

# ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

# 360°

Июнь '23



Первый отечественный  
двигатель для малых БПЛА  
сделан в ПИШ «Моторы Будущего»

**Подписывайся  
на наши  
соцсети!**



**4**  
стр. Первый полет БПЛА Supercam SX350 с отечественным электродвигателем для беспилотников ЭД-БАС-4950/400

**6**  
стр. Современные мировые достижения в области разработки и применения электрических машин.

**16**  
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.

**38**  
стр. Современные отечественные и мировые достижения в области разработки и применения беспилотных летательных аппаратов

Страницы



Содержание

# Первый полет БПЛА Supercam SX350 с отечественным электродвигателем для беспилотников ЭД-БАС-4950/400

Уразбахтин Руслан Рустемович

Руководитель отдела исследований БПЛА



БПЛА Supercam SX350

Сотрудники проектной группы по беспилотным летательным аппаратам 22 и 23 июня 2023 года провели испытания электродвигателя ЭД-БАС-4950/400, который был разработан и изготовлен на базе ПИШ «Моторы Будущего» с апреля по июнь 2023 года. Проект реализован в инициативном порядке.

Электродвигатель ЭД-БАС-4950/400 является основой силовой установки беспилотного воздушного судна Supercam S350/SX350 (производится серийно ГК «Беспилотные системы», г.Ижевск).

Электродвигатель ЭД-БАС-4950/400 имеет следующие характеристики: номинальная частота вращения – 4950 об/мин; номинальная мощность – 400 Вт; максимальная частота вращения – 7800 об/мин; максимальная мощность – 2700 Вт; масса – 485 грамм; габаритный диаметр – 50 мм; габаритная длина (с цангой) – 122 мм. Внешний вид электродвигателя ЭД-БАС-4950/400 представлен на рисунке.



Электродвигатель ЭД-БАС-4950/400

Предварительная экономическая проработка показала, что стоимость отечественного электродвигателя ЭД-БАС-4950/400 не будет превышать 28 тысяч рублей и является конкурентоспособной, находится на уровне мировых аналогов.

22 июня электродвигатель ЭД-БАС-4950/400 прошел стендовые испытания, подтвердив свои основные параметры и получив допуск к летным испытаниям. 23 июня состоялся первый полет БПЛА Supercam SX350 с отечественным электродвигателем ЭД-БАС-4950/400, который длился 20 минут. Погодные условия были сложными, перед полетом БПЛА в течение 45 минут находился под проливным дождем. Несмотря на это полетное задание было выполнено в полном объеме, электродвигатель подтвердил свою работоспособность и устойчивость к неблагоприятным воздействиям окружающей среды.

Фактически, электродвигатель ЭД-БАС-4950/400 – первый полностью отечественный электродвигатель для БПЛА, прошедший летные испытания.

Впереди у разработчиков огромный объем работы – подготовка электродвигателя к серийному производству, оценка экономической эффективности, прохождение полного цикла испытаний и т.д., но первый значительный шаг в сторону обеспечения импортонезависимости отрасли БПЛА уже сделан.

Источник: [t.me/pish\\_uust/552](https://t.me/pish_uust/552)

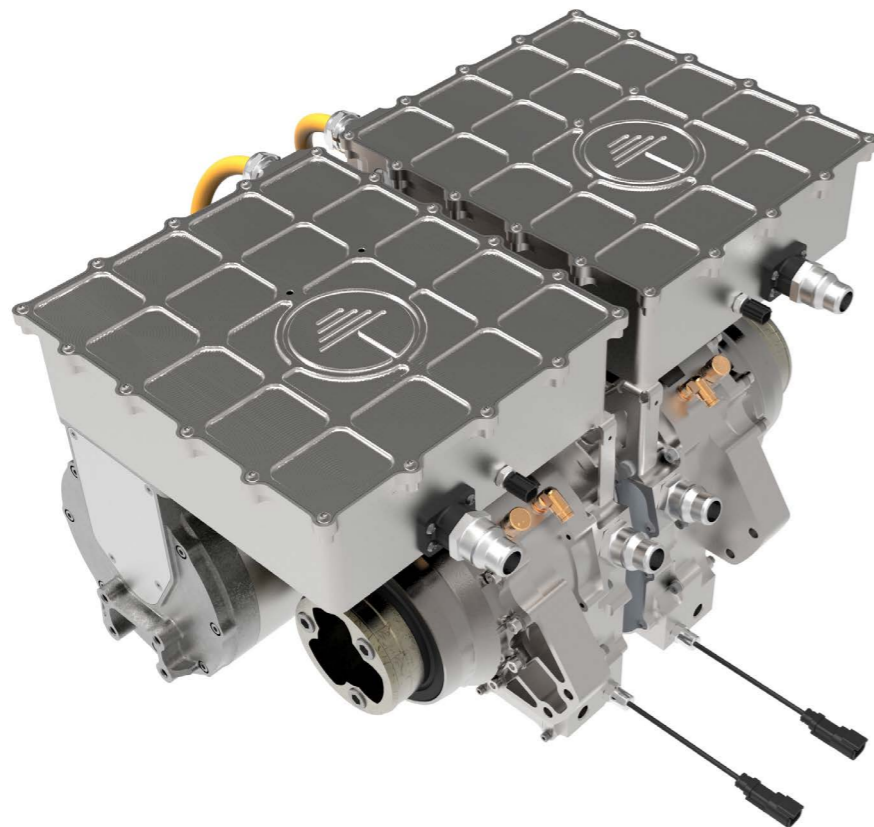
# Современные мировые достижения в области разработки и применения электрических машин

## Жеребцов Алексей Анатольевич

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

## 1. Аддитивный электродвигатель от Equipmake

Компания Equipmake, британский разработчик и производитель продуктов для электрификации электромобилей, представляет свою систему электронной оси – Ampere-220. Особенностью разработки является использование аддитивной печати для электродвигателей.



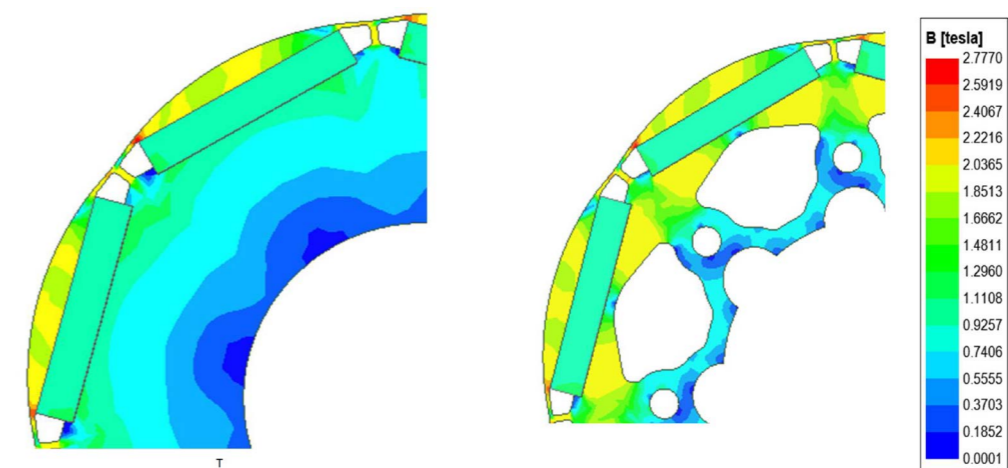
Ampere-220

В основе электронной оси лежит электродвигатель Ampere со спицевым ротором, который недавно также использовался в Ariel HIPERCAR в виде двигателя Equipmake APM, а также новаторские знания в области аддитивного производства и теплотехники. Устройство обладает пиковой мощностью 220 кВт и максимальной скоростью двигателя 30 000 об/мин. При весе чуть менее 20 кг удельная мощность составляет 11 кВт/кг.

Источник: [greencarcongress.com/2023/05/20230523-equipmake.html](http://greencarcongress.com/2023/05/20230523-equipmake.html)

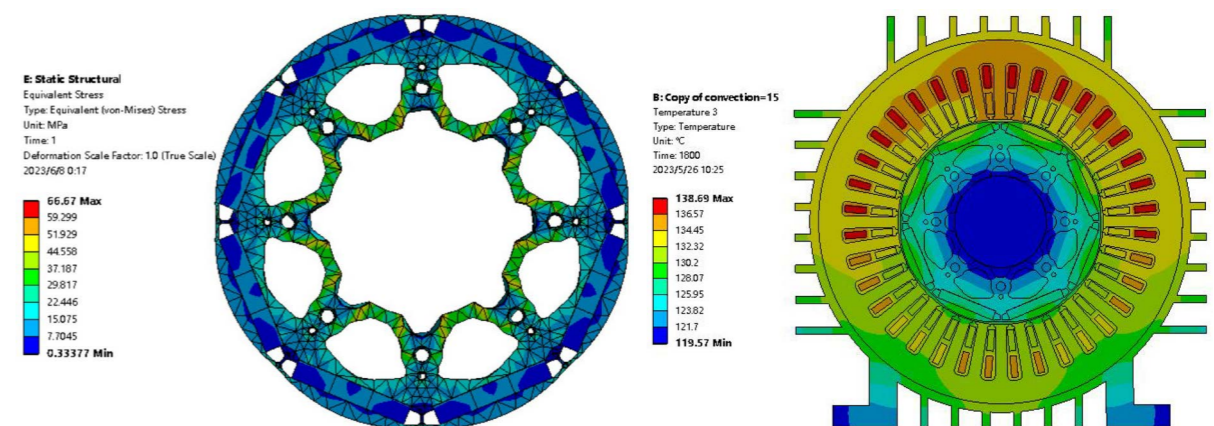
## 2. Оптимизация судового электродвигателя

Коллективом ученых со школы инженерии транспорта и логистики и школы автоматизации Уханьского технологического университета (Китай) предлагается оптимальный дизайн корабельного подруливающего двигателя мощностью 100 кВт. Изначально проводится расчет электрической машины с использованием МКЭ. После проводится оптимизация конструкции по эксцентриситету ротора. Решаются проблемы несинусоидальной формы волны магнитной индукции в воздушном зазоре и высокого содержания гармоник. Затем гибридный генетический алгоритм Тагучи используется для улучшения размера постоянного магнита и изменения конструкции ротора для дальнейшего повышения эффективности двигателя и снижения затрат на проектирование. Конечная конструкция исследуется с точки зрения электромагнитных, прочностных и тепловых характеристик. После численного расчета создается конструкция для экспериментальных испытаний, результаты которых представлены в таблице



(a) Original rotor structure

(b) Rotor structure after weight reduction design



Результаты численного расчета

Параметры производительности двигателя	Расчетные данные	Эксперимент	Единицы измерения
Эффективность	96,54	96,84	%
Крутящий момент	370,64	346	Н·м
Начальная температура двигателя	56	56,1	°С
Температура двигателя после работы в течение 30 мин.	138,69	143	°С

охлаждения кипящим потоком. Отмечается, что при реализации такого типа охлаждения необходимо использовать соответствующий расход хладагента с учетом тепловых потерь электродвигателя, иначе хладагент может испариться и процесс двухфазного теплообмена будет прекращен.

Источник: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1290072923003198](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1290072923003198)

## 4. Аддитивная обмотка со встроенными радиаторами

Коллектив ученых из Хуачжунского университета науки и технологий, Государственной электросетевой компании Ухань (Китай) и Ноттингемского университета (Великобритания) представил новую аддитивную обмотку со встроенными радиаторами для аксиальных электрических машин с постоянными магнитами. Радиаторы со штифтами интегрированы с двух сторон и верхней части обмотки, чтобы увеличить площадь теплопередачи и коэффициент конвективной теплопередачи, тем самым улучшая тепловые характеристики. Вычислительная гидродинамика используется для оценки тепловых характеристик предлагаемой обмотки, которая затем сравнивается с характеристикой современной прямоугольной обмоткой. Кроме того, исследовано влияние расстояния между штифтами в направлении потока, угла наклона, расхода и сопротивлений на тепловые характеристики и перепады давления предлагаемой обмотки. Создаются прототипы предлагаемой обмотки и аналогичной прямоугольной для проверки результатов численного анализа. Результаты экспериментов показывают, что температура предлагаемой обмотки может быть снижена на 27,6 °С по сравнению с прямоугольной обмоткой.



(a) Stator

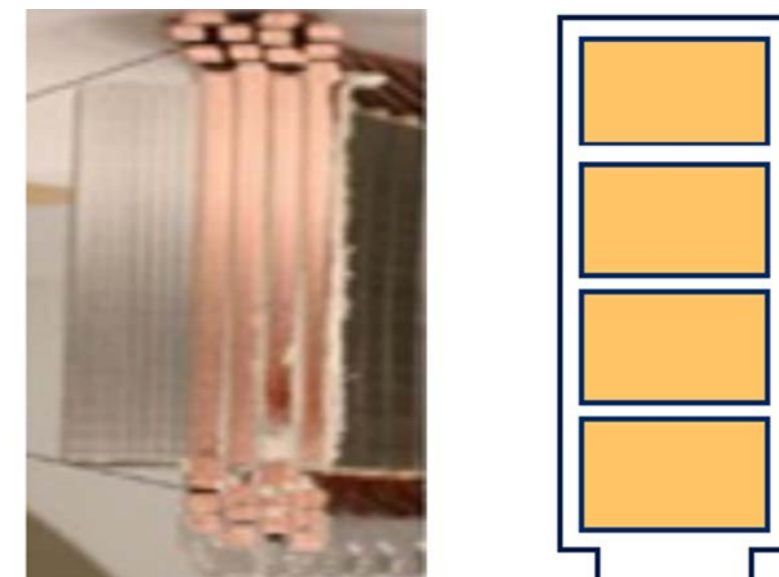
(b) Rotor

Конструкции для эксперимента

Источник: [mdpi.com/1996-1073/16/12/4588](https://www.mdpi.com/1996-1073/16/12/4588)

## 3. Охлаждение при помощи двухфазного хладагента

Группой ученых с кафедры машиностроения и аэрокосмической техники Сеульского национального университета (Республика Корея) опубликована работа, посвященная использованию проточного кипения двухфазного хладагента R134a, который может заменить систему водяного охлаждения. Разработана нестационарная трехмерная тепловая модель с сосредоточенными параметрами в цилиндрических координатах. С помощью этой модели можно рассчитать тепловые потери электродвигателя, определить теплопередачу и изменение температуры внутри двигателя при заданных условиях движения. Результаты показывают, что метод охлаждения с кипящим потоком поддерживает температуру обмотки ниже, чем при традиционном методе водяного охлаждения. Энергопотребление насоса, необходимое для охлаждения двигателя, также снижается при применении

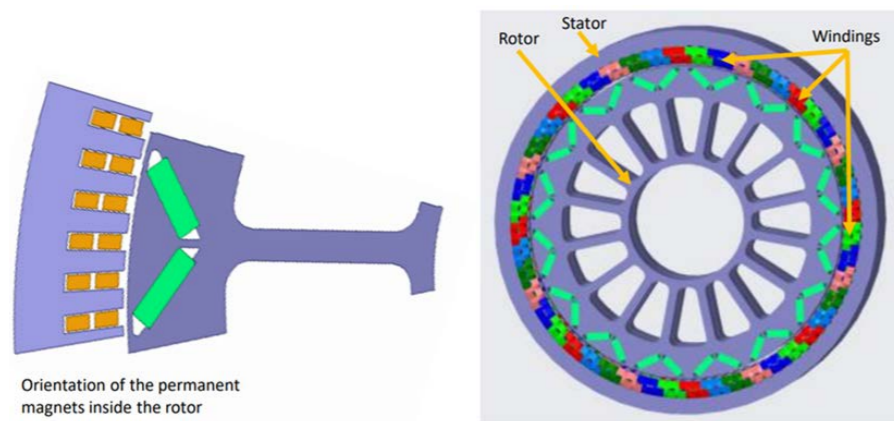


Прямоугольная обмотка (из другой работы)

Источник: [ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10145419](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10145419)

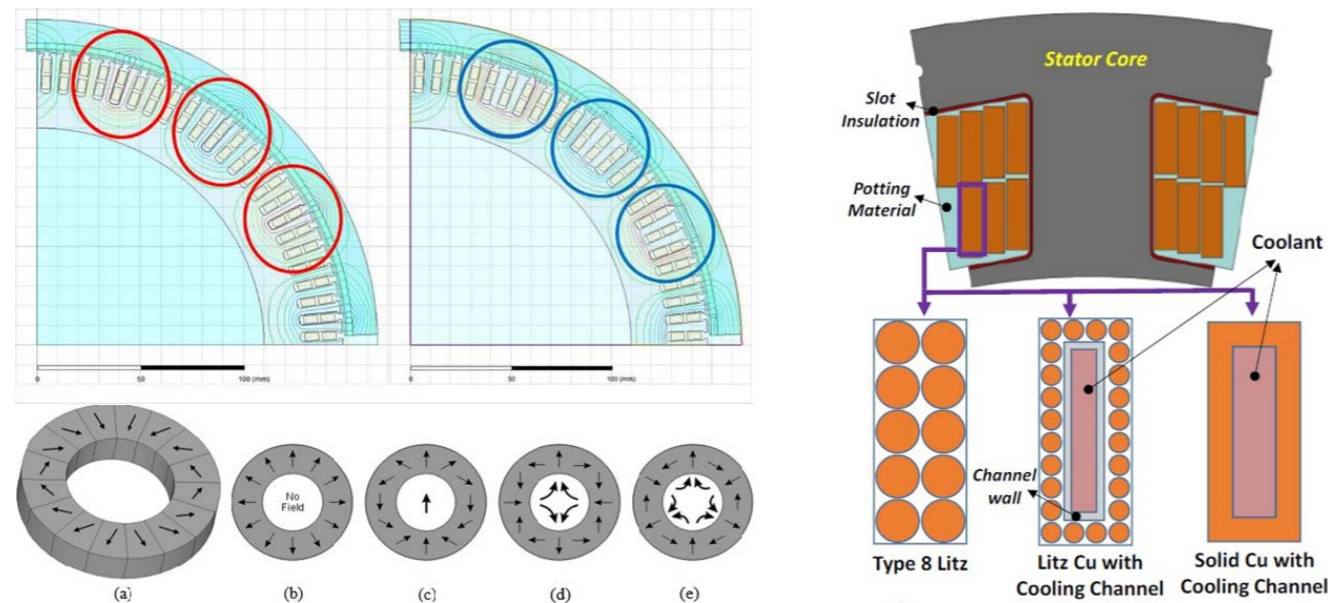
# 5. Электропривод для гибридно-электрического регионального самолета на 50 пассажиров

Группа ученых из Университета Фридриха-Александра Эрланген-Нюрнберга, Института интегральных систем и устройств Фраунгофера (Германия) и Неаполитанского университета им. Федерико II (Италия) предлагают конструкцию электродвигателя для гибридной силовой установки гибридно-электрического регионального самолета, разрабатываемого в рамках проекта Clean Sky 2 GENESIS. Выбран тип синхронной машины с постоянными магнитами с жидкостной системой охлаждения. Шестифазная конструкция выбрана для обеспечения отказоустойчивости. Используются постоянные магниты типа NdFeB. КПД двигателя оценивается примерно в 96%. Удельная мощность активных частей составляет около 10,6 кВт/кг. При общей массе двигателя 86,5 кг общая удельная мощность составляет 6,4 кВт/кг. Поднимаются вопросы для дальнейшей оптимизации предложенной конструкции.



