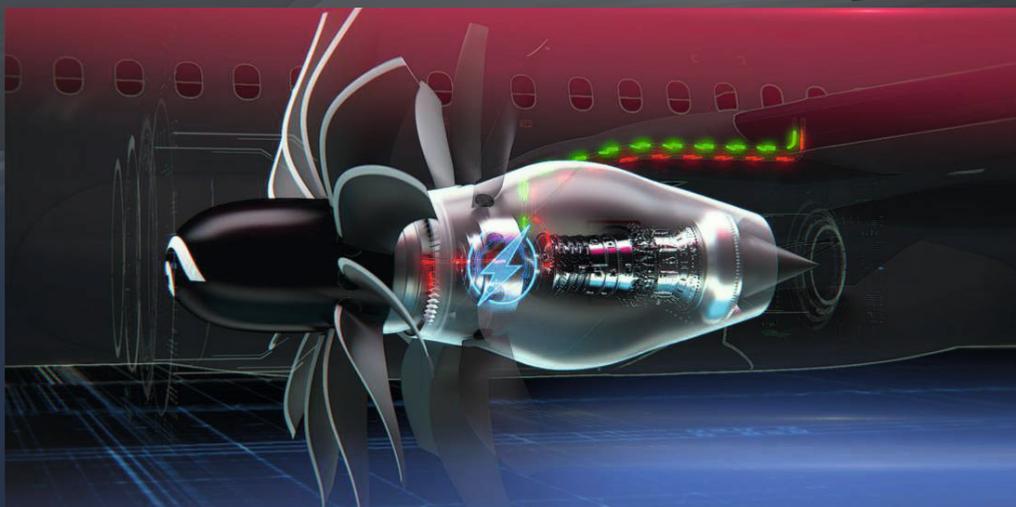
Одним из главных приоритетов программы Европейского Союза Clean Aviation является снижение негативного экологического импакта ближне-среднемагистральных самолетов как самого массового сектора рынка авиаперевозок. Снижение эмиссии CO₂ силовых установок ближне-среднемагистральных самолетов играет критически важную роль для достижения экологических целей Clean Aviation.

В 2021 году концерн CFM International анонсировал запуск прорывной научно-технической программы Revolutionary Innovation for Sustainable Engines (RISE) по созданию турбовинтовентиляторного двигателя с открытым незакапотированным винтовентилятором. По ожиданиям экспертов General Electric Aerospace и Safran реализация программы RISE позволит добиться повышения топливной эффективности и снижения эмиссии CO₂ на 20% по сравнению с текущим поколением двигателей для ближне-среднемагистральных самолетов.

В рамках программы Европейского Союза Clean Aviation запущен проект Open Fan for Environmental Low Impact of Aviation (OFELIA), направленный на повышение уровня зрелости критических технологий по проекту CFM RISE.

В рамках проекта OFELIA, завершаемого в 2025 году планируется подготовка к проведению летных испытаний демонстратора турбовинтовентиляторного двигателя с незакапотированным вентилятором. Важным аспектом проекта OFELIA является исследование оптимальных подходов к компоновке подобного двигателя на самолете, а также проработка подходов к сертификации подобного двигателя.

Главным исполнителем проекта OFELIA является Safran, среди участников консорциума General Electric, Airbus, GKN Aerospace и ряд других организаций.



Архитектура двигателя с незакапотированным винтовентилятором CFM RISE

В плане научных исследований и разработок отмечаются работы по совершенствованию аэродинамики незакапотированного винтовентилятора и спрямляющего аппарата, высокооборотных подпорных ступеней и турбины низкого давления, компрессора высокого давления, разработке компактного высокомоощного редуктора, разработке облегченных конструктивных элементов и узлов двигателя, гибридации силовой установки.

Вклад Европейского союза в проект OFELIA составляет €100 млн., общий бюджет проекта €139 млн.

Ожидается, что к концу проекта OFELIA спектр критических технологий будет доведен до уровня готовности TRL 5, а в рамках второго этапа программы Clean Aviation будут проведены летные испытания двигателя-демонстратора.



9. AuraAero пересмотрел облик 19-местного регионального самолета



Исходный облик регионального самолета Aura Aero ERA

Французский стартап Aura Aero ведет разработку 19-местного регионального самолета с гибридной силовой установкой Electric Regional Aircraft (ERA). В исходной архитектуре планировалось использовать шесть электроприводных воздушных винтов, а также двухкилевое хвостовое оперение.

Накопленный опыт при разработке легкого полностью электрического самолета Aura Aero Integral и взаимодействия с разработчиком электродвигателей Safran ENGINeUS позволил пересмотреть предлагаемую архитектуру регионального самолета.

В переработке концепции самолета также принимал участие автомобилестроительный концерн Stellantis.

В финальном облике самолета произошел переход от двухколевого к Т-образному хвостовому оперению, изменилась форма законцовок крыла, количество электроприводных воздушных винтов увеличилось до восьми.

В финальной архитектуре силовая установка самолета ERA включает 8 электродвигателей для привода воздушного винта, 2 турбогенератора и 4 блока аккумуляторных батарей, объединенных электросетью с напряжением 800В. Два турбогенератора располагаются в хвостовой части фюзеляжа снизу, аккумуляторные батареи были смещены вперед.

Увеличение количества электродвигателей вместе с уменьшением их мощности и уменьшением диаметра воздушных винтов обеспечивает более эффективную интеграцию распределенной силовой установки и планера, а также облегчает охлаждение электродвигателей.



Обновленный облик регионального самолета Aura Aero ERA

Перепроектирование самолета ERA привело к сдвигу первого полета на 2026 года, а ввода в эксплуатацию на 2028 год.

Ожидаемая дальность полета гибридного регионального самолета составляет 1670 км, крейсерская скорость 560 км/ч, статический потолок 7620м. Дальность полета в полностью электрическом режиме составляет лишь 167 км, при этом ожидаемая штатная дальность полета составит 370-650 км.

Отличительной особенностью самолета ERA с распределенной силовой установкой является малая длина разбега при взлете – лишь 800 м, что крайне важно для обеспечения связности территорий.

По ожиданиям экспертов Aura Aero, самолет ERA позволит вдвое снизить эксплуатационные расходы и на 80% выбросы CO₂ за типовой полет. Ожидается, что для заряда аккумуляторных батарей будет достаточно лишь 30 минут, а турбогенераторы будут сертифицированы для работы на 100% устойчиво производимом авиационном топливе.

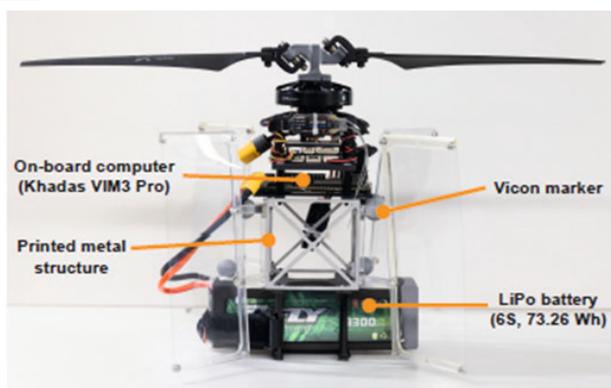
По заявлению руководителей Aura Aero на текущий момент собраны письма о намерениях на 330 самолетов ERA, предзаказ на самолеты пока не открыт.

Современные отечественные и мировые достижения в области разработки и применения беспилотных летательных аппаратов