Конструкция электрической машины

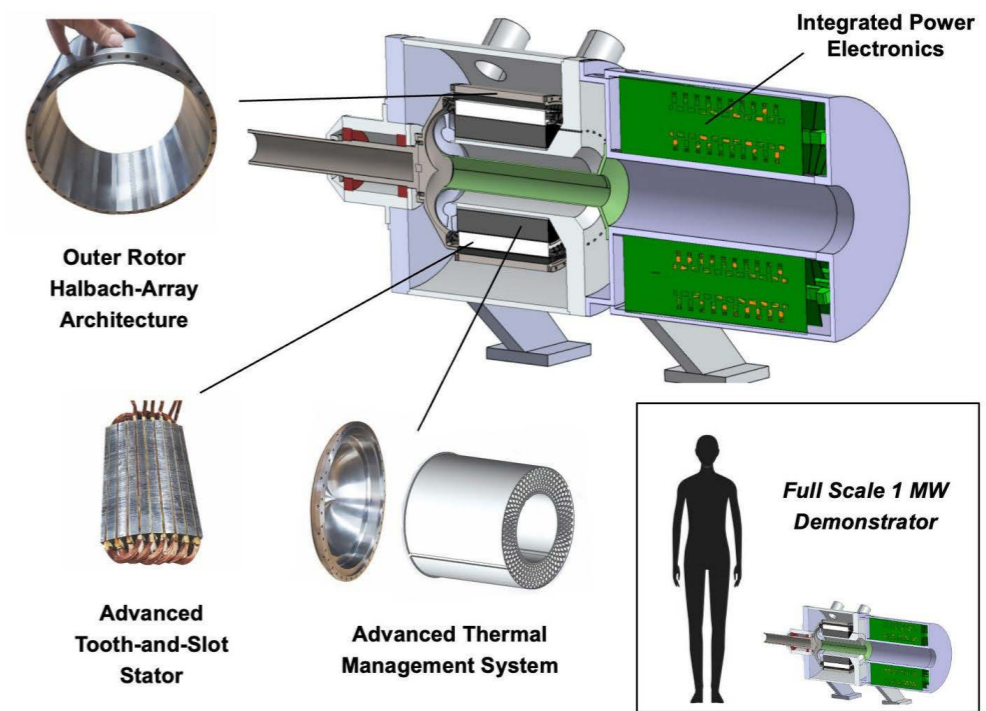
Также приводится обсуждение возможных реализаций схем охлаждения обмотки с выделением основных преимуществ и недостатков каждой из них.



Источник: [researchgate.net/publication/369830059\\_Design\\_proposal\\_and\\_optimization\\_potential\\_for\\_an\\_electric\\_drive\\_motor\\_in\\_a\\_50\\_PAX\\_hybrid-electric\\_regional\\_aircraft\\_application](https://researchgate.net/publication/369830059_Design_proposal_and_optimization_potential_for_an_electric_drive_motor_in_a_50_PAX_hybrid-electric_regional_aircraft_application)

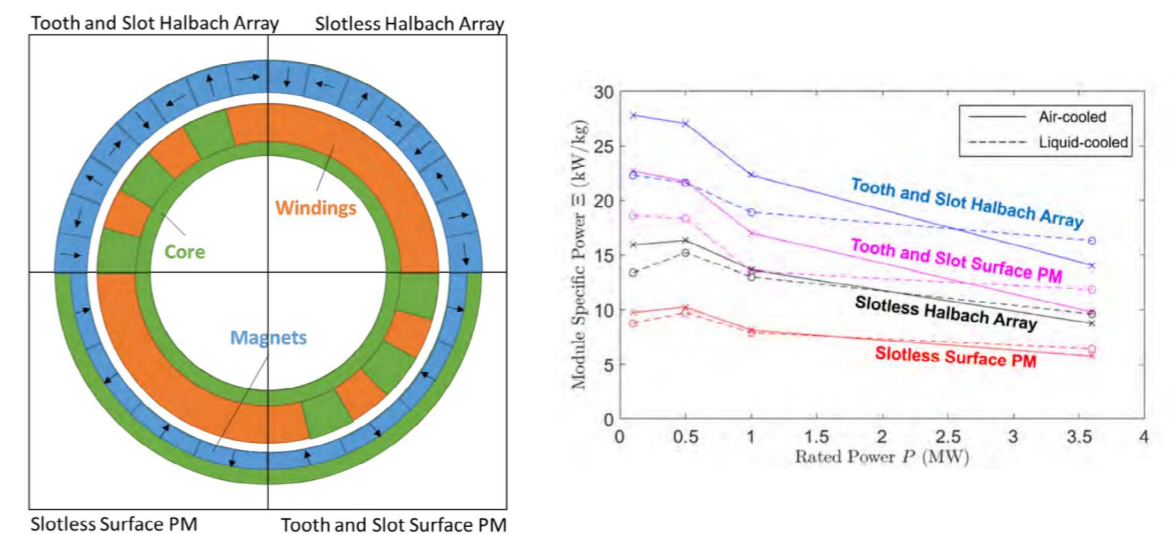
# 6. Обзор 1 МВт интегрированного электропривода

На конференции AIAA Aviation 2023 Массачусетский технологический институт представил несколько докладов, посвященных разработке интегрированного электропривода мегаваттного класса с воздушным охлаждением. Помимо этого, институт выпустил бо льшую обзорную работу, кратко описывающую технологии разрабатываемого демонстратора технологий. В качестве критически важных технологий выделены: высокоскоростной ротор со сборкой Хальбаха, статор с низкими потерями, теплообменник и силовая электроника.



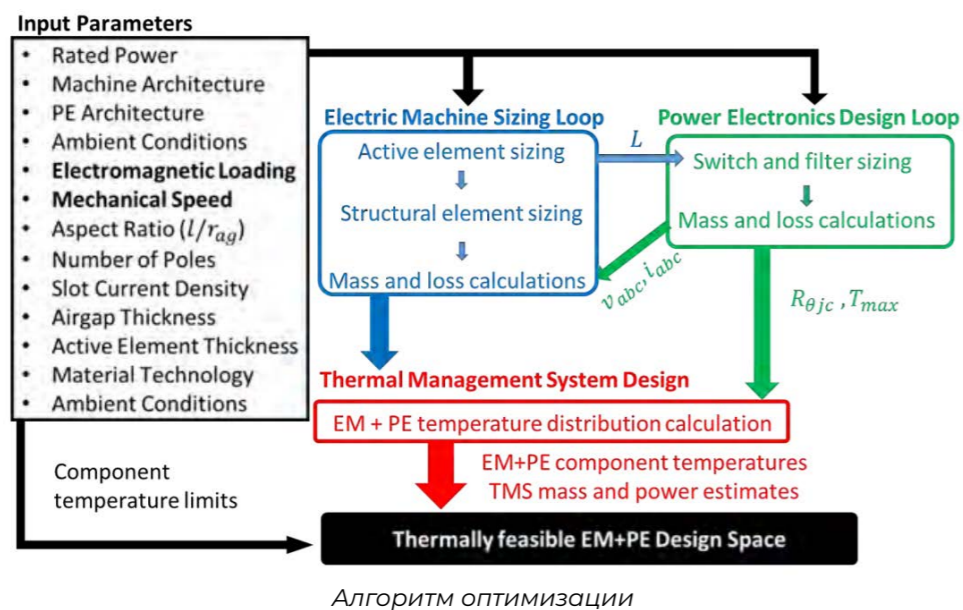
Критически важные технологии для 1МВт демонстратора

С учетом веса электромашины, системы силового преобразователя, системы терморегулирования и несущей конструкции удельная мощность всего электропривода оценивается в 10,5 кВт/кг. Обосновывается выбор конструкции электропривода для высокой удельной мощности. Рассмотрены 4 различных конструктивных исполнения с оценкой их удельной мощности.



Влияние различных конструкций на выходные характеристики

Наиболее эффективным вариантом исполнения статора является статор с зубцами и пазами в отличие от беспазовой конструкции. Отмечается, что жидкостное охлаждение превосходит воздушное при дальнейшем повышении мощности. Произведена оптимизация конструкции согласно схеме.

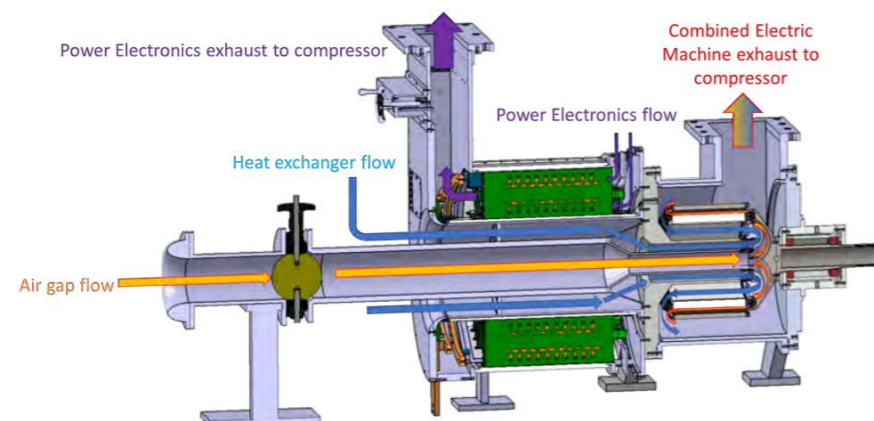


Получены следующие результаты:

Component	Mass (kg)	Component	Mass (kg)
<b>Electric Machine</b>		<b>Rotor System</b>	
Stator teeth	11.3	Forward end bell	3.5
Stator back iron	8.4	Aft end bell	0.5
Axial windings	4.2	Driveshaft	0.8
End windings	1.7	Rotor fasteners	0.4
Permanent magnet	14.6	Forward and aft bearings	2.4
Rotor drum	10.6	Bearing locknut and washers	0.1
Heat exchanger	6.4	Dampers	0.1
<b>Total</b>	<b>57.2</b>	Bearing housing and fasteners	7.1
<b>Power Electronics</b>		<b>Total</b>	<b>14.9</b>
FETs	3.8	<b>Electric Machine Superstructure</b>	
Drivers	1.9	Forward frame (including alignment cage)	26.5
HF capacitors	2.6	Aft frame (including spindle)	23.5
Circuit board	4.9	Shielding	77.2
Heat exchangers	2	Forward and aft legs	33.1
Leads between EM and PE	0.5	180 degree bend	0.5
PE frame	33.0	Superstructure fasteners	3.0
<b>Total</b>	<b>48.7</b>	<b>Total</b>	<b>163.8</b>

Таблица с массами компонентов

Система управления температурным режимом с воздушным охлаждением состоит из трех путей охлаждающего потока.



Отдельно выделены вопросы производства и сборки электропривода: вопросы изоляции обмоток в пазах статора. Также отдельно рассматриваются вопросы дальнейшего масштабирования демонстратора.

Источник: [dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/150870/2023\\_AIAA\\_Paper\\_1MW\\_Overview%5B82%5D%5B75%5D.pdf](https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/150870/2023_AIAA_Paper_1MW_Overview%5B82%5D%5B75%5D.pdf)

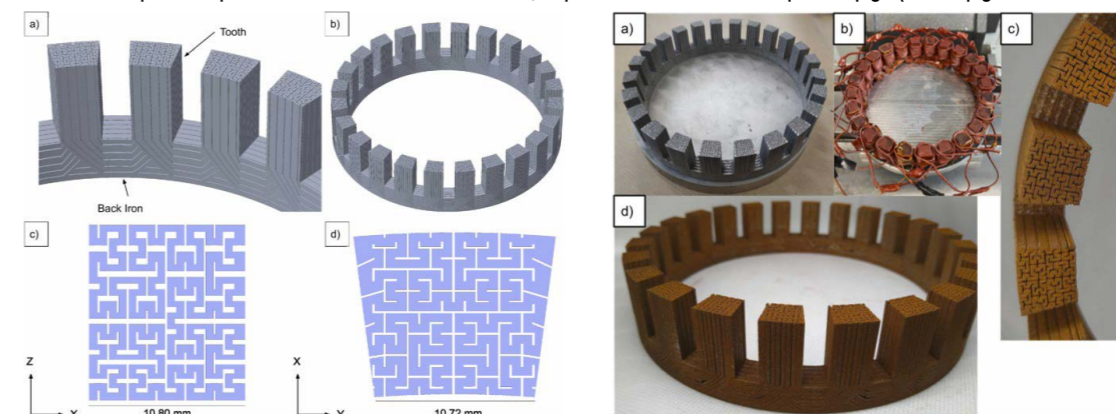
## 7. Разработка сверхпроводящего кабеля для IZEA Aircraft

Ученые из университета штата Флорида (США) представили исследование по разработке высокотемпературных силовых кабелей для 18 МВт 100-местного пассажирского самолета, который разрабатывается в рамках инициативы NASA IZEA University Leadership Initiative. Водород используется как хладагент для электрической машины и силовой электроники, а также в качестве топлива. Предполагаемая энергосистема состоит из двух высокотемпературных сверхпроводящих генераторов мощностью 9 МВт и 8 двигателей мощностью 2,5 МВт, которые соединены между собой высокотемпературными силовыми кабелями постоянного тока среднего напряжения. В статье рассматривается система, а также проблемы и возможности, которые возникают при использовании ВТСП-кабелей при разработке распределительной сети для самолета IZEA. Представлена условная архитектура распределения энергосистемы и конструкция ВТСП кабеля.

Источник: [arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4229](https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4229)

## 8. Аддитивный ротор с гильбертовой структурой

Коллектив ученых из Стэнфордского Университета и Университета Торонто (Канада) предлагает конструкцию ротора для синхронных машин с постоянными магнитами и синхронных реактивных машин с тонкостенной структурированной гильбертовой геометрией. Тонкостенная гильбертова геометрия демонстрирует определенную степень конструктивной магнитной анизотропии, которая предлагает уникальную возможность для повышения производительности электродвигателей, в которых используется неизотропное магнитное сопротивление для создания крутящего момента. Чтобы продемонстрировать преимущества конструкции, выполняется трехмерный электромагнитный анализ с помощью метода конечных элементов. После этого предлагается концептуальная конструкция ротора. В дополнение к увеличению крутящего момента электрической машины в результате увеличения отношения индуктивности по оси  $q$  к индуктивности по оси  $d$  предложенная конструкция также обеспечивает снижение массы и потерь на вихревые токи, а также предоставляет подход для интеграции высокоэффективных систем охлаждения. На рисунке представлен пример данной концепции, примененной к ротору (из другой статьи).



Источник: [arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4431](https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4431)

## 9. Концепт 5 МВт частично сверхпроводящего генератора

Сотрудниками NASA представлен проект генераторов мощностью 5 МВт для концепции гибридного электрического полета NASA SUSAN. Целевые показатели производительности этой машины составляют 25 кВт/кг и КПД 99%. Концептуальный проект представляет собой частично сверхпроводящую машину, основанную на прошлой работе NASA над высокоэффективным мегаваттным двигателем. После тщательного анализа прогнозируется, что машина достигнет мощности 22,3 кВт/кг и КПД 99,04%.

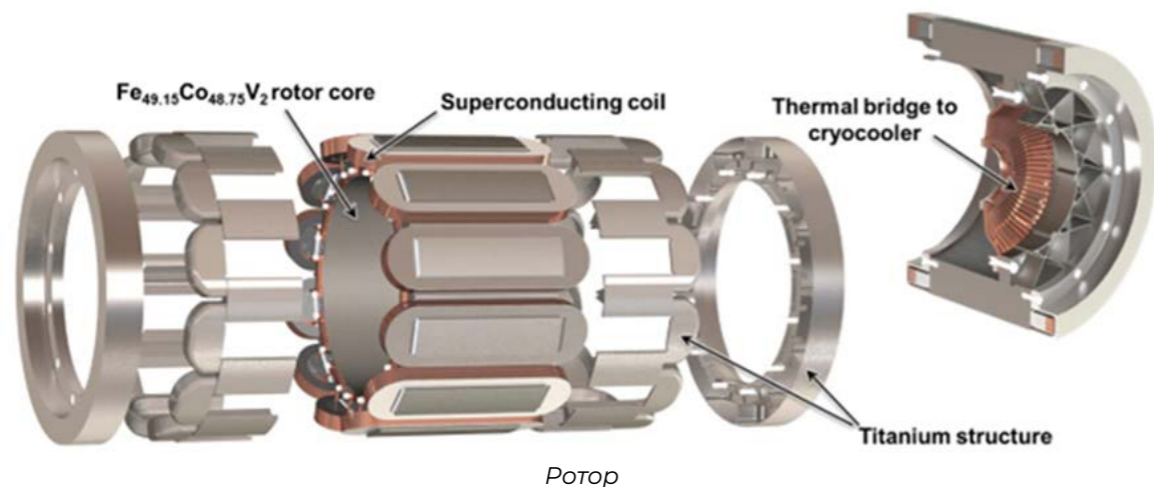


Визуализация самолета

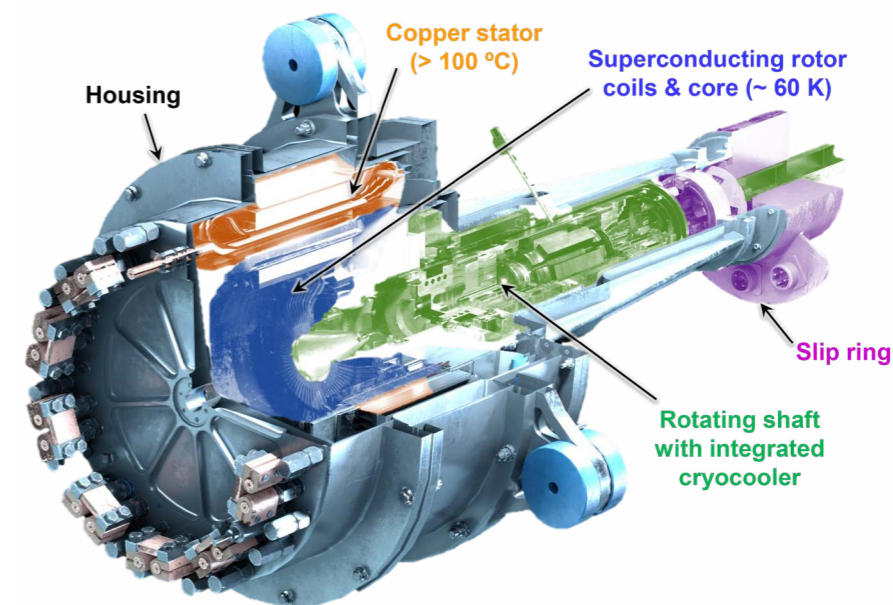
Источник: [arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4505](https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4505)

## 10. Статические испытания частично сверхпроводящего ротора

Сотрудниками NASA представлены результаты статических испытаний полномасштабного ротора для демонстрации стабильной работоспособности частично сверхпроводящей электрической машины МВт класса при расчетном токе и температуре.

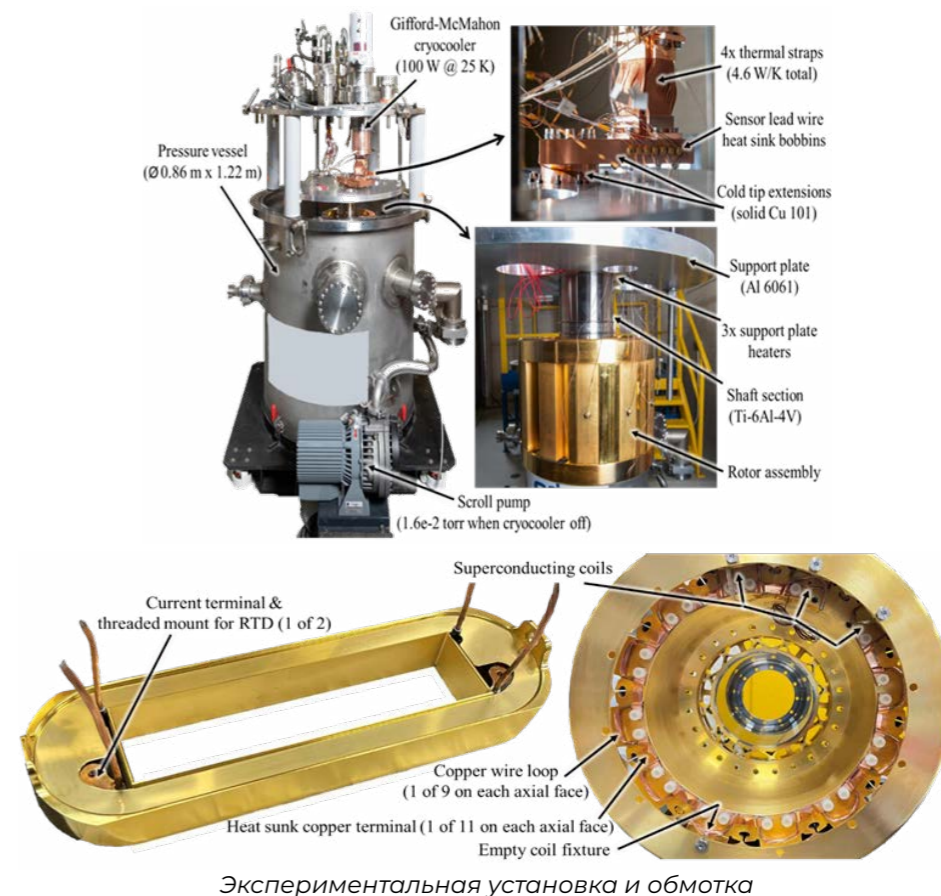


Ротор



Основные узлы

Чтобы уменьшить сложность и стоимость испытаний, были включены только три из двенадцати катушек. Статор в испытаниях не участвовал. Подробно описана экспериментальная установка. Показан тепловой и электромагнитный трехмерный анализ экспериментальной установки, выполненный методом конечных элементов. Представлены результаты измерений при различных значениях токов возбуждения (до номинального тока ротора 57,2 А) и нагрева (62 К). Результаты показывают, что незначительное повреждение одной сверхпроводящей катушки произошло при 50 А и 61,2 К, что вызвало повышение сопротивления в системе, но система оставалась работоспособной при 57,2 А и 62 К при кондуктивном охлаждении с помощью криокулера.



Экспериментальная установка и обмотка

Источник: [arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4537](https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-4537)



# 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)

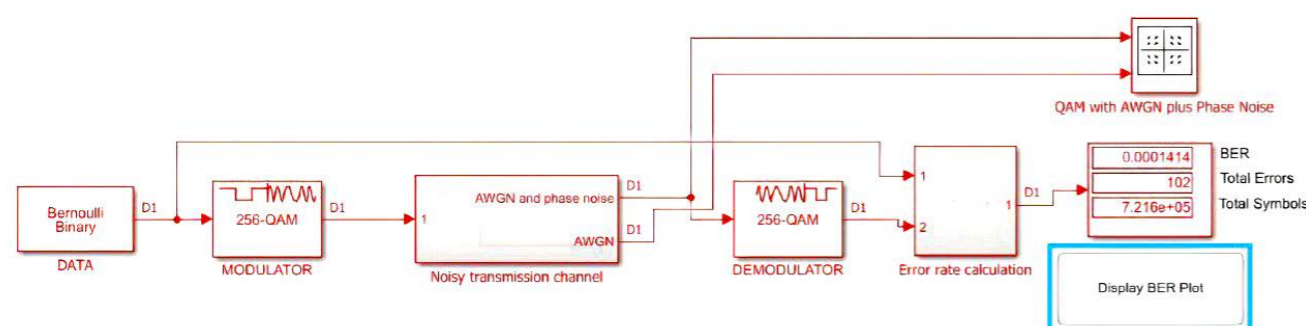
Рахман Мд. Нафиз (инженер 2 категории)

Обух Федор Андреевич (оператор ЭВиВМ)

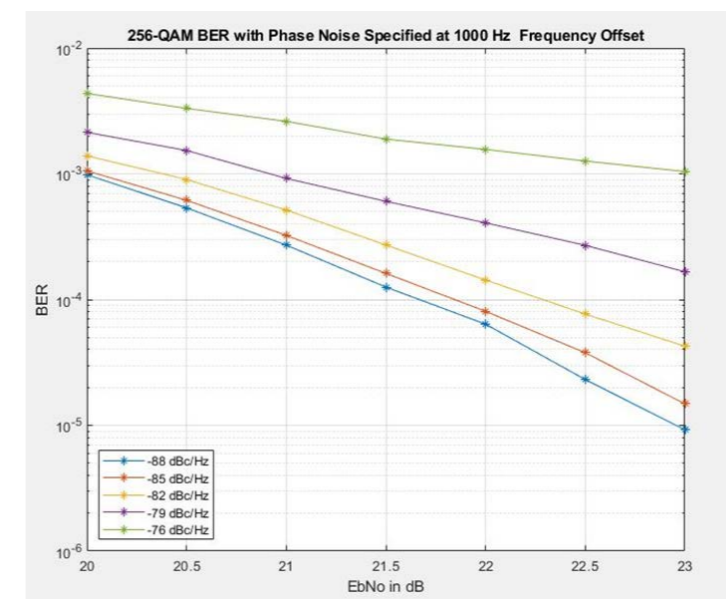
Мустафин Дамир Шамилевич (оператор ЭВиВМ)

## 1. Передача данных по линиям питания

Передача данных по линиям питания рассматривается как более конкурентоспособный вариант для снижения сложности конструкции, веса и стоимости с расширением использования электронных устройств в транспортных средствах, особенно для электромобилей. В этой системе шум может вызвать битовую ошибку и задержку связи по линиям питания. В ходе исследований, автор разработал модель SIMULINK для фильтрации нежелательных шумов при передаче сигнала по линиям питания постоянного тока.



Система работает следующим образом: сгенерированные данные отправляются в модулятор, затем на сигнал наводится шум, дальше зашумленный сигнал отправляется на демодулятор, где происходит отделения шума от чистого сигнала, затем демодулированный сигнал отправляется в блок расчета ошибок для проверки качества сигнала по коэффициенту битовых ошибок.



По мере того, как битовая ошибка уменьшается, отношение сигнал/шум увеличивается. Это свидетельствует о высоком качестве и силе принимаемого сигнала данных, что подтверждает правильную работу системы.

“ ”

Для автомобильных приложений технология передачи данных по линиям электропередач имеет большой потенциал. Тем не менее, необходимы дополнительные исследования, чтобы определить, как данный метод может быть полностью коммерциализирован для использования в автомобильных приложениях.

Источники:

M.H. Рахман «ADVANCED IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF THE COMMUNICATION NETWORK OVER POWER LINES IN AN ELECTRIC VEHICLE»

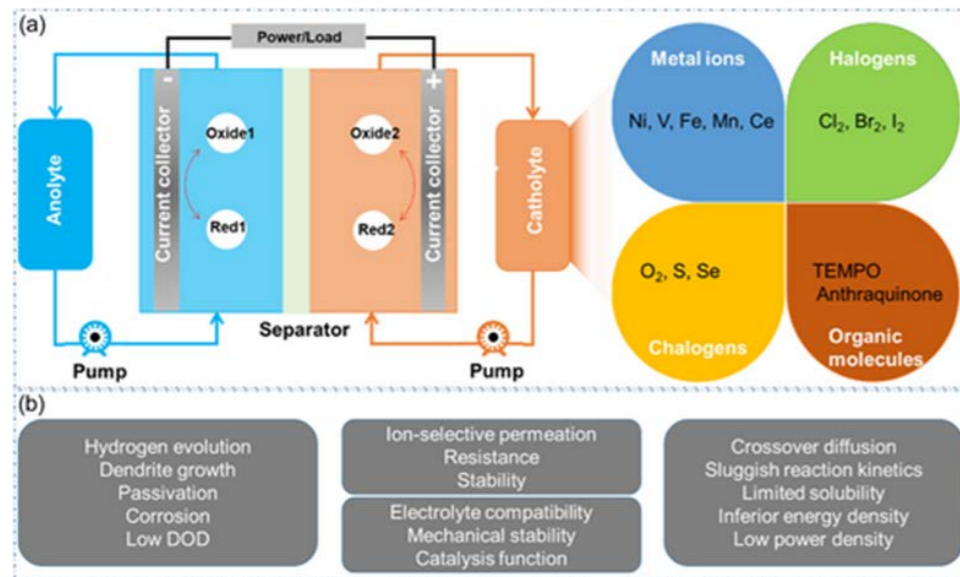
Zhang L. et al. Reliability oriented modeling and analysis of vehicular power line communication for vehicle to grid (V2G) information exchange system //IEEE Access. - 2017. - Т. 5. - С. 12449-124572.

Gavrieli E. Power Line Communication (PLC) Via Motor-inverter Cable Based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). – Ben-Gurion University of the Negev, 2012.

Huang X. Power line communication for automotive applications //Power. - 2012. - Т. 1. - С. 1-2012.

## 2. Проточные батареи

Стремление к зеленой и устойчивой энергии является долгосрочной целью современного общества и жизни людей, это побуждает направить исследовательский энтузиазм на изучение новых материалов и химических веществ для преобразования и хранения энергии при низких затратах, чтобы найти альтернативу прижившихся литий-ионным батареям. Проточные аккумуляторы решают эти проблемы. Проточные аккумуляторы (или жидкие аккумуляторы) представляют собой два бака с электролитической жидкостью. Баки соединяются через мембрану, через которую пропускаются лишь ионы жидкости, сама жидкость не смешивается. За счет окислительно-восстановительных реакций, электролитическая жидкость на одной стороне окисляется, а на другой восстанавливается, за счет этого в акб запасается энергия.



Проточные акб имеют ряд преимуществ над литий ионными акб:

- 1) Могут служить десятки лет без потери своих свойств;
- 2) Нет опасности возгорания;
- 3) Емкость легко увеличить, увеличив объем бака;
- 4) Батарею можно полностью разряжать и заряжать, не боясь деградации батареи;
- 5) Можно легко заряжать, просто поменяв электролит на заряженный.

Существует коммерческое решения. ZBM3 – проточная бромно-цинковая батарея.



Её характеристики:

- 1) Размеры: 400 x 861 x 747 мм;
- 2) Вес 240 кг с электролитом и 90 кг без него.
- 3) Рабочая температура внутреннего электролита: от 15 °C до 50.
- 4) Номинальная мощность: 3 кВт в непрерывном режиме (5 кВт в пиковом режиме).
- 5) Емкость 10 кВт\ч
- 6) Цена 8000 \$

По сравнению с литий ионным акб в Tesla Model S, имеющий вес в 540 кг и размеры 210 x 150 x 15 см, емкостью 80 кВт\ч и ценой в 15000\$, ZBM3 заметно выигрывает по масса-габаритному показателю и цене и проигрывает по ёмкости.

“”

Проточные аккумуляторы-перспективное решение взамен литий ионным. Они дешевле, не горючи, имеют лучшие массогабаритные показатели, практически не теряют своих свойств. Но из-за невысокой ёмкости, в размерах сопоставимых с литий-ионными акб в электромобилях, о их применении пока говорить рано. Но есть компания NanoFlowcell, которая разработала электромобиль с питанием от проточного акб с заявленной дальностью 2000 км, информацию они не раскрывают. С 1-7 июня 2023 в Монако, проходило шоу суперкаров, где данный автомобиль занимал центральное место в шоу, а значит скоро мы увидим его в продаже.

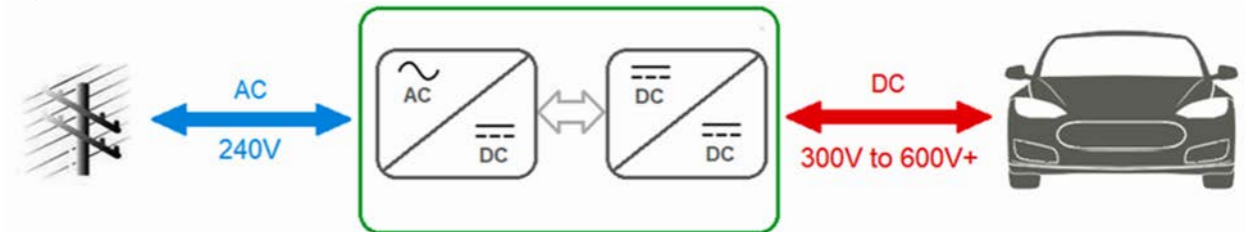
Источники:

[onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cnl2.43](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cnl2.43)

[redflow.com/wp-content/uploads/2023/02/RDF1199-Redflow-ZBM3-Datasheet-WEB-SML.pdf](https://redflow.com/wp-content/uploads/2023/02/RDF1199-Redflow-ZBM3-Datasheet-WEB-SML.pdf)

## 3. Двухнаправленная зарядка

Рациональное использование ресурсов, в том числе электроэнергии, это нынешний общемировой тренд. Все хотят оптимизировать энергопотребление, сделать его максимально выгодным и практичным. Учитывая массовый переход на электромобили, у их владельцев появился передвижной источник питания, который можно использовать в собственных нуждах. Двухнаправленная зарядка (технология V2G) позволит использовать электромобиль в качестве генератора в случаях отключения сети.



Двухнаправленная зарядка, через зарядное устройство, позволяет электромобилям функционировать как мобильные системы хранения энергии, поэтому он может подавать электричество в дом, или можно продать его обратно энергетической компании, чтобы поддерживать свет включенным, что в конечном итоге устраняет необходимость для так называемых «пиковых электростанций», дорогостоящих и загрязняющих окружающую среду электростанций, которые включаются в периоды высокого спроса на электроэнергию.



Все новые электрокары Tesla имеют софт, который поддерживает технологию V2G. Достаточно активировать его через удаленное обновление ПО и весь модельный ряд последних лет сможет использовать преимущества двунаправленной зарядки. Японская Honda не просто выпускает электромобили с возможностями двунаправленной зарядки, но и активно развивает инфраструктуру V2G. В Европе уже есть как минимум несколько подобных зарядных станций, которые компания открыла совместно с разработчиком программного обеспечения для такой инфраструктуры.