Уразбахтин Руслан Рустемович

Руководитель отдела исследований БПЛА

1. Самовращающийся БПЛА с одной силовой установкой

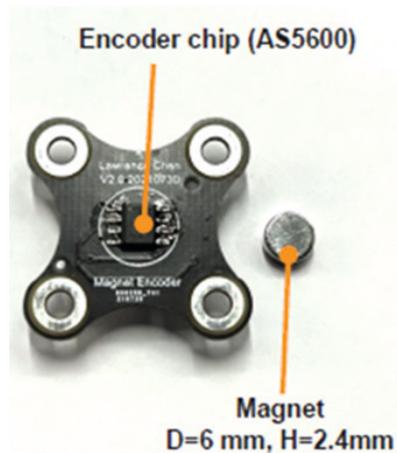


В прошлом выпуске журнала была представлена новость о новом типе БПЛА, который осуществляет свои эволюции в пространстве за счет силовой установки с интегрированным управлением. В настоящем выпуске мы разбираем технические решения, благодаря которым возможна реализация такого БПЛА. БПЛА Pulsar состоит из пространственной рамы, полетного контроллера, одноплатного компьютера, винтомоторной группы с интегрированным управлением, аккумулятора и полезной нагрузки в виде лидара.

Управление силовой установкой БПЛА Pulsar осуществляется за счет отслеживания угла поворота ротора электродвигателя магнитным энкодером, причем сброс измерений производится при достижении угла поворота 360° . Измеренный угол передается на полетный контроллер в виде ШИМ-сигнала, который может приниматься и обрабатываться полетным контроллером.

В БПЛА Pulsar используются доступные в розничной продаже электродвигатель и пропеллер от компании T-Motor. БПЛА Pulsar управляется только по крену и тангажу, что реализуется за счет выполнения силовой установки, в которую интегрирован шарнир, и оригинальной системы управления. Особый алгоритм

управления в сочетании с шарниром образуют винтомоторную группу с интегрированным управлением, идентичную по своим функциям автомату перекоса. Требованием к силовой установке с интегрированным управлением является максимально высокая скорость изменения частоты вращения при изменении входного напряжения.



Система отслеживания положения ротора силовой установки БПЛА Pulsar

Непосредственно винтомоторная группа с интегрированным управлением будет рассмотрена в следующей новости.

Результаты сравнения БПЛА Pulsar с квадрокоптерами, обладающими идентичными характеристиками, показали, что за счет модернизации конструкции БПЛА достигается снижение массы на 206 граммов (масса БПЛА Pulsar – 1234 грамма). Энергоэффективность БПЛА Pulsar и квадрокоптера при этом одинаковы. Преимуществом БПЛА Pulsar также является использование одного большого воздушного винта, эффективность которого на 5,79...13,61% выше, чем у четырех небольших квадрокоптерных пропеллеров.

Важно отметить, что математическая модель полета БПЛА Pulsar учитывает его эволюции только по осям x и y , тогда как вращение по оси z принимается свободным. Параметры вращения по оси z определяются посредством лидара FAST-LIO2 и передаются полетный контроллер для осуществления управления. Для увеличения сопротивляемости вращающему моменту, действующему на корпус БПЛА, и, соответственно, для уменьшения скорости вращения вокруг оси z , в БПЛА Pulsar используются вертикально установленные лопасти.

БПЛА Pulsar сочетает в себе ряд новых технических решений, которые позволяют повысить эффективность, уменьшить массу и габариты, а также расширить функциональные возможности БПЛА. В ПИШ «Моторы будущего» активно ведется освоение ряда технических решений, примененных на БПЛА Pulsar, и разработка новых технических решений в рамках научно-исследовательской работы по развитию теории микроразмерных БПЛА.



Электродвигатель с системой управления и воздушный винт с шарниром БПЛА Pulsar

Источник: Nan Chen, Fanze Kong, Wei Xu et al. A self-rotating, single-actuated UAV with extended sensor field of view for autonomous navigation // Science Robotics 8(76), DOI: 10.1126/scirobotics.ade4538

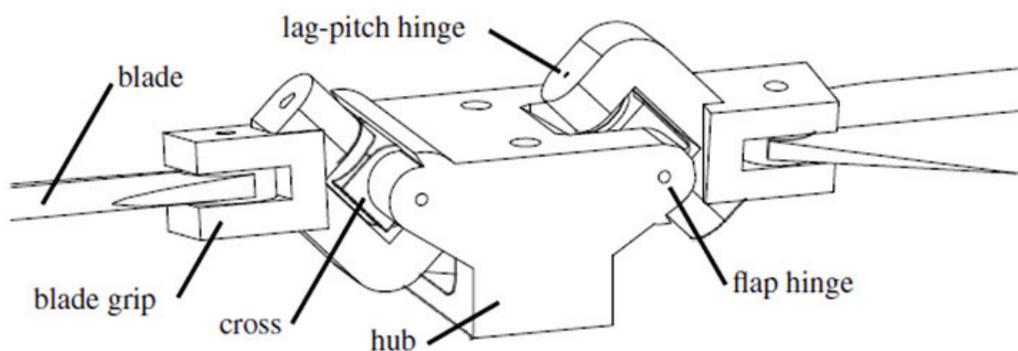
2. Циклическая регулировка шага лопасти

Как было отмечено в предыдущей новости, уменьшение количества воздушных винтов с одновременным увеличением их диаметра приводит к повышению эффективности БПЛА. Уменьшение массы и габаритов БПЛА в рамках стандартных комплектующих имеют ограничения в виде необходимости использования минимум четырех электродвигателей для обеспечения необходимых эволюций в пространстве либо использования автомата перекоса с тремя сервоприводами для управления по крену и тангажу. Ключом к снижению массы и габаритов БПЛА является применение винтомоторной группы с интегрированным управлением.



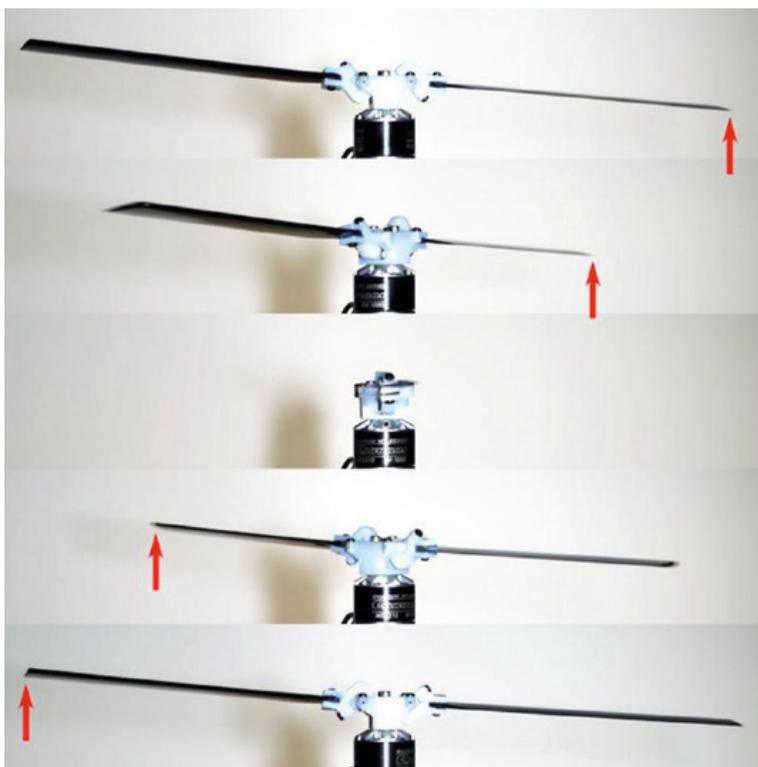
Винтомоторная группа с интегрированным управлением

Особенность представленного решения заключается в том, что плоскость диска воздушного винта отклоняется от горизонтального положения за счет нелинейного изменения скорости вращения ротора электродвигателя. В привычных БПЛА частота вращения двигателя задается, фактически, линейно, за счет чего регулируется высота и скорость полета. В случае винтомоторной группы с интегрированным управлением к линейному заданию частоты вращения интегрируется синусоидальный сигнал, отвечающий за управление по крену и тангажу. В рамках такого управления отслеживается один оборот электродвигателя, период которого приравнивается одному периоду синусоиды. При этом в определенные моменты происходит ускорение ротора электродвигателя, что в совокупности с механическим шарниром обеспечивает отклонение плоскости воздушного винта. Изменение направления отклонения плоскости воздушного винта достигается за счет сдвига фазы синусоиды относительно нулевого положения ротора электродвигателя.