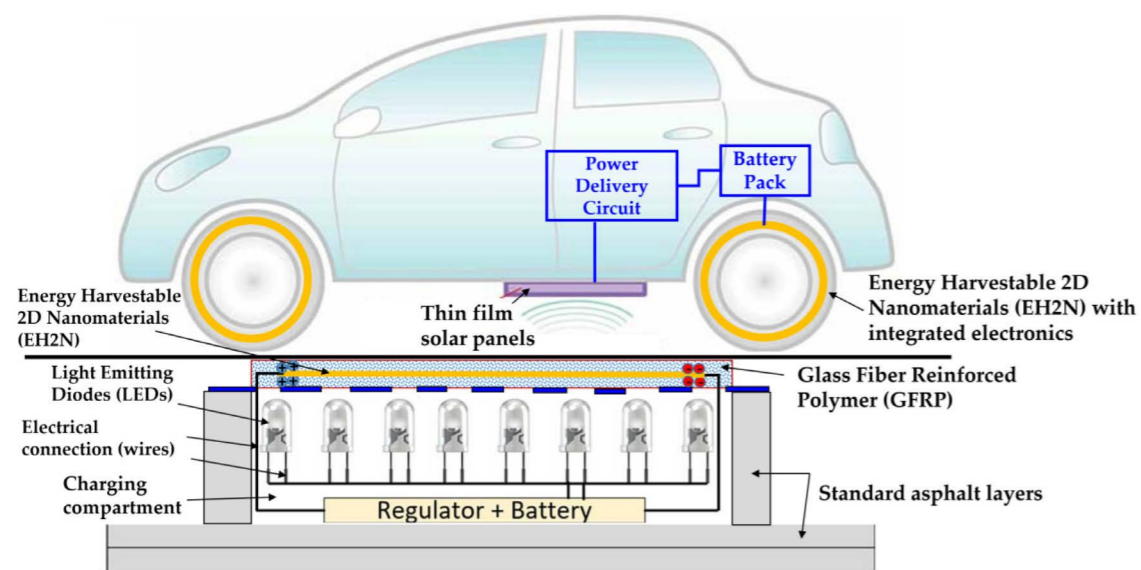
Благодаря батареям для электромобилей накопление энергии уже существует, но более серьезная проблема для выполнения всей этой работы заключается в том, что энергетическим компаниям необходимо обеспечить двунаправленную зарядку, а потребители должны устанавливать соответствующее оборудование дома, что не обязательно дешево.

“”

Данная технология является перспективной в условиях перехода на электромобили, но для того, чтобы V2G заработала в полную силу необходима не только сама технология, но и комплексный подход для ее внедрения со стороны энергетических компаний.

## 4. Система зарядки Smart Illumination для электромобилей

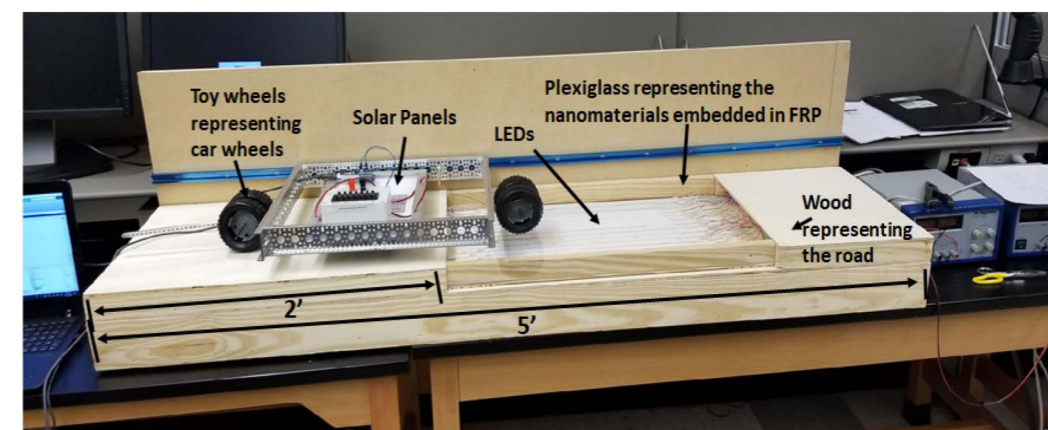
Литий ионные аккумуляторы, используемые в качестве источника питания для электромобилей, достаточно эффективны. Современные зарядные станции могут зарядить такой аккумулятор за 4-5 часов, что довольно долго. Исследователи предлагают новый способ зарядки, который интегрирован в дорожное полотно - Smart Illuminative Charging.



Smart Illuminative Charging — это новая система беспроводной зарядки, в которой используются светодиоды, работающие от пьезоэлектрических материалов, в качестве источника передатчика энергии и тонкопленочные солнечные панели, размещенные в нижней части электромобиля, в качестве приемника, который затем готов доставить собранную энергию к электромобилю.

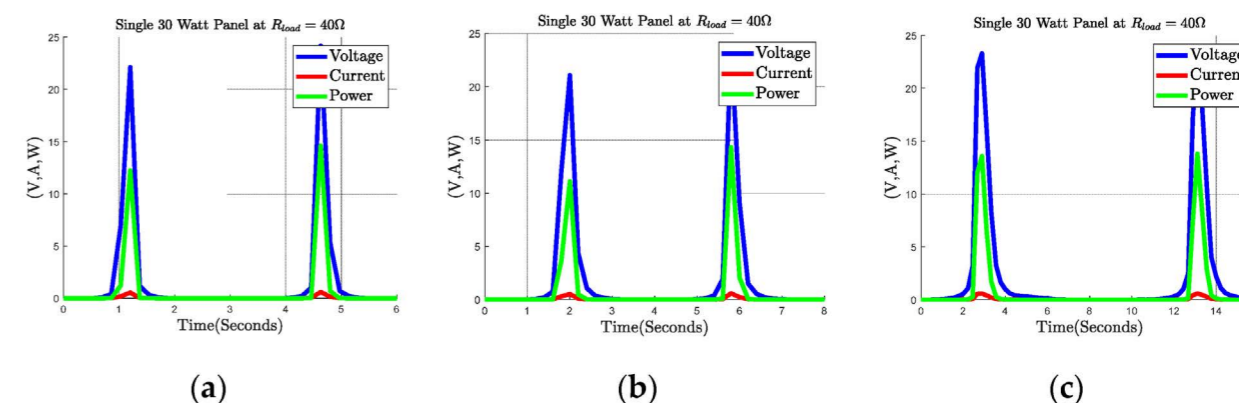
Светодиоды с питанием от наноматериалов в качестве передатчика энергии встроены под прозрачную полимерно-модифицированную нанокомпозитную (TPMN) накладку и тонкопленочные фотоэлектрические солнечные панели, как приемник энергии, размещаются под каждым транспортным средством. Механическая энергия, доступная на проезжей части, преобразуется в электрическую энергию за счет использования

собирающих энергию двумерных наноматериалов (EH2N), собранная энергия используется (вместо обычной электросети) для питания светодиодов, встроенных в проезжую часть, и фотоэлектрические панели, прикрепленные к днищу автомобиля, наконец, преобразуют полученную световую энергию обратно в электричество. Исследователи собрали экспериментальный лабораторный прототип интеллектуальной системы зарядки, разработанной и реализованной в рамках данного исследования.



Прототип состоит из двух отрезков пути по 150 см с пятью секциями по 60 см. Деления чередуются от дерева к плексигласу, начиная и заканчивая деревом, представляющим асфальт, а деления из плексигласа будут представлять отсеки, которые будут встроены в колесные дорожки на встроеном проезжей части.

В ходе исследования, были протестированы 3 разных солнечных панелей, результаты представлены ниже.



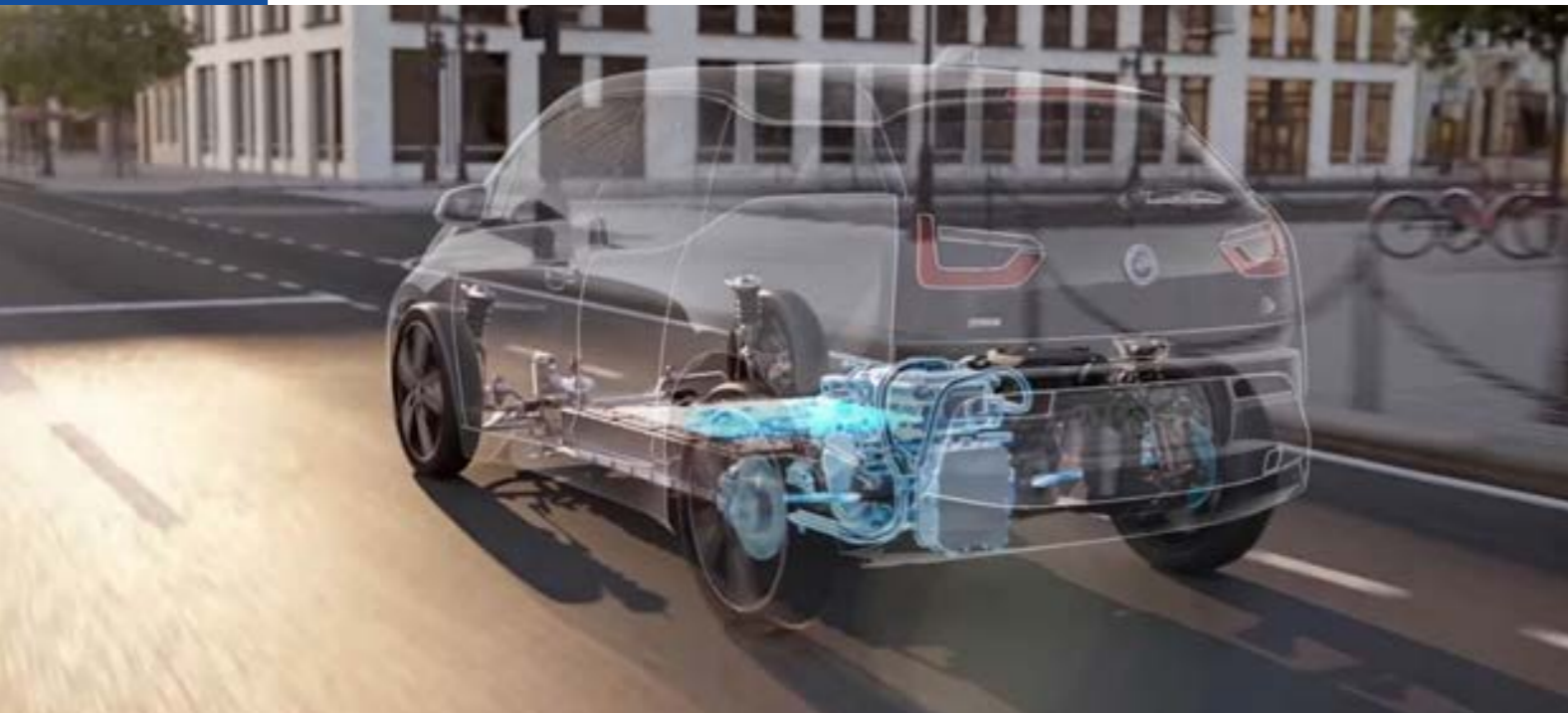
Как видно из графика, исследователям удалось получить чуть менее 15 Вт.

“”

Достаточно перспективная технология, которая позволит увеличить запас хода электромобилей не увеличивая емкость аккумулятора, но требуются еще исследования в этой области. Так же с помощью энергии, полученной от дорожного покрытия с использованием этих наноматериалов, система может использоваться в качестве датчика для подсчета транспортных средств и сбора данных о дорожном движении.

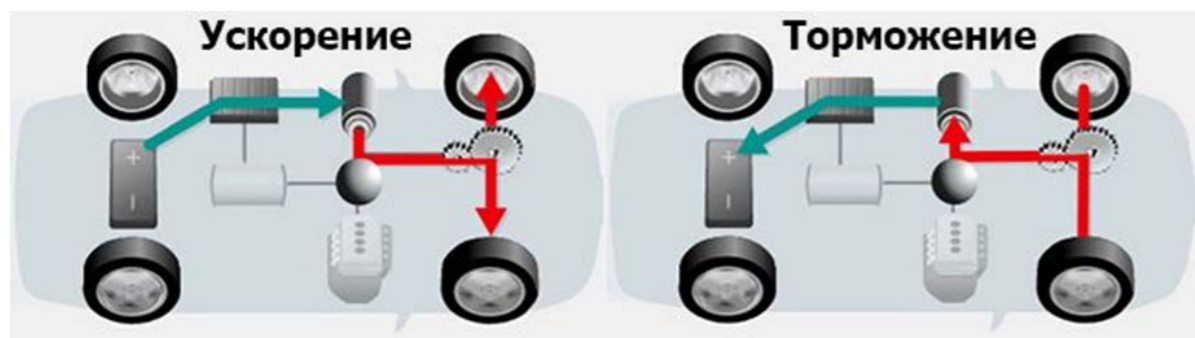
Источник: [mdpi.com/1996-1073/16/2/835](https://mdpi.com/1996-1073/16/2/835)

## 5. Рекуперативное торможение



В электрических и гибридных транспортных средствах можно рекуперировать энергию процесса торможения и повторно использовать ее для управления транспортным средством с помощью установленных на борту аккумуляторов. В условиях городского движения энергия, рассеиваемая в процессе торможения, составляет очень большую долю общего сопротивления движению автомобиля. Эффективное использование энергии процесса торможения позволяет значительно сократить потребление топлива и электроэнергии для гибридных и электрических транспортных средств.

Работу системы рекуперации электрической энергии можно описать следующим образом: при торможении электромобиля его силовой агрегат отключается от источника питания (аккумулятора) и переходит в генераторный режим, самостоятельно вырабатывая энергию. В таком режиме в обмотках ротора и статора возникают противоположно направленные токи. На валу электромотора возникает тормозной момент. Он обеспечивает торможение транспортного средства, снижая скорость. Одновременно с этим запасённая машиной кинетическая энергия переходит в электроэнергию и тепло. Электрическая энергия поступает в аккумулятор, увеличивая его заряд. Чем чаще тормозит автомобиль, тем больше заряжается его аккумуляторная батарея.



В отличие от тяжелых и перемещающихся с большой скоростью электропоездов, в электромобилях данная технология не показывает аналогичные результаты КПД и имеет ряд недостатков:

- В городе, особенно при движении в плотном потоке, электромобиль практически не может нормально разогнаться (даже при хороших динамических характеристиках);
- Рекуперация мало эффективна, так как скорость в начале торможения небольшая (до 60 км/ч), а масса автомобиля не превышает 1-2 т;
- Энергии вырабатывается мало, и запас хода увеличивается незначительно;
- Стоимость установки оборудования, обеспечивающего рекуперацию достаточно большая, а из-за низкой эффективности работы рекуперации она почти не окупается.

Ситуация немного улучшается при движении с горки и торможениях на высокой скорости. Но так разогнаться электромобили могут только за городом. А большинство доступных по цене электрических моделей не обладает запасом хода для загородных поездок и динамикой для нормального разгона. Запас хода транспортного средства увеличивается при этом на 15-20%.

“ ”

Рекуперативное торможение эффективный способ преобразования кинетической энергии в электрическую во время торможения электромобиля. Но в связи с его малой массой и невысокими скоростями в чертах города (населенных пунктов), данный способ малоэффективен чем за его пределами, но не бесполезен, именно этот небольшой дополнительный заряд позволит автомобилю доехать до места зарядки и не остановиться где-нибудь на дороге с нулевым уровнем энергии. В настоящее время на все современные электромобили (Nissan Leaf, BMWi3, Hyundai Ioniq, Chevrolet Bolt, Tesla Model S) устанавливается данная система, а значит, что вскоре мы получим данную систему с более высоким КПД.

Источники:

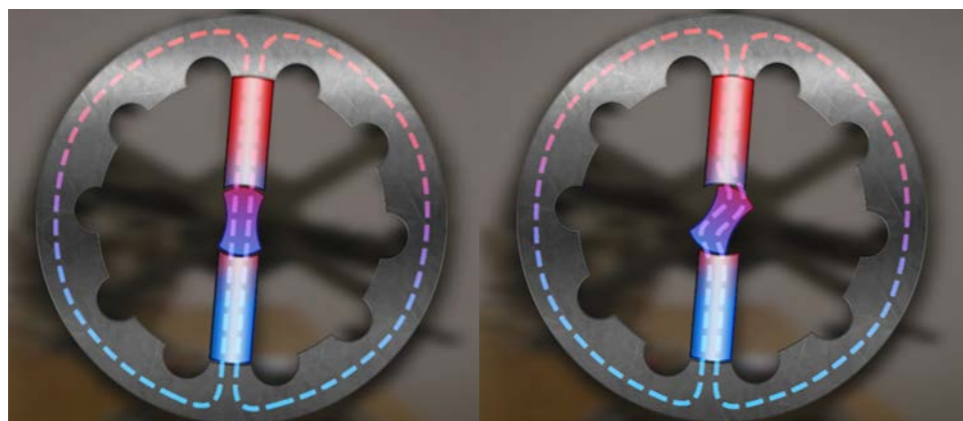
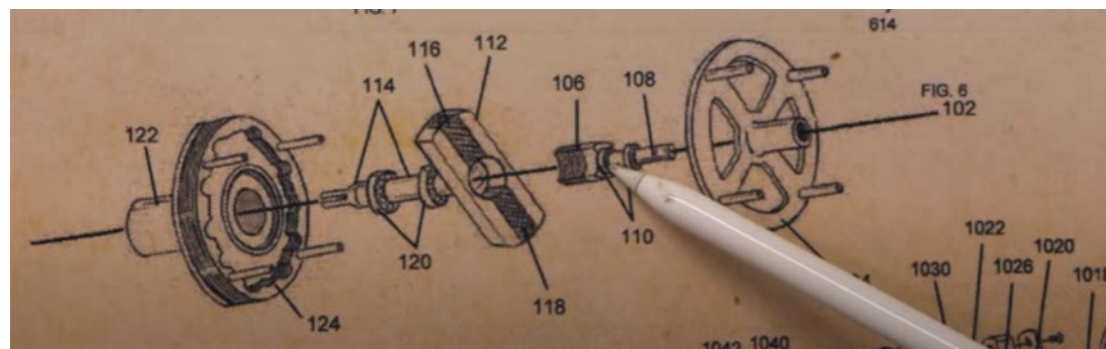
[cloud.mail.ru/attaches/16873432701902618665%3B0%3B1?folder-id=0&x-email=mega.cool.2001%40mail.ru&cvq=f](mailto:cloud.mail.ru/attaches/16873432701902618665%3B0%3B1?folder-id=0&x-email=mega.cool.2001%40mail.ru&cvq=f)  
[researchgate.net/publication/371026895\\_Estimation\\_of\\_the\\_Regenerative\\_Braking\\_Process\\_Efficiency\\_in\\_Electric\\_Vehicles](https://www.researchgate.net/publication/371026895_Estimation_of_the_Regenerative_Braking_Process_Efficiency_in_Electric_Vehicles)

# 6. Магнитный двигатель Motoflux

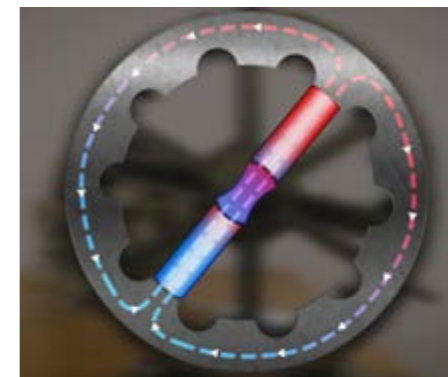
В новую эру литий ионных аккумуляторов электромобили стали очень полезными. Но в то же время приходится добывать большое количество редкоземельных металлов, производить аккумуляторы, которые имеют ограниченный срок службы. Чем больший запас хода электромобиля вы хотите получить, тем выше доля веса аккумулятора в нем. Потенциал двигателя Motoflux выходит за рамки электромобилей и может изменить то как мы создаем и распределяем энергию.



Идея Motoflux заключается в том, чтобы извлекать энергию из силы, хранящейся в постоянных магнитах. В этом двигателе используется трехкомпонентная конструкция с радиальным направляющим, который искажает линии магнитного потока в якоре.



По мере того, как силовые линии стремятся замкнуться по кратчайшему пути, якорь подтягивается к следующему ближайшему полюсному наконечнику статора. За счет этого двигатель вращается. В ходе экспериментов двигатель Motoflux продемонстрировал увеличение выходного крутящего момента (5.4 Н\*м) в 6-8 раз по сравнению с входным (0.6 Н\*м).



Для работы двигателя Motoflux требуется лишь внешний привод, который будет крутить радиальное направляющее устройство, которое потребляет лишь часть энергии, требуемой современными конструкциями электродвигателей, и, следовательно, электромобиль с таким двигателем требует меньшего запаса энергии.

“ ”

Довольно перспективная технология, которая позволяет увеличить выходной момент с минимальными энергозатратами. Пока не проводились испытания на автомобиле, следим за дальнейшим развитием.

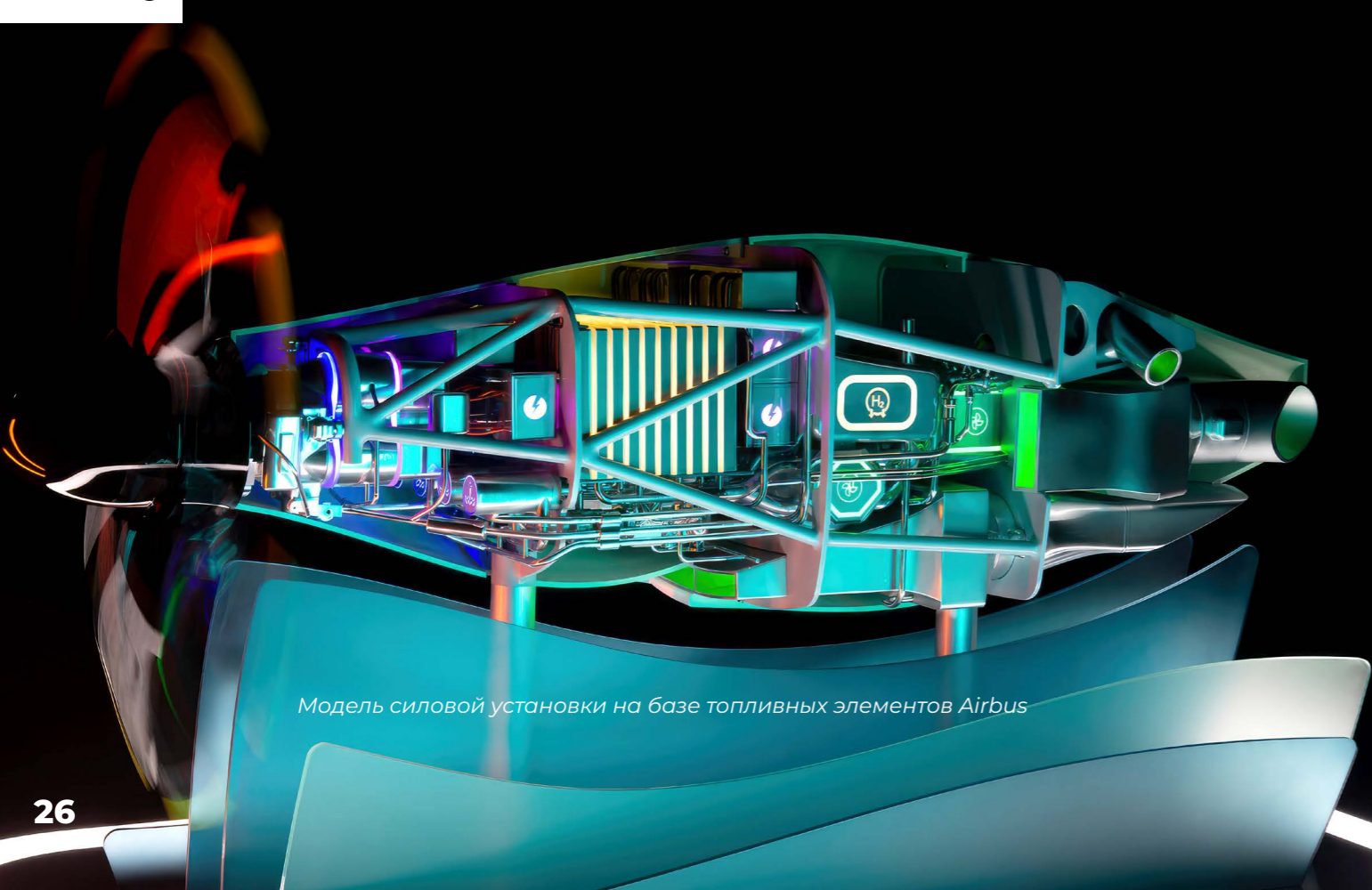
Источники:  
[motofluxpower.com](http://motofluxpower.com)  
[globenewswire.com/en/news-release/2023/02/16/2609872/0/en/Motoflux-Inc-Proves-Their-Newly-Patented-Device-Generates-Power-Utilizing-Only-Permanent-Magnets.html](http://globenewswire.com/en/news-release/2023/02/16/2609872/0/en/Motoflux-Inc-Proves-Their-Newly-Patented-Device-Generates-Power-Utilizing-Only-Permanent-Magnets.html)

# 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. Airbus провела наземные испытания



Модель силовой установки на базе топливных элементов Airbus

Компания Airbus в рамках исследовательской программы ZeroE ведет разработку силовых установок на базе водородно-воздушных топливных элементов (ВВТЭ). В рамках программы ZeroE ведется разработка трех концепций экологически чистых летательных аппаратов с потенциальным вводом в эксплуатацию в 2035 г.

Один из 3-х самолетов, разрабатываемых по программе ZeroE, представляет собой 100-местный пассажирский самолет с дальностью полета 1850км, который оснащается шестью силовыми установками на базе ВВТЭ.

По оценке экспертов Airbus максимальная мощность силовых установок на базе ВВТЭ должна достигать 1.2 МВт для обеспечения прогресса по программе ZeroE и обеспечения жизнеспособности концепции пассажирского самолета.

Ранее в этом году в испытательном центре Ottobrunn вблизи г. Мюнхен успешно прошли наземные испытания силовой установки на базе ВВТЭ с достижением максимальной мощности 1.2 МВт.

По заявлению СТО Airbus испытанная силовая установка является самой мощной авиационной силовой установкой на базе ВВТЭ на текущий момент.

Ожидается, что летные испытания разрабатываемой силовой установки на базе ВВТЭ пройдут в 2026-2028 г.

В рамках программы наземных испытаний проведена отработка всех режимов работы силовой установки на базе ВВТЭ по типовой траектории полета самолета – включение, рулежка, взлет, набор высоты, крейсерский полет, снижение, посадка. Испытательное оборудование имитирует изменение статических и динамических нагрузок на силовую установку кроме имитации влияния высоты полета.



Проект HyPower по построению бортовой энергосистемы самолета на базе ВВТЭ. Инновационное подразделение Airbus UpNext анонсировало запуск исследовательской программы HyPower по разработке и проведению летных испытаний демонстратора технологий на базе самолета Airbus A330 с бортовой энергосистемой на базе ВВТЭ.

Ожидается, что использование ВВТЭ в качестве источник энергии для бортовой энергосистемы позволит снизить расход топлива за типовой полет на 5%, а также выбросы CO2 и NOx.

Источник: [aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/airbus-achieves-full-power-with-fuel-cell-during-ground-testing.html](https://aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/airbus-achieves-full-power-with-fuel-cell-during-ground-testing.html)

## 2. Boeing: первые наземные пробежки самолета T-7A Red Hawk



Компания Boeing объявила об успешном завершении первых наземных пробежек учебно-тренировочного самолета T-7A Red Hawk. Основной целью наземных пробежек является испытание работоспособности силовой установки, электрической системы и системы управления самолета.

Летом в Сент Луисе начнется программа летных испытаний, в которой будет использовано пять опытных самолетов.

Ожидается, что самолет T-7A Red Hawk будет передан первым заказчикам в 2025 г. для замены учебно-тренировочного самолета T-38.

При разработке самолета T-7A Red Hawk используются самые передовые технологии цифрового проектирования и моделирования, что обеспечило переход от концептуального проектирования до летных испытаний за 36 месяцев. Учебно-тренировочный самолет отличается открытой архитектурой программного обеспечения, цифровой системы управления fly-by-wire и цифровизированной кабиной пилотов, что обеспечит самые высокие требования к подготовке летчиков.

Источник: [aerospacetestinginternational.com/news/defense/t-7a-red-hawk-trainer-jet-completes-taxi-tests.html](https://aerospacetestinginternational.com/news/defense/t-7a-red-hawk-trainer-jet-completes-taxi-tests.html)

## 3. Airbus заключила договор с STMicroelectronics

Airbus начинает сотрудничество с европейской компанией STMicroelectronics, одним из крупнейших разработчиков и производителей полупроводниковых электронных и микроэлектронных компонентов. Основной целью сотрудничества является разработка нового поколения авиационной силовой электроники для повышения характеристик и снижения веса электросистем силовых установок как минимум на 20%.

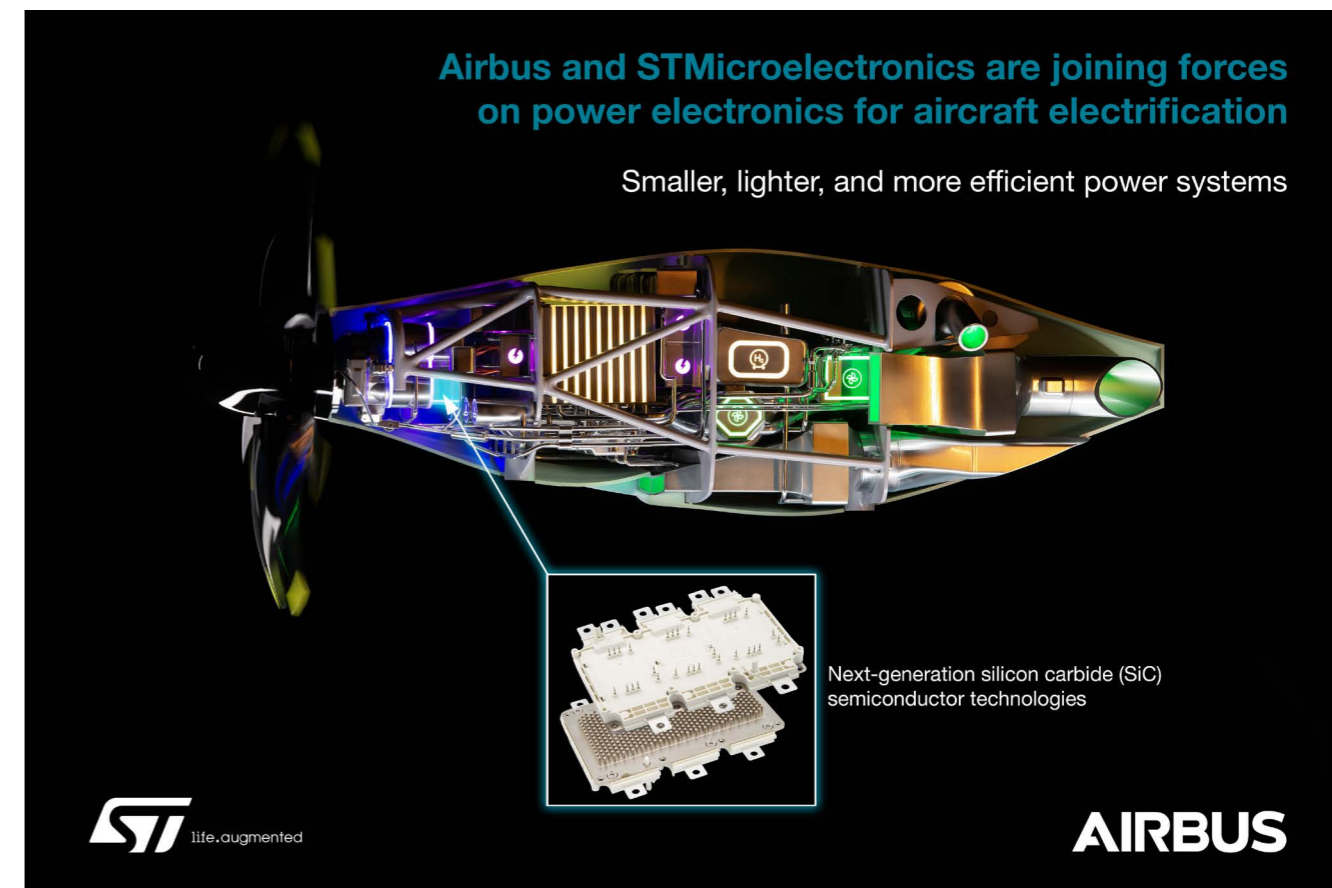
Airbus, как и другие ведущие производители авиационной техники в рамках тренда на декарбонизацию авиационной отрасли сфокусирован на разработке гибридных и полностью электрических силовых установок. На текущий момент удельный вес аккумуляторных батарей, электромеханических преобразователей энергии и блоков силовой электроники существенно снижает интегральные характеристики подобных силовых установок.

Полупроводниковые материалы с широкой запрещенной зоной (WBG), такие как карбид кремния (SiC) и нитрид галлия (GaN) обладают комплексом преимуществ перед традиционными полупроводниковыми материалами. SiC и GaN полупроводники позволяют разрабатывать более компактные, легкие и эффективные электронные компоненты.

SiC и GaN полупроводники обладают особой актуальностью в приложениях, где требуется высокая мощность, частота либо эксплуатационная температура.

Ключевой сферой сотрудничества Airbus и STMicroelectronics является разработка

электронных компонентов, используемых в блоках силовой электроники электродвигателей, высоко- и низковольтных преобразователей и беспроводных систем передачи энергии.



Airbus и STMicroelectronics сотрудничают в области создания перспективной авиационной силовой электроники

Одним из важнейших компонентов силовой электроники являются электронные ключи, что особенно актуально в условиях непрерывного повышения мощности. В автомобилестроении переход с IGBT (Insulated-gate bipolar transistor) на SiC обеспечил уменьшение размера аккумуляторных батарей на 20%. В авиационной отрасли удельная мощность и удельный вес компонентов силовой установки играют критически важную роль.

Начало сотрудничества Airbus и STMicroelectronics является важным шагом при реализации дорожной карты по научной программе ZeroE, а также CityAirbus NextGen.