Вариант исполнения механического шарнира винтомоторной группы с интегрированным управлением

На рисунке представлен принцип работы винтомоторной группы с интегрированным управлением.



Принцип работы винтомоторной группы с интегрированным управлением

Вопросами, которые требуют дальнейшего изучения, являются устойчивость БПЛА на основе винтомоторной группы с интегрированным управлением при висении или прямом полете, исследование применимости настоящего технического решения на БПЛА самолетного типа.

В 2023-2024 годах в ПИШ «Моторы будущего» планируется сборка и проведение испытаний экспериментального макета винтомоторной группы с интегрированным управлением, а также исследование ее применения на БПЛА самолетного типа и микроразмерных БПЛА, например, классической вертолетной и соосной вертолетной схем. Часть работ будет проводиться в рамках разработки теории микроразмерных беспилотных летательных аппаратов.

Источник: Paulos James and Mark H. Yim Cyclic Blade Pitch Control Without a Swashplate for Small Helicopters // Journal of Guidance Control and Dynamics, 2018, Vol. 41, p. 689-700.

3. Новый электрический дрон имеет рекордное время полета

Компания Impossible Aerospace производит дрон, который может летать более чем в четыре раза дольше, чем другие известные дроны с питанием от аккумулятора.

Беспилотный аппарат US-1 представляет собой квадрокоптер, который по словам производителя (основателя и генерального директора компании Impossible Aerospace из Саннивейла, Калифорния) «по сути представляет собой одну большую летающую батарею».

«Большинство дронов спроектированы с учетом философии, согласно которой после того, как вы определились с полезной нагрузкой и двигателем, вы добавляете аккумулятор», — говорит Гор.

«Вместо этого с самого начала мы разработали аккумулятор, который должен был летать».

Исследования Гора в области электрических самолетов во многом основывались на его опыте работы с электромобилями в Tesla Motors. «Для меня никогда не было смысла, что можно иметь автомобиль с батарейным питанием, который может проехать более 300 миль, но не иметь дрон с батарейным питанием, который может летать более 20 минут», — говорит он.

US-1 имеет длину около 66 см и ширину 66 см, а его масса без груза составляет 6,43 кг. Он может развивать скорость более 68 километров в час, а без подзарядки может пролететь более 75 километров. Он полностью спроектирован и собран в Соединенных Штатах из соображений конфиденциальности и национальной безопасности.

В новом беспилотнике используются литий-ионные аккумуляторы, которые могут достигать 80-процентного уровня заряда за 40 минут.

«Аккумуляторная батарея является частью структурной рамы, — говорит Гор. «В нем нет обычных стержней или балок, несущих нагрузку».

US-1 может летать в течение 2 часов без подзарядки, что делает его реальным конкурентом дронам, работающим за счет сжигания топлива. Для сравнения, среднее по отрасли время полета дронов с батарейным питанием составляет около 25 минут.