Источник: [aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/airbus-and-stmicroelectronics-to-develop-silicon-carbide-power-electronics-for-aircraft.html](https://aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/airbus-and-stmicroelectronics-to-develop-silicon-carbide-power-electronics-for-aircraft.html)

## 4. Tecnam приостановила разработку электрического самолета P-Volt

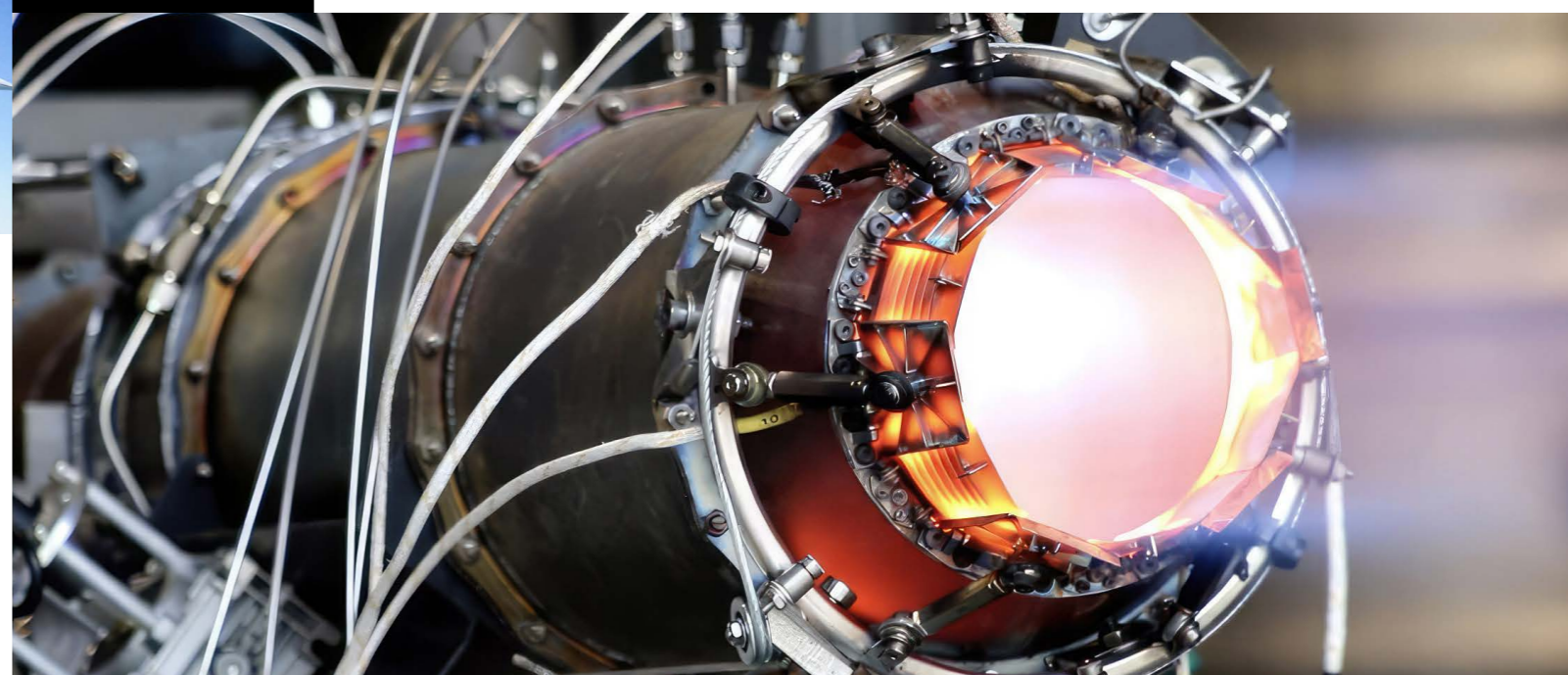


Итальянская компания Tecnam приостановила разработку своего электрического самолета P-Volt, придя к выводу, что “время еще не пришло” для этой технологии. Tecnam вела программу разработки P-Volt с марта 2021 года в сотрудничестве с Rolls-Royce. P-Volt должен был стать полностью электрическим пассажирским самолетом для рынка местных авиаперевозок в Норвегии. В заявлении Tecnam говорится, что прибыльная, эффективная и экологически устойчивая эксплуатация полностью электрического пассажирского самолета может быть достигнута только путем “чрезвычайно агрессивной спекуляции на неопределенных технологических разработках” на предварительном этапе. Фабио Руссо, директор по исследованиям и разработкам компании Tecnam, сказал: “Нас не привлекает стремление в 2026 год или какая-либо электрическая лихорадка. В нашей культуре всегда было стремление к достижимым целям во взаимодействии с клиентами, и мы намерены сохранить это стремление. Мы надеемся, что новые технологии сделают бизнес жизнеспособным скорее раньше, чем позже, и мы действительно уверены в способности наших промышленных партнеров привнести очень ценные продукты на рынок экологически чистых силовых установок и накопителей энергии”. В ходе исследования Tecnam внимательно изучила технологии хранения энергии на ближайшие пять лет и решила, что самолет с аккумуляторной батареей, срок службы которой подходит к концу, будет не самым лучшим продуктом для рынка и самым худшим с точки зрения чистой приведенной стоимости (NPV). С учетом самых оптимистичных прогнозов по медленным циклам заряда и возможного ограничения максимального уровня заряда за цикл, реальная емкость аккумуляторных батарей упадет ниже 170 Втч/кг, и всего через несколько сотен полетов эксплуатант будет вынужден заменить весь аккумуляторный блок, при этом резко возрастут прямые эксплуатационные расходы из-за цен на замену аккумуляторов. “Распространение самолетов с аккумуляторными батареями привело бы к нереалистичным типовым траекториям полета, которые быстро деградировали бы после нескольких недель эксплуатации, что сделало бы полностью электрический пассажирский самолет просто “флагманом зеленого перехода”, а не реальным игроком в декарбонизации авиации”, - заявила компания. Tecnam заявила, что является самым активным производителем самолетов авиации общего назначения в мире с наибольшим количеством сертифицированных новых типов самолетов за последние годы, и что она

стремится производить продукцию с наивысшим соотношением цены и качества с точки зрения эффективности, выбросов CO<sub>2</sub>, эксплуатационных расходов и рентабельности. Представители компании добавили, что эти факторы не могут характеризовать разработку нового самолета как “жизнеспособную” с целевым вводом в эксплуатацию к 2026-2028 гг. Предыдущие проекты Tecnam в области электрических самолетов включают гибридный самолет H3ps на базе четырехместного самолета P2010. Компания заявила, что она внимательно следит за развитием технологий, способных достичь целей по декарбонизации, и готова вернуть P-Volt в процесс сертификации типа, как только критические технологии достигнут необходимого уровня зрелости.

Источник: [aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/tecnam-stops-p-volt-electric-aircraft-program.html](https://aerospacetestinginternational.com/news/electric-hybrid/tecnam-stops-p-volt-electric-aircraft-program.html)

## 5. Velontra провела испытания двигателя в термобарокамере



Американский стартап Velontra успешно провела испытания гиперзвукового турбопрямоточного двигателя в термобарокамере Purdue University. Компания разработала малоразмерный турбопрямоточный двигатель Bronco, который продемонстрировал работоспособность и эффективность в термобарокамере при условиях на входе, имитирующих полет со скоростью более 4.5 М и высоте 30000 м. Малоразмерный турбопрямоточный двигатель предназначен для малоразмерных гиперзвуковых беспилотных летательных аппаратов. В следующем году компания Velontra планирует провести летные испытания турбопрямоточного двигателя Bronco. Стартап Velontra основан в 2021 году, является участником бизнес-инкубатора T Combinator.

Источник: [aerospacetestinginternational.com/news/engine-testing/us-hypersonic-startup-tests-engine-in-wind-tunnel.html](https://aerospacetestinginternational.com/news/engine-testing/us-hypersonic-startup-tests-engine-in-wind-tunnel.html)



## 6. NASA закрывает программу X-57 Maxwell



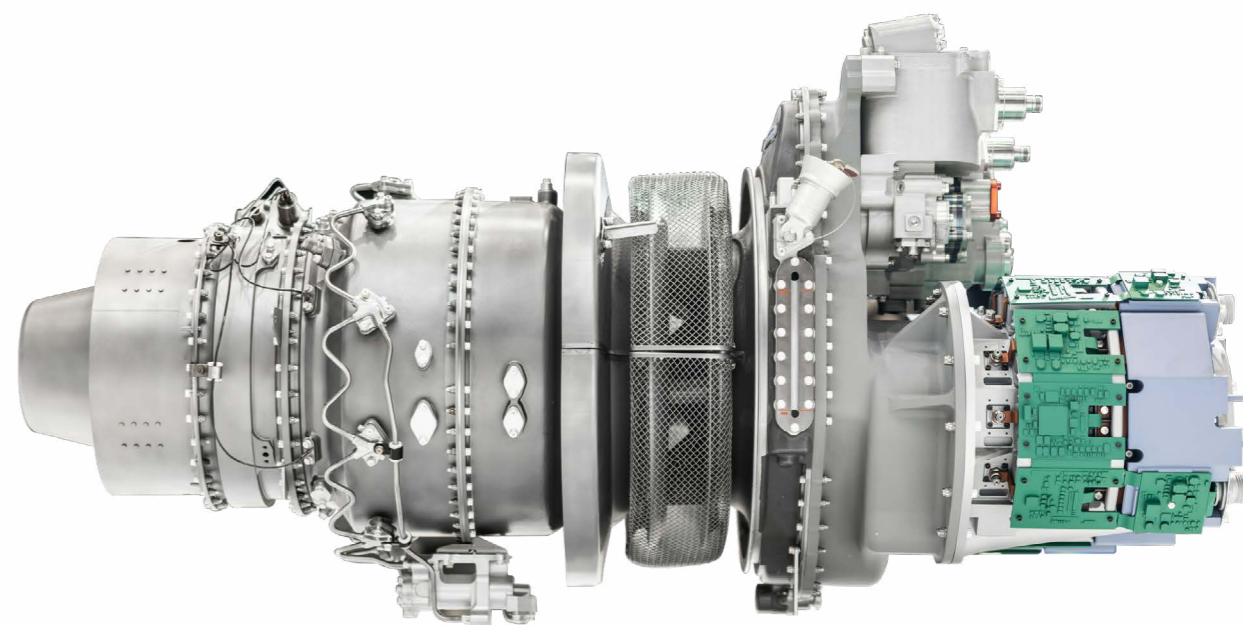
23 июня NASA опубликовала заявление о закрытии программы разработки полностью электрического самолета X-57 Maxwell без проведения летных испытаний. При подготовке были выявлены проблемы с электрической силовой установкой, в результате чего NASA пришла к выводу, что проведение летных испытаний экспериментального самолета сопряжено с неоправданным риском. Программа X-57 Maxwell будет полностью свернута к концу сентября, за оставшееся время проектная команда планирует выпустить ряд публикаций, в которых будут освещены основные достижения и проблемы, выявленные при реализации проекта. Экспериментальный самолет X-57 Maxwell представляет собой легкий самолет Tecnam P2006T, в котором поршневые двигатели Rotax были заменены на электрические силовые установки. NASA запустила проект X-57 в 2016 году, изначально планировалось оснастить самолет распределенной силовой установкой, состоящей из 14-ти электроприводных воздушных винтов и литий-ионной аккумуляторной батареи. На начальном этапе реализации программы NASA столкнулась с короткими замыканиями и перегревом блоков литий-ионных аккумуляторных батарей. После перепроектирования блоков аккумуляторных батарей и проведения серии наземных испытаний экспериментального самолета инженеры NASA пришли к выводу, что ряд компонентов электрической системы не работоспособен при высокой температуре и имеющемся уровне вибраций. В 2021г. после пандемии Covid-19 NASA пересмотрела цели программы X57, отказалась от модификации Mod IV с 14-ю электроприводными винтами в пользу модификации Mod II с двумя электроприводными винтами. Ожидалось, что летные испытания X-57 Mod II должны состояться до конца 2023 г. При подготовке к летным испытаниям была идентифицирована возможность отказа электродвигателей в полетных условиях из-за нагрузок, которые не возникают при работе на земле. В процессе работ над X-57 Maxwell стоимость проекта возросла с плановых \$40 млн. до \$99 млн, при этом на подготовку X-57 Mod IV требовалось дополнительно \$64 млн.

Источник: [ainonline.com/aviation-news/advanced-air-mobility/2023-06-29/nasa-wraps-x-57-program-without-flight](https://ainonline.com/aviation-news/advanced-air-mobility/2023-06-29/nasa-wraps-x-57-program-without-flight)

## 7. Electra Aero выбрала турбогенератор Safran для использования в составе гибридной силовой установки

Компания Electra Aero ведет разработку 9-местного самолета укороченного взлета и посадки с гибридной силовой установкой. Ожидается, что прототип самолета будет построен в 2025 году, а сертификация в соответствии с FAA Part 23 состоится в 2028 году.

Safran Helicopter Engines ведет разработку турбогенератора мощностью 600 кВт для гибридной силовой установки самолета Electra Aero. Архитектура гибридной силовой установки 9-местного самолета на текущий момент не анонсирована. В турбогенераторе будет использован газотурбинный двигатель на базе турбовального двигателя Safran Arrano, который приводит два электрогенератора, оснащенных системой распределения энергии.



Турбогенератор Safran на базе турбовального двигателя Arrano

Источник: [ainonline.com/aviation-news/advanced-air-mobility/2023-06-26/safran-turbogenerator-power-electras-hestol](https://ainonline.com/aviation-news/advanced-air-mobility/2023-06-26/safran-turbogenerator-power-electras-hestol)

## 8. Совместные исследования и разработки GKN с Embraer



Демонстратор самолета с силовой установкой на базе топливных элементов по проекту H2Gear.

Во время Парижского авиасалона в Ле-Бурже компании GKN Aerospace и Embraer объявили об объединении усилий в области исследований и разработки водородных силовых установок. Глобальной целью компаний является создание экспериментального самолета с водородной силовой установкой-демонстратором технологий.

В 2021 г. Embraer запустила программу Energia, в рамках которой планируется создание 4-х самолетов, в том числе одного с газотурбинным двигателем, работающем на водородном топливе.

GKN Aerospace на текущий момент участвует в нескольких проектах Европейского Союза, в том числе H2Gear и H2Jet, которые сфокусированы на создании силовых установок на базе водородно-воздушных топливных элементов и газотурбинных двигателей, работающих на водородном топливе.

Источник: [ainonline.com/aviation-news/air-transport/2023-06-22/gkn-works-hydrogen-propulsion-embraer](https://ainonline.com/aviation-news/air-transport/2023-06-22/gkn-works-hydrogen-propulsion-embraer)

## 9. Safran и MTU Aero Engines подписали соглашение

Safran Helicopter Engines и MTU Aero Engines подписали соглашение о намерениях с целью объединения усилий по разработке силовой установки для перспективного европейского вертолета, создание которого осуществляется в рамках проекта European Next Generation Rotorcraft Technologies (ENGRT).

В рамках проекта ENGRT ведется разработка и повышение зрелости критических технологий для создания в Европейском Союзе нового поколения вертолетов с вводом в эксплуатацию в 2040 г. Ключевой задачей создания консорциума является эффективный менеджмент, обеспечение гибкости принятия решений и обеспечение интересов европейской двигателестроительной отрасли в проекте.

Отмечается, что среди прорывных технологий для нового поколения силовых установок рассматривается интенсивная гибридизация.

Ранее Safran и MTU Aero Engines создали консорциум European Military Engine Team (EUMET) для создания силовой установки перспективного европейского истребителя, разработка которого ведется в рамках программы Future Combat Air System (FCAS).

Источник: [ainonline.com/aviation-news/defense/2023-06-22/safran-and-mtu-partner-power-europes-new-helicopter](https://ainonline.com/aviation-news/defense/2023-06-22/safran-and-mtu-partner-power-europes-new-helicopter)

## 10. PBS и Ивченко-Прогресс объявили о сотрудничестве

Чешская компания PBS Velka Bites, один из лидеров в области малоразмерных газотурбинных двигателей, и украинское КБ «Ивченко-Прогресс» подписали меморандум о стратегическом сотрудничестве с целью совместной работы над новым двигателем для беспилотных летательных аппаратов и крылатых ракет AI-PBS-350. Двигатель AI-PBS-350 с тягой 350 кг/с станет самым мощным двигателем в портфолио компании PBS Velka Bites, он будет специально оптимизирован в беспилотных системах одноразового применения. Отличительной особенностью AI-PBS-350 является архитектура, он будет иметь четырехступенчатый осевой компрессор и 1-ступенчатую осевую турбину.



Technical parameters

Basic technical parameters	Metric	Imperial
Max. thrust	3,400 N	765.76 lbf
Weight	51 kg	112.43 lb
Outer diameter	298 mm	11.57 in
Length	706 mm	9.68 in
Electrical Power output	5.0 kW	5.0 kW
Specific fuel consumption	0.12 kg/N/h	1.22 lb/lbf/hr

Перспективный малоразмерный двигатель AI-PBS-350

Источник: [ainonline.com/aviation-news/aerospace/2023-06-21/pbs-and-ivchenko-sign-mou-small-turbojet](https://ainonline.com/aviation-news/aerospace/2023-06-21/pbs-and-ivchenko-sign-mou-small-turbojet)

## 11. MTU Aero Engines анонсировал разработку

Один из ведущих европейских разработчиков авиационных двигателей объявил свои планы по созданию силовых установок на базе водородно-воздушных топливных элементов для региональных самолетов и самолетов общего назначения. MTU Aero Engines запустил проект Flying Fuel Cell (FFC), в рамках которого планируется вывод силовых установок на базе водородно-воздушных топливных элементов на рынок в 2035 году.



Силовая установка на базе водородно-воздушных топливных элементов Flying Fuel Cell

MTU Aero Engines в рамках проекта FFC ведет разработку криогенной силовой установки, работающей на жидком водороде. По ожиданиям экспертов MTU силовые установки на базе водородно-воздушных топливных элементов к 2050 могут достаточно эволюционировать для применения на ближне- среднемагистральных самолетах.

Разработкой электродвигателя для FFC занимается компания EmoSys, которую MTU Aero Engines приобрела в апреле 2023 г. EmoSys разработала электродвигатель мощностью 600 кВт диаметром 300 мм с удельным весом 15 кВт/кг. Отмечается, что жидкостная система охлаждения обеспечивает работоспособность электродвигателя при температуре до 85 °С, его можно использовать в последовательных сборках для увеличения мощности.