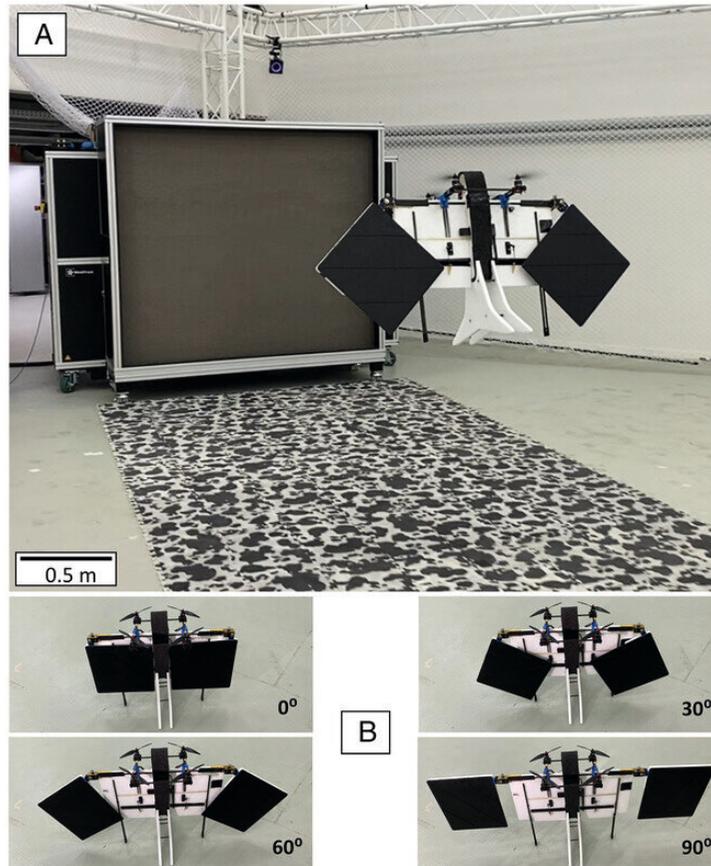
Impossible Aerospace US-1 рассчитан на поддержку до 2 кг полезной нагрузки. Это могут быть, например, оптические камеры, такие как Sony R10C и Sony QX30C, тепловизионные камеры, такие как FLIR Duo Pro R, мультиспектральные датчики, такие как Sланtrange 3p или Micasense RedEdge-M, и обзорные камеры, такие как Mapir Survey 3. Ряд компаний, таких как Zunum Aero и Wright Electric, гонятся за электрическими пассажирскими самолетами. Стратегия проектирования электрических самолетов на основе их батарей имеет решающее значение, если они когда-либо будут перевозить пассажиров и грузы. «Наша бизнес-модель заключается в том, чтобы расширить границы надежности и производительности в надежде на масштабирование до самолетов, которые могут перевозить людей и сертифицированы для этого», — говорит Гор. Недостатком БПЛА Impossible Aerospace US-1 является высокая рыночная цена. БПЛА Impossible Aerospace US-1 является олицетворением случая, когда проектирование классического квадрокоптера велось не путем подбора стандартных модулей и их соединения между собой, а за счет разработки новых технических решений для достижения желаемых высоких параметров. Это подчеркивает, что наилучший путь к созданию перспективных и высокоэффективных БПЛА – постановка новых задач и границ, которые не были ранее достигнуты, что заставляет разработчиков искать новые пути решения возникающих научных и инженерных проблем. Создание аккумуляторов и источников питания с низкими массогабаритными характеристиками и высокой емкостью является одной из ключевых задач для создания новых БПЛА с улучшенными характеристиками.

4. Беспилотник использует ветер для увеличения времени полета

Система управления крылом Morpho является результатом нескольких лет исследований в Лаборатории интеллектуальных систем EPFL и была описана в ряде научных статей. Система включает в себя датчики, связанные с программным обеспечением для контроля направления и скорости ветра. Натан Мюллер, также соучредитель Elythor, объясняет: «Контроллер автоматически выбирает, удерживать ли крылья на месте или позволить им свободно двигаться вместе с ветром, основываясь на траектории и эффективной скорости дрона, а также любых изменениях направления ветра. Площадь поверхности крыльев также можно регулировать симметрично или асимметрично в зависимости от направления ветра».

Алгоритмы системы управления направлены не только на оптимизацию соотношения между трением воздуха и подъемной силой, но и на минимизацию энергопотребления. Это влечет за собой использование потоков ветра, позволяющих дрону планировать, или асимметричную регулировку крыльев, чтобы регулировать его рыскание, или вращение вокруг своей вертикальной оси. Это обеспечивает большую устойчивость при сильном ветре.

Количественные исследования, проведенные в лаборатории EPFL, показывают, что Morpho обеспечивает значительно лучшую маневренность и энергоэффективность. «Наша конструкция может снизить энергопотребление до 85%, когда дрон летит в вертикальном положении», — говорит Мюллер. «Это также значительно улучшает положение и устойчивость дрона». Эти преимущества означают, что Morpho может проводить проверки в более широком диапазоне погодных условий.