Источник: [ainonline.com/aviation-news/air-transport/2023-06-20/mtu-will-produce-hydrogen-fuel-cells-regional-airliners](https://ainonline.com/aviation-news/air-transport/2023-06-20/mtu-will-produce-hydrogen-fuel-cells-regional-airliners)

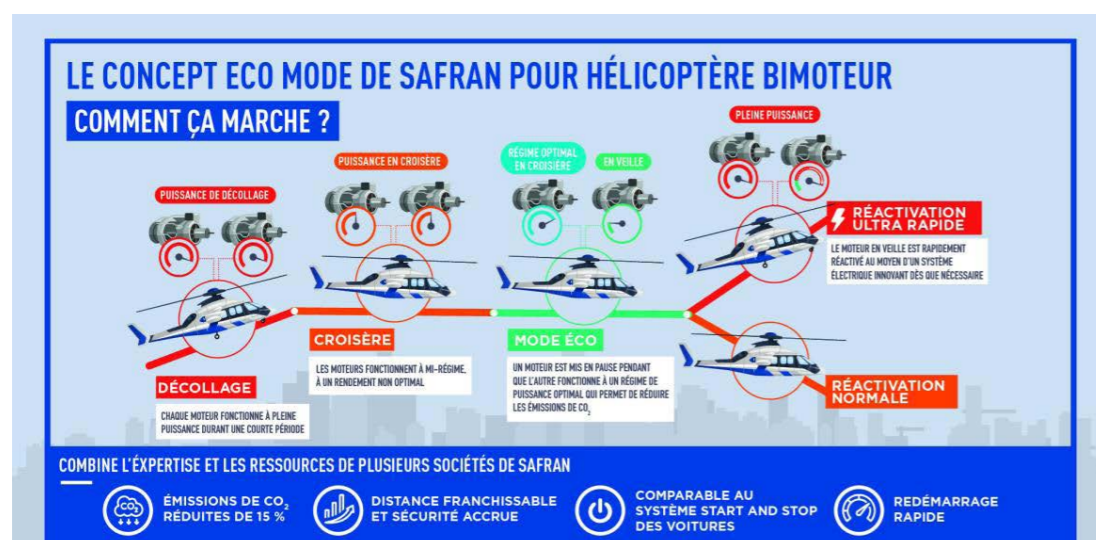
## 12. Safran провела успешные испытания

Компания Safran Helicopter Engines ведет разработку силовой установки для перспективного скоростного вертолета Airbus Racer (Rapid and Cost-Efficient Rotorcraft).

Для двухдвигательной силовой установки вертолета Airbus Racer компания Safran разработала специальный режим Eco Mode для крейсерского полета, при инициализации которого один из двигателей выключается, а второй переводится на более энергоэффективный, более нагруженный режим. По ожиданиям Airbus и Safran режим Eco Mode позволит сократить расход топлива и эмиссию CO<sub>2</sub> за типовой полет на 15% и увеличить дальность полета вертолета. Выключенный двигатель при необходимости может быть включен и выведен на максимальный режим в течение нескольких секунд с помощью специальной системы быстрого запуска.

В силовой установке вертолета Racer будут использоваться двигатели Safran Aneto-1A мощностью 2500 л.с., оснащенные системой быстрого запуска. Система быстрого запуска основана на электродвигателе с высокой удельной мощностью, расположенном на валу двигателя.

Компания Safran Helicopter провела успешные стендовые испытания двигателя, оснащенного системой быстрого запуска.



Режим Eco Mode с выключением одного двигателя на крейсерском режиме полета

Источник: [ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2023-06-19/safran-validates-helicopter-hybrid-propulsion](https://ainonline.com/aviation-news/business-aviation/2023-06-19/safran-validates-helicopter-hybrid-propulsion)

## 13. Rolls-Royce планирует испытания нового малоразмерного двигателя

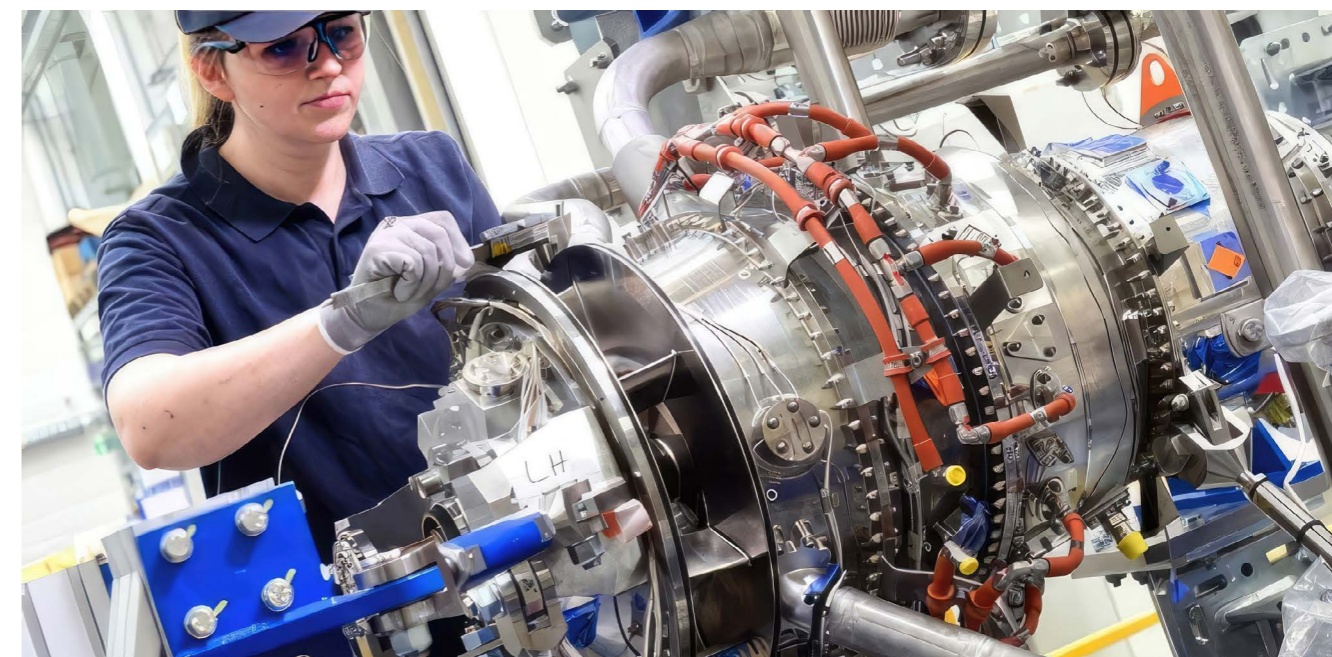
Компания Rolls-Royce планирует в ближайшее время начать наземные стендовые испытания пока неназванного нового малоразмерного двигателя. В настоящее время ведется подготовка первого опытного образца к испытаниям в центре Dahlewitz в Германии.

Ожидается, что новый малоразмерный двигатель обеспечит прирост эффективности 15% по сравнению с текущим двигателем в портфолио Rolls Royce – двигателем M250. Новый двигатель будет оснащен интегрированным турбогенератором для использования в составе гибридных силовых установок региональных самолетов пассажироместимостью 9-19 человек.

Планируется, что испытания турбогенератора начнутся в следующем году, а вся система будет сертифицирована к 2029 году.

Турбогенератор разработан на мощность 800 кВт, может быть масштабирован для работы при мощности 600-1200 кВт. Планируется, что межремонтный ресурс турбогенератора составит 10000 циклов. Двигатель изначально разработан для работы на 100% устойчиво производимом топливе, однако, в перспективе может быть адаптирован под водородное топливо.

По ожиданиям Rolls-Royce на рынке имеется ниша летательных аппаратов вертикального взлета/посадки с дальностью полета 200-500, в которой использование полностью электрических силовых установок не эффективно.



Новый двигатель Rolls-Royce

Источник: [ainonline.com/aviation-news/advanced-air-mobility/2023-06-19/rolls-royce-test-new-small-engine](https://ainonline.com/aviation-news/advanced-air-mobility/2023-06-19/rolls-royce-test-new-small-engine)

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

Уразбахтин Руслан Рустемович

Руководитель отдела исследований БПЛА



## 1.

### Методы полета БПЛА для создания 3D-моделей и печати культурного наследия

В рамках курса по геопространственной науке в университете Stephen F. Austin были проведены три миссии с применением беспилотных летательных аппаратов на историческом Caddo Mounds State с использованием беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 Pro UAS. Этот БПЛА был выбран из-за высокоточной камеры и способности проводить предварительно запланированные полеты.



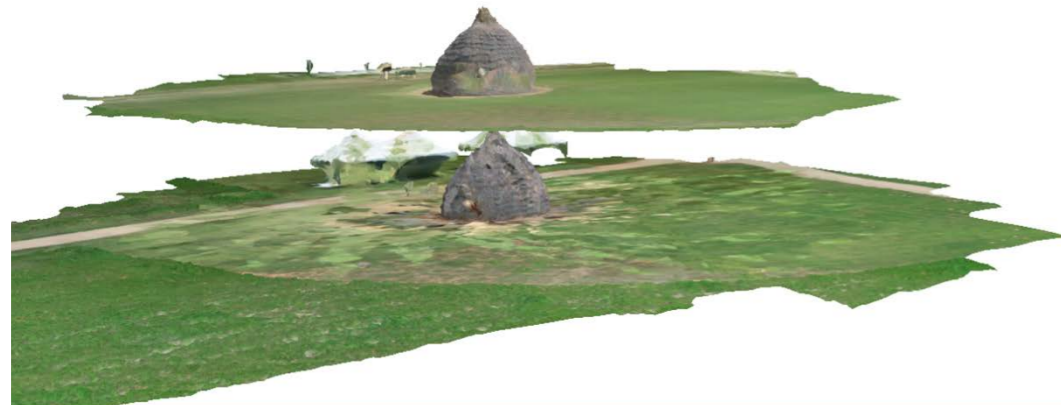
Ещё одна миссия была проведена в свободном полёте, что позволило достичь максимального перекрытия между изображениями и получить дополнительные фотографии дверей и карнизов здания. Свободный полёт был выполнен в четырёх уровнях. В таблице ниже указаны настройки БЛА и количество полученных фотографий для каждого из четырёх уровней.

	Height (m)	Distance (m)	Camera Angle (degrees)	# of Images
Tier 1	2.44	9.14	15	151
Tier 2	3.66	7.62	30	71
Tier 3	6.10	6.10	50	62
Tier 4				29
			Total	313

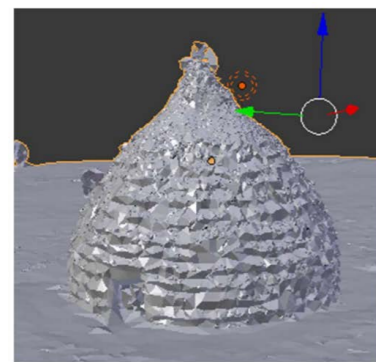


После выполнения этих полетов все сырые изображения были проверены и организованы в группы. Первая группа из 324 изображений состояла из двойных снимков сетки. Вторая группа включала 313 изображений из миссии свободного полета. Третья группа состояла только из 137 изображений, выбранных из миссии свободного полета, где верх Caddo House не пересекается с горизонтом. Пересечение структуры (Caddo House) и горизонта на фотографии увеличивает вероятность ошибочной классификации небесных пикселей как части объекта, Caddo House, в ходе процесса совмещения, когда похожие пиксели группируются вместе. Это связано с общим принципом SfM и тем, как 3D-модели разрабатываются из 2D-изображений.

Как альтернатива можно выбрать исключение таких изображений из входных данных или аннотировать небо/облака на этих фотографиях, если программное обеспечение обработки имеет соответствующую опцию. Последняя группа состояла из 136 фотографий, включающих фотографии из первой и третьей групп, на которых можно увидеть части Caddo House в кадре.



Для печати созданной 3D-модели использовался 3D-принтер потребительского класса QIDI Tech X-Max. Принтер стоит около 1000 долларов и имеет печатную форму 300 мм на 250 мм с высотой печати 300 мм. Он имеет полноцветный сенсорный экран с диагональю 89 мм и флэш-накопитель, который можно напрямую подключить к входной модели для печати (подключение к компьютеру не требуется).



(a)

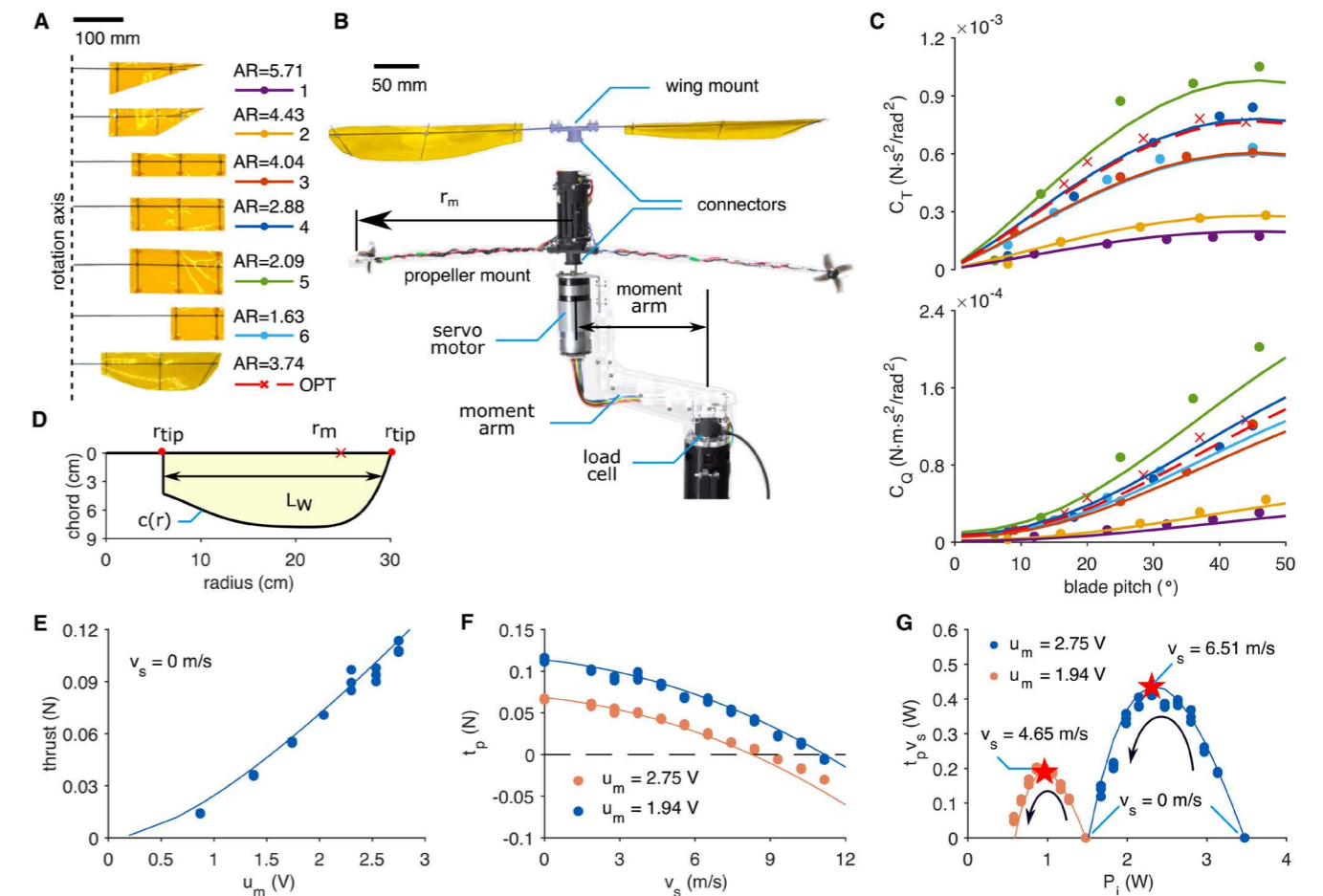


(b)

В принтере можно использовать PLA (полилактидную кислоту), ABS (акрилонитрилбутадиенстирол), TPU (термопластичный полиуретан) и нейлоновую нить. PLA — это термопласт на основе кукурузного крахмала, обладающий высокой прочностью и жесткостью; Другими словами, это очень экологически чистый материал для 3D-печати. Один кг филамента PLA стоит около 20 долларов, а небольшая модель использует всего 40-80 граммов.