БПЛА Morpho

После завершения инспекции Morpho может переключить свои двигатели и перейти в горизонтальное, более аэродинамическое положение, и быстро полететь к следующему месту инспекции. Если по пути дрон сталкивается с сильным или быстро меняющимся ветром, он расправляет или сжимает крылья по мере необходимости, чтобы сохранить свою траекторию. Он также может скользить при правильном ветре. Все это экономит время при решении задач мониторинга и приводит к увеличению общего времени полета.

«Мы подсчитали, что использование Morpho может сократить время и стоимость инспекции дронами в среднем на 35%», — говорит Гарри Вуртсис, соучредитель и генеральный директор Elithor. Как только Morpho достигает следующего места осмотра, он может сложить крылья и вернуться в вертикальное положение, чтобы подлететь прямо к оборудованию. Вуртсис и его коллеги опубликовали статью о своем беспилотнике в журнале *Advanced Intelligent Systems*.

Асимметричная регулировка крыла обеспечивает устойчивость при сильном ветре.

«Преимущество крылатых дронов заключается в более длительном полете, в то время как квадрокоптеры обладают большей маневренностью», — говорит Вуртсис. «Мы объединили их и добавили адаптивную систему крыльев, которая еще больше снижает энергопотребление дрона». Большинство дронов с неподвижным крылом и вертикальным взлетом и посадкой (VTOL) представляют собой компромисс: крылья достаточно малы, чтобы уменьшить трение во время вертикального полета, но достаточно велики, чтобы обеспечить достаточную подъемную силу во время горизонтального полета. Беспилотники вертикального взлета и посадки также имеют проблемы со взлетом и посадкой при сильном ветре из-за их большой площади поверхности, перпендикулярной ветру.

Поскольку компания Elithor стремится предоставить клиентам готовое решение, она также разрабатывает программное обеспечение для сбора и анализа данных, собранных Morpho. «Мы хотим произвести революцию в инспекционных платформах», — говорит Вуртсис. Сегодня операторы электростанций используют разные виды дронов в зависимости от того, где находится оборудование, которое нужно осмотреть. А объекты иногда простираются на несколько километров и включают в себя сложные конструкции, в которые необходимо войти, например, ветряные турбины и опоры ЛЭП.

Elithor планирует подготовить свой дрон к промышленному производству в ближайшие месяцы, а выход на рынок намечен на конец этого года.

Разработка БПЛА Morpho компанией Elithor свидетельствует о том, что сегодня перспективной является разработка БПЛА типа конвертоплан, так как они обладают широкими функциональными возможностями и способны решать широкий спектр задач. БПЛА Morpho – яркий пример повышения характеристик БПЛА на текущем уровне развития материалов и технологий за счет совершенствования конструктивной схемы конвертоплана.

Источник: techxplore.com/news/2023-05-drone-lengthen-flight.html

5. Беспилотник использует ветер для увеличения времени полета



Автоматический полет дронов, обученных на симуляционных моделях, в сложной пересеченной местности

Опытные пилоты дронов доказали свою высокую компетентность в пилотировании БПЛА на сложных трассах при высоких скоростях. При этом до сих пор не существует полноценной системы обеспечения автоматического полета, которая была способна также управлять дроном. Исследователи из Цюрихского университета и Intel Labs сотрудничают, чтобы изменить это, и их работа, представленная в журнале *Science Robotics*, может иметь далеко идущие последствия для будущего коммерческих дронов.

«Автономная навигация в условиях постоянно меняющихся условий ограничена необходимостью летать на очень низких скоростях», — объясняет Матиас Мюллер, руководитель лаборатории встроенного искусственного интеллекта в Intel Labs. «Это делает беспилотники неспособными эффективно работать в реальных ситуациях, когда что-то неожиданное может заблокировать их путь, а время имеет значение».

Это, очевидно, большое препятствие для безопасного применения дронов по коммерческим назначениям. Решение указанной проблемы заключается в использовании способностей опытных пилотов принимать решения для обучения дронов автономному функционированию.