## 2. БПЛА на основе биотехнологий, с пассивной стабилизацией положения

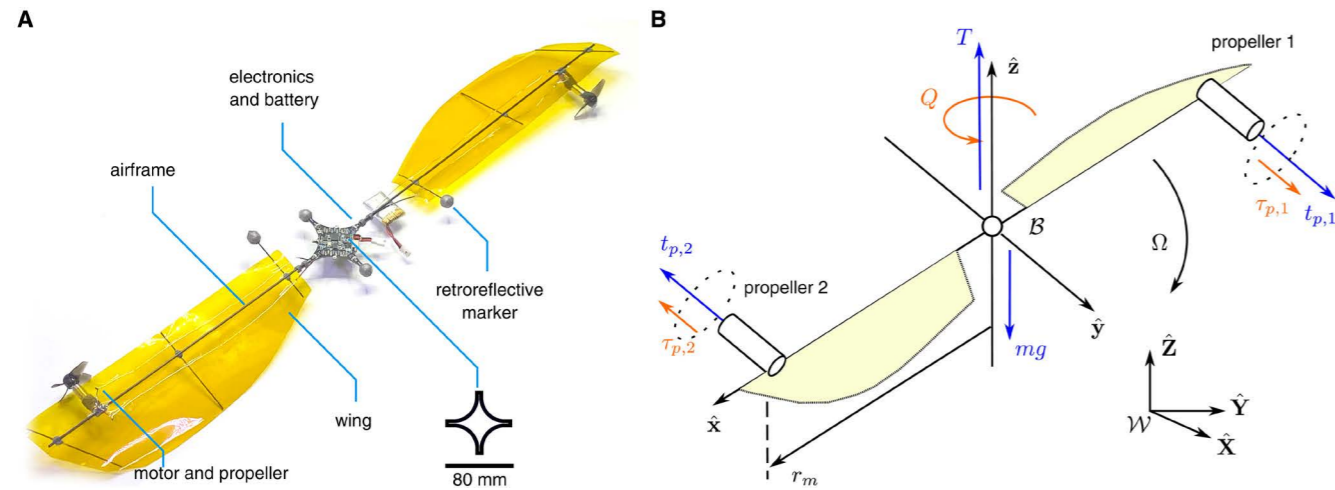


Создатели представленного изобретения объясняют принятые технические решения следующими соображениями: например, среди небольших винтокрылых машин использование нескольких компактных несущих винтов в механически простой конструкции обеспечивает впечатляющую маневренность, но неизбежно приводит к высокой энергозатрате и резко ограниченной выносливости. Маленькие вращающиеся пропеллеры, используемые в этих транспортных средствах, контрастируют с большими подъемными поверхностями крылатых семян, которые самопроизвольно вращаются в устойчивом режиме авторотации при падении. Считается, что ярко выраженные аэродинамические поверхности и замедленная посадка являются ключом к эффективному полету без двигателя. В данном изобретении применяются принципы, вдохновленные природой, чтобы заметно снизить энергопотребление небольших летательных аппаратов с помощью БПЛА, прообразом которого выступило растение известное как samara или крылатая семянка.

Представленный двухкрылый БПЛА массой 35,1 грамма, способен зависать в воздухе за счет вращательного движения.

Оснащенный двумя роторами, малоприводной робот с большими вращающимися крыльями, предназначенный для использования нестационарной аэродинамики, был оптимизирован для повышения эффективности полета.

Благодаря анализу динамики полета и устойчивости машина была разработана для обеспечения пассивной устойчивости, что устраняет необходимость в быстрой обратной связи, чтобы оставаться в вертикальном положении.

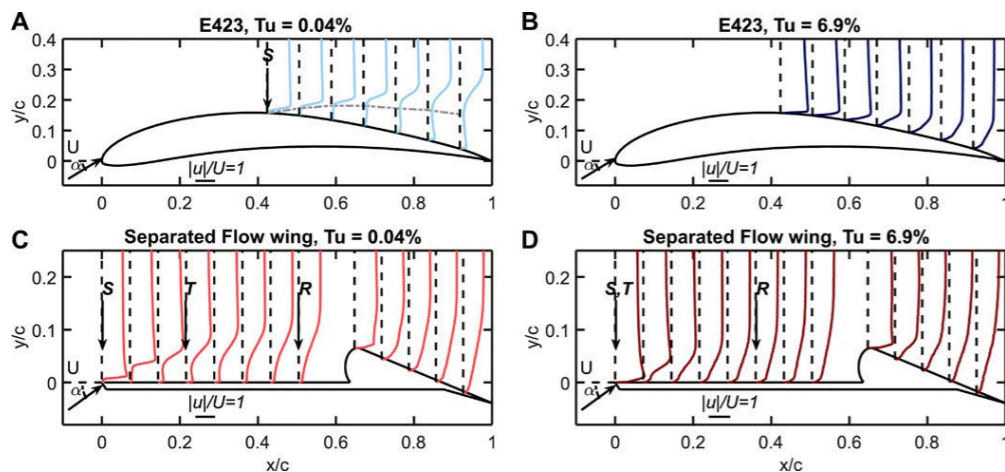


Беспилотник демонстрирует полет с двукратным снижением энергопотребления по сравнению с эталонными мультироторными роботами. Демонстрируя удельную нагрузку на входную мощность равную 8,0 граммов на ватт, аппарат продемонстрировал время полета 14,9 минут и до 24,5 минут при оснащении аккумулятором большей емкости. Воспользовавшись преимуществами быстрого вращательного движения, чтобы преодолеть серьезную малоприводность, также реализован полет с позиционным управлением и проиллюстрирован пример картографирования и наблюдения с полезной нагрузкой в 21,5 грамма.

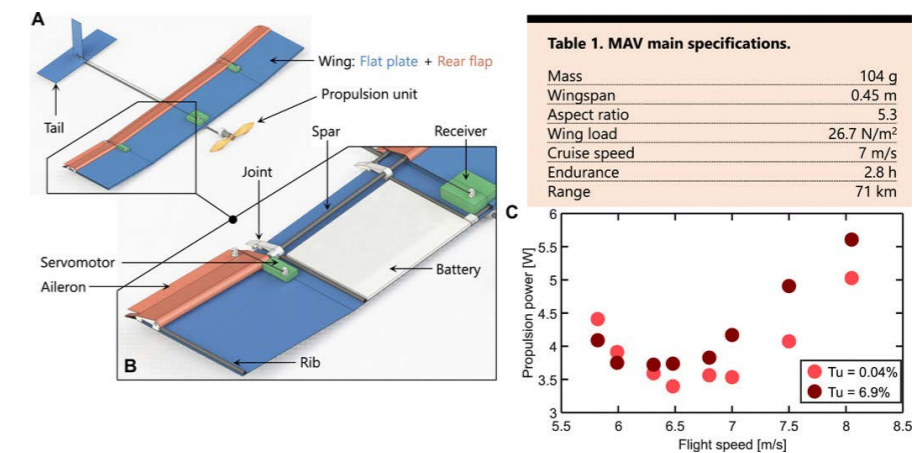
Источник: Songnan Bai, Qingning He, Pakpong Chirattananon. A bioinspired revolving-wing drone with passive attitude stability and efficient hovering flight // Science Robotics 7(66), DOI: 10.1126/scirobotics.abg5913

### 3. Биотехнологическое крыло с разделенным потоком

В новом крыле гладкий контур передних кромок большинства крыльев самолетов заменен на толстую плоскую пластину и острую переднюю кромку. Как ни парадоксально, оказывается, что конструкция имеет явные аэродинамические преимущества в масштабе небольших дронов. В статье, опубликованной в журнале Science Robotics, исследователи показывают, что новое крыло гораздо более устойчиво, чем стандартные крылья, перед лицом внезапных порывов ветра и других типов турбулентности, которые часто наносят ущерб небольшим самолетам. Крыло также обеспечивает аэродинамически эффективный полет, что приводит к увеличению срока службы батареи и увеличению времени полета.



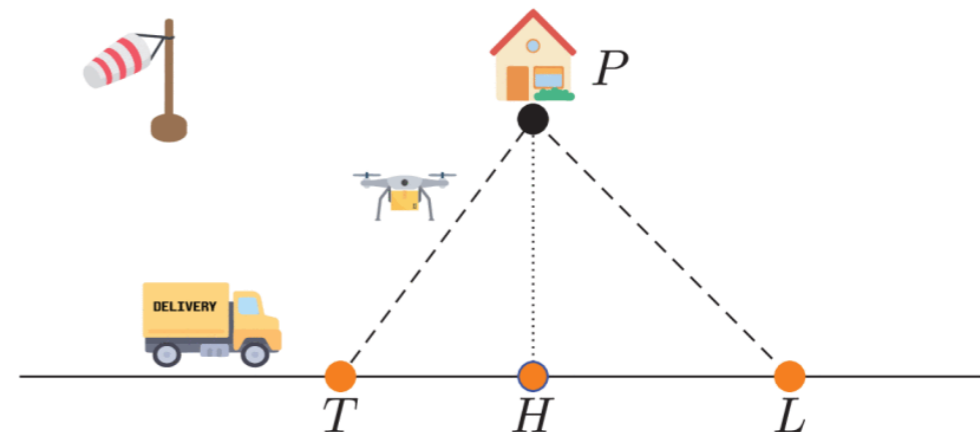
Идея крыла, которое не имеет гладких контуров передней кромки обычного крыла, была вдохновлена естественными летунами, такими как птицы и насекомые. Гладкая передняя кромка помогает надежно удерживать воздушный поток на крыле. Но крылья птиц и насекомых обычно имеют довольно грубые и острые передние кромки, что способствует разделению воздушного потока. Разделение потока вызывает проблемы с эффективностью для больших самолетов, но, похоже, оно прекрасно работает для птиц и насекомых. Мощность двигателя, необходимая для полета, измеренная в аэродинамической трубе при двух уровнях турбулентности. В области скоростей для минимальной мощности атмосферная турбулентность имеет тенденцию к увеличению мощности менее чем на 10%, и это увеличение связано со снижением эффективности крыла при внешней турбулентности. Чтобы оценить время полета, мы добавляем потери приемника и потребление серводвигателя, чтобы получить общую мощность, необходимую в крейсерском полете. Таким образом, при создании малоразмерных БПЛА актуально отходить от существующих традиционных концепций и искать новые, нестандартные решения, которые могут кардинально изменить парадигму проектирования БПЛА.



Источник: sciencedaily.com/releases/2020/01/200129143353.htm

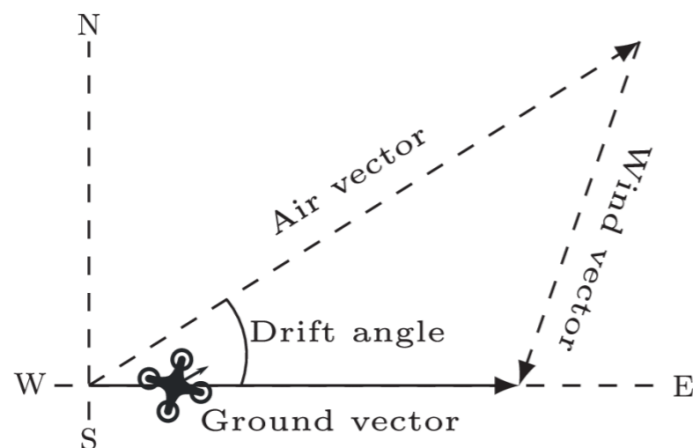
### 4. Использование ветра для экономии энергии

В этой работе исследуется влияние ветра на систему доставки на основе дронов. Впервые адаптируется траектория полета дрона к ветру. Рассматривается тандемную систему доставки грузовик-дрон. Дрон активно реагирует на ветер, выбирая траекторию «самого попутного ветра», доступную между траекторией грузовика и доставкой. Грузовик движется по заранее определенному маршруту и перевозит дрон близко к точке доставки.



Предлагается задача траектории беспилотного летательного аппарата с минимальной энергией (MDP), которая направлена, когда ветер влияет на зону доставки, на планирование траекторий с минимальной энергией для беспилотного летательного аппарата, чтобы обслуживать клиентов, начиная с грузовика и возвращаясь к нему.

Затем предлагаются два алгоритма, которые оптимально решают MDP при двух разных маршрутах грузовика. Аналитически изучается возможность отправки дронов с ограниченным зарядом батареи для доставки посылок. Наконец, численно сравниваются алгоритмы на случайно сгенерированных синтетических и реальных данных, а затем оценивается модель, имитирующая полет дрона в симуляторе BlueSky.



Результаты резюмируются следующим образом:

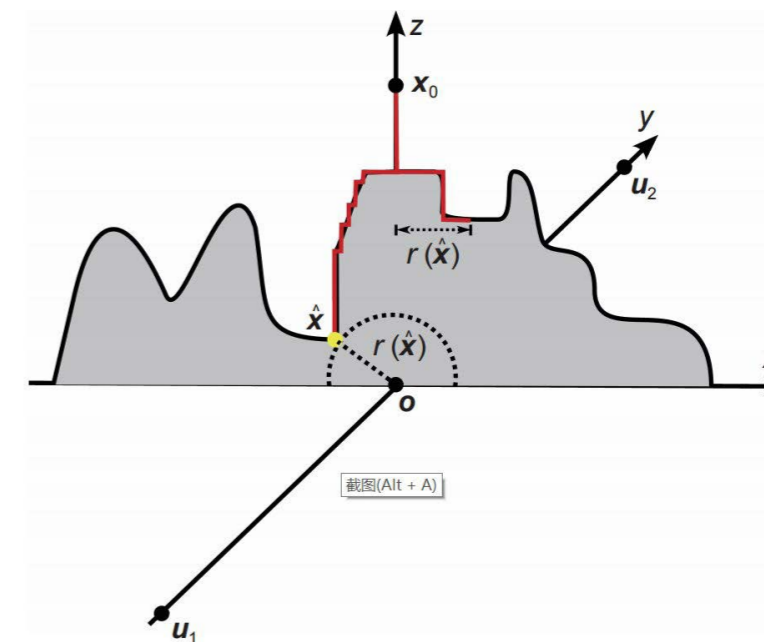
- Определяется задача траектории дронов с минимальной энергией (MDP), целью которой является поиск траекторий с минимальной энергией, когда ветер влияет на зону доставки;
- Разрабатывается два алгоритма для MDP, т. е. SINGLE и MULTI, которые предполагают, что путь грузовика представляет собой прямую линию или многоугольник соответственно;
- Анализируется целесообразность с точки зрения энергии отправки дронов для поставок в ветреную местность, представляя алгоритм FEASIBILITY. В основе решения лежит концепция ветрового треугольника. В аэронавигации треугольник ветра представляет собой графическое представление взаимосвязи между движением дрона и ветром. Таким образом, задача увеличения продолжительности полета дрона может решаться не только за счет технических решений, применяемых на нем, но и за счет принципиального изменения подхода к пилотированию БПЛА. Это в очередной раз подчеркивает необходимость нестандартно мыслить при создании инновационных БПЛА, параметры которых не были достигнуты ранее. Разработка интеллектуальных алгоритмов автоматизированного полета БПЛА активно ведется в ПИШ «Моторы Будущего».

Источник: [ieeexplore.ieee.org/document/10014537](http://ieeexplore.ieee.org/document/10014537)

## 5. Управление БПЛА в условиях плотной городской застройки

Большая часть современных технологий беспилотных летательных аппаратов требует прямой видимости с беспилотником, что означает, что оператор может его видеть.

Данные, собранные беспилотником, затем передаются по оптической связи свободного пространства, которая использует свет на открытых пространствах для передачи информации. Однако эта технология очень уязвима к блокировке сигнала, особенно в густонаселенных городских районах, где линия обзора может быть перекрыта зданиями и растительностью.



В недавно опубликованной статье исследователи разработали метод определения почти оптимального положения беспилотника, чтобы он мог установить гарантированную связь в прямой видимости с двумя наземными пользователями. В отличие от других исследований систем оптической связи в свободном пространстве для беспилотных летательных аппаратов, в этом исследовании учитывался реальный ландшафт города. Теоретически поиск на эквипотенциальной поверхности возможен, но в реальном мире машины сталкиваются с проблемами. Разработанный исследователями алгоритм определил эквипотенциальную поверхность между двумя пользователями.

Эквипотенциальная поверхность относится к пространству между двумя пользователями, где они могут получить одинаковую производительность от беспилотника. Если эквипотенциальная поверхность изогнута, то могут быть выполнены дополнительные вычисления для поиска наилучшего позиционирования в приближенной вертикальной плоскости. Когда на земле находятся два пользователя, а между ними какое-либо препятствие, например, здания или деревья, и пользователи находятся в тени, алгоритм может успешно определять траектории поиска для продолжения движения беспилотника.

По сравнению с более ручным исчерпывающим 3D-поиском разработанный исследователями алгоритм смог достичь более 95% производительности исчерпывающего 3D-поиска, что делает его потенциально жизнеспособным вариантом для этой технологии.

Настоящее исследование в очередной раз подтверждает, что расширение функциональных возможностей БПЛА и повышение их характеристик возможно не только за счет их непосредственной модернизации, но и за счет изменения подхода к их управлению и эксплуатации.

Заглядывая в будущее, исследователи планируют изучить возможности разработанных алгоритмов.

Текущее исследование опирается на двух пользователей, но если их больше двух, расчеты, предложенные в этом исследовании, не могут быть применены напрямую.

В будущих исследованиях они разработают дополнительные вычисления, которые могут учитывать больше пользователей.

Таким образом, в работе решается задача обеспечения стабильности передачи сигнала за счет нахождения оптимального положения БПЛА в сложной пересеченной местности, при котором будет достигаться прямая видимость БПЛА и, соответственно, достигнута минимизация помех за счет прямой оптической передачи данных.

Источник: [techxplore.com](http://techxplore.com)

# ЭТК Линейка малоразмерных электродвигателей

По всем вопросам:  
finman@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	Линейная индуктивность	0,56 мГн
Номинальный момент	70 мНм	Линейное сопротивление	1,13 Ом
Фазный ток при номинальном моменте	1,93А	Момент инерции	$1,3 \cdot 10^{-6}$ кг·м <sup>2</sup>

## 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	Линейная индуктивность	13,8 мкГн
Номинальный момент	1440 мНм	Линейное сопротивление	5 МОм
Фазный ток при номинальном моменте	120А	Момент инерции	$30 \cdot 10^{-6}$ кг·м <sup>2</sup>

## 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	Линейная индуктивность	2,6 мГн
Номинальный момент	195 мНм	Линейное сопротивление	1,84 Ом
Фазный ток при номинальном моменте	2,1А	Момент инерции	$3,1 \cdot 10^{-6}$ кг·м <sup>2</sup>

## 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 влета	40В
Номинальная частота вращения	4920 об/мин	Линейная индуктивность	650 мкГн
Номинальный момент	0,5 Нм	Линейное сопротивление	0,93 Ом
Фазный ток при номинальном моменте	11,93А	Момент инерции	$57,6 \cdot 10^{-6}$ кг·м <sup>2</sup>

# ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ



Полный цикл создания постоянных магнитов от закупок материалов до испытаний на собственных изделиях высококлассными опытными специалистами гарантирует высокое качество и соответствие стандартам.

По всем вопросам:  
**finman@uust.ru**





Передовая инженерная школа  
**Моторы Будущего**

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