«В сотрудничестве с Цюрихским университетом мы смогли показать, как дрон, обученный исключительно в симуляции, имитируя опытного пилота, может работать в сложных реальных сценариях и средах, которые не использовались во время обучения сверточной сети», — говорит Мюллер. «Обученный автономный дрон смог летать через ранее невиданные среды, такие как леса, здания и поезда, сохраняя скорость до 40 км/ч, не врезаясь в деревья, стены или любые другие препятствия – и все это при условии, что он полагался только на свои бортовые камеры и вычисления».

Результаты были достигнуты благодаря тому, что нейронная сеть дрона училась у смоделированного пилота-эксперта, который управлял виртуальным дроном через смоделированную среду, полную сложных препятствий. Эксперт имел доступ к полной трехмерной среде, в то время как нейронная сеть дрона имела доступ только к наблюдениям камеры с реалистичным шумом датчика и несовершенной оценкой состояния. Этот входной дисбаланс заставил дрон научиться действовать с исключительной ловкостью в далеко не идеальных условиях. Квадрокоптер продемонстрировал уменьшение задержки между восприятием и действием, одновременно продемонстрировав устойчивость к артефактам

восприятия, таким как размытие движения, отсутствующие данные и шум датчика.

«Существующие системы используют данные датчиков для создания карты окружающей среды, а затем планируют траектории на карте – эти шаги требуют времени и совокупных ошибок, что делает невозможным полет дронов на высоких скоростях», – говорит Мюллер. «В отличие от нынешних систем, будущие дроны смогут изучать навигацию от начала до конца в смоделированной среде, прежде чем отправиться в реальный мир. Это исследование показывает большие перспективы в развертывании этих новых систем в широком спектре сценариев, включая помощь при стихийных бедствиях, на строительных площадках, поисково-спасательные работы, сельское хозяйство и логистика и многое другое».

Одним из преимуществ этой системы является ее применимость к широкому спектру реальных сред. Подход, продемонстрированный в исследовании, включал в себя эксперименты, которые тестировались в ряде искусственных сред (например, смоделированная зона бедствия и городские улицы), а также в различных природных средах (леса разного типа и плотности, крутые заснеженные горные местности). Областями будущего применения этой технологии могут быть сценарии оказания помощи при стихийных бедствиях, строительные площадки, поисково-спасательные работы, сельское хозяйство и логистика, а также доставка.

Вышесказанное подчеркивает актуальность и перспективность применения нейронных сетей при создании систем обеспечения автоматического полета БПЛА. При этом новым решением является обучение нейронной сети не на реальных объектах или их изображениях, а в смоделированной среде. Как показывают результаты работы, проделанной Intel Labs и университетом Цюриха, обученная в искусственной среде нейронная сеть более способна к принятию решений при нехватке информации, чем обученная классическим способом нейронная сеть. Сложность в применении данного метода – необходимость создания виртуальной среды для обучения нейронной сети.

БПЛА с системами обеспечения автоматического полета, основанными на нейронных сетях – одно из наиболее перспективных направлений работ в области БПЛА в настоящее время, так как оно открывает путь к созданию полностью автономных беспилотных авиационных систем. Работы в этом направлении уже сейчас ведутся программистами ПИШ «Моторы будущего».

С помощью приложения «Взлетай», студенты и сотрудники ПИШ «Моторы будущего» могут доступно и легко найти заказ (работу для выполнения) по своей специальности и решать реальные задачи предприятий в реальном времени!

Download on the
App Store



Available on the
Google Play





Взлетай

Заказы



Мои заказы - без исполнителя



Чертеж редуктора

5600Р

Доступен для работы

Срок до 08 окт.

Необходимо выполнить чертеж редуктора



Абрамов К. А.

Расчет ЭМ

5000Р

Доступен для работы

Срок до 08 окт.

Необходимо выполнить расчет ЭМ с учетом данных с испытательного стедна



Иванов А. А.



Передовая инженерная школа
Моторы Будущего

Строй своё будущее здесь и сейчас, своими руками
и своим интеллектом!

